



LIBERTAD Y ORDEN
Ministerio del
Medio Ambiente
República de Colombia



invemar



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ
Departamento de
Biología



BID

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA

Luz Marina Melgarejo
Jimena Sánchez
Alejandro Chaparro
Federico Newmark
Marisol Santos-Acevedo
Consuelo Burbano
Carmen Reyes



LIBERTAD Y ORDEN
Ministerio del
Medio Ambiente
República de Colombia



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ
Departamento de
Biología



BID

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA

Por

Luz Marina Melgarejo - Profesora Universidad Nacional de Colombia

Jimena Sánchez - Profesora Universidad Nacional de Colombia

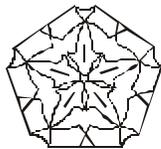
Alejandro Chaparro - Profesor Universidad Nacional de Colombia

Federico Newmark - Coordinador (E) Programa VAR - INVEMAR

Marisol Santos-Acevedo - Investigadora Programa VAR - INVEMAR

Consuelo Burbano - Profesora Universidad Nacional de Colombia

Carmen Reyes - Profesora Universidad Nacional de Colombia



INVEMAR

Coordinación general:

Claudia María Villa García
Coordinadora de Divulgación y Documentación
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
José Benito Vives De Andrés – INVEMAR
Vinculado al Ministerio del Medio Ambiente
Carrera 4 No. 26-40. Centro Comercial Prado Plaza – Oficina 410
Santa Marta DTCH
Teléfonos (+57) (+5) 421 4413 / 421 4774 Ext. 114, 251 y 106. Telefax (+5) 431 2975
www.invemar.org.co

Edición de texto, diseño y diagramación:

Marisol Santos-Acevedo

Foto portada:

Diseño, diagramación portada e impresión:

Red de Impresión Digital CARGRAPHICS S.A.

Derechos reservados conforme la ley, los textos pueden ser reproducidos total o parcialmente citando la fuente

Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva del (los) autor (es) y no corresponden necesariamente con los del INVEMAR ni la Universidad Nacional de Colombia

Contribución No. 788 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" - INVEMAR Impreso en Bogotá – Colombia

La presente publicación es el resultado de las actividades desarrolladas en el marco del proyecto "Propuesta técnica para la formulación de un programa de investigación científica y técnica sobre bioprospección continental y marina: diseño con la participación de centros de investigación básica y aplicada" que se ejecutó mediante convenio interadministrativo marco Ministerio de Medio Ambiente - Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello (SECAB) y hace parte del Programa Ambiental y de Manejo de Recursos Naturales - Unidad Coordinadora - Crédito BID 774/OC-CO

Citar como:

MELGAREJO, L. M., J. SÁNCHEZ, A. CHAPARRO, F. NEWMARK, M. SANTOS-ACEVEDO, C. BURBANO y C. REYES. Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia Bogotá: Cargraphics, 2002. 334p.--(Serie de Documentos Generales INVEMAR No.10)

ISBN: 958-96972-9-1

Palabras clave:

BIOPROSPECCIÓN, COLOMBIA, ORGANISMOS MARINOS, ANIMALES, PLANTAS, MICROBIOLOGÍA, ECOLOGÍA, MARCO JURÍDICO, MODELOS, MERCADOS

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA

Por

Luz Marina Melgarejo - Profesora Universidad Nacional de Colombia
Jimena Sánchez - Profesora Universidad Nacional de Colombia
Alejandro Chaparro - Profesor Universidad Nacional de Colombia
Federico Newmark – Coordinador (E) Programa VAR – INVEMAR
Marisol Santos-Acevedo – Investigadora Programa VAR - INVEMAR
Consuelo Burbano – Profesora Universidad Nacional de Colombia
Carmen Reyes - Profesora Universidad Nacional

Comité Científico

Luz Marina Melgarejo - Universidad Nacional de Colombia
Jimena Sánchez - Universidad Nacional de Colombia
Alejandro Chaparro - Universidad Nacional de Colombia
Carmen Reyes - Universidad Nacional de Colombia
Federico Newmark - INVEMAR
Consuelo Burbano - Universidad Nacional de Colombia
Hernando Valencia - Universidad Nacional de Colombia
Marisol Santos-Acevedo - INVEMAR
Julia Premauer - Universidad Nacional de Colombia

Comité Operativo

Luz Marina Melgarejo - Universidad Nacional de Colombia
Federico Newmark - INVEMAR
Jimena Sánchez - Universidad Nacional de Colombia
Francisco Gutiérrez - Ministerio del Medio Ambiente

Revisores Técnicos

Luz Marina Melgarejo - Universidad Nacional de Colombia
Federico Newmark - INVEMAR
Jimena Sánchez - Universidad Nacional de Colombia
Francisco Gutiérrez - Ministerio del Medio Ambiente
Claudia María Villa García - INVEMAR
Gloria Helena Ospina – INVEMAR



LIBERTAD Y ORDEN
Ministerio del
Medio Ambiente
República de Colombia

Ministerio del Medio
Ambiente
República de Colombia

Presidente de la
República
Álvaro Uribe Vélez

Ministra del Medio
Ambiente
Cecilia Rodríguez
González-Rubio

Viceministro del Medio
Ambiente
Juan Pablo Bonilla
Arboleda

Directora Técnica de
Ecosistemas
Angela Andrade Pérez

Bogotá, D C
Noviembre de 2002
www.minambiente.gov.co



Instituto de Investigaciones
Marinas y Costeras
"José Benito Vives De Andrés"
INVEMAR

Director General
Capitán de Navío
Francisco A. Arias Isaza

Subdirector
Coordinación de
Investigaciones
Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinador Programa
Biodiversidad y Ecosistemas
Marinos (BEM)
Juan Manuel Díaz Merlano

Coordinador (E) Programa
Valoración y Aprovechamiento
de
Recursos Marinos y Costeros
(VAR)
Roberto Federico Newmark U.

Coordinador (E) Programa
Calidad Ambiental
Marina (CAM)
Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinadora Programa de
Investigación para la Gestión
Marina y Costera (GEZ)
Paula Cristina Sierra Correa

Subdirector de Recursos y
Apoyo
a la Investigación
Carlos Augusto Pinilla González

Santa Marta, DTCH
Noviembre de 2002
www.invemar.org.co



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ
Departamento de
Biología

Universidad Nacional de
Colombia

Rector
Universidad Nacional de Colombia
Víctor Manuel Moncayo

Vicerrector General
Gustavo Montañéz Gómez

Vicerrector de Sede
Sede Bogotá
Leopoldo Múnera Ruiz

Decano
Facultad de Ciencias
Juan Manuel Tejeiro

Vicedecana Académica
Facultad de Ciencias
Natalia Ruiz

Secretario Facultad de Ciencias
Augusto Jiménez C.

Jefe Unidad Administrativa
Facultad de Ciencias
Luz Amparo Flórez

Directora
Departamento de Biología
Consuelo Burbano

Bogotá, D C
Noviembre de 2002
www.unal.edu.co

AGRADECIMIENTOS

La publicación de este libro no hubiera sido posible sin la gestión financiera y el apoyo administrativo y técnico de Francisco de Paula Gutiérrez y Ángela Andrade, funcionarios de la Dirección de Ecosistemas del Ministerio del Medio Ambiente; de Hugo Muñoz de la Unidad Coordinadora del Ministerio del Medio Ambiente; de Carlos Pinilla, Dinora Otero y de todo el personal de la Subdirección de Recursos y Apoyo a la Investigación del INVEMAR; de Luz Amparo Flórez, Felipe Sánchez y de todo el equipo administrativo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.

A los investigadores, grupos de investigación, empresas, fundaciones, universidades, ONG, institutos, centros de investigación, personas independientes, corporaciones, que participaron en los talleres nacionales y regionales y a todas y cada una de las personas y entidades que de una u otra forma colaboraron con el desarrollo de este proyecto por todos los aportes, discusiones técnicas y científicas e ideas sugeridas (la lista de personas y entidades que participaron pueden consultarse en la página web.minambiente.gov.co/bioprospeccion/).

A los revisores técnicos.

A los estudiantes de Biología de la Universidad Nacional de Colombia - monitores del proyecto por su ayuda en las diferentes actividades realizadas y a los monitores que colaboraron en los talleres regionales.

A las personas que colaboraron para hacer posible la realización de talleres regionales en los distintos lugares del país:

Martha Suárez y Martha Oliveros - Universidad de Antioquia
Mario García, Iván Zuluaga y Marina Sánchez - Universidad Nacional sede Palmira
Ricardo Acuña y Carlos Rivillas - CENICAFÉ
Teobaldis Mercado - Universidad de Córdoba
Hernando Castellanos - UNITRÓPICO
Federico Newmark y Marisol Santos-Acevedo - INVEMAR
Consuelo Burbano - Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Al Banco Interamericano de Desarrollo - BID y al Ministerio del Medio Ambiente por el apoyo y la financiación del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	5
PRESENTACIÓN.....	17
PRÓLOGO.....	19
INTRODUCCIÓN.....	21
APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS.....	27
INTRODUCCIÓN.....	27
ANÁLISIS TALLERES NACIONALES DE BIOPROSPECCIÓN.....	28
INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DEL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS.....	31
MODELOS DE INVESTIGACIÓN PROPUESTOS EN EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS.....	37
CONCEPTUALIZACIÓN DE UN MODELO DE BIOPROSPECCIÓN PARA COLOMBIA EN EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS.....	42
COMENTARIOS GENERALES PARA EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS.....	46
APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA ANIMAL.....	47
INTRODUCCIÓN.....	47
ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS EN EL ÁREA ANIMAL.....	51
ANÁLISIS DE MODELOS DE BIOPROSPECCIÓN EN EL ÁREA ANIMAL.....	59
MODELO CONCEPTUAL DE BIOPROSPECCIÓN PARA COLOMBIA EN EL ÁREA ANIMAL.....	63
APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA	65
INTRODUCCIÓN.....	65
CONTEXTO PARA ACTIVIDADES DE BIOPROSPECCIÓN EN MICROBIOLOGÍA..	66
ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA.....	69
ANÁLISIS DE MODELOS DE BIOPROSPECCIÓN EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA.....	78
MODELO DE BIOPROSPECCIÓN PARA COLOMBIA EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA.....	92
COMENTARIOS GENERALES PARA EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA.....	96
APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE PLANTAS.....	99
INTRODUCCIÓN.....	99

CONTEXTO PARA ACTIVIDADES DE BIOPROSPECCIÓN EN EL ÁREA DE PLANTAS	101
ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS EN EL ÁREA DE PLANTAS.....	105
ANÁLISIS DE MODELOS DE BIOPROSPECCIÓN EN EL ÁREA DE PLANTAS	112
APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE ECOLOGÍA.....	121
INTRODUCCIÓN.....	121
ANÁLISIS TALLERES NACIONALES DE BIOPROSPECCIÓN.....	123
INSTRUMENTO DE ANÁLISIS EN EL ÁREA DE ECOLOGÍA	126
DISCUSIÓN.....	130
PRINCIPALES INDUSTRIAS Y MERCADOS QUE SE BENEFICIAN DE LA BIOPROSPECCIÓN: TENDENCIAS INTERNACIONALES Y PROYECCIONES .	133
INTRODUCCIÓN.....	133
1. Elementos de juicio que pueden ser utilizados por los tomadores de decisiones para definir qué recursos genéticos podría regular la D391	134
1.1. ¿Qué tipo de acceso regula la Decisión 391?	134
1.2. ¿Qué recursos genéticos deben ser regulados por la Decisión 391?.....	134
2. Mercados y tendencias de las principales industrias que se benefician de la bioprospección... ..	135
2.1. ¿Qué industrias podrían aprovechar la diversidad biológica de Colombia?.....	135
CONCLUSIÓN	150
MARCO JURÍDICO SOBRE BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA	153
INTRODUCCIÓN.....	153
1. RECURSOS BIOLÓGICOS Y GENÉTICOS.....	154
Recursos biológicos.....	154
Recursos genéticos.....	154
Producto derivado	154
Componente intangible.....	154
2. REGÍMENES DE PROPIEDAD	155
2.1. Recursos biológicos.....	155
Patrimonio de la Nación o bienes públicos	155
Propiedad estatal.....	156
Propiedad privada individual.....	156
Propiedad colectiva o comunal	156
2.2. Recursos genéticos.....	156
Patrimonio común de la humanidad	156
Propiedad intelectual.....	157
Derechos soberanos del país de origen	157
3. FASES DE LA LEGISLACIÓN	158
3.1. Constitución Política de 1991	158
3.2. Ley 99 de 1993.....	159
3.3. Ley 165 de 1994.....	159
3.4. Decisión 391 de 1996.....	159
3.4.1. Principios generales sobre acceso.....	160
3.4.2. Estructura jurídica sobre acceso.....	162

3.4.3. Contrato de acceso	164
3.4.4. Contratos complementarios.....	168
3.4.5. Componente intangible.....	168
CONSIDERACIONES FINALES.....	169

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS INTERNACIONALES DE BIOPROSPECCIÓN: IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DE BENEFICIOS171

INTRODUCCIÓN.....	171
DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DE BENEFICIOS Y CONSERVACIÓN/USO SOSTENIBLE DE LA BIODIVERSIDAD	173
1. Distribución equitativa de beneficios	173
1.1. Modelos de bioprospección.....	175
2. Conservación y uso sostenible de la biodiversidad.....	186
2.1. Implicaciones positivas.....	186
2.2. Implicaciones negativas	188
CONCLUSIONES.....	189

ANEXO191

1. PONENCIAS PRIMER TALLER NACIONAL..... 193

1.1. ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS.....	193
1.1.1. Fitorremediación de aguas y suelos mediante el uso de manglar.....	193
1.1.2. Reproducción y cultivo de poliquetos marinos, como fuente alternativa de alimento fresco para suministrar a reproductores de camarón marino	194
1.1.3. Diagnóstico y evaluación de la factibilidad biológica, técnica y económica del cultivo experimental de moluscos bivalvos de interés comercial en el Caribe.....	195
1.1.4. Búsqueda de sustancias bioactivas en organismos marinos colombianos.....	196
1.1.5. Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia.....	197
1.2. ÁREA ANIMAL.....	201
1.2.1. Selección asistida por marcadores moleculares en bovinos.....	201
1.2.2. Estudios moleculares en proteínas de uso industrial.....	202
1.2.3. Estudio de dinámica poblacional y filogenia en poblaciones de peces de la cuenca del río Putumayo (propuesta de trabajo).....	203
1.2.4. Diagnóstico y taxonomía de babosas, plagas en cultivos de la región del oriente antioqueño.....	205
1.2.5. Aspectos históricos, geográficos y sociológicos de un pez nativo: la sabaleta	206
1.2.6. Caracterización molecular de peces continentales, caracterización de fauna bentica de ríos y lagos, diversidad del fitoplancton, perifiton y zooplancton, diversidad de anurofauna e historias de vida de peces de agua dulce	207
1.2.7. Cría y manejo de abejas sin aguijón (hymenoptera: meliponini) en Colombia.....	209
1.2.8. Factibilidad para el desarrollo de un modelo de explotación sostenible de peces ornamentales	210
1.2.9. Estructuración de una Unidad Académica en Ciencias Biológicas para la docencia, investigación y extensión de la Universidad Nacional de Colombia.....	211

1.2.10.	Cosecha de huevos de babilla (<i>Caiman crocodilus crocodilus</i>) en vida silvestre e incubación <i>ex situ</i> bajo invernadero	213
1.2.11.	Antecedentes, estado actual y proyecciones del control biológico de plagas agrícolas en Colombia, con énfasis en artrópodos y entomopatógenos.....	215
1.3.	ÁREA DE MICROBIOLOGÍA	217
1.3.1.	Investigaciones del Centro de Investigaciones Microbiológicas - CIMIC	217
1.3.2.	La bioprospección en los suelos cafeteros colombianos.....	225
1.3.3.	Selección de cepas nativas <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metch) Sorokin sobre plagas rizofagas (coleóptera: melolonthidae) presentes en el cultivo de la arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>).....	227
1.3.4.	Prospección de biodiversidad microbiana con el propósito de desarrollar productos para el sector agropecuario.....	228
1.3.5.	Identificación de microorganismos con actividad antifúngica.....	229
1.3.6.	Bioprocesos y valoración de recursos genéticos	230
1.3.7.	Estudio de poblaciones de microorganismos edáficos en la Amazonía colombiana y su aplicación en el mantenimiento de la fertilidad y la recuperación de suelos	232
1.3.8.	Agricultura sostenible y equilibrio natural	233
1.3.9.	Aislamiento e identificación de bacterias nativas productoras de polihidroxicanoatos.	235
1.3.10.	Diversidad microbiana de reactores anaerobios para tratamiento de aguas residuales, industriales y diversidad microbiana de yacimientos termales minerales en Paipa (Boyacá).....	236
1.3.11.	Prospección ecológica, una nueva visión de los microorganismos.....	238
1.3.12.	Respuesta de controladores biológicos en patógenos causantes de enfermedades en flores de exportación	239
1.3.13.	Microbiología del suelo.....	240
1.3.14.	Bioprospección y micorrizas	242
1.3.15.	Los hongos que forman micorriza, reducto de diversidad biológica	243
1.3.16.	Uredinales.....	244
1.4.	ÁREA DE PLANTAS.....	245
1.4.1.	CENIPALMA: ciencia, tecnología y progreso.....	245
1.4.2.	Bioprospección en café.....	246
1.4.3.	Caracterización etnobotánica, taxonómica, toxicológica, fitoquímica y clínica del amansatoros (<i>Justicia polygonoides</i> H.B.K.) para el desarrollo de productos fitoterapéuticos.....	247
1.4.4.	<i>Cattleya labiata</i> var <i> trianae</i> : flor nacional de Colombia	248
1.4.5.	Comercio justo y mercados verdes.....	250
1.4.6.	Avances en la investigación: “Manejo biológico de la pudrición del fruto (<i>Botrytis cinerea</i> pers. ex. fr.) en la mora (<i>Rubus glaucus</i> benth) mediante la utilización de plantas medicinales”	252
1.4.7.	Programa de investigación sobre el manejo y transformación de frutales nativos de la región Amazónica colombiana	254
1.4.8.	Programa de Flora del Herbario Amazónico Colombiano - COAH.....	255
1.4.9.	Programa de investigación en recursos genéticos de la Amazonía colombiana	258
1.4.10.	Genómica en CIAT	260
1.4.11.	Inventario de especies vegetales promisorias pertenecientes a la familia Annonaceae.....	263
1.4.12.	Investigación en cadenas productivas de frutas y vegetales tropicales	264

1.4.13.	Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas de frutales nativos de la Amazonía colombiana con potencial agroindustrial	266
1.4.14.	Aspectos fenológicos de crecimiento y comercialización de la especie tagua (<i>Pithelefas</i>) en los municipios de Chiquinquirá y Puerto Boyacá.....	268
1.4.15.	Bioprospección biotecnológica para el mejoramiento de una agricultura moderna .	269
1.4.16.	Análisis integrado de estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque altoandino en la cordillera Oriental de Colombia	269
1.4.17.	Evaluación fitofarmacológica de especies medicinales colombianas como fuente de fitomedicamentos	271
1.4.18.	Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia - química y tecnología del aroma de frutas.....	273
1.4.19.	Flora colombiana, química y posibilidades de aprovechamiento.....	274
1.4.20.	Bioprospección de <i>Caspicum</i> en Colombia.....	276
1.4.21.	Categorías de uso de las especies presentes en el Herbario "Chocó" de la Universidad Tecnológica del Chocó	277
1.4.22.	Estudios de actividad biológica y tamizado fitoquímico de plantas del Parque Regional Ucumarí	279
1.4.23.	Una biotecnología para la elaboración de vino de denominación de origen.....	280
1.5.	ÁREA DE ECOLOGÍA.....	281
1.5.1.	Evaluación de la toxicidad relativa de sustancias tóxicas en vertimientos y cuerpos de agua receptores.....	281
1.5.2.	Investigaciones desarrolladas por la CRC y la CAR.....	282
1.5.3.	Restauración de ecosistemas tropicales	289
1.5.4.	Manejo sostenible de productos no maderables del bosque (pnmb) como estrategia de consolidación territorial y productiva en la Amazonía colombiana	290
1.5.5.	Contaminación con mercurio en diversos ecosistemas de la costa Atlántica colombiana	293
1.5.6.	Biología reproductiva de cinco especies forestales.....	294
1.5.7.	Ensayos de manejo del bosque secundario del Magdalena Medio.....	295
1.5.8.	Etnoecología Wayuu en la serranía de La Makuira, Alta Guajira, Colombia	296
2.	PONENCIAS SEGUNDO TALLER NACIONAL	299
2.1.	ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS.....	299
2.1.1.	Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia .	299
2.1.2.	Conservación y uso sostenible de la biodiversidad de algas marinas en la región del Pacífico colombiano	301
2.1.3.	Recuperación de suelos contaminados mediante el uso de manglar.....	304
2.2.	ÁREA ANIMAL.....	307
2.2.1.	Producción comercial y uso de controladores biológicos en el manejo de plagas agrícolas y pecuarias	307
2.2.2.	Asociación Colombiana de Zoocría y Uso Sostenible de Fauna Silvestre - AZOOCOL F. S.....	311
2.3.	ÁREA DE MICROBIOLOGÍA	317
2.3.1.	Bioprocesos y valoración de recursos genéticos.....	317
2.3.2.	Uso de parasitoides para el control de la broca del café desarrollo de modelos biológicos para el manejo de la broca del café y de las micorrizas arbusculares en los cultivos de plátano y banano.....	321

2.4. ÁREA DE PLANTAS.....	325
2.4.1. Modelo de desarrollo para el uso y conservación de <i>Pachira quinata</i>	325
2.4.2. Uso y aprovechamiento de frutos del bosque húmedo amazónico caso: arazá	326
2.4.3. Variedades mejoradas de café	328
2.4.4. Experiencia en el Reasentamiento Nasa de Juan Tama.....	330
2.4.5. Grupo de productos naturales de la Universidad de Cartagena.....	332

LISTA DE FIGURAS	13
-------------------------------	-----------

LISTA DE TABLAS	15
------------------------------	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Experiencias en bioprospección que conoce con profundidad	33
Figura 2. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación.....	33
Figura 3. Aprovechamiento de los resultados de las investigaciones.....	35
Figura 4. Mecanismos de propiedad intelectual.....	36
Figura 5. Estado de la formación profesional.....	36
Figura 6. Modelo de investigación del Instituto Colombiano del Petróleo/Biosfera Centro de Estudios y Proyectos.....	38
Figura 7. Modelo de investigación Departamento de Biología, Universidad del Valle.....	39
Figura 8. Modelo general de investigación área de organismos marinos.....	42
Figura 9. Modelo de investigación área de organismos marinos, empresa del estado.....	43
Figura 10. Modelo de investigación área de organismos marinos, empresa comercializadora.....	43
Figura 11. Modelo de investigación área de organismos marinos, comunidades locales.....	44
Figura 12. Modelo de investigación área de organismos marinos, compensaciones.....	44
Figura 13. Modelo de investigación área de organismos marinos, funciones.....	45
Figura 14. Experiencias en bioprospección conocidas a profundidad.....	56
Figura 15. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación.....	57
Figura 16. Necesidades de capacitación del grupo de trabajo	58
Figura 17. Modelo conceptual Zuluaga y Jiménez, 2002	60
Figura 18. Modelo conceptual Zambrano, 2002.....	62
Figura 19. Modelo de bioprospección en el área animal.....	64
Figura 20. Objetivos, pasos, actividades propuestas, para el desarrollo de un programa nacional de bioprospección en el área de microbiología.....	70
Figura 21. Experiencias en bioprospección conocidas a profundidad.....	73
Figura 22. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación.....	74
Figura 23. Aprovechamiento de los resultados de las investigaciones.....	76
Figura 24. Uso de mecanismos de propiedad intelectual.....	76
Figura 25. Grado de formación adecuada de personal para programas en bioprospección.....	77
Figura 26. Modelo de desarrollo de bioplaguicidas CORPOICA–Tibaitatá.....	79
Figura 27. Modelo de comercialización con empresas nacionales (A) y con empresas extranjeras (B) propuesto por CORPOICA.....	80
Figura 28. Recursos destinados a programas, estrategias y servicios de investigación de CENICAFÉ.....	81
Figura 29. Estructura operacional de CENICAFÉ.....	82
Figura 30. Modelo de investigación para la utilización de hongos entomopatógenos para el control microbiológico de la broca del café.....	83
Figura 31. Modelo de investigación financiado por la Comunidad Económica Europea para la mitigación de factores bióticos y abióticos del suelo por micorrizas vesículo–arbusculares (MVA) en sistemas de propagación en plátano y banano	84
Figura 32. Modelo de investigación, desarrollo y producción presentado por la empresa nacional LST	86
Figura 33. Modelo de producción y comercialización de bioplaguicidas – LST	87
Figura 34. Etapas de la investigación básica para la producción de biopolímeros (IBUN).....	88
Figura 35. Etapas de desarrollo del producto–biopolímero (levana) de origen microbiano. Instituto Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN).....	89

Figura 36. Etapas de investigación básica (Laboratorio Microbiología del Suelo – Departamento de Biología) y desarrollo de biofertilizantes IBUN– Biocultivos.....	90
Figura 37. Eventos dados dentro del proceso	92
Figura 38. Etapas propuestas para un modelo de bioprospección en microbiología	93
Figura 39. Esquema organizacional y financiero propuesto para el desarrollo de bioprospección en microbiología	95
Figura 40. Conocer, conservar y utilizar, según los bioprospectores vegetales.....	107
Figura 41. Necesidades de especialistas en ciencias naturales, socioeconómicas e ingenierías.....	109
Figura 42. Necesidades de capacitación según los bioprospectores vegetales.....	110
Figura 43. Prioridades en infraestructura, reactivos y equipos, en el área vegetal.....	111
Figura 44. Tipos de derechos de propiedad intelectual usados por los bioprospectores vegetales	111
Figura 45. Modelo de CENICAFÉ obtención de Variedad Colombia	113
Figura 46. Modelo de CENICAFE para la obtención de plantas resistentes a la broca.....	114
Figura 47. Modelo de desarrollo de producción para el uso y conservación de <i>Pachira quinata</i> . Pizano S.A. / Monterrey LTDA.....	115
Figura 48. Modelo Instituto SINCHI. Frutales amazónicos.....	117
Figura 49. Modelo ONG - Comunidad Nasa Juan Tama.....	120
Figura 50. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación.....	128
Figura 51. Ventas de la industria farmacéutica a nivel mundial.....	136
Figura 52. Mercados de la industria farmacéutica en el año 2000.....	137
Figura 53. Ventas de la industria de la botánica medicinal en Estados Unidos.....	140
Figura 54. Principales mercados de la industria de la botánica medicinal en 1996.....	140
Figura 55. Área sembrada con cultivos MG en 1999 (40 millones de ha).....	143
Figura 56. Fuente del germoplasma utilizado por la industria de semillas.....	145
Figura 57. Ventas mundiales de la industria de protección de semillas.....	146
Figura 58. Mercados de la industria de protección de semillas en 1997.....	147
Figura 59. Ventas por producto en 1997.....	147
Figura 60. Marco conceptual A (acceso a recursos genéticos en países que carecen de leyes que regulan su acceso).....	172
Figura 61. Marco conceptual B (acceso a recursos genéticos países que tienen leyes que regulan su acceso).....	173
Figura 62. Modelo 1 (Proyecto de la Universidad de Laussane (Suiza) en Zimbabwe).....	176
Figura 63. Modelo 2 Proyecto del Instituto Nacional de Cáncer en Sarawak (Malasia).....	177
Figura 64. Modelo 3 (A) CGIB de Chile, Argentina y México y Modelo 4 (B) GCIB de Surinam.....	178
Figura 65. Modelo 5 El INBio y compañías de farmacéuticas y biotecnológicas en Costa Rica.....	179
Figura 66. Modelo 6 Relación contractual en un país con leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos. Ejemplo de Filipinas.....	180
Figura 67. Modelo de distribución de regalías de los GCIB de Chile, Argentina, México y Surinam ..	182
Figura 68. Modelo de distribución de beneficios en el proyecto de la Universidad de Laussane en Zimbabwe.....	183
Figura 69. Modelo de distribución de beneficios en el proyecto del INC en Sarawak	183
Figura 70. Modelo de distribución de regalías de los proyectos de INBio en Costa Rica.....	184
Figura 71. Modelo de distribución de regalías en el proyecto de la Universidad de Utah y el Gobierno de Filipinas.....	184

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Temas presentados durante los talleres nacionales.....	28
Tabla 2. Especialidades necesarias para realizar investigaciones en bioprospección.....	34
Tabla 3. Necesidades de capacitación.....	34
Tabla 4. Prioridades de infraestructura y equipos.....	34
Tabla 5. Áreas que deben fortalecerse en la formación profesional.....	36
Tabla 6. Propuesta de programa sobre bioprospección de sustancias químicas de origen marino útiles en el sector industrial.....	40
Tabla 7. Entidades que participaron con ponencias en el área animal.....	48
Tabla 8. Principales objetivos según el instrumento de análisis.....	51
Tabla 9. Principales pasos según el instrumento de análisis.....	53
Tabla 10. Principales actividades según el instrumento de análisis.....	55
Tabla 11. Necesidades de profesionales.....	57
Tabla 12. Aspectos que deben fortalecerse en el sistema universitario.....	58
Tabla 13. Entidades que participaron con ponencias en el área de microbiología.....	65
Tabla 14. Sinopsis de respuestas obtenidas sobre la pregunta 1. ¿Qué pasos de investigación propone para desarrollar bioprospección en su área temática?.....	71
Tabla 15. Sinopsis de respuestas obtenidas sobre la pregunta 2. ¿Cuáles podrían ser los objetivos de investigación en su área de trabajo para un programa nacional de bioprospección?.....	71
Tabla 16. Sinopsis de respuestas obtenidas sobre la pregunta 3: ¿Cuales podrían ser las actividades de investigación en su área de trabajo para cumplir los objetivos formulados en la pregunta 2?.....	71
Tabla 17. Especialidades o profesionales propuestos como necesidad para realizar investigación en bioprospección.....	74
Tabla 18. Necesidades de capacitación para programas en bioprospección.....	75
Tabla 19. Prioridades en infraestructura, equipos e insumos requeridos.....	75
Tabla 20. Áreas a fortalecer en la formación de personal.....	77
Tabla 21. Entidades y temas presentados durante los talleres nacionales.....	99
Tabla 22. Sector con el que se relaciona la actividad de investigación.....	108
Tabla 23. Especialidades o profesionales propuestos como necesidad para realizar investigación en bioprospección.....	109
Tabla 24. Necesidades de capacitación para programas en bioprospección vegetal.....	110
Tabla 25. Entidades que participaron en ponencias en el área de ecología.....	123
Tabla 26. Especialidades necesarias para realizar investigaciones en bioprospección.....	128
Tabla 27. Necesidades de capacitación.....	128
Tabla 28. Contribución de los recursos genéticos a 150 medicamentos.....	138
Tabla 29. Especies que más se vendieron en 1996 en Estados Unidos.....	141
Tabla 30. Estimación de las ventas anuales de la industria biotecnológica (áreas diferentes a la farmacéutica y agricultura).....	148
Tabla 31. Tendencias de mercados y demandas por recursos genéticos de las principales industrias que se benefician de la biodiversidad.....	150
Tabla 32. Beneficios monetarios y no monetarios.....	162

PRESENTACIÓN

La bioprospección y la ecología química marina son ciencias jóvenes, y tanto conceptos generales como metodologías tienden a cambiar rápidamente. Durante las últimas décadas los bioensayos han tenido un progreso desde aquellos diseñados a evaluar la actividad química sin tener en cuenta la función ecológica hasta aquellos con relevancia ecológica y conducidos bajo condiciones de campo. A nivel global se han llevado a cabo estudios sobre bioactividad en varios grupos de organismos marinos, entre los cuales vale la pena mencionar esponjas, cnidarios, equinodermos, tunicados, algas, bacterias y hongos.

En Colombia, en colaboración entre INVEMAR y los Grupos de investigación en química de productos naturales marinos, hasta el momento se han colectado para evaluación de bioactividad y estudios químicos, alrededor de 60 especies de esponjas, dos de estrellas de mar, dos de estrellas quebradizas, y dos de octocorales.

Entre las esponjas, de 30 especies se han registrado resultados positivos de actividad biológica (especialmente antimicrobiana, citotóxica, ictiotóxica, antitumoral). De diez de estas se han hecho estudios químicos detallados de metabolitos secundarios activos. Paralelamente, se han aislado e identificado los esteroides y ácidos grasos de 13 géneros de esponjas, encontrándose algunas estructuras novedosas y se ha aportado información que sirve para clarificar su taxonomía y relaciones filogenéticas.

Como resultado total se han logrado identificar cerca de 160 compuestos. 25 de estos son nuevos en la naturaleza, entre los cuales se encuentran esteroides, ácidos grasos, terpenos, furanosesterterpenos, y sesquiterpenos nitrogenados; además de su función académica, ya que han servido como base para numerosas tesis de pregrado, maestría y doctorado.

Todos estos trabajos se han podido desarrollar a partir de la colaboración con INVEMAR, en cuanto a colecta e identificación de material, realización de algunas pruebas de bioactividad *in-vitro* e *in-situ* y, últimamente, en la realización de estudios exploratorios del papel que las sustancias bioactivas cumplen en las esponjas que lo producen.

En los laboratorios de INVEMAR se han probado y estandarizado, aunque de manera esporádica, algunos de los ensayos de bioactividad (antimicrobiano, de toxicidad, de citotoxicidad, antidepredador y antiepibiótico), y se han realizado tanto sobre extractos crudos como sobre fracciones o sustancias puras. Empero, los grupos de investigación en química de productos naturales han debido realizar, no sin dificultad, algunas de sus propias pruebas, o llevarlas a cabo en convenio con otras instituciones nacionales o extranjeras, especialmente aquellas que tienen que ver con líneas de células cancerígenas.

En el caso particular de las macroalgas marinas, a nivel mundial, se han realizado cerca de 800 publicaciones sobre estudios de bioactividad, en los cuales se registra el aislamiento de alrededor de 500 a 600 metabolitos secundarios. Muchos de estos compuestos poseen una fuerte actividad biológica en ensayos de laboratorio, pero su función ecológica bajo condiciones naturales sólo se

ha comenzado a estudiar recientemente. Dentro de las funciones más importantes se destacan su papel como antidepredadores, anticolonizadores (antifouling) y de función agresiva (alelopáticos).

Dicha información es prioritaria ya que es la base sobre la cual se sustenta el protocolo de bioseguridad, establecido a nivel mundial y ratificado por Colombia. Además, el mandato de Jakarta considera la biodiversidad genética y de productos naturales como un elemento clave en el desarrollo económico de países como Colombia, que por su gran biodiversidad, tiene posibilidades de obtener ganancias a partir del procesamiento y la comercialización de productos naturales derivados de la Bioprospección.

En este sentido, la investigación en Bioprospección es una fase que el país debe asumir en su costo financiero, ya que se fortalecen los grupos Nacionales de investigación y así se dan las herramientas básicas de conocimiento para desarrollar por sí mismos la obtención y comercialización de sustancias promisorias, o para negociar con argumentos con países o empresas dispuestas a realizar la posterior inversión riesgoza cuando se trata de obtener productos farmacéuticos.

Capitán de Navío
FRANCISCO A. ARIAS ISAZA
Director Instituto de Investigaciones
Marinas y Costeras - INVEMAR

PRÓLOGO

Desde que el hombre comenzó a utilizar los elementos que el medio natural le ofrecía, emprendió una etapa de explorar, identificar, utilizar, transformar y domesticar especies que le representaban algún tipo de beneficio. Sin embargo, en la actualidad esta búsqueda se ha intensificado y se busca que mediante el empleo de tecnología de punta se logre dar un mejor uso y manejo sostenible a los recursos naturales, no solo desde el punto de vista de beneficio económico, si no también a nivel de conservación de las especies. Dicha actividad se conoce como bioprospección o prospección biológica.

Aunque el término de bioprospección es una denominación nueva, existe una historia muy antigua que describe el uso de procesos biológicos para la fabricación de productos, la cual abarca desde el empleo de la fermentación alcohólica en épocas anteriores, pasando por la fabricación de antibióticos, hasta el uso actual de la proteómica y la genómica para abrir nuevas perspectivas de uso y acceso a recursos que antes no se conocían.

Los investigadores que desarrollan su labor en áreas de las ciencias naturales e ingenierías y que de alguna manera derivan sus conocimientos hacia la prospección del recurso, han visto la importancia de éste desarrollo y la necesidad de trabajar de manera interdisciplinaria. En éste contexto el Ministerio del Medio Ambiente, la Universidad Nacional de Colombia con el Departamento de Biología y el Instituto de investigaciones Marinas INVEMAR, organizaron una serie de talleres y cursos en la Universidad Nacional sede Bogotá, así como talleres regionales en varias partes del país, para identificar las líneas de investigación más fuertes y con posibilidad de continuar desarrollos en bioprospección, además de debilidades y fortalezas en las áreas animal, plantas, microorganismos, organismos marinos y ecología.

Los talleres contaron con la participación de investigadores de universidades, institutos de investigación, ONG, centros de investigación, empresas, así como algunos industriales y representantes de comunidades. Los aportes contenidos en éste libro podrían ser considerados principalmente como elementos importantes para trazar estrategias para la bioprospección en Colombia, así como también para el desarrollo educativo del país.



CONSUELO BURBANO M.

**Directora Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia**

INTRODUCCIÓN

Carmen Reyes¹
Francisco Gutiérrez²
Consuelo Burbano³

Como lo anota Alfred Crosby " *...gracias a la revolución del neolítico el hombre accedió al control directo y a la explotación de numerosas especies. Hace unos 4.000 – 5.000 años los hombres del sudoeste asiático ya habían completado la domesticación de la totalidad de plantas de cultivo y animales domésticos de importancia crucial para la civilización del viejo mundo, tanto entonces como en el presente... Las culturas americanas por su parte, domesticaron menos animales, que sus parientes del oriente medio, en versión de algunos, tal vez porque consideraban a los animales su igual y no como siervos potenciales. Los dioses del nuevo mundo a diferencia de los del viejo mundo no concedían a los humanos dominio sobre los peces del mar, sobre las aves del cielo y sobre cualquier ser viviente que corriera sobre la tierra...* ". A partir de entonces son muchas las cosas que se han descubierto y contribuido de manera eficaz, a mejorar la calidad de vida de un alto porcentaje de la población mundial. Para lograr tanto lo primero, como lo segundo el hombre ha necesitado un largo tiempo, y la valiosa capacidad de algunos seres humanos de observar atentamente la naturaleza y entender la información y el conocimiento que esta le brinda. Actualmente conocemos muchas cosas, pero aun hay más a la espera de algunas mentes atentas que las perciban y comprendan.

La prospección, referida a la exploración en búsqueda de algo, como yacimientos, agua, recursos, etc., orientada con un propósito definido ha sido una de las fuerzas que mueve y ha movido a hombres, estados, agencias comerciales, y laboratorios de toda índole a nivel mundial, a la búsqueda incesante de recursos, información y conocimiento. El descubrimiento de nuevas tierras, el viaje aventurado a territorios desconocidos u hostiles, en muchos casos cargados de componentes mágicos o al menos misteriosos, donde se podía perder la vida, no fueron obstáculo para que hombres osados lideraran empresas que llegaron a significar el progreso de un estado.

Gracias al caudal de conocimientos y a los progresos materiales y culturales, los hombres europeos de fines de la edad media estuvieron en condiciones de extender su control y dominio a territorios ultramarinos. Con ello proporcionaron al viejo continente, además de los minerales preciosos, una serie de productos naturales y materias primas que en gran medida dinamizaron el comercio y contribuyeron a la riqueza de naciones que como Portugal, España y Holanda en primera instancia y luego Inglaterra y Francia se disputaron el control de la producción, la comercialización y el transporte de bienes.

Para darnos una idea de la importancia cultural que puede llegar a tener un nuevo producto, recuérdese que: " *...Antes del descubrimiento de América el viejo continente endulzaba sus platillos con miel, y que el azúcar procedente de plantaciones americanas, mucho más barato, contribuyó a popularizar el café, el té, y el chocolate, o puso alcance de las clases populares una larga serie de artículos de pastelería y bebidas. Mientras el*

¹ Profesora Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia

² Ministerio del Medio Ambiente, Unidad de Ecosistemas

³ Profesora Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia

tabaco se convertía en símbolo de prestigio, alimentos como la papa, después de vencer hostilidades y prejuicios se constituía en artículo básico de la dieta europea, y el tomate daba sabor a platos antes algo insípidos..." (Shepard, 1970).

A finales de la edad moderna la exploración cambia su nivel de resolución; en el siglo XIX los cazadores de microbios y en el siglo XX los cazadores de genes cruzan otros océanos y descubren nuevos secretos de la naturaleza material que ponen a disposición de la salud, la alimentación y la riqueza de los hombres.

Humboldt, Mutis, Livingstone, Pasteur, Fleming, Zeiss, son algunos de los nombres del pasado; en el presente Nirenberg, Ochoa, Korana, Sanger y Barrel, Maxam y Gilbert, O'Farrel, Mullis, entre muchos otros han abierto las puertas a una nueva tecnología, de la mano de los supercomputadores. Estas innovaciones se han hecho extensivas a todas las ramas de la ciencia, por lo cual los avances en los últimos 40 años en la producción de información, conocimiento y aplicación tecnológica son deslumbrantes.

En tiempo reciente la utilización de recursos biológicos y genéticos como materia prima para desarrollar productos farmacéuticos, agrícolas e industriales, económicamente rentables, recurriendo especialmente a la biotecnología constituye una nueva forma de uso de la biodiversidad. Métodos biotecnológicos como el uso de marcadores moleculares (AFLP, RFLP, microsátélites, minisátélites, ADN ribosomal, etc.), marcadores bioquímicos (isoenzimas), técnicas para estudios de metabolitos (cromatografía, RMN, etc.) o técnicas de identificación y selección rápidas (ELISA, etc.) permitirán incrementar las tasas de utilización y potenciación de los recursos genéticos en salud, agricultura e industria.

Las ventajas comparativas de los países industrializados y los países con una alta diversidad biológica, han llevado a replanteamientos sobre la forma en que deben darse las relaciones entre los países y las agencias comerciales para lograr acuerdos que conduzcan a un beneficio mutuo y al desarrollo de soluciones para algunos de los problemas del hombre.

Estas y otras reflexiones llevaron a que en 1992, se celebrara en Río de Janeiro lo que se llamó la Cumbre de la Tierra, en la que sectores de la sociedad, preocupados por el futuro del planeta, acordaron una serie de proposiciones para lograr un futuro mejor. En este contexto 150 naciones firmaron el Convenio sobre Diversidad Biológica - CDB, que generó el compromiso global de conservar y utilizar sosteniblemente los recursos y garantizar la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos biológicos y genéticos.

El artículo 1 de la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB), establece como objetivos la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios resultantes de la utilización de los recursos. Para lograr esto es necesario el acceso adecuado a los recursos y la transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en consideración todos los derechos sobre esos recursos y tecnologías y un adecuado financiamiento.

En Colombia, el Convenio se ratificó mediante la ley 165 de 1994, y uno de los principales compromisos adquiridos en cumplimiento del Convenio es el de integrar la conservación y el uso sostenible en los planes, programas y políticas sectoriales e intersectoriales (Fandiño y Ferreira, 1998), teniendo en cuenta los siguientes principios:

La biodiversidad es patrimonio de la nación y tiene valor para el desarrollo presente y futuro. Los beneficios derivados de su uso deben ser utilizados de manera justa y en forma concertada con la comunidad.

En este marco conceptual y legal, la bioprospección se articula como una herramienta que utilizada apropiadamente, puede conducir al aumento del conocimiento sobre nuestros recursos y a su aplicación en procesos de desarrollo productivo, que conduzcan a mejorar el ingreso y la calidad de vida de los ciudadanos.

El término bioprospección posee múltiples definiciones, como las que se mencionan a continuación:

* Búsqueda intensa de metabolitos novedosos a partir de fuentes naturales, tradicionalmente de microorganismos, pero también de plantas y animales (Chapela, 1996). Esta definición se amplía a otras actividades que se desarrollan para un mayor uso de la biodiversidad como la búsqueda de genomas de importancia económica, componentes biológicos primarios como fibras y alimentos, y otros productos, como colorantes, medicinas naturales, especies, frutas tropicales, nueces y maderas (Ferreira *et al.*, 1996).

* Investigación realizada para identificar especies, variedades, genes y productos con usos actuales o potenciales por parte de la humanidad. Juega un papel fundamental para el uso y protección racional de la biodiversidad (Sittenfeld y Gámez, 1993).

* Búsqueda de recursos químicos y genéticos de valor comercial a través de la investigación y análisis de la diversidad biológica y del conocimiento tradicional indígena (RAFI, 1994).

* Búsqueda de materia viva con propiedades medicinales, industriales, farmacológicas y biotecnológicas, con marcadas implicaciones sociales, culturales, económicas, jurídicas y políticas (Carrizosa, 2002).

* Búsqueda de información a partir de especies biológicas para su uso posterior en procesos de producción en diversos sectores. Ejemplo de esa información es la contenida en el material genético de todos los seres vivos (prospección genética), en los compuestos químicos que producen (prospección química) o en el conocimiento tradicional (Alatorre, 1995).

Los procesos de bioprospección son una forma de anticiparse o abrir la puerta a lo desconocido; los ojos y oídos atentos durante las actividades de búsqueda de los recursos y la experiencia de los viajes, en los que se recoge saber popular permiten plantear cosas distintas, innovaciones y hasta nuevos procedimientos tecnológicos e investigativos. En este proceso se reconoce que la relación íntima entre los pueblos y sus recursos hacen al factor humano esencial en los procesos de búsqueda y también en la conservación de los recursos (D. Debouck, comunicación personal, 2002).

Desde la perspectiva más innovadora y de alta tecnología, los renglones más promocionados para colaboraciones de bioprospección son los de la industria farmacéutica y biotecnológica, que cotizan acciones en el mercado. El descubrimiento de fármacos novedosos ha sido históricamente del dominio de las grandes compañías farmacéuticas, en razón del alto riesgo y de las inversiones a largo plazo que generalmente sólo dejan ganancias después de 20 años.

En el renglón farmacéutico el presupuesto dedicado a la identificación de fuentes, rara vez excede el 1% de la inversión total en investigación y desarrollo, es decir, unos U\$125 millones al año, disponibles para la bioprospección proceden de la industria farmacéutica en todo el mundo.

Por el contrario las compañías de biotecnología son empresas que trabajan con capital de riesgo y confían en un retorno rápido de su capital. En 1991 estas compañías reinvertieron en promedio 46% de su ingreso en investigación y desarrollo, y la situación no ha cambiado mucho desde entonces. En una revisión de las industrias farmacéuticas y de biotecnología se señala la diferencia entre ambas; para fin del año 1992, en tanto que 87 compañías de biotecnología habían perdido un promedio de U\$7,6 millones cada una, las compañías farmacéuticas establecidas tenían un promedio de utilidades de U\$1.000 millones por compañía (Chapela, 1996).

Desde otra perspectiva, la erosión genética es uno de los mayores problemas del mundo industrializado y la región tropical posee centros de diversidad genética de algunos de los más importantes cultivos y animales comerciales del mundo, lo cual le da un carácter estratégico para la seguridad de la alimentación mundial (Alarcón, 1996). La utilización de recursos genéticos en la agricultura depende del proceso de domesticación, una actividad realizada por muchas poblaciones nativas. En los tiempos modernos, la domesticación empieza en los bancos genéticos “in situ” con la selección y adaptación ecológica de materiales genéticos que presentan características económicas importantes; cuanto más intensa es la caracterización de la variabilidad genética y su introducción en bancos de germoplasma, mayores son las probabilidades de una domesticación exitosa y su utilización por parte del hombre (Ferreira *et al.*, 1996).

La bioprospección de recursos genéticos a partir de cultivares o hatos y de parientes silvestres, que a veces son de amplia distribución geográfica es uno de los asuntos que con mayor interés se desarrolla en la actualidad. Las variedades criollas, con sus capacidades de adaptación, rusticidad, resistencia a enfermedades y plagas, van a seguir siendo un germoplasma importante en la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios mundiales (D. Debouck, comunicación personal, 2002).

En relación con lo anterior, en estos momentos, existe una creciente demanda por acceso y utilización de los recursos genéticos parte de las compañías biotecnológicas de los países industrializados. Por ello, existe siempre el peligro potencial de acceso a estos recursos sin que medie una compensación justa y equitativa de los beneficios que deriven de su utilización. La Convención de la Diversidad Biológica afortunadamente reglamenta el acceso a los recursos genéticos y establece que los Estados poseen derechos soberanos sobre sus recursos naturales (Art. 15), y pueden regular el acceso a ellos y negarlo si va en contra de sus intereses (Decisión Andina 391 de 1994). También establece el principio de información y consentimiento previos y el derecho a una distribución justa y equitativa de los beneficios.

Colombia, al igual que muchos países latinoamericanos, posee ejemplos de recursos genéticos y de muestras biológicas salidas por diferentes canales, y muchos de ellos posiblemente han retornado y retornarán como productos con derechos de propiedad intelectual sujetos al pago de regalías que paradójicamente aún siendo propietarios de las muestras biológicas y de los recursos genéticos tenemos y tendremos que cancelar para poder utilizarlos.

“En la actual coyuntura las colaboraciones de bioprospección a nivel mundial se dan en un campo tenso donde los socios potenciales son los siguientes: comunidades locales cercanas a los recursos. ONG, que por lo regular apoyan

técnicamente a esas comunidades. Comunidad de la conservación que incluye individuos, científicos, activistas, negociadores y analistas. Instituciones gubernamentales, organizaciones que otorgan financiamiento. Pequeñas industrias con inversión muy alta en investigación. Grandes empresas farmacéuticas transnacionales. Las agendas de prioridades de cada uno de los protagonistas son por definición contrastantes y con frecuencia afectan los intereses de los otros socios. De hecho la cualidad más importante de una colaboración de bioprospección exitosa es el grado en que estos intereses contrapuestos puedan llevar al diálogo y a acuerdos” (Chapela, 1996).

Todo lo anterior, permite estimar que previo al desarrollo de actividades de bioprospección en cualquier país, es necesario reforzar el marco legal, la concientización y la capacidad de fiscalización del país, definir políticas de acceso a recursos genéticos y derechos de propiedad intelectual siguiendo lo establecido por la CDB. Además, es necesario fortalecer la capacidad técnica y científica del país, y aclarar las implicaciones de la bioprospección y los derechos de propiedad intelectual sobre la biodiversidad. Finalmente, es necesario generar coherencia normativa y procedimental, para aspectos como la investigación, el acceso a recursos genéticos, la biotecnología y la bioseguridad, pues en Colombia se manejan como asuntos independientes y no relacionados, cuando es precisamente todo lo contrario.

Citando a Feinsilver (1996) se debe tener en cuenta que *“la identificación y evaluación de la diversidad biológica en América Latina y el Caribe puede emplearse como método para fomentar el desarrollo científico y tecnológico, sobre todo en cuanto a biotecnología, biología celular y molecular, bioquímica, fitoquímica, fitofarmacología, micología, farmacognosia, farmacología, biología de la conservación y etnobotánica con los consiguientes beneficios económicos. Asimismo, la investigación en esos campos puede conducir a la conservación y uso sostenido de los recursos biológicos. Por otra parte, los productos colaterales del desarrollo biotecnológico ofrecen beneficios económicos intersectoriales en el campo de la biomedicina, la agricultura, la ingeniería, las ciencias de la computación, la educación y la industria”.*

Lo importante es que la bioprospección debe ser entendida como una forma de generación de conocimiento y de información, que contrario a su contenido real y formal ha sido ligada a procesos únicamente biotecnológicos y de mejora de especies y organismos con fines estrictamente comerciales. La bioprospección, en sí misma cumple integralmente con las cinco concepciones principales del desarrollo de una sociedad: la biológica, la económica, la política, la cultural y la integral. En investigación básica, aplicada y generadora de tecnologías, aumenta el bienestar y propende por mejoras en la salud, la alimentación; puede ser generadora de bienestar económico y de oportunidades, construye opinión, y derecho a la participación, valora y enriquece la cultura, y difunde sus resultados, al hacerlo públicos. Es decir, es coherente con el postulado de que el desarrollo auténtico y sostenido es integral: a la vez biológico, económico, político y cultural. Ésta es, en resumen, la concepción integral del desarrollo (Bunge, 1980).

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS

*Federico Newmark Umbreit⁴
Marisol Santos-Acevedo⁵*

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de compuestos químicos que faciliten la resolución de algunos problemas que plantea la vida actual, el hombre ha mirado hacia los organismos marinos como fuente de nuevas estructuras y sustancias químicas, ya que los resultados positivos provenientes de organismos terrestres están comenzando a disminuir. Las bacterias, hongos, esponjas, octocorales, tunicados y algas son los grupos marinos con mayor cantidad y variedad de compuestos químicos secundarios con potencial farmacológico, cuyos usos posibles van desde compuestos antibacteriales, hasta pinturas que eviten el establecimiento de organismos marinos sobre estructuras sumergidas, pasando por anticancerígenos, cardiotónicos, antiinflamatorios, antivirales, antitumorales, anticoagulantes, inmunomoduladores y neurotóxicos, e incluyendo toxinas para investigación. Los compuestos activos que producen los que viven fijos al fondo sin posibilidad de movimiento, parece que son utilizados para defenderse de sus depredadores, de infecciones, de organismos que los quieran usar como sustrato, y de los vecinos con los que tienen que competir por el espacio y el alimento.

En el Caribe y Pacífico colombiano existe una gran biodiversidad específica de organismos marinos ricos en sustancias bioactivas. En Colombia existe un grupo de investigación consolidado en productos naturales marinos en los Departamentos de Química y de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia, y se están gestando dos más, uno en la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Antioquia, y otro en el Departamento de Farmacia de la Universidad de Cartagena. El primer grupo ha logrado aislar e identificar un buen número de sustancias antibióticas y citotóxicas de esponjas marinas, obtenidas de la región de Santa Marta, a través de convenios con el INVEMAR. Estos grupos de investigación necesitan de la experiencia de campo, taxonómica y biológica de INVEMAR para la obtención, identificación apropiada, y ensayos de actividad biológica de las muestras a ser químicamente analizadas. Como sus investigaciones dependen en gran medida de financiación externa, se propone que el Estado, propicie los medios para que el INVEMAR, asuma la dirección y la financiación de los costos de exploración, obtención, identificación y ensayo de actividad de los organismos marinos, y mantenga colecciones de referencia de ellos, preservados para futuras comprobaciones de tipo taxonómico. Aunque el camino para producir medicamentos es largo, es necesario continuar con

⁴ Coordinador (E) Programa Valoración y Aprovechamiento de los Recursos Marinos y Costeros (VAR) - INVEMAR

⁵ Investigadora auxiliar Programa Valoración y Aprovechamiento de los Recursos Marinos y Costeros (VAR) - INVEMAR

la fase de exploración e investigación, que lleve a un censo del potencial de biodiversidad de productos naturales del país, y que le de valor agregado por conocimiento.

De otro lado, se ha venido descubriendo recientemente que una buena cantidad de interacciones entre organismos en los ecosistemas marinos son mediadas químicamente a través de las sustancias bioactivas que producen. En el entendimiento para el manejo y posible control de estos ecosistemas, se vuelve fundamental empezar a investigar el papel ecológico (ecología química) de estas sustancias.

ANÁLISIS TALLERES NACIONALES DE BIOPROSPECCIÓN

En esta sección se analiza la información recopilada durante los dos talleres nacionales sobre bioprospección en Colombia. Dicha información está constituida por las ponencias, comentarios, modelos de investigación y el instrumento de análisis desarrollado por los investigadores participantes que trabajan en el área.

En la Tabla 1 se presentan las entidades participantes, el proyecto y el tema de investigación de los asistentes a los talleres y de otras entidades que enviaron sus resúmenes.

Tabla 1. Temas presentados durante los talleres nacionales

ENTIDAD	TEMA	PROYECTO
C. I. Agrosolead S. A.	Biorremediación	Fitorremediación de aguas y suelos mediante el uso del manglar (Anexo 1.1.1)
Idelcalao	Cultivo de poliquetos	Reproducción y cultivo de poliquetos marinos, como fuente alternativa de alimento fresco para suministrarlo a reproductores de camarón marino (Anexo 1.1.2)
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR	Cultivo de bivalvos	Diagnóstico y evaluación de la factibilidad técnica, biológica y económica del cultivo experimental de moluscos bivalvos de interés comercial en el Caribe (Anexo 1.1.3)
Universidad de Antioquia	Bioactividad, Fitoquímica	Búsqueda de sustancias bioactivas en organismos marinos colombianos (Anexo 1.1.4)
Universidad Nacional de Colombia	Bioactividad, Fitoquímica	Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia (Anexo 1.1.5 y 2.1.1)
Universidad del Valle	Bioactividad, Fitoquímica	Conservación y uso sostenible de la biodiversidad de algas del Pacífico colombiano (Anexo 2.1.2)
Instituto Colombiano del Petróleo / Biosfera Centro de Estudios y Proyectos	Biorremediación	Proceso desde investigación básica hasta comercialización del biofiltro del manglar (Anexo 2.1.3)

Los estudios de bioprospección en el área marina se desarrollan en áreas como fitorremediación, búsqueda de productos bioactivos particularmente en esponjas, algas y corales, y cultivo de organismos marinos como poliquetos y bivalvos. Estas actividades están enfocadas a la solución de problemas como contaminación, mejoramiento y cultivo de especies aprovechables, así como la obtención de productos con sustancias con potencial farmacológico.

La investigación en bioprospección marina se encuentra en estado incipiente, se identificaron solamente siete grupos de investigación dedicados al trabajo en esta área. Los grupos de investigación que están trabajando en el área de organismos marinos en Colombia en su mayoría (4) trabajan con entidades del Estado y universidades de las cuales reciben apoyo financiero, estos

grupos (el del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, el de la Universidad de Antioquia, el de la Universidad Nacional de Colombia y el de la Universidad del Valle) son muy productivos en el ámbito científico, es decir, tienen numerosas publicaciones y aportes a la educación y la ciencia. Algunos grupos (3) son financiados por empresas del sector privado (C. I. Agrosoledad S. A., Idelcalao y el grupo conformado por el Instituto Colombiano del Petróleo y Biosfera Centro de Estudios y Proyectos) que buscan soluciones inmediatas a sus problemas, lo que unido a las facilidades financieras, permite que las investigaciones generen productos que son rápidamente patentados y comercializados.

El Instituto Colombiano del Petróleo - ICP, trabaja desde hace ocho años en la recuperación de suelos afectados por hidrocarburos, mediante el uso de un biofiltro basado en la utilización de plantas de manglar y a sus características fitorremediadoras en la recuperación de suelos hipersalinos sódicos y en los procesos de biorremediación con bacterias degradadoras de hidrocarburos (Sánchez, 2002 conferencia primer taller Anexo 1.1.1).

La empresa C.I. Agrosoledad S.A., trabaja en cultivos de camarón, y actualmente desarrolla un biofiltro de manglar para la biorremediación de las aguas del efluente de la camaronera. También adelanta investigaciones para la producción intensiva de biomasa de *Artemia* (Sánchez, 2002 conferencia primer taller Anexo 1.1.1).

La empresa IDELCALAO LTDA. se encuentra realizando investigación conducente a desarrollar cultivos de poliquetos marinos para sustituir su importación, ya que estos organismos son requeridos por la industria de maduración y reproducción de camarones marinos. En este proceso se analizaron nueve especies de poliquetos y se seleccionaron dos por su tamaño para ser cultivadas. Se logró la reproducción de las dos especies y la maduración y reproducción bajo condiciones de cultivo en laboratorio, estableciendo el ciclo cerrado de reproducción. Adicionalmente se determinaron los requerimientos mínimos para su manejo en cultivo (Velázquez, 2002 conferencia primer taller Anexo 1.1.2).

La investigación proyecta continuar con temas asociados al control de la reproducción, los mecanismos de alimentación y análisis bromatológicos entre otros. Además explorar otras especies de poliquetos en la costa Atlántica y Pacífica (Velázquez, 2002 conferencia primer taller Anexo 1.1.2).

El objetivo del proyecto desarrollado por el INVEMAR fue evaluar la factibilidad biológica, técnica y económica para el desarrollo de la acuicultura de varias especies de moluscos bivalvos en las regiones de Santa Marta y La Guajira. Durante el estudio, se analizaron algunos aspectos económicos, de comercialización y mercadeo del cultivo de bivalvos a nivel piloto. Se complementó la dinámica poblacional de las especies promisorias, se confirmó la baja oferta de semilla y la escasa fijación de juveniles en ambiente natural. Igualmente se compararon las artes y densidades para el cultivo de ostiones (*Liropecten nodosus* y *Argopecten nucleus*) y se logró la reproducción y desarrollo larval de la ostra perlífera *Pinctada imbricata* en el ámbito de laboratorio (Valero *et al.*, 2002. Anexo 1.1.3).

El grupo Productos Naturales Marinos del Departamento de Farmacia de la Universidad de Antioquia, en cabeza de Alejandro Martínez, desde su génesis, ha venido desarrollando proyectos de investigación en líneas relacionadas con la actividad antimicrobiana y antiparasitaria, especialmente a partir de esponjas y algas marinas del Caribe colombiano. Entre los principales

resultados obtenidos hasta ahora se destacan el aislamiento de sustancias de tipo esteroide, el sulfato de halistanol, una sustancia con actividad antimicrobiana y activa contra el virus del sida (Martínez, 2002 conferencia primer taller. Anexo 1.1.4).

Recientemente el grupo ha planteado el desarrollo de un proyecto de tamizaje de esponjas marinas del golfo de Urabá, para explorar si las especies existentes en esta área geográfica hasta ahora inexplorada, contienen sustancias con actividad biológica útil para el potencial desarrollo de medicamentos. Así mismo se están elaborando propuestas de investigación para la obtención de sustancias antiparasitarias, mediante extracción directa a partir de los organismos marinos y por hemisíntesis química (Martínez, 2002 conferencia primer taller. Anexo 1.1.4).

El grupo de investigación Productos Naturales Marinos y Química y Tecnología del Aroma de Frutas de Colombia principalmente genera conocimiento en el campo del estudio y posible aprovechamiento de los recursos naturales marinos (fauna y flora). El estudio de la biodiversidad marina no está solamente ligado a la evaluación de la clase y abundancia de especies sino que va mucho más allá de la simple descripción química y biológica. Es por esta razón que las investigaciones traspasan la frontera de lo biológico y se centran en la química de la fauna y la flora, conocimiento que permite valorar el provecho económico que podría sacarse de las especies por ejemplo, las esponjas marinas y gorgonáceos como fuente de nuevos fármacos y compuestos de uso dermatológico. Además, es importante no olvidar que la química *per se* que se hace en este grupo de investigación por descripción de la composición de cada especie, estudio de las rutas de formación de cada metabolito presente, estudio de la ecología química de las especies etc., son aportes significativos al conocimiento químico universal, lo cual interesa por igual a Colombia y a los demás países del mundo (Duque, 2002 conferencia primer taller. Anexo 1.1.5).

La sección de Botánica de la Universidad del Valle ha venido trabajando en los últimos años en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad regional, enfocando sus esfuerzos hacia la búsqueda de plantas promisorias y productos naturales derivados de valor comercial e industrial. Este trabajo ha sido sustentado gracias a las actividades académicas e investigativas desarrolladas por los docentes y estudiantes adscritos al grupo de investigación en Biología Vegetal Aplicada cuya génesis se remonta desde 1990 cuando se inició un convenio de cooperación académica entre la Universidad del Valle y la Universidad de Carolina del Sur, EE.UU. Desde su génesis, el trabajo investigativo se enfocó hacia el estudio de la ecología, fisiología y uso sostenible de especies promisorias de macrófitas acuáticas y algas marinas, en asocio con el Grupo de Manglares de la Sección de Biología Marina y al apoyo decisivo de la Facultad de Ciencias y el Departamento de Biología de la Universidad del Valle (Peña, 2002 conferencia segundo taller. Anexo 2.1.2).

En los últimos años el grupo ha diversificado el marco de acción trabajando en la biodiversidad y uso sostenible de otros grupos vegetales tales como hongos y plantas medicinales, gracias a la participación de los otros colegas de la sección de Botánica. La experiencia de profesores y estudiantes del grupo alrededor del desarrollo de la línea algas, logró posicionar a la Universidad desde principios de los noventa, como un líder natural en el estudio de este grupo de plantas en el Pacífico colombiano (Peña, 2002 conferencia segundo taller. Anexo 2.1.2).

INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DEL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS

Durante el desarrollo del primer taller se utilizó una encuesta como instrumento de análisis. De los asistentes al taller que diligenciaron la encuesta (91 investigadores) el 12% (11 personas) trabajan en el área de organismos marinos. De estos, cinco investigadores pertenecen a universidades públicas, cinco a empresas privadas y un independiente.

Para el desarrollo de la investigación en bioprospección en el área de organismos marinos se propone como primer paso fortalecer los inventarios y la investigación básica, establecer alianzas entre grupos de investigación, recopilar información y realizar un diagnóstico, con lo cual se estaría en capacidad de establecer el potencial biológico, humano y logístico del país.

Como segundo paso se propone identificar las necesidades de materia prima, bioprospectar especies potenciales, establecer áreas potenciales para extracción de recursos y clasificarlas en uso y conservación, establecer objetivos y prioridades según las políticas nacionales, conseguir financiación por parte de la comunidad internacional y desarrollar líneas de investigación específica. Llevando a cabo este segundo paso se estaría consolidando parte del trabajo en bioprospección, dándole un valor agregado a los productos y le daría al país la posibilidad de establecer alianzas y negociar dichos productos en mejores condiciones.

Un aspecto fundamental en el desarrollo de las investigaciones en bioprospección lo constituye el tercer paso propuesto que contempla programas de vigilancia para el sostenimiento de los recursos y el rescate de la sabiduría popular, aspectos que conllevan al manejo y uso sostenible de los recursos naturales y al respeto y protección de las innovaciones y prácticas tradicionales.

La bioecología con fines productivos y la capacitación y transferencia tecnológica se constituyen en el cuarto paso necesario para realizar investigación en bioprospección.

Para llevar a cabo los pasos propuestos anteriormente es necesario establecer unos objetivos. Los investigadores del área de organismos marinos consideraron prioritarios los siguientes:

- Buscar los organismos que puedan ser cultivados y usados en producción de alimentos, insumos y acuicultura y acuariofilia
- Establecer el papel ecológico de los metabolitos bioactivos y la ecología de las especies, así como las aplicaciones farmacéuticas, cosmetológicas y agroquímicas de dichos metabolitos y sus derivados
- Caracterizar los recursos marinos y evaluar su potencial
- Crear bases de datos que incluyan dicha información al igual que la obtenida de los estudios realizados en ecología química
- Generar investigaciones en nuevas áreas de las ciencias del mar
- Identificar especies potencialmente comerciales y diseñar sistemas propios de producción
- Desarrollar la producción biotecnológica marina
- Relación comunidades-recursos genéticos

Agrupando las respuestas obtenidas en este punto dentro del marco de diversidad biológica se encuentra que el 66% se inclina por conocer, el 9% por conservar y el 25% por utilizar.

Para desarrollar estos objetivos es importante definir políticas claras y que sean ajustadas permanentemente, contar con un Sistema de Información Geográfica de usos y rescatar las aplicaciones tradicionales.

Todo lo anterior permitiría un desarrollo integral del área de la bioprospección en Colombia. Pero dicho desarrollo requiere priorizar las actividades de investigación para cumplir los objetivos trazados. Los investigadores del área de organismos marinos concluyeron que las actividades que se deben desarrollar están comprendidas en las siguientes etapas:

Etapa 1

- Realizar inventarios e investigación taxonómica
- Evaluar la actividad biológica y aislamiento de productos bioactivos
- Obtener información sobre explotación de recursos pesqueros residuos industriales y zonas afectadas
- Establecer una red de comunicación permanente nacional e internacional y formular proyectos de investigación y desarrollo

Etapa 2

- Desarrollar bioensayos de bioactividad *in vitro* y en campo
- Caracterizar y evaluar la ecología y viabilidad de los organismos promisorios
- Estudiar la biología bioquímica de los organismos y de los metabolitos
- Formar especialistas en bioprospección

Etapa 3

- Desarrollar técnicas de cultivo
- Implementar nuevas tecnologías y el diseño de sistemas piloto de aplicación
- Buscar fuentes de financiación

Etapa 4

- Fortalecer las instituciones que realizar investigación
- Comercializar los productos.

Las actividades propuestas para desarrollar los objetivos se pueden agrupar dentro del marco del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) y tenemos que el 52% se inclina por conocer, el 8% por conservar y el 40% por utilizar, dejando claro que la prioridad tanto al plantear objetivos de investigación como al desarrollarlos es conocer y el punto menos tenido en cuenta es conservar. También es de gran importancia el conocimiento de otros modelos de desarrollo en el área de bioprospección para poder definir claramente el modelo que se ajusta más a la realidad colombiana.

En el área de organismos marinos un 52% de las personas que contestaron la encuesta no conoce a profundidad ninguna experiencia internacional en bioprospección (Figura 1), lo que refleja un desconocimiento de los investigadores en el área de los trabajos realizados en el ámbito internacional, debido posiblemente a dificultades para acceder a la información. Las experiencias en bioprospección de España, Israel, Costa Rica, Japón y Alemania, son conocidas cada una de ellas por el 7% y la experiencia de Estados Unidos por el 13%.

Los investigadores consideran relevantes para su trabajo de investigación experiencias como las de Harvor Branch Oceanographic Institution, California, EE.UU.; la Red Nacional de *Bacillus*

thurigiensis lideada por COLCIENCIAS; Biomar de España e INBio de Costa Rica, el Max Plank Institute en Göttingen, Alemania, que trabaja en la extracción de medicamentos a partir de esponjas marinas para enfermedades cardiacas y nerviosas y la experiencia de un grupo en Japón que trabaja embriogénesis de equinodermos contra metástasis.

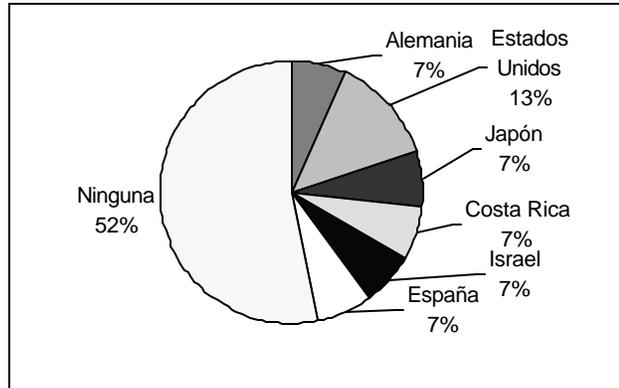


Figura 1. Experiencias en bioprospección que conoce con profundidad

También es importante establecer las áreas que se encuentran más relacionadas con la investigación en bioprospección, información que permitirá fortalecer la formación académica de dichas áreas y consolidar el proceso tecnológico en el país. Dentro del área de organismos marinos los sectores más relacionados con la actividad de investigación son (Figura 2): Farmacia, industria de alimentos y bioprocesos (15%); seguido por botánica medicinal e industria cosmética (12%) biorremediación (9%) y medicina (6%). Otros sectores son: agentes de protección de cultivos agrícolas, ornamental, eventos naturales o de origen antrópico, acuicultura, pesca, biorreparación, biotratamientos y biotecnología ambiental (3%). El mayor interés investigativo se enfoca en el área farmacéutica, y áreas afines como la botanica medicinal, la medicina y la industria cosmética. Otro sector en el cual se vienen desarrollando investigaciones es el relacionado con la industria de alimentos y como tercer área de interés se encuentra la biotecnología ambiental.

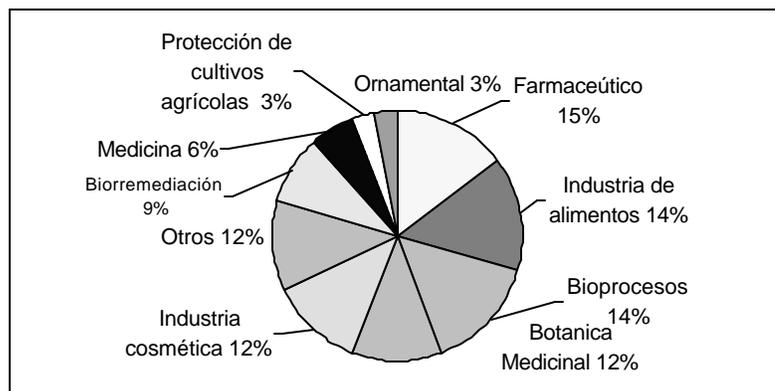


Figura 2. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación

Las tablas que se muestran a continuación reflejan la opinión de los encuestados, pero como son preguntas con respuestas múltiples la columna número agrupa a todas las personas que consideraron entre sus respuestas esa opción.

En la Tabla 2 se muestra la especialidad del personal que se requiere para garantizar el éxito de las investigaciones en bioprospección en el área de organismos marinos. En este punto se destaca la necesidad de biólogos y bioquímicos pero se refleja la necesidad de realizar trabajos de manera integral con otras áreas de la ciencia y la tecnología.

Tabla 2. Especialidades necesarias para realizar investigaciones en bioprospección

ESPECIALIDADES	No	ESPECIALIDADES	No
Biólogo	4	Diseñador industrial	1
Bioquímico	4	Ecólogo	1
Biólogo marino	3	Fisiólogo	1
Zoólogo	3	Genetista	1
Microbiólogo	2	Ingeniero agrónomo	1
Químico farmaceuta	2	Ingeniero de alimentos	1
Acuacultor	1	Ingeniero de sistemas	1
Biogeoquímico	1	Ingeniero hidráulico	1
Biólogo celular	1	Ingeniero pesquero	1
Biólogo molecular	1	Parasitólogo	1
Botánico	1	Químico	1
Comercio internacional	1	Químico orgánico	1

Separando las respuestas por áreas del conocimiento se tiene: Ciencias Naturales: 83%, Ciencias Económicas: 3%, Ingenierías: 14%. Del área de las Ciencias Naturales el 62% requieren alguna especialización relacionada con biología y el 38% con química. La influencia de otras disciplinas aún no es muy marcada particularmente de la economía que sólo tiene el 3% de requerimiento.

Dentro de los grupos de trabajo se establecieron las necesidades de capacitación para optimizar la investigación en bioprospección. Dichas necesidades se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Necesidades de capacitación

CAPACITACIÓN	No	CAPACITACIÓN	No
Bioprocesos	7	Técnicas fitoquímicas	3
Técnicas bioquímicas	5	Genómica	3
Otros	5	Proteómica	2
Bioética	4	Química combinatoria	2
Negociación de tecnologías	4	Cultivo de poliquetos	1
Técnicas en biología molecular	4	Recuperación de metales con algas marinas	1
Mercadeo	3	Biorremediación	1
Bioinformática	3	Histología	1
Legislación	3	Hidráulica	1
Mejoramiento	3		

Para desarrollar los proyectos de investigación en el área de bioprospección hay una serie de requerimientos en infraestructura y equipos, la prioridad de dichos requerimientos en el área de organismos marinos es la siguiente (Tabla 4):

Tabla 4. Prioridades de infraestructura y equipos

Prioridades	No	Prioridades	No
Laboratorios y equipos de laboratorio	13	Apoyo de laboratorios para detección de hidrocarburos y contaminantes	1
Acceso a información	2	Infraestructura para colecta, almacenamiento y caracterización	1
Reactivos	2	Transporte	1

El mayor déficit es de laboratorios y equipos, es decir, no hay espacios adecuados ni los equipos necesarios para desarrollar investigaciones en bioprospección. Dentro de los equipos de laboratorio se destacan los especializados y de alto costo, validando la necesidad de crear un centro con todos los equipos y reactivos necesarios, para que sean aprovechados por todos los grupos de investigación, minimizar costos y poder acceder a los recursos. También es importante resaltar la dificultad para acceder a la información, la deficiencia de infraestructura para realizar los muestreos, el posterior almacenamiento del material y las dificultades de transporte.

Un punto importante en cuanto a los lineamientos para la investigación en bioprospección es el uso de la información. Mediante el instrumento de análisis se detectó que la mayoría considera importante que los resultados se aprovechen buscando alianzas con empresas para la comercialización (54%), mientras un 23% prefiere que los resultados sean aprovechados por su grupo de investigación. El 23% restante está distribuido entre los que consideran que hay que negociar la transferencia del conocimiento y debe ser aprovechada por la comunidad afectada y los que considera que ninguna de las opciones es la indicada (Figura 3).

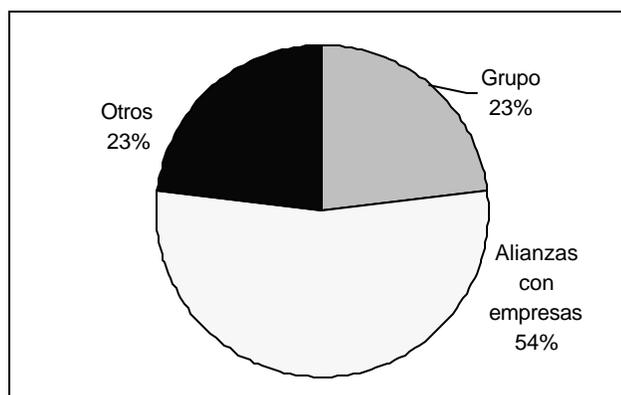


Figura 3. Aprovechamiento de los resultados de las investigaciones

Finalmente durante la discusión llevada a cabo en el taller se concluyó que los resultados deben ser aprovechados por todos; se hizo énfasis en que para lograr una mejor posición en el proceso de negociación con las posibles empresas aliadas, es fundamental dar VALOR AGREGADO a la biodiversidad. No venderla como materia prima, sino vender según el avance que se vaya logrando, el conocimiento del potencial, de la composición, el insumo, el producto biotecnológico, el modelo de biorremediación, etc. También se identificó como importante el llegar a una valoración de la biodiversidad según para qué se vaya a usar, cuánto cuesta y qué se puede vender de ella.

La mayoría de los investigadores del área de organismos marinos asistentes al taller y que diligenciaron el instrumento de análisis no han utilizado nunca mecanismos de propiedad intelectual (64%), mientras que el secreto comercial y las patentes son utilizados cada uno por el 18% (Figura 4). Con estos resultados se muestra el grado de desconocimiento de los procesos relacionados con los derechos de propiedad intelectual, por lo que en la discusión final del primer taller se propuso que se realice una cartilla o documento sobre derechos de autor, propiedad intelectual, patentes y demás, o al menos que se identifiquen (en la página web de bioprospección) las oficinas, personas o documentos donde se puede encontrar dicha información.

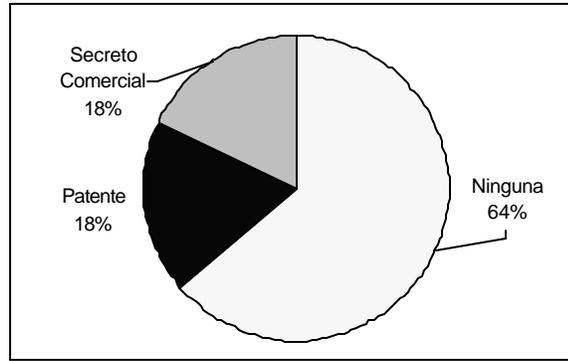


Figura 4. Mecanismos de propiedad intelectual

Dentro de la encuesta realizada en el área se detectó que la mayoría de los asistentes consideran que la formación de profesionales no es adecuada Figura 5 y las áreas que debería fortalecerse se consignan en la Tabla 5.

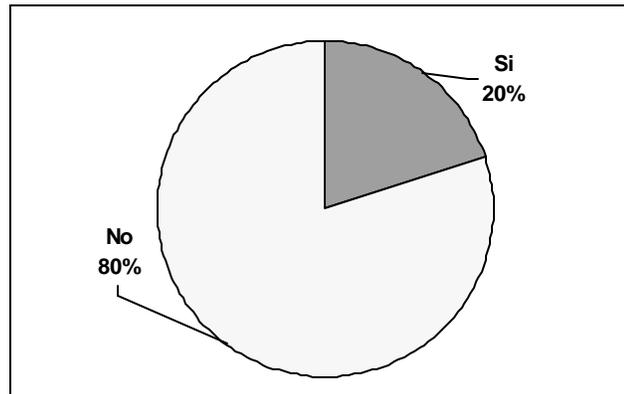


Figura 5. Estado de la formación profesional

El papel de la universidad es y ha sido fundamental, pero se detectan los vacíos en los que se debería trabajar como son: Fomento de la creatividad, formación en bioética, formación en ciencia vs. patentes, derechos, legislación, formación de negociadores, fomento de la interdisciplinariedad: programas, reglas y estructuras académicas muy rígidas, apoyo económico para estudiantes de posgrado, que ya son profesionales, entre otras.

Tabla 5. Áreas que deben fortalecerse en la formación profesional

Áreas a fortalecer	Áreas a fortalecer
Biología molecular	Sensores remotos
Capacidad creativa	Trabajo interdisciplinario
Amplitud de ideas por parte de los docentes	Prevención, control y remediación de contaminación
Biología	Legislación
Bioprospección	Biología celular
Genética molecular	Biología marina

Es importante tener en cuenta las áreas propuestas para el fortalecimiento en la formación profesional, lo cual permitirá un mayor desarrollo de las investigaciones en bioprospección, con una clara orientación hacia las necesidades del país.

MODELOS DE INVESTIGACIÓN PROPUESTOS EN EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS

Durante el segundo taller se analizaron los modelos seleccionados para el área, comparando las diferentes maneras de realizar el proceso de obtención de productos. Los modelos de cada entidad participante serán presentados como casos de estudio.

En 1992, a partir de los resultados de un trabajo de tesis realizado para la recuperación de suelos de manglar afectados críticamente por hidrocarburos, se obtiene información relevante que indica el poder fitorremediador del manglar en la recuperación de suelos hipersalinos sódicos y en los procesos de biorremediación con bacterias degradadoras de hidrocarburos. A partir de esto se inicia un proceso investigativo con el Instituto Colombiano del Petróleo – ICP en donde se trabaja con suelos afectados por aguas de producción de la industria del petróleo, obteniendo resultados exitosos. Se continúa la investigación, hasta llegar al diseño de un piloto industrial a manera de biorreactor para el tratamiento de dichas aguas. De forma paralela en una finca camaronera perteneciente a la empresa C.I. AGROSOLEDA S. A ubicada en el departamento de Córdoba, se aplica el poder fitorremediador del manglar mediante la creación en 1996 de un humedal artificial para el tratamiento primario de las aguas de producción de la industria camaronera. Los resultados obtenidos en más de un año de monitoreo mensual de DBO5 y SST, demuestran la alta eficiencia del sistema; para DBO5 alcanzando remociones del 129% y para SST del 108%, observándose que el agua sale del humedal con menos carga contaminante inclusive si se compara con las aguas del sistema natural de donde se captan. Adicionalmente el humedal después de seis años de construido se ha convertido en verdadero refugio de la diversidad biológica; no sólo al promover nuevas áreas de manglar (ecosistema con una alta tasa de devastación), sino porque en el humedal se registra abundante fauna y se ha constituido en un nicho importante para la recuperación del caimán aguja (*Crocodylus acutus*), especie amenazada (Sánchez, 2002 conferencia primer taller Anexo 1.1.1).

El modelo que sigue el ICP y Biosfera (Figura 6) abarca la mayoría de los conceptos sugeridos por todos los asistentes a los talleres, en el cual, frente a un problema de una empresa privada se buscan soluciones, y gracias a la infraestructura de estas empresas se facilita la última fase del proceso, desde la apropiación hasta la patente. En este modelo de investigación el ICP tiene una oficina con personal calificado en el manejo de propiedad intelectual y patentes, lo que facilita el proceso y garantiza que se culmine, como en este caso, el biofiltro, basado en la actividad fitorremediadora del manglar, que ya se encuentra patentado.

El 29 de febrero del 2000, el ICP obtuvo la patente “Proceso natural para la remoción de metales y desalación en sistemas acuosos”, otorgada mediante Resolución 04716 del 29 Feb/2000, Clasificación internacional CO2F 03/32, Titular: Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPEL, inventores: Jorge Luis Grosso, Ricardo Restrepo, Luz Esther Sánchez y Darío Avendaño. (Sánchez, 2002 conferencia segundo taller Anexo 2.1.3).

El ICP cuenta con capacidad científica técnica y financiera para realizar investigaciones en la búsqueda de soluciones a problemas generados por la exploración petrolera (Sánchez, 2002 conferencia primer taller Anexo 1.1.1).

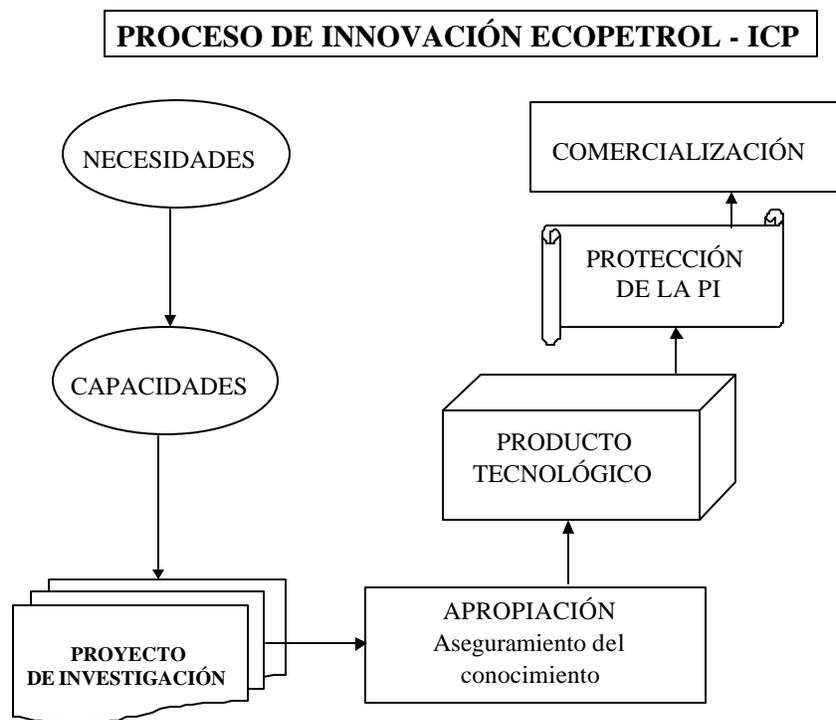


Figura 6. Modelo de investigación del Instituto Colombiano del Petróleo/Biosfera Centro de Estudios y Proyectos.

La ponencia de Enrique Peña de la Universidad del Valle presenta otro modelo de bioprospección. En este se hace énfasis en el desarrollo de la investigación básica, lo que refleja la forma predominante de investigación en el ámbito de las universidades.

El grupo Biología Vegetal Aplicada se inicia en 1990 gracias a un convenio de cooperación establecido entre la Universidad de Carolina del Sur y la Universidad del Valle. Los grupos de interés vegetal son las algas, plantas medicinales y manglares.

Los logros y los alcances de los primeros años han sido:

- Caracterización de las comunidades vegetales de la línea de costa, en este caso, la flora algológica de la línea de costa del Pacífico
- Brindar un conocimiento a especies promisorias de este grupo vegetal
- Valorar la productividad de las poblaciones naturales con énfasis en las especies promisorias para entrar a la parte de producción
- Conocer la oferta natural de las especies más conspicuas en la región.

Junto con la caracterización de la diversidad, uno de los aspectos que vale la pena resaltar son los estudios sobre biología reproductiva que permite asociar los compuestos bioactivos con el ciclo de vida de las especies. Con estos trabajos se pudo conocer que la estructura química de muchos polisacáridos tenía variaciones en la estructura química de acuerdo con la época reproductiva de la planta.

El modelo de investigación seguido por la Universidad del Valle, se presenta la

Figura 7.

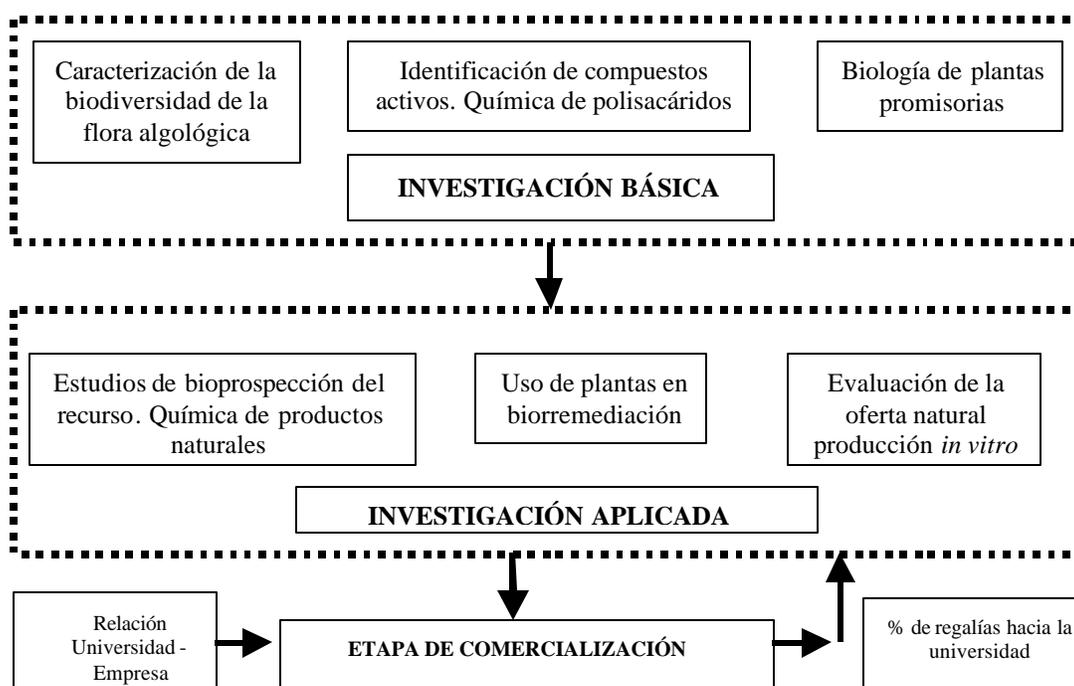


Figura 7. Modelo de investigación Departamento de Biología, Universidad del Valle

La etapa de fisiología se inició con un trabajo de ecofisiología, principalmente con unas especies de algas rojas del grupo de las Carragenofitas, abundantes en regiones estuarinas como las bahías de Málaga y Buenaventura.

Los principales resultados de esta fase fueron:

- Evaluar la respuesta fotosintética y cómo respuesta conocer la dinámica del crecimiento de las poblaciones naturales
- Identificar en especies como *Bostrichia caliptera* la capacidad para fotosintetizar en desecación especialmente en marea baja
- Hacer estudios de cultivos *in vitro* a mínimo costo, tratando de variar niveles de inundación y diferentes medios de cultivo
- Evaluar la capacidad del carragenano con base a su actividad fotosintética. *Caloglosa* es también considerada una especie Carragenofítica de acuerdo con estudios que se han hecho en Chile

En cuanto a la respuesta de crecimiento *in vitro* se trabajó en dos explantes de algas rojas, *Bostrichia* y *Gracillaria*. *Gracillaria* es una especie promisoría que se ha encontrado en bahía Málaga y zonas del norte del Chocó, con poblaciones importantes, pero solo con poblaciones naturales no se podrían hacer extracciones industriales. Evaluaron las fases de crecimiento en el laboratorio para hacer replantamiento en caso que la *Gracillaria* fuera utilizada industrialmente.

Una de las conclusiones importantes del trabajo fue proponer una etapa para el desarrollo de cultivo de algas marinas productoras de fitocoloide, planteando:

- La identificación de especies potenciales

- Una evaluación de bancos naturales, con trabajos de imágenes de satélite permite identificar como algunas especies tienen poblaciones significativamente importantes, al menos para aprovechar en una primera fase poblaciones naturales
- La importancia de hacer estudios en biología reproductiva y ecofisiología; para conocer si hay variaciones en la producción de compuestos bioactivos con el ciclo de vida de la especie.

En resumen este modelo propone la caracterización biológica y química de las especies promisorias así como estudios de biorremediación y de la oferta natural como un primer acercamiento a la bioprospección, finalmente propone la relación universidad - empresa como una alternativa para la comercialización de las sustancias promisorias.

El grupo de investigación "Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia" de la Universidad Nacional de Colombia, se inició hace quince años y estudia principalmente el potencial químico de la biodiversidad marina colombiana.

El número de organismos marinos es muy alto, debido a las dos costas con las que cuenta Colombia, y sin embargo, hasta ahora se comienza a estudiar desde el punto de vista de potencial químico.

El grupo estudia principalmente esponjas octocorales, zoantidios y equinodermos, desde el punto de vista de valorar cuáles son las sustancias químicas que están presentes dentro de estos organismos para analizar sus usos potenciales y la segunda parte es la valoración del posible beneficio económico de organismos marinos colombianos. En este sentido el grupo de investigación está concentrado en el estudio de las esponjas como fuentes de nuevos fármacos y de los octocorales para obtener sustancias con aplicación dermatológica principalmente antiinflamatorios en crema que puedan ser aplicados localmente. Las investigaciones se han realizado en el área de Santa Marta, Parque Tayrona, San Andrés y Providencia y Cartagena, y en la costa del Pacífico.

La propuesta para desarrollar investigación en bioprospección del grupo fue sintetizada por Carmenza Duque en la Tabla 6, que describe metas, estrategias y actores que se requieren para el desarrollo optimizado de la investigación en bioprospección marina en Colombia (anexo 2.1.1).

Tabla 6. Propuesta de programa sobre bioprospección de sustancias químicas de origen marino útiles en el sector industrial

Metas	Estrategias	Actores
Inventario de las especies marinas de fauna y flora del mar Caribe y del océano Pacífico	Apoyo a los inventarios de biodiversidad que hace INVEMAR y el Instituto Humboldt	Biólogos marinos
Pruebas de bioactividad	Establecimiento de un laboratorio de ensayos de bioactividad que dé servicio regional (ojalá nacional) a los grupos PNM	Químicos farmacéuticos
Aislamiento de sustancias bioactivas o comercialmente aprovechables	Establecimiento o apoyo a laboratorios de cromatografía en el país	Químicos
Elucidación estructural de sustancias bioactivas	Establecimiento de laboratorios modernos de análisis estructural de sustancias orgánicas	Químicos
Proceso de selección de sustancias bioactivas a explotar	Elaboración de patentes	Químicos

Metas	Estrategias	Actores
Conversión de sustancias bioactivas en medicamentos	Buscar el interés de empresas farmacéuticas para el desarrollo de nuevos productos que mejoren la calidad de la salud	Químicos, Químicos farmacéuticos Médicos
Evaluación de la viabilidad del recurso (abundancia de poblaciones, y concentración de la sustancia a extraer)	Fortalecer y apoyar la investigación en esta área	Biólogos marinos
Cultivo del recurso para hacer una extracción sustentable	Fomentar los desarrollos tecnológicos necesarios para cultivos <i>in vivo</i>	Biólogos marinos
Preparación de extractos comercialmente aprovechables	Apertura y soporte a pequeñas empresas que se encarguen del proceso a nivel industrial	Ingenieros Tecnólogos
Comercialización de extractos o sustancias bioactivas	Estudio de mercados que pudieran aceptar los productos desarrollados. Ventas	Administradores de empresas Economistas

Con estas propuesta se pretende optimizar el uso de laboratorios que requieran equipos y reactivos costosos, utilizando un laboratorio especializado que realice las pruebas de los grupos de investigación, así mismo se le debe dar una gran importancia a los estudios sobre biodiversidad, realizados paralelamente con los de bioprospección y con los de negociación y mercadeo, es decir, la bioprospección debe ser una actividad multidisciplinaria para optimizar los resultados.

Los modelos presentados por los ponentes coinciden en la importancia de la información básica para el desarrollo de la bioprospección. Dicha información contempla inventarios, ecología, biología, usos, oferta natural, pruebas de bioactividad, posibilidades de cultivo etc. para continuar con la investigación aplicada, que proporciona y contempla lo relacionado con el aislamiento de las sustancias bioactivas de interés comercial, la elucidación estructural de sustancias bioactivas, evaluación de la viabilidad del recurso, selección de sustancias a explotar con la correspondiente patente y como último paso la comercialización que tiene en cuenta aspectos como la conversión de las sustancias bioactivas en medicamentos, el desarrollo de técnicas de cultivo, la preparación de extractos y la comercialización de los extractos o de las sustancias bioactivas.

CONCEPTUALIZACIÓN DE UN MODELO DE BIOPROSPECCIÓN PARA COLOMBIA EN EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS

El modelo propuesto trata de recopilar la información suministrada por los investigadores representantes de empresas, de la comunidad académica e investigativa que desarrollan su trabajo en diversas regiones del país en el área de organismos marinos y de los debates surgidos en las reuniones incluyendo las realizadas sobre modelos nacionales. Dentro del grupo de trabajo se estableció como prioridad la caracterización taxonómica y biológica de la diversidad, la cual debe realizarse de manera paralela con otros estudios, ya que si el trabajo se enfoca unicamente a completar los inventarios posiblemente no se logre trabajar nunca en bioprospección. Esta etapa debe ser desarrollada por los centros de investigación y las universidades, financiados por la industria y el gobierno, al igual que las pruebas de bioactividad, aislamiento y elucidación estructural de sustancias bioactivas así como la evaluación de la viabilidad del recurso y cultivo para explotación sustentable del recurso, estas últimas con el apoyo de las comunidades, que deben estar incluidas en todo el proceso desde la caracterización, hasta la producción. Nuevamente las universidades y centros de investigación, conjuntamente con el gobierno y la industria, se encargan de la selección de sustancias a explotar; el gobierno se encarga de supervisar el proceso y de la protección de la propiedad intelectual velando porque las partes cumplan los acuerdos y estos finalmente beneficien al país y no a intereses particulares.

La industria se encarga de la preparación de extractos comercialmente aprovechables, la conversión de sustancias bioactivas en medicamentos y la comercialización de extractos y sustancias bioactivas, para posteriormente, según los acuerdos, entregar las regalías producto de la explotación de dichas sustancias, de manera que las comunidades, los centros de investigación y las universidades reciban los beneficios. En la Figura 8 se presenta el esquema propuesto modificado del esquema utilizado en Australia para la negociación del acceso a los recursos genéticos, que inicia con un proceso de concertación entre los investigadores y las comunidades locales dueñas del conocimiento, para luego mediante la asesoría de una empresa del estado, obtener el permiso para la legalización de los contratos de acceso.

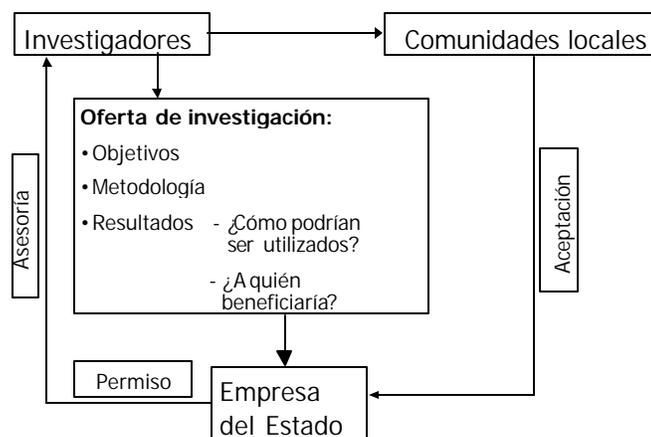


Figura 8. Modelo general de investigación área de organismos marinos

En esta sección se desglosa el modelo general, tocando los puntos más importantes de los que estaría encargado cada uno de los actores del proceso. En primera instancia la empresa del estado, la cual se encargará de manejar la información geográfica, cultural y biológica, así como lo referente a los derechos de propiedad intelectual, formará un fideicomiso con las regalías obtenidas de los procesos exitosos y se encargará de las negociaciones con las empresas comercializadoras (Figura 9).

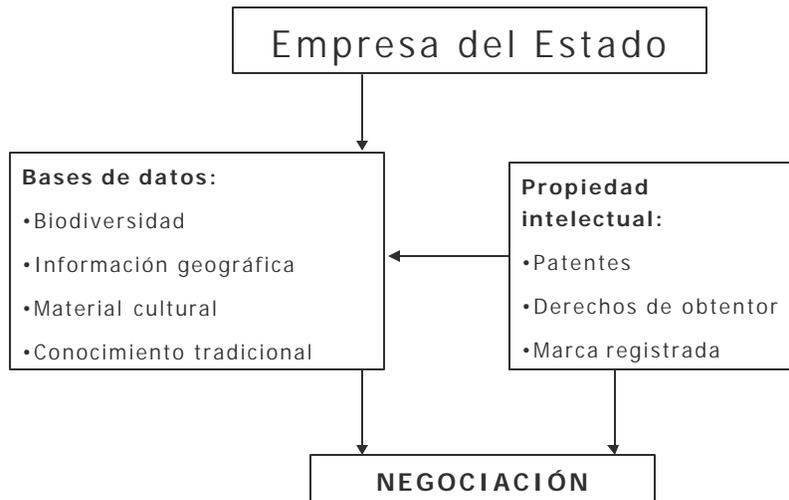


Figura 9. Modelo de investigación área de organismos marinos, empresa del estado

Las empresas comercializadoras pueden estar constituidas por entidades del orden nacional o internacional, que financien un equipo de científicos nacionales que puede ser parte de universidades o centros de investigación, encargados de la investigación básica y aplicada, con cuya información realizarán las negociaciones en caso de obtenerse un producto de interés comercial, con la empresa del estado (Figura 10).



Figura 10. Modelo de investigación área de organismos marinos, empresa comercializadora

Si el conocimiento obtenido deriva de alguna manera del conocimiento de comunidades locales, las empresas comercializadoras y del Estado deberán respetar el derecho al control de dicho conocimiento (Figura 11).



Figura 11. Modelo de investigación área de organismos marinos, comunidades locales

Una de las compensaciones importantes derivadas del trabajo en bioprospección son las no monetarias, dadas las bajas probabilidades de éxito para obtener un producto farmacéutico efectivo, ya que estas compensaciones contribuyen al desarrollo de la ciencias en el país y a su vez mejoran la calidad de vida de los habitantes (Figura 12).



Figura 12. Modelo de investigación área de organismos marinos, compensaciones

En la Figura 13 se sintetizan las funciones de cada uno de los actores dentro de un proyecto de bioprospección.

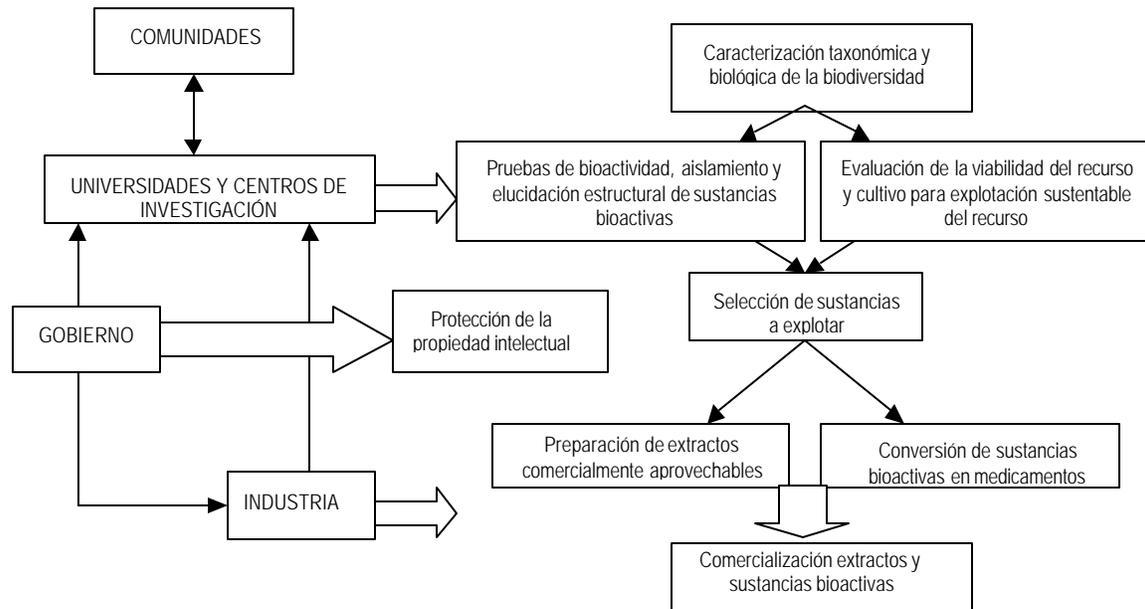


Figura 13. Modelo de investigación área de organismos marinos, funciones

Con los modelos anteriormente expuestos se pretende facilitar la investigación tanto para las universidades y centros de investigación, como para los inversionistas para que sea atractivo invertir en este tipo de proyectos, porque incluir demasiadas trabas al proceso no garantiza que los recursos no salgan del país pero sí limita la inversión extranjera. El modelo se basa en buena medida en el que aplica Australia para hacer sus investigaciones en bioprospección.

COMENTARIOS GENERALES PARA EL ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS

La mayoría de los grupos se encuentran aún en la etapa de la investigación básica, es decir, en la caracterización de la biodiversidad, identificación de los compuestos y de los organismos promisorios y no han pasado a la de investigación aplicada que implicaría los estudios de viabilidad y aprovechamiento sostenible de los organismos y su uso con la cual se podría pensar en la tercera etapa, la de comercialización, en donde deben establecerse los convenios con las empresas y se inicia la utilización a escala industrial de los productos.

Es de gran importancia aumentar la capacidad de investigación, tanto básica como aplicada para poder cumplir con los requerimientos mundiales en el tema de bioprospección, ya que si se invierte en esta área con prontitud, los resultados económicos podrán verse bien recompensados.

Los estudios de biología, fisiología, ecología y de funcionamiento básico según el caso, son fundamentales para poner en un contexto técnico apropiado el desarrollo productivo que se quiera llevar a cabo. La experiencia de trabajo de laboratorio con organismos marinos vivos es una base para cualquier desarrollo. Es necesario el fortalecimiento de grupos e instituciones, enfatizando en la interdisciplinariedad de los grupos, en la formación de recursos humanos a nivel de posgrado, y en un cambio de mentalidad sobre el hecho de que el estudio de la biología de un organismo vivo sí tiene una aplicabilidad. Se identificó que hace falta orientar más la educación básica hacia la innovación. Además, es requisito importante formar negociadores de los productos y procesos de bioprospección, y apoyarlos con especialistas en los aspectos jurídicos.

Para lograr una mejor posición en el proceso de negociación con las posibles empresas aliadas, es fundamental dar valor agregado a la biodiversidad. No venderla como materia prima, sino vender, según el avance que se vaya logrando, el conocimiento del potencial, el conocimiento de la composición, el insumo, el producto biotecnológico, el modelo de biorremediación, etc. Se debe tener en cuenta si la investigación en bioprospección utilizó conocimiento tradicional y de ser así, ante todo debe respetarse su propiedad intelectual y el manejo que la comunidad permita al investigador para dicho conocimiento.

El Mandato de Jakarta considera la biodiversidad genética y de productos naturales como un elemento clave en el desarrollo económico de países como Colombia. Por su gran biodiversidad, el país tiene posibilidades de obtener ganancias a partir del procesamiento y la comercialización de productos naturales. Uno de los problemas es el limitado conocimiento de nuestras especies y por ende de su potencial de uso, cualquiera que este sea. Empero, esto no debe constituirse en un obstáculo, ni se debe optar por vender directamente la biodiversidad genética “cruda” a la industria. El sólo conocimiento de cuáles son las especies bioactivas y cuáles las principales sustancias que producen, ya de por sí introduce valor agregado a la biodiversidad, así sea de una manera lenta. Además, permite tener herramientas para negociar la investigación y el desarrollo farmacéutico de cada sustancia por aparte, mediante convenios claros de cooperación con la industria farmacéutica, que incluyan cláusulas sobre propiedad intelectual, patentes, regalías, y de capacitación de personal nacional. Esta capacitación permitirá a su vez generar mayor conocimiento y mayor valor agregado.

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA ANIMAL

Carmen Reyes⁶

INTRODUCCIÓN

En este documento se han reunido las experiencias, opiniones y recomendaciones de un grupo de investigadores en diferentes temáticas del área animal, reunidos durante los dos primeros talleres nacionales de bioprospección. Se espera que la contribución de estas personas aporte elementos para la reflexión, planeación y acción, encaminadas a aprovechar ética y racionalmente los recursos naturales que conocemos o que aún están por conocerse. Aunque la primera aproximación a la bioprospección se hace en términos de un aprovechamiento rentable y sostenido de los recursos, también se considera la orientación no monetaria, en la cual la conservación desempeña un papel importante, al igual que los beneficios obtenidos al elevar el nivel científico y técnico de nuestra sociedad y promover una actitud sensata e innovadora.

La investigación para la bioprospección en el área animal es un tema poco explorado en el país, donde el aprovechamiento tradicional de los recursos animales se sustenta en unas pocas especies terrestres y acuáticas, de las cuales se obtiene alimento, transporte y materia prima para la elaboración de tejidos y artículos de cuero. A partir de la reflexión sobre el tema, en los talleres realizados, se reconoce la posibilidad de interactuar más eficientemente con la oferta natural de origen animal, explorando sus potencialidades biotecnológicas y farmacéuticas, al igual que su participación en el mejoramiento genético tradicional, el control de plagas, el turismo de observación, el comercio de animales mascota y la conservación.

En el ámbito nacional la bioprospección en el área animal está rezagada frente a otras líneas de trabajo como las de plantas y microorganismos, lo cual no se relaciona con la menor importancia del sector, sino con la tradición que nos legó la Expedición Botánica y con las actitudes o las expectativas que tienen los empresarios de este renglón productivo, que con algunas excepciones, importan paquetes tecnológicos o asistencia técnica extranjera para mejorar la rentabilidad del respectivo renglón, con poca participación de equipos de investigación nacional. Habría que preguntarse cuáles son las razones que han llevado a la consolidación de esta política empresarial, y si es posible promover un cambio. Las experiencias nacionales en el desarrollo de mejoras o avances tecnológicos y científicos en otras líneas, han sido al menos interesante, especialmente en el sector agrícola, donde la historia de las décadas del cincuenta al ochenta, muestra la participación de capital privado en la búsqueda, desarrollo o transferencia exitosa de soluciones o innovaciones tecnológicas y científicas a problemas de producción, que se continúa en la actualidad con algunos centros de investigación o de desarrollo tecnológico (CDT) como CENICAFÉ, CENIPALMA, Centro Interamericano de Agricultura Tropical - CIAT, entre otros.

⁶ Profesora Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia

Estos centros de investigación muestran que es posible hacer un camino compartido entre el desarrollo empresarial y científico del país.

En la Tabla 7 se indican las áreas y líneas de investigación de competencia de los grupos asistentes, donde es posible apreciar un espectro amplio de campos de acción, constituyendo una muestra representativa de los trabajos de investigación en el área animal (ver Anexo 1.2).

Tabla 7. Entidades que participaron con ponencias en el área animal

PARTICIPANTE	ÁREAS DE INVESTIGACIÓN	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
Universidad Nacional de Colombia. Dpto. de Biología. Sede Bogotá	Biodiversidad	Cría y manejo de abejas sin aguijón (Meliponini: Apidae)
Grupo investigación de sanidad vegetal Universidad Católica de Oriente (UCO)	Control biológico	Diagnóstico y taxonomía de babosas plagas en cultivos de la región del oriente antioqueño
Holos Sistemas Sostenibles de Colombia	Metabolitos	Estudios moleculares en proteínas de uso industrial en invertebrados
Universidad del Tolima	Piscicultura	Investigaciones en limnología y acuicultura
Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Sede Bogotá	Fauna silvestre	Unidad Académica para las Ciencias Biológicas
Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Agrarias	Conservación	Caracterización y conservación de especies nativas de peces
Universidad Nacional de Colombia. Dpto. de Biología. Sede Bogotá	Pesca	Factibilidad para el desarrollo de un modelo de explotación sostenible de peces ornamentales
CORPOICA-CEISA	Genética	Selección asistida por marcadores moleculares en bovinos
Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Sede Palmira.	Control biológico	Antecedentes, estado actual y proyecciones del control biológico de plagas agrícolas en Colombia, con énfasis en artrópodos y entomopatógenos

La presentación de nueve grupos de investigación en el área animal, mostró parte del trabajo que se viene realizando en el país en torno a este recurso. La información de los grupos de investigación asistentes al taller contribuye a establecer una primera aproximación al estado del arte de la bioprospección animal en Colombia el cual tiene varios logros, entre los cuales se citan los siguientes:

El tema de los peces es uno de los más interesantes desde la perspectiva de oferta alimenticia y de exportación. El renglón pesquero continental es importante tanto por el papel que desempeña en la dieta alimenticia local, como por su creciente importancia en el ámbito de la exportación de peces ornamentales. Una tercera parte de los grupos asistentes al primer taller nacional desarrolla trabajos en peces, con interés en el aprovechamiento y el uso sostenido del recurso. Se tiene información acerca de la biología, diversidad genética y comportamiento de algunas especies nativas, en buena parte gracias a los trabajos que se adelantan en las universidades. La Universidad del Tolima por ejemplo, viene generando información alrededor de la biología de algunos grupos de peces, búsqueda de especies promisorias para la acuicultura y conocimiento de la diversidad poblacional de especies de interés comercial; la Universidad de Antioquia está realizando trabajos en conservación y valoración del potencial de peces nativos. Este tipo de estudios es básico para diseñar estrategias de aprovechamiento del recurso.

En el área se cuenta con experiencias como la de la Red Nacional de Acuicultura que apoyó procesos productivos, basados en aprovechamiento del recurso piscícola y con la del Instituto

Nacional de Pesca y Acuicultura - INPA encargado de la reglamentación del uso del recurso y generación de conocimiento con fines productivos. Por otra parte, existe la estructura empresarial para ofrecer bienes y servicios relacionados con este renglón.

Otra parte de la investigación presentada durante el taller está orientada a ampliar el conocimiento básico y aplicación de los recursos tradicionales y no tradicionales.

En la línea animal la investigación en metabolitos primarios y secundarios tiene poca tradición en el país, sin embargo los trabajos de “Holos Sistemas Sostenibles de Colombia”, muestran algunos avances encaminados a la purificación y estabilización de principios activos proteicos de animales invertebrados, con usos industriales enfocados a la producción animal y la salud humana. A pesar de las perspectivas en esta línea, los proyectos de producción no se han llevado adelante por los altos costos de la materia prima. El desarrollo de antídotos es otro ejemplo de este tipo de prospección, que actualmente viene desarrollándose en Antioquia y Amazonas, a la par que se continúan investigaciones al respecto en el Instituto Nacional de Salud.

En el área de trabajo en recursos genéticos y biotecnología animal, con el tema específico de producción animal, el Instituto Colombiano Agropecuario - ICA y CORPOICA han venido ocupándose entre otros temas, de la selección de animales basada en la detección de genotipos de características cuantitativas. El desarrollo de metodologías como los marcadores moleculares, ha permitido la identificación de regiones específicas dentro del genoma, en las cuales se localizan genes de importancia económica para las ganaderías, particularmente aquellos con efectos sustanciales sobre las características cuantitativas (QTL) que son difíciles de medir y poseen baja heredabilidad (Peña, 2002). Esto permite una selección precoz y exacta, que logra incrementar en un 40% la respuesta a la selección a corto y mediano plazo y puede asistir en la determinación de genotipos específicos para diferentes ambientes de producción.

La importancia o la razón de este tipo de trabajos surge del valor agregado de especies exóticas introducidas tempranamente durante la colonización del trópico americano, las cuales en su proceso de adaptación a las nuevas condiciones bióticas (competidores, enfermedades, etc.) y abióticas (clima, geomorfología, etc.) aumentaron su diversidad genética, lo cual es significativo desde la perspectiva biotecnológica de mejoramiento de especies, tradicionalmente importantes en el comercio y la economía mundial. La experiencia colombiana en el caso de los bovinos y la resistencia a la fiebre aftosa es un ejemplo de lo que se puede hacer una vez reconocida una ventaja competitiva al interior de una población animal. Así como este caso, existen otras temáticas en las que bioprospectar la variabilidad intraespecífica y hacer nuevas introducciones en bancos de germoplasma puede ser rentable en el mediano plazo, y contribuir a largo plazo a la seguridad alimentaria.

El caso de los animales tropicales, bien como mascotas, o como fuente de materia prima, especialmente de pieles, para el mercado internacional de bienes de lujo es otro ejemplo reciente de bioprospección con perspectivas económicas satisfactorias. Actualmente se comercializan insectos, caracoles, lombrices, aves, reptiles, peces y mamíferos, la mayoría de los cuales están sujetos a la normativa del Convenio CITES. Es necesario ampliar la investigación conducente a la cría y manejo *ex situ* de las especies de interés en el mercado, para evitar el extractivismo actual, y brindar a las comunidades o a las empresas alternativas productivas. Las abejas nativas y sus productos constituyen otro de los ejemplos interesantes de recursos no tradicionales, en los cuales

la ampliación del conocimiento en torno a las especies puede contribuir a mejorar el rendimiento y a la conservación del recurso (Nates, 2002).

Por otra parte en la Universidad Católica de Oriente (Antioquia) se están comenzando a estudiar algunos de los moluscos que afectan cultivos de hortalizas pues son una plaga que afecta la rentabilidad de este renglón. Esto con el propósito de establecer métodos de control que reduzcan el empleo de agroquímicos sobre este tipo de productos.

El tema del control biológico empleando entomófagos y parasitoides es una forma de bioprospección en la que la comunidad académica nacional ha tenido importantes avances. En Colombia se reconoce que existe una valiosa trayectoria y unos significativos logros actuales en el campo del control biológico de plagas agrícolas, como producto de los esfuerzos de diferentes sectores y entidades (oficiales y privadas) que han impulsado esta línea de manejo fitosanitario y pueden mostrar resultados exitosos en investigación básica y en aplicaciones de orden práctico.

Se destacan los estudios adelantados en institutos y centros de investigación (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, CORPOICA, Centro Interamericano de Agricultura Tropical - CIAT, CENICAÑA, CENICAFÉ, CENIPALMA, CENIBANANO, Corporación de Investigaciones Biológicas - CIB, entre otros), en las universidades con programas de entomología (Facultades de Agronomía, y de Ciencias, Biología, primordialmente), y en empresas privadas - laboratorios de insumos biológicos comerciales Perkins, LAVERLAM, ABBOT, PROBIOL, COINBIOL, BIOCONTROL, BIOAGRO, BIONORTE, AGROGEN, BIOVALLE, BIOINSUMOS, ECOCIENCIA, entre otros). Igualmente se reconoce el auspicio de las sociedades científicas del ramo (SOCOLEN, ASCOLFI) y de las asociaciones de productores agrícolas (FEDEALGODÓN, FEDEARROZ, ASOCAÑA, FENALCE, FEDEPALMA, ASOCOLFLORES, y otros) Zuluaga, 2002.

El trabajo del Bioterio Central de la Universidad Nacional de Colombia, con sus unidades de producción (ratones, ratas, conejos, hamsters, curies entre otros), de experimentación (investigación biomédica en modelos animales) y de animales silvestres (recepción, rehabilitación biológica, médica y zootécnica, re inserción o repoblación en áreas naturales, etc.) contribuye al desarrollo de tecnologías para el manejo de fauna silvestre y espera constituirse en centro de referencia para la certificación de laboratorios de prueba, en el área animal. Esto último contribuiría en buena medida a incrementar en el futuro las pruebas de actividad biológica de extractos obtenidos en las primeras etapas de la bioprospección.

Finalmente, otro tipo de bioprospección que se viene desarrollando en el país, es el inventario de los recursos naturales, que se concreta en una lista de especies, en la mayoría de los casos con ubicación geográfica, pero en muy pocos con información adecuada acerca de condiciones de vida, hábitos, distribución, preferencias alimenticias, reproducción, etc. Estas fortalezas (el listado) y carencias han llevado a posicionar a Colombia como uno de los países con mayor diversidad biológica, pero con escaso conocimiento de la biología de las especies.

ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS EN EL ÁREA ANIMAL

Para ampliar la información, las expectativas y las directrices de los grupos de investigación, se empleó un instrumento de análisis en el cual se hicieron preguntas acerca de los alcances, las limitaciones y las necesidades de los grupos de investigación. A continuación se desarrollan las tendencias que se manifiestan en el área animal, a través de las respuestas de 12 encuestados del área, que representan el 10% de la totalidad de encuestas respondidas.

En el instrumento de análisis hay tres preguntas que contribuyen de manera significativa a establecer que piensa la comunidad académica respecto al estado de la bioprospección y al enfoque que puede darse a este tema desde la perspectiva de conocer, conservar y utilizar sosteniblemente los recursos. Estas tres preguntas tienen que ver con las metas y las actividades que determinarían el logro de los objetivos.

Las respuestas dadas a la pregunta de los objetivos se pueden organizar en seis grandes grupos que tienen que ver con las tendencias nacionales en el avance del conocimiento del componente animal. En la Tabla 8 se presenta una síntesis de las respuestas, agrupadas según su énfasis.

Tabla 8. Principales objetivos según el instrumento de análisis

OBJETIVOS	
Identificación y caracterización	Investigar las posibilidades biológicas, tecnológicas, económicas y sociales de los recursos genéticos, sus derivados y el conocimiento asociado en cada uno de los casos
	Conocer la diversidad de artrópodos con fines de estudio y uso
	Escoger los organismos más apropiados para uso farmacológico
	Determinar calidad de miel de abejas silvestres y su utilización con fines medicinales
	Determinar calidad de otros productos o procesados de abejas silvestres
Desarrollo de líneas de producción	Explotación productiva
	Nutrición humana
	Nutrición animal
	Medicina
	Biotecnología
Desarrollos en laboratorio	Cosmetología
	Evaluar metodología de extracción de fármacos
	Aislar principios activos
	Determinar la potencia y efectividad de las sustancias activas
	Diferenciar las sustancias provenientes de varias especies animales
Control biológico	Realizar estudios clínicos sobre la efectividad de las sustancias
	Conocimiento de la problemática de plagas y su manejo biorracional en cultivos de interés económico
Conservación	Planes de control biológico de plagas
	De vertebrados
	Adelantar programas de repoblamiento
	Conocer sobre aspectos biotecnológicos de las especies y de sus hábitat
Documentación y capacitación	Manejar ciclos de vida para asegurar la oferta de organismos
	Fortalecer y facilitar el acceso a centros de documentación y redes informáticas
	Incentivar la capacitación transdisciplinaria, interinstitucional y equidad
	Información sobre potencialidad farmacológica de macroinvertebrados

De las respuestas se desprende que la investigación para la bioprospección en el área de vertebrados e invertebrados se debe enfocar hacia la identificación de los grupos animales o productos derivados con mayor potencial en el mercado, y al conocimiento de la diversidad genética, distribución territorial y abundancia poblacional de las especies nativas o introducidas que resulten interesantes.

El conocimiento adquirido en las experiencias nacionales se vincula al desarrollo a través del ofrecimiento de bienes y servicios en áreas que tienen que ver con la producción, la conservación y el control biológico. La producción incluye frentes de trabajo que van desde el uso extractivo - sostenido de un recurso, hasta la obtención de materias primas o sustancias para el mercado farmacéutico, alimenticio e industrial.

La biorremediación, inicialmente se incorpora en las proyecciones de desarrollo desde la perspectiva del control biológico de plagas, pero puede aumentar su cubrimiento a la implementación de bioindicadores de calidad ambiental (diferentes grados) y al procesamiento de basuras municipales y otros residuos. La conservación apunta a mantener la oferta natural del bien, al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de una región y a la realización de proyectos en que la recreación pasiva o activa en un ambiente sano y seguro sea una forma de retroalimentación entre el hombre y la naturaleza.

La formación y documentación deberían entenderse más como un instrumento necesario para el logro de los objetivos, que como un objetivo en sí mismo; sin embargo, es evidente su importancia en el marco de referencia de la mayoría de los asistentes, que enfatizan en la necesidad de estar al tanto de las tendencias y avances mundiales para orientar y facilitar la bioprospección. Esto contrasta, como se verá más adelante con la carencia de información sobre tendencias en la investigación y los mercados externos.

En términos generales se considera que la bioprospección animal se puede desarrollar desde dos frentes; uno es el de la bioprospección enfocada a la búsqueda de recursos biológicos y genéticos poco conocidos, para ofrecer sosteniblemente, bienes de consumo (materias primas, genes, organismos) a mercados generales o a mercados exclusivos, y el otro frente es el que puede ofrecer servicios que resuelvan problemas o cubran necesidades en diferentes sectores de la sociedad o se vinculen a procesos de conservación y uso sostenible de los recursos.

En cuanto a las metas a alcanzar, saber lo que se debe hacer para impulsar el área de vertebrados e invertebrados es una de las premisas que debe abordarse cuando se establezcan las estrategias de bioprospección. En este sentido los encuestados coinciden en que el proceso requiere dos líneas de acción, una es fundamentalmente biológica y la otra de carácter político, económico y comercial.

En la Tabla 9 las respuestas se han organizado según cuatro grandes asuntos: El conocimiento de los recursos y las aplicaciones a través de investigación práctica y de información disponible; la instrumentación en lo biológico, que incluye el manejo de especies y los desarrollos metodológicos y tecnológicos en laboratorios; el mercadeo y los aspectos legales y socioeconómicos.

Tabla 9. Principales pasos según el instrumento de análisis

PASOS	
Conocimiento de los recursos	Taxonomía de organismos
	Caracterizar estructura y abundancia de las especies de interés comercial
	Inventario de invertebrados bioindicadores
	Inventarios de los recursos en regiones de reserva y agrosistemas
	Conocimiento los recursos y de su utilidad o aplicación
Documentación	Recopilación de usos populares y tradicionales
	Registro de hitos específicos con trabajos de países desarrollados
	Revisión de literatura sobre potencialidades de la fauna
	Recopilación de literatura publicada – gris (tesis y trabajos de grado)
	Divulgación e intercambio de experiencias
Mercadeo	Formulación de proyectos transdisciplinarios e interdisciplinarios
	Definición de grupos con mayor potencial
	Identificación de necesidades en el mercado biotecnológico-farmacéutico
	Integración en cadenas productivas
Manejo de especies	Seguimiento de resultados y beneficios
	Desarrollo de técnicas de acopio y reproducción
	Establecimiento de colecciones y bancos de organismos
Desarrollos en laboratorio	Estudio de la base genética de la biodiversidad
	Experimentación con extractos
	Identificación y obtención de proteínas
	Obtención de Helicina (medicina-cosmetología)
	Caracterización química y bioquímica
	Mejoramiento de los pasos que van desde origen hasta transformación, de productos comercializados
Aspectos legales	Desarrollo de productos a partir de la información recolectada, con tecnologías económicas y competitivas
	Discusiones legales y socioeconómicas
	Equidad y respeto por el patrimonio natural y cultural neotropical

Según los temas de la Tabla 9 se deben establecer metas en el área de ciencias naturales y metas socioeconómicas y políticas.

1. Los siguientes puntos fueron considerados significativos por parte de los asistentes, en relación con las metas en el terreno de las ciencias naturales.

- Definición de los grupos animales con mayor potencial económico, para lo cual se deben establecer las demandas nacionales, regionales andinas o transoceánicas y explorar las fortalezas y debilidades de las diferentes regiones del país con miras a determinar cuales proyectos con recursos animales o de origen animal, tienen sustento en la base natural de nuestro territorio
- Documentación de hitos e identificación de necesidades en el mercado biotecnológico y farmacéutico
- Obtención de mayor información primaria y secundaria, sobre el potencial farmacológico, biotecnológico o industrial de productos derivados de animales como fuente de antidotos, repelentes, feromonas, enzimas, fibras, etc.
- Creación de un banco de extractos para evaluar, según las actividades biológicas que se consideren más ligadas al recurso en prueba
- Desarrollo de productos de calidad aceptada en el mercado, con tecnologías competitivas

- Con los medios de producción en condiciones controladas para mantener una oferta suficiente y ajustada a las demandas del consumidor
 - Desarrollo o adaptación de metodologías sencillas para mantenimiento y reproducción en cautiverio
 - Conocimiento de la diversidad de germoplasma y utilización de la información generada con fines de mejoramiento genético y conservación
 - Conocimiento de la diversidad intraespecífica y de los genes que confieren características deseables en grupos de interés, para mejoramiento por medios biotecnológicos
 - Conservación o repoblamiento de los ecosistemas que sustentan la fauna
 - Reducción del extractivismo en los grupos animales nativos con alguna perspectiva comercial
 - Definición de protocolos de cría, reproducción y mantenimiento en cautiverio de los animales que pueden llegar a ser objeto de producción
 - Consolidación de una política o plan, a largo plazo encaminada a financiar el establecimiento de colecciones y bancos de germoplasma.
2. En el terreno de las ciencias económicas y políticas se sugiere lo siguiente
- Maximizar la eficiencia en la inversión y utilización de los recursos financieros y generar resultados en tiempo real
 - Garantizar la creación de redes y canales de distribución que contribuyan eficazmente a la ubicación y rentabilidad del producto, para lo cual algunas de las personas encuestadas proponen articular la prospección, producción y comercialización, según el modelo de cadena productiva, que ya está en marcha dentro de algunos renglones productivos del sector agropecuario
 - Profundizar en las estrategias que rigen el posicionamiento en el mercado de nuevos productos, los codex alimentarios, la demanda y oferta internacional, y la competitividad en calidad y precios. El mercadeo, encargado de la penetración y aceptación de un nuevo bien o servicio en la comunidad o por parte de los consumidores, es un elemento fundamental para el éxito final de los renglones económicos basados en la bioprospección
 - Definir normas claras y sencillas para la investigación con fines comerciales y flexibilizar el registro de nuevos productos, pues actualmente son un obstáculo para los micro y pequeños empresarios quienes no cuentan con capital suficiente para tales efectos
 - Fomentar y proteger la inversión en investigación y desarrollo, de recursos estatales y privados
 - En todos los casos, bien se trate de organismos o productos derivados, la presencia en el mercado dependerá de tener reglas claras y oferta sostenida del recurso.

En relación con el tercero de los puntos inicialmente mencionados, las actividades conducentes al desarrollo de la bioprospección animal y su impacto en la economía nacional se pueden agrupar así:

1. Generar información específica sobre el tipo, ubicación e impacto o importancia de los recursos, a partir de estudios *in situ* y revisión de literatura
2. Establecer el potencial del recurso y el uso sostenido del mismo, con base en actividades *ex situ* de campo y laboratorio
3. Promover equipos interdisciplinarios con profesionales de otras disciplinas para profundizar en aspectos socioeconómicos y legales que sean complementarios al tema de la bioprospección, especialmente en términos de negociación y distribución justa de responsabilidades, riesgos y beneficios.

Para establecer las prioridades y definir los grupos de organismos o los tipos de productos a buscar se requiere de una retroalimentación muy efectiva entre el conocimiento de la base natural de la región y la demanda del mercado, los requerimientos de la industria, los gustos de la población, los problemas de producción que están afectando una determinada línea y los aspectos legales pertinentes. En la Tabla 10 se compilan y organizan las opiniones de los asistentes.

Tabla 10. Principales actividades según el instrumento de análisis

ACTIVIDADES	
Estudios <i>in situ</i>	Monitoreos en la zona
	Actividades de reconocimiento <i>in situ</i> y colectas para laboratorio / museo
	Muestreos en campo, colecciones
	Identificación de especies
	Inventarios (distribución)
	Evaluación de la oferta natural
	Determinación de las especies de abejas que produzcan miel de buena calidad y de otros productos de abejas sin aguijón con aplicación potencial
	Cuantificación de daños en cultivos
	Actividades de reconocimiento <i>in situ</i> y colectas para laboratorio / museo
Documentación	Revisión bibliográfica, Internet, bases de datos
Estudios <i>ex situ</i> de los organismos	Bancos de germoplasma <i>in vivo</i> o <i>in vitro</i>
	Actividades de estudios biológicos en laboratorio
	Conocimiento de la producción de larvas y alevinos
	Ensayos en campo
	Desarrollo de metodologías para control biorracional.
	Determinación taxonómica, ciclo de vida, y comportamiento.
	Caracterización y reproducción en cautiverio
	Desarrollo de tecnologías de acopio y conservación de los organismos vivos
Estudios en laboratorio	Evaluación de extractos de origen animal
	Obtención de proteínas para alimentación humana, animal, medicina o cosmetología
	Caracterización química y bioquímica
	Estandarización de metodologías de laboratorio, marchas de extracción y determinación de compuestos
	Caracterización y tipificación de composición de alimentos
	Trabajos de caracterización molecular y secuenciamiento
	Estudios de aplicación de proteínas, aminoácidos, cinética enzimática
	Trabajos relacionados con las propiedades medicinales de productos de origen animal
	Desarrollo o apropiación de tecnologías para el escalamiento de la producción
Enfoques interdisciplinarios	Estudios socioeconómicos (Impactos culturales, conocimiento local) y comerciales
	Estudios jurídicos (Normatividad y marco legal)
	Interacción de intereses y experiencias (equidad)
	Capacitación en negociación, acceso a líneas de crédito, búsqueda de otros recursos
	Revisión bibliográfica, Internet, bases de datos en temas complementarios
	Obtención de infraestructura, insumos, equipos adecuados y accesibles

Como se puede deducir de la lectura de la tabla, las actividades propuestas por los asistentes se centraron en el terreno inmediato de su área de trabajo, en función de la formación y el enfoque profesional que tienen los encuestados, y en relación con al desarrollo de la investigación y al interés específico de cada grupo. Sin embargo no se excluyen actividades paralelas que deben estar a cargo de profesionales de otras disciplinas, especialmente de las económicas, empresariales y jurídicas. En términos generales, desde el punto de vista de las ciencias básicas se consideran necesarias las siguientes actividades:

- Explorar con mayor profundidad el uso popular y tradicional de los recursos que parezcan interesantes y hacer la caracterización y tipificación de los elementos o las sustancias componentes
- Evaluación de extractos en animales que sugieran la presencia de principios activos promisorios
- Inventarios dirigidos a establecer la distribución y el tamaño de las poblaciones de especies de interés
- Estudios *in situ* de ciclos de vida y condiciones de crecimiento y desarrollo de los organismos de interés
- Estudios *in situ* para identificar relaciones antagonistas o sinérgicas que puedan estar mediadas por la producción de alguna sustancia por parte de los animales
- Estudios de laboratorio y desarrollo de técnicas para la producción masiva de animales terrestres y acuáticos con perspectivas comerciales
- Mantenimiento de colecciones y bancos de organismos
- Evaluación de los fenotipos promisorios, con miras a identificar la diversidad intraespecífica y establecer cuál es la más prometedora, dentro de los objetivos específicos que se pretendan alcanzar.

A continuación se presentan los resultados de otras preguntas de las encuestas. En la Figura 14 indican que el 80% de los encuestados no conoce experiencias internacionales de bioprospección en el área animal, del 20% restante, las experiencias conocidas se relacionan con los convenios de bioprospección de Chile y Costa Rica y con la obtención de plantas transgénicas, por lo que puede decirse que en el área animal el interés en experiencias internacionales es imperceptible. En relación con las experiencias conocidas, relevantes para el trabajo, el 50% de los encuestados no responde, y la respuesta de los otros grupos de investigación indica la importancia que tiene para su temática la protección de cultivos con insumos biológicos, los trabajos de meliponicultura en Brasil y México y la obtención de una proteína.

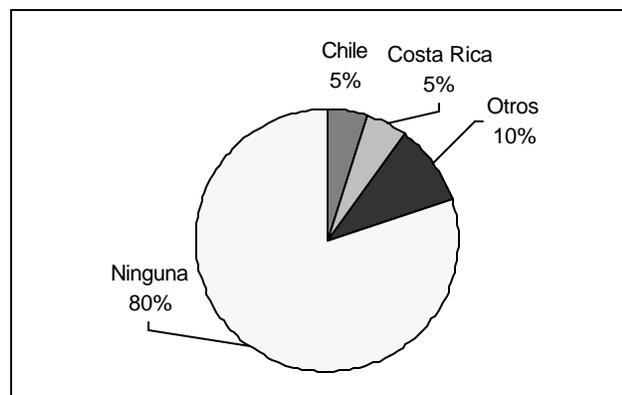


Figura 14. Experiencias en bioprospección conocidas a profundidad

Lo anterior hace evidente un débil flujo de información e indica la necesidad de fortalecer los vínculos entre los expertos del área animal y la comunidad académica y empresarial nacional e internacional.

Como lo muestra la Figura 15, la línea animal se relaciona con 9 de los 11 sectores de producción considerados en la pregunta 6 de la encuesta, lo que podría interpretarse como un indicativo del potencial para la bioprospección en el área animal.

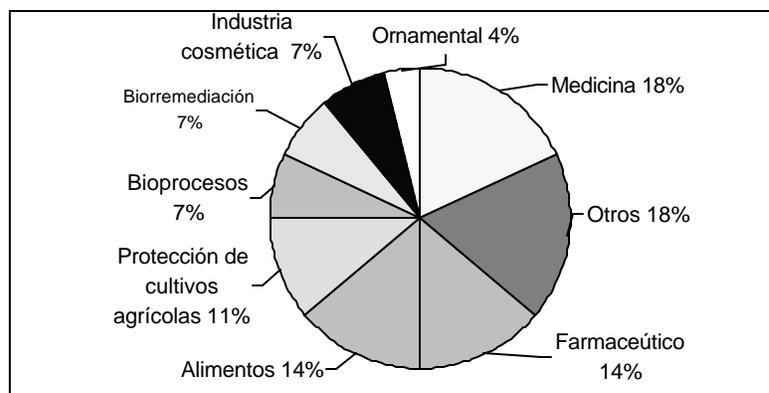


Figura 15. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación

En relación con el recurso humano los encuestados consideran importante la formación de equipos interdisciplinarios con la participación de profesionales de las ciencias naturales, de ciencias de la salud y la producción, de ingeniería, y de ciencias sociales y jurídicas, como se ve en la Tabla 11. Esto muestra la diversidad de acciones que se requieren para desarrollar con éxito una actividad comercial basada en la prospección de la diversidad biótica.

Tabla 11. Necesidades de profesionales

Ciencias básicas	Ciencias básicas	Ciencias de la salud y producción	Ingeniería	Ciencias económicas y sociales
Zoólogo	Geógrafo	Zootecnista	Ingeniero de sistemas	Administradores
Biólogo	Genetista	Veterinario		Sociólogo
Entomólogo	Biotecnólogo	Médico		Economista
Ecólogo	Farmacólogo			Abogado

Las necesidades de capacitación, para los grupos de trabajo, indican el reconocimiento que se hace tanto a los avances tecnológicos en biología molecular y áreas afines, como a las actividades de mercadeo y a la profundización en asuntos éticos y jurídicos. La Figura 16, muestra las tendencias.

Es opinión del 73% de los encuestados que el sistema universitario no está formando los recursos humanos necesarios, y recomienda fortalecer los aspectos mencionados en la Tabla 12. De alguna manera esto contrasta con la falta de oportunidades laborales que aquejan a profesionales que regresan después de haberse especializado en el exterior, y con la política estatal liderada por COLCIENCIAS de invertir significativamente en la formación de recurso humano a nivel de doctorado. Por lo tanto cabe preguntarse si lo que necesitan los grupos de investigación son recursos para la captación de personal calificado y participar en la formulación de políticas para la orientación de la inversión en formación profesional especializada.

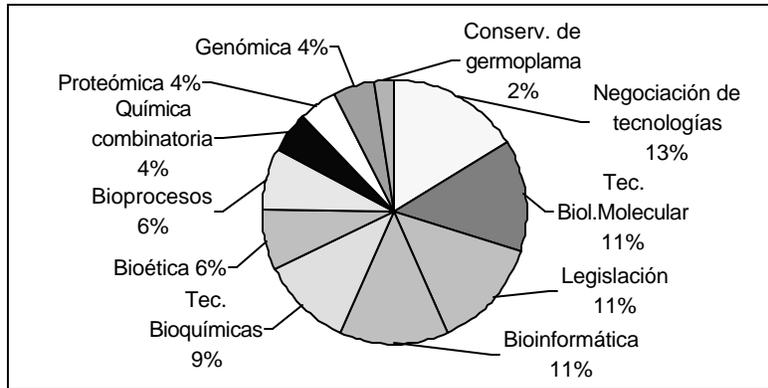


Figura 16. Necesidades de capacitación del grupo de trabajo

Tabla 12. Aspectos que deben fortalecerse en el sistema universitario

Áreas	
Ciencias básicas	Acceso a fuentes de inversión
Tecnología de punta	Biotecnología
Bioética	Tecnológico
Mercadeo	Legislación
Agrícola	Económico
Pecuaría	Biodiversidad
Salud	Bioética
Investigación aplicada	Biopolítica
Empresarial	Técnicas biomédicas
Proyectos empresariales	

Las prioridades en infraestructura son amplias y aluden principalmente al establecimiento o fortalecimiento de laboratorios. Las formas de propiedad intelectual han sido escasamente utilizadas; sólo el 16% ha utilizado el secreto comercial o el derecho de obtentor.

La lectura global de las opiniones recogidas en el taller y en las encuestas muestra que el país cuenta con una masa crítica que reconoce fortalezas y debilidades en sus respectivos grupos de investigación, y que en este momento se encuentra comprometida con llevar adelante la tarea de ampliar el conocimiento de los recursos naturales promisorios del país.

ANÁLISIS DE MODELOS DE BIOPROSPECCIÓN DEL ÁREA ANIMAL

En el segundo taller se contó con la participación de dos líneas de desarrollo empresarial a partir de recursos animales. La presentación de estos casos mostró la importancia de la investigación básica previa, realizada en institutos y universidades, y la importancia de la organización y del esfuerzo individual o colectivo, para hacer la transición desde el conocimiento básico hacia el desarrollo exitoso de una empresa comercial que se expone a las vicisitudes del mercado, genera empleo y presta servicios a la sociedad. A continuación se presenta un extracto de las dos experiencias.

EL CASO DEL CONTROL BIOLÓGICO⁷

El control biológico es una forma particular del control natural ejercido en los ecosistemas por factores bióticos y abióticos. Se reconoce la existencia de un control biológico natural que regula permanentemente las poblaciones (animales y vegetales) y favorece la condición de balance o equilibrio en la naturaleza. El control biológico inducido ocurre cuando el hombre interviene y manipula los agentes de regulación, especialmente en los agroecosistemas, con el fin de protegerlos de las plagas que afectan significativamente el proceso productivo.

Los altos costos de los agroquímicos empleados en los cultivos comerciales y los costos ambientales asociados a los plaguicidas son problemas a los que se les hace frente mediante la implementación de programas de manejo integrado de plagas (MIP). El control biológico hace parte del MIP y en su sentido amplio (incluye el control microbial), es una biotecnología con gran potencial hacia el futuro por ser un método ecológico, económico y ambientalmente limpio. Los principales agentes de control biológico de plagas agrícolas son de dos categorías: los entomófagos que incluyen parasitoides y depredadores; y los entomopatógenos, microorganismos (hongos, bacterias, virus, etc.) que causan enfermedades a las plagas en sus estados de desarrollo.

Después de una serie de valiosos aportes hechos a lo largo de la primera mitad del siglo XX, en Colombia el desarrollo comercial del control biológico se inició en el año 1964, cuando aprovechando desarrollos tecnológicos peruanos, se instaló el primer laboratorio de producción de *Trichogramma*. En el año 1973, se estableció en Bucaramanga el primer laboratorio de producción comercial del citado parasitoide, entrando posteriormente a ser parte importante del manejo integrado de plagas del algodón, época en la cual se hicieron interesantes investigaciones, publicaciones y desarrollos en el tema, hasta que la apertura económica de la década del 80 acabó con el cultivo del algodón y de paso con el laboratorio de parasitoides.

A partir de la entrada de la broca del café al país, CENICAFÉ, planteó el control biológico como alternativa de manejo, y a través del uso de *Beauveria bassiana* se desarrolló la tecnología de uso de hongos entomopatógenos, que actualmente lidera Colombia. A comienzos de la década del 90, con el apoyo de COLCIENCIAS un grupo de 12 profesionales expertos en el tema elaboró un programa nacional para el desarrollo, investigación y promoción del control biológico en Colombia. Infortunadamente, y debido a cambios en las directivas de la entidad, este programa no

⁷ Jades Jiménez Velásquez, Perkins Ltda. Palmira Valle. Perkins uniweb.net.co

José Iván Zuluaga, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Departamento de Agronomía

entró en ejecución. Sin embargo, la semilla de la organización de este grupo de control biológico colombiano fue retomada por un grupo de expertos con visión empresarial que han persistido en el campo de la producción comercial y en el apoyo a nuevas investigaciones.

Actualmente en el país funcionan diez laboratorios comerciales de *Trichogramma*, uno de *Spalangia*, nueve de *Cephalodera*, tres de *Telenomus* y cinco ingenios tienen laboratorio de taquinidos. De *Crisopa*, un depredador, operan tres laboratorios.

Los servicios que ofrecen estos laboratorios, se sustentan en experiencias recogidas de los centros e institutos de investigación, de las universidades a través de tesis de pregrado y posgrado de estudiantes de ciencias y agronomía, de investigaciones de la empresa privada y de laboratorios, así como del auspicio de sociedades agrícolas y científicas, lo que hace de la producción de insumos biológicos, un caso particular de cadena productiva que va desde la generación de conocimiento en función de una demanda hasta la comercialización y retroalimentación del proceso.

Los casos exitosos de control biológico de plagas son cada vez más elocuentes, la calidad, cantidad, y variabilidad de estos insumos están permitiendo que se planteen programas de manejo en diferentes cultivos y zonas agrícolas, al punto que se acaricie la posibilidad de poder producir alimentos bajo los parámetros de la agricultura orgánica.

En Colombia se están implementando paquetes de manejo de integrado de plagas o MIP, en cerca de 15 cultivos con énfasis en el componente del control biológico, tanto para medianos y grandes propietarios, como para pequeños productores, bajo el auspicio de fondos del Estado. En la Figura 17 se muestra el modelo conceptual desarrollado por Zuluaga y Jiménez.

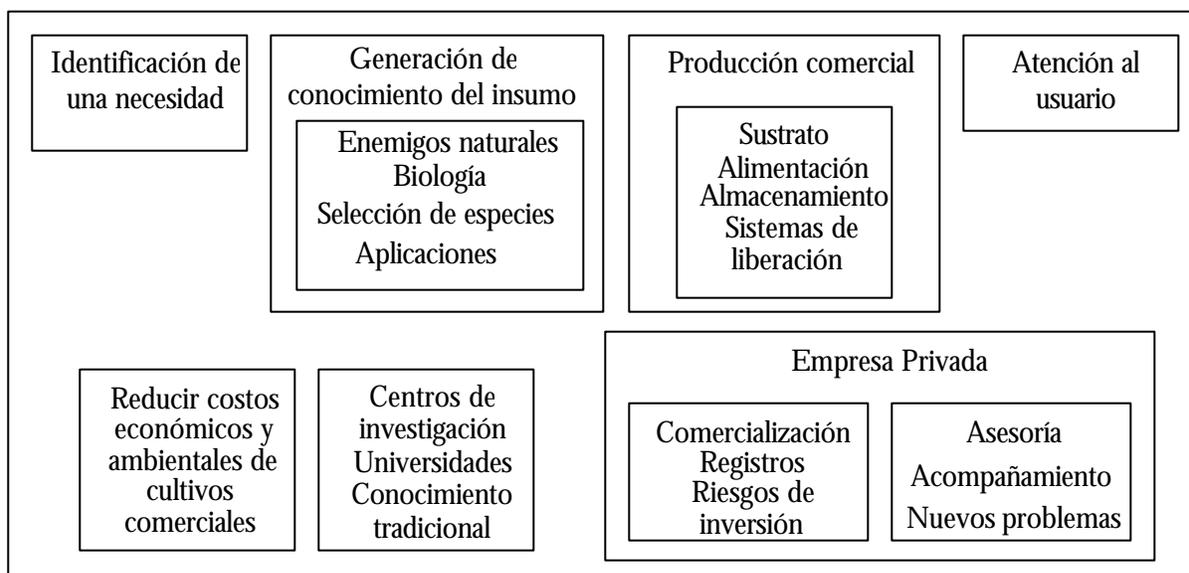


Figura 17. Modelo conceptual Zuluaga y Jiménez, 2002

Finalmente, se puede expresar a manera de conclusión, que el futuro del control biológico (entomófagos) y del control microbial (entomopatógenos), es bastante promisorio en el país, quizás con mayores oportunidades para éstos últimos, dadas las facilidades para su producción masiva y su comercialización empresarial.

Dentro del enfoque bioprospectivo estos agentes de control presentan ventajas por su biodiversidad y sus múltiples formas de acción. Además, como alternativa de control biotecnológico, encaja perfectamente dentro del Manejo Integrado de Plagas o MIP, son compatibles con otros métodos y con el enfoque de la agricultura ecológica. Desde luego que también muestran falencias como su sensibilidad al efecto de insecticidas, la incipiente disponibilidad para enfrentar con eficacia muchas plagas clave y la carencia de un mayor conocimiento de varios aspectos bioecológicos y de manejo en condiciones de campo.

Desde la perspectiva de hacer rentable un producto de la prospección de la diversidad biológica se requieren procesos de apoyo por parte del Estado a través de políticas que incentiven el empleo de esta tecnología. El mercadeo aún es un problema para el desarrollo tecnológico, por el arraigo que tiene en las costumbres culturales el empleo de pesticidas, los cuales tienen acción inmediata. Sin embargo, el ejemplo de Cuba, que ha sustituido cerca del 80% de agroquímicos por insumos biológicos, muestra que las opciones de esta tecnología son reales. Si se tiene en cuenta que en el pasado reciente, el desarrollo tecnológico producido en el país en esta línea, se ha llevado a otros países de América Latina y el Caribe, y que en sus comienzos tuvo que ver con soluciones aplicadas en el Perú, se percibe la importancia de la integración y los acuerdos regionales para apoyar la bioprospección y comercialización exitosa de alternativas biotecnológicas como esta.

EL CASO DE LA ZOOCRIA DE BABILLA⁸

El estudio fue presentado por un representante de AZOOCOL, asociación cuyo objetivo principal es agrupar pequeñas industrias del sector pecuario, que conforman la cadena productiva de la zoocria de especies de fauna silvestre, con fines de exportación. La asociación reúne las experiencias obtenidas en diferentes niveles de investigación y el conocimiento tradicional que se tiene de la explotación de las especies, con el propósito de hacer reproducción *ex situ* de cuatro especies animales: iguana, boa, babilla, lobo pollero y chigüiro.

El origen de esta actividad se dió en el Grupo de Fauna del INDERENA, que como una respuesta a las actividades ilegales de caza, y al peligro de extinción de algunas especies, inició un programa de estudio de algunas especies en peligro, que posteriormente se transformó en el Programa Nacional de Zoocria.

La zoocria en Colombia, y en particular la de babilla con fines de exportación de materia prima es un ejemplo de aprovechamiento sostenido de la diversidad biológica, que gracias al apoyo gubernamental ha permitido a un grupo de empresarios generar a lo largo de 15 años, tecnología de punta en la cría, producción, aprovechamiento y comercialización de pieles de babilla.

Además de los beneficios económicos derivados de la exportación de aproximadamente 500.000 individuos/año, que representan alrededor de 15 millones de dólares, un porcentaje importante de las exportaciones no tradicionales nacionales y un 45% del total de las exportaciones actuales de las pequeñas y medianas empresas del país, se reconocen actualmente las ventajas de otras opciones de aprovechamiento *in situ* de la diversidad, como el rancheo, que contribuye de una manera significativa y efectiva a los programas de conservación de los ecosistemas de interés.

⁸ Hernando Zambrano, AZOOCOL

El sector tiene un impuesto de 5% de la producción anual, destinado a proyectos de conservación de especies sometidas a comercio, que pueden invertirse en restauración y protección de áreas de interés.

Entre los beneficios que pueden citarse es que genera aproximadamente 500 empleos directos, tanto para profesionales, como para la comunidad de la localidad en la que se asienta la granja, dedicada con anterioridad, al aprovechamiento extractivo del recurso y actualmente involucrada en el sistema de zootecnia. Además, algunas de las 50 granjas de producción ofrecen paquetes ecoturísticos, que llevan divisas a la localidad. Actualmente se tienen 500.000 ejemplares para ser reintroducidos al medio natural, pero aún no es claro, cuál es la política a seguir al respecto.

Uno de los aspectos derivados de la zootecnia *ex situ*, es la importancia de implementar programas de extracción, con base en producción *in situ* (rancho), de manera que se logre la conservación de los ecosistemas que sustentan la fauna de interés, y en consecuencia otras especies.

La zootecnia se acoge a la normatividad del convenio CITES que regula el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestre, y funciona bajo el modelo de cadena productiva, estableciendo acuerdos entre zootecniadores, curtiembres, comercializadoras y recientemente, manufactureras (Figura 18).

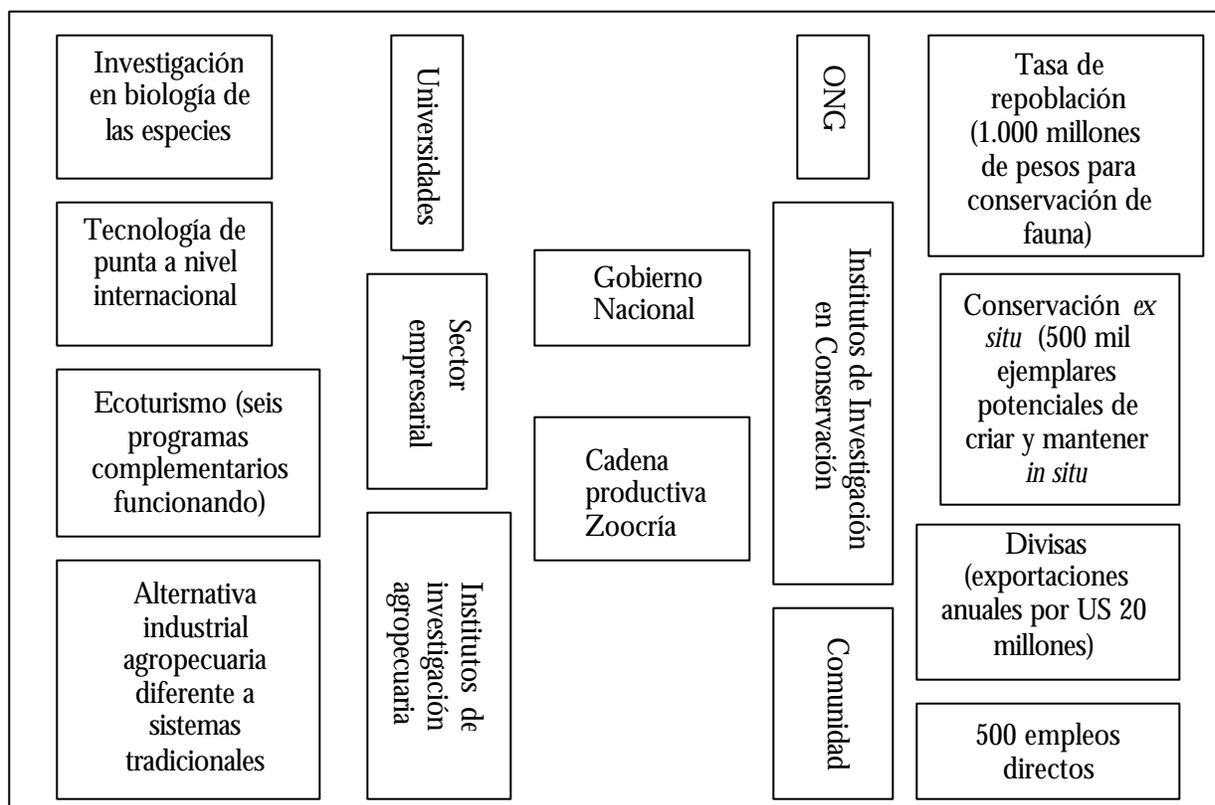


Figura 18. Modelo conceptual Zambrano, 2002

MODELO CONCEPTUAL DE BIOPROSPECCIÓN PARA COLOMBIA EN EL ÁREA ANIMAL

La bioprospección se desarrolla como un proceso con una primera fase de exploración o investigación básica que facilita la identificación de especies con algún tipo de potencial, bien sea para el comercio de bienes, el comercio de servicios o la conservación. Esta primera fase debe ir acompañada de la documentación acerca de las tendencias e intereses del mercado global, y de la innovación científica y tecnológica apropiada para responder a la demanda nacional o internacional.

Una vez se cumple esta primera etapa, que usualmente está a cargo de las universidades o centros de desarrollo tecnológico – CDT y se realiza con recursos del Estado o con capital mixto, vienen una serie de fases en paralelo, que deben llevarse a cabo con capital privado y se relacionan con la exploración de mercados, la rentabilidad del producto, y la generación de la información necesaria para llevar a cabo la producción en condiciones controladas de campo o laboratorio a nivel experimental, y en factorías, granjas o poblaciones naturales a nivel masivo. Después de avances significativos, la resultante de estas etapas indique que hay viabilidad técnica y económica para el producto que se está explorando, se entra en la fase jurídica para apropiar y legalizar la tenencia del bien, y acordar si es el caso, la distribución de beneficios entre las partes que han contribuido en el proceso. Por último se entra en la fase de producción y mercadeo, que conlleva todas las etapas pertinentes a dichas operaciones.

La bioprospección debe plantearse de manera que genere beneficios monetarios y no monetarios para el grupo que lleva a cabo la actividad, y debe retornar recursos a los centros de investigación para que continúen la investigación básica. El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en que se sustenta es un aspecto fundamental para que las actividades derivadas de la bioprospección tengan vigencia y aceptación social en el mediano y largo plazo (Figura 19).

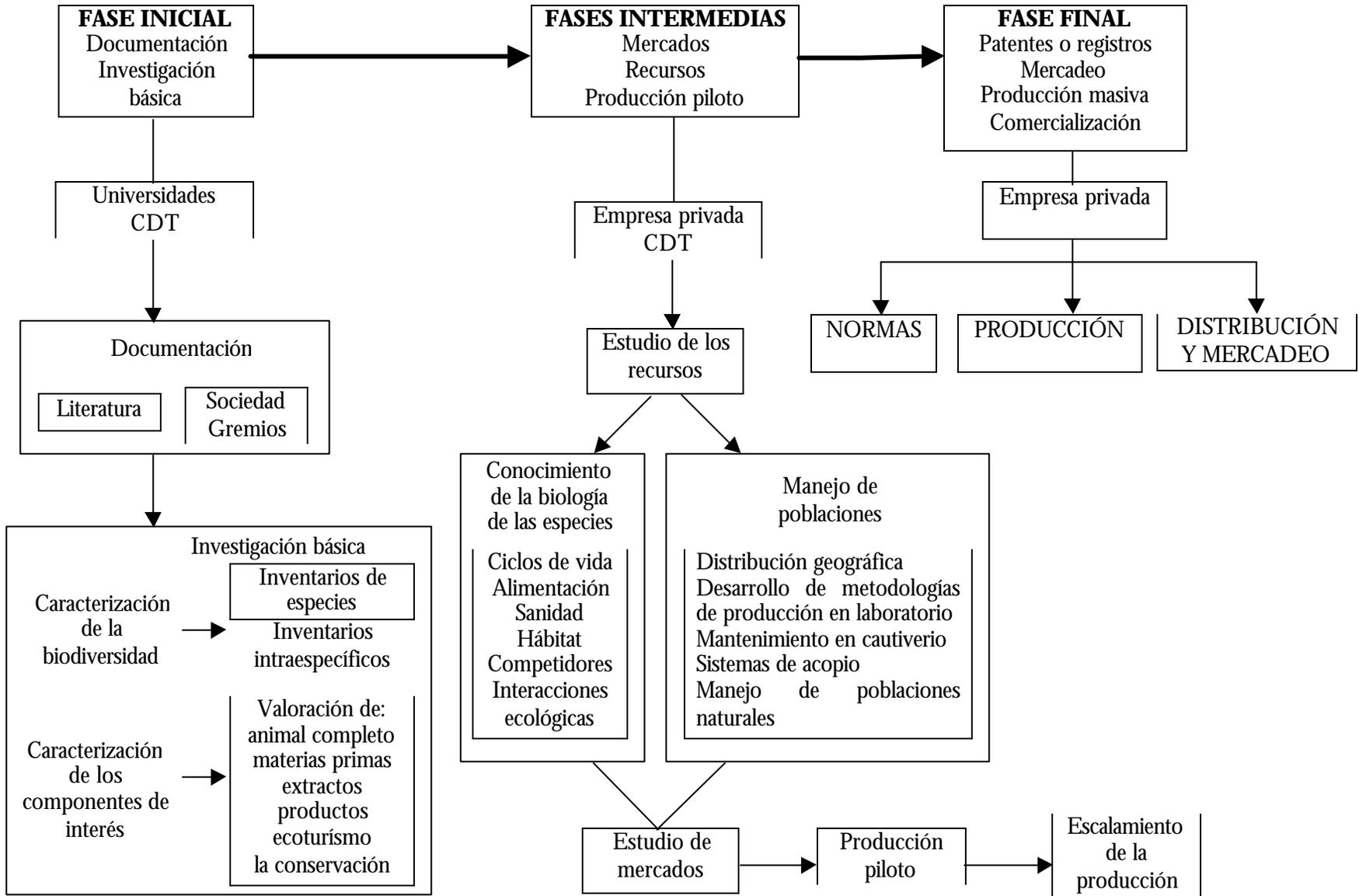


Figura 19. Modelo de bioprospección en el área animal

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA

Hernando Valencia⁹
Jimena Sánchez¹⁰

INTRODUCCIÓN

La participación en el área de microbiología fue de un 25% en relación con las otras áreas temáticas, y predominaron universidades, seguidas por institutos de investigación, empresas privadas y corporaciones. En la Tabla 13 se indican las áreas y líneas de investigación de competencia de los grupos asistentes, donde es posible apreciar un espectro amplio de campos de acción, constituyendo así una muestra representativa de los trabajos de investigación en microbiología (ver Anexo 1.3).

Tabla 13. Entidades que participaron con ponencias en el área de microbiología

PARTICIPANTE	ÁREAS DE INVESTIGACIÓN	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
Instituto de Biotecnología Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá	Microbiología industrial y agrícola	Tecnología de enzimas (biocatalizadores), control de plagas, escalamiento producción, vacunas, producción de biopolímeros, biofertilizantes, biorremediación, caracterización molecular de microorganismos
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. SINCHI	Microbiología del suelo	Diversidad microbiana, micorrizas, caracterización molecular de microorganismos
CORPOICA – Tibaitatá Sede Bogotá	Microbiología agrícola	Control biológico, biotecnología, biofertilizantes, micorrizas, fitopatología, caracterización molecular microorganismos, entomología
CORPOICA. Sede Tolima	Microbiología agrícola	Control biológico, biofertilizantes
Federación Nacional de Cafeteros. CENICAFE. Chinchiná, Caldas	Microbiología agrícola y del suelo	Control biológico, fitopatología, micorrizas, biofertilizantes, biotecnología, caracterización molecular de microorganismos, entomología
Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis”.	Microbiología agrícola	Control biológico, fitopatología, entomología, biofertilizantes
Live Systems Technology S.A. Bogotá	Microbiología agrícola	Control biológico de plagas y enfermedades, genómica, proteómica, caracterización molecular de microorganismos
Corporación CORPOGEN Bogotá	Biodiversidad microbiana, microbiología ambiental	Caracterización molecular, control biológico, ecología microbiana, biorremediación

⁹ Profesor Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia

¹⁰ Profesora Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia

PARTICIPANTE	ÁREAS DE INVESTIGACIÓN	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
Universidad de los Andes Centro de Investigaciones Microbiológicas (CIMIC) Sede Bogotá	Microbiología ambiental, agrícola e industrial	Biorremediación, control biológico de plagas con microorganismos, biofertilizantes y promotores de crecimiento de plantas, inoculantes microbianos, bioseguridad, microbiología molecular
Universidad Nacional de Colombia. Dpto. Biología Sede Bogotá	Microbiología del suelo y ambiental, microbiología agrícola	Ecología microbiana, agricultura ecológica, micorrizas, biofertilizantes, bioestimuladores, control biológico, fitopatología, bioseguridad
Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Sede Medellín	Microbiología agrícola	Fitopatología, control microbiológico de arvenses
Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía Sede Palmira	Microbiología agrícola, básica y del suelo	Micorrizas, fitopatología, agricultura agroecológica, control biológico, biofertilizantes
Universidad de Antioquia Sede Medellín	Microbiología básica, ambiental	Biotecnología, salud animal, diversidad microbiana
Pontificia Universidad Javeriana. Dpto. de Microbiología	Microbiología agrícola y veterinaria, ambiental e industrial	Metabolitos de interés agroindustrial, caracterización molecular, control biológico, biofertilizantes, fitopatología
Pontificia Universidad Javeriana. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental	Microbiología ambiental	Ecología microbiana, biorremediación, caracterización molecular de microorganismos

CONTEXTO PARA ACTIVIDADES DE BIOPROSPECCIÓN EN MICROBIOLOGÍA

En nuestro país los estudios de bioprospección en microbiología se desarrollan bajo diferentes formas y contextos para llegar a la elaboración de un producto o servicio, observándose principalmente tres maneras de abordar el proceso dependiendo de las condiciones particulares (investigativas, locativas, económicas) dadas en cada nivel:

- Actividades a nivel local y comunitario con desarrollo artesanal: La elaboración de productos se ha realizado mediante el método experimental de prueba y error, con resultados valiosos por las contribuciones básicas que conducen a lograr una mejor implementación y eficacia de los procesos. El recurso biológico se encuentra como oferta natural en el ambiente, el cual se ha obtenido mediante extracción directa, y se potencializa mediante inoculación y cultivo en medios naturales. Como ejemplos de este nivel pueden citarse la utilización de caldos microbianos o producción artesanal de entomopatógenos.
- Actividades investigativas y desarrollos efectuados a nivel empresarial: Este nivel involucra diferentes actividades como son muestreo, aislamiento, selección, caracterización, pruebas de eficacia-estabilidad-compatibilidad, producción y mercadeo. En este caso, el potencial económico que poseen los incentiva a llevar a cabo producción a gran escala de cuyo mercadeo y comercialización obtienen beneficios; no obstante, deben cumplir a cabalidad con requerimientos legales y de control de calidad principalmente para ingresar en mercados nacionales e internacionales; es el caso de Live Systems Technology que ha tenido que cumplir con todos los requisitos exigidos para certificación a nivel nacional para exportar.
- Actividades realizadas a nivel de universidades e instituciones gubernamentales. Se desarrollan actividades similares a las mencionadas anteriormente, a nivel empresarial. Se puede destacar que en este caso se encuentra fortalecida la investigación básica que puede llevar o no al

desarrollo de productos comerciales. No obstante, la carencia de infraestructura y recursos económicos suficientes en algunos casos, impide implementar procesos de producción y comercialización a gran escala. Cabe anotar que aunque la producción no es misión de las universidades, como pasos a seguir para lograr desarrollos tecnológicos se podrían recomendar la búsqueda de apoyo económico a través de convenios, financiación de proyectos o alianzas con empresas; igualmente es necesario informar al sector industrial sobre los beneficios que se obtendrían al adelantar estudios en bioprospección para ampliar la visión y proyección de la investigación básica en nuestro país.

En general, la investigación en el área de microbiología en Colombia ha tenido un buen desarrollo en campos biotecnológicos orientados a la solución de necesidades particulares relacionadas con las condiciones tropicales del país, en donde se podrían citar ejemplos, algunos muy conocidos como los logros obtenidos en las investigaciones llevadas a cabo en malaria con repercusión mundial, y otros como el desarrollo de agentes biocontroladores de plagas y enfermedades endémicas, o caracterización de microflora de plantas nativas de nuestros ecosistemas con aplicación en la producción de biofertilizantes. Se puede decir que se han obtenido desarrollos con impacto a nivel económico en diferentes campos.

Dentro de este panorama encontramos que de acuerdo con los grupos participantes (Tabla 13), en Colombia las actividades de investigación en bioprospección han estado orientadas en su gran mayoría hacia la producción de inoculantes microbianos (fertilizantes y fitoestimuladores) y agentes de protección de cultivos agrícolas, investigación – desarrollo en industria farmacéutica y alimentaria, biomedicina, biorremediación y biotecnología ambiental.

Existen instituciones en donde se están adelantando procesos de obtención de patentes a nivel nacional como es el caso del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia - IBUN, otras en que ya se han obtenido a nivel internacional como ocurre con el Centro Nacional de Investigaciones del Café - CENICAFÉ. No obstante, en términos generales, dicho proceso presenta limitaciones por la inversión económica tan alta que requiere su obtención (aproximadamente 15.000 – 30.000 dólares) en contraposición con la baja retribución que se recibe. Incluso algunos empresarios (Live Systems Technology) han abandonado el proceso para algunas cepas debido a que es muy complejo y costoso, llegando a considerar que sólo lo efectuarían en el caso de obtener un producto novedoso del cual se obtenga realmente un adecuado retorno de regalías para la empresa; mientras tanto se manejan secretos industriales y firmas de acuerdos de confidencialidad con las personas que comercializan sus productos.

Durante el segundo taller de bioprospección se presentaron ponencias que ilustran y permiten el análisis de eventos que van desde el proceso de investigación hasta la obtención y comercialización de productos. Entre ellas están:

El Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN) ha orientado sus investigaciones hacia la obtención de productos o beneficios que puedan ser importantes en el mercado mundial (Anexo 1.3.6). Para ello en un inicio buscó como sistemas modelo microorganismos estándar consignados en ceparios internacionales (cepas de referencia) a los cuales tuviera acceso, con el fin de aprender su manejo microbiológico y bioquímico para canalizar posteriormente la búsqueda hacia microorganismos nativos con actividad similar, pero que resultaran mucho más eficientes.

Dicha entidad cuenta con la capacidad técnica y científica para ejecutar programas de investigación centralizados en la búsqueda de microorganismos productores de sustancias con interés industrial, se destacan proyectos exitosos relacionados con la producción de biopolímeros (levanas), biopesticidas (a partir de *Bacillus thuringiensis*), solventes (mediante *Clostridium acetobutylicum*), biofertilizantes (con microorganismos solubilizadores de fosfatos, fijadores biológicos de nitrógeno); cuya financiación ha sido dada a través de la Universidad Nacional, Organización de Estados Americanos - OEA, COLCIENCIAS, Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Empresarial - ONUDI, Centro de Fomento Canadiense para la Investigación - CIID, Fundación Banco de la República, y el sector privado o empresarial (COLINAGRO, CORPODIB).

Para el desarrollo de sus productos se visualiza como estrategia la unión y negociación desde un inicio con gremios o empresas comerciales que inviertan en los proyectos con compromisos, riesgos y ganancias compartidas; manejando según previa concertación aspectos relacionados con propiedad intelectual.

De otro lado, CENICAFÉ es una entidad privada que vela por el desarrollo de una caficultura sostenible, cuya prioridad de investigación, es la solución de problemas de tipo fitosanitario y de optimización de la producción, mediante la generación y empleo de bioplaguicidas, biofertilizantes, plantas transformadas y mejoramiento tradicional en respuesta a las necesidades expresadas por el caficultor, realizando extensión a la comunidad mediante transferencia de tecnología.

Los recursos que maneja provienen del Fondo Nacional del Café, con aportes del gremio de caficultores (83%), por aprovechamiento de campos experimentales que producen café (7%) y por convenios con instituciones nacionales e internacionales (10%). Posee una infraestructura perfectamente dotada de equipos, suministros y personal científico-técnico. Sus investigaciones en el área de microbiología (Anexo 1.3.2) se han dirigido hacia la comprensión del papel que cumplen microorganismos como las micorrizas y biocontroladores de plagas y enfermedades, para su utilización en la zona cafetera, ofreciendo así la posibilidad de generar futuras formulaciones y comercialización de productos biológicos.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) es una entidad con gran trayectoria y reconocimiento en el país. Mediante convenio con el Ministerio de Agricultura y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), administra el banco de germoplasma de microorganismos (4.500 cepas) que son de interés en biofertilización, fitoprotección, nutrición y salud animal.

Se han obtenido productos efectivos para el control biológico de plagas y de microorganismos fitopatógenos durante el desarrollo del cultivo y en poscosecha, biofertilizantes (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, micorrizas), formulación de inóculos microbianos para nutrición animal con base en bacterias y hongos ruminales bovinos, caracterización de microorganismos de importancia en salud animal para posterior producción de vacunas y kits de diagnóstico (Anexo 1.3.4).

Resulta de interés destacar el modelo de comercialización que posee CORPOICA, en el cual todo se centraliza en una oficina de agronegocios que brinda el respaldo necesario para el mercadeo y venta de sus productos.

Un ejemplo interesante de una compañía colombiana originada en la división de agrobiológicos de una empresa transnacional y que ha alcanzado gran desarrollo y proyección internacional lo ofrece Live Systems Technology S. A., la cual cuenta con un equipo interdisciplinario para la obtención y comercialización de productos biológicos para uso en programas de manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos agrícolas (Anexo 1.3.8); destacándose por la elaboración, registro y comercialización de productos biotecnológicos. Hasta el momento han registrado cinco bioplaguicidas, mantienen acuerdos de cooperación con centros de investigación extranjeros, poseen un banco con más de 3.500 cepas de microorganismos nativos con potencial para diferentes usos y exportan sus productos hacia algunos países.

Por otra parte, la labor investigativa realizada por las universidades en nuestro país es fundamental debido a que constituye la base para el desarrollo de muchos procesos concernientes a la utilización de microorganismos en servicios ecológicos, como bioindicadores, o con uso farmacológico, industrial, agropecuario; no obstante, la producción se da a baja o mediana escala debido principalmente a la carencia de recursos económicos e infraestructura apropiada, razón por la cual en los talleres se analizaron y propusieron diversas estrategias para superar estos problemas.

ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA

La encuesta realizada a los participantes del primer taller arroja valiosa información que permite indicar enfoques y tendencias relacionadas con el tema en general. La Figura 20 resume los objetivos, pasos y actividades sugeridas para el desarrollo de bioprospección en el área de microbiología en Colombia. Igualmente se registraron en forma sinóptica (Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16) las diferentes respuestas dadas por los participantes. En las columnas se colocan las respuestas semejantes y complementarias. En general, se aprecia que las respuestas se traslapan dada la interrelación entre las mismas.

Si abordamos en primera instancia la pregunta relacionada con los objetivos de investigación se destacaron, de acuerdo con la incidencia en las respuestas, los siguientes puntos:

1. Identificar un problema pertinente, el cual puede surgir por estudios de necesidad o demanda en el mercado, ejemplo el requerimiento de un organismo controlador de determinada plaga.
2. Conocer y caracterizar el organismo según los diferentes niveles de complejidad (organísmico, biológico, taxonómico, bioquímico, fisiológico, genético, molecular y ecológico). Así mismo se debe registrar y sistematizar la información relacionada.
3. Lograr el desarrollo de un producto a partir de un microorganismo (o conjunto de ellos), para lo cual se requiere en general, además de los estudios básicos, estudios de formulación para asegurar la viabilidad y efectividad de éste; lo que en muchos casos se torna en un punto crítico en los procesos biotecnológicos. Este aspecto ha sido ampliamente discutido dado que han salido al mercado productos ineficientes y que ponen en cuestionamiento los insumos biológicos. En ocasiones se tienen los organismos y se ha evaluado alguna potencialidad, pero no se logra pasar al desarrollo de un producto.

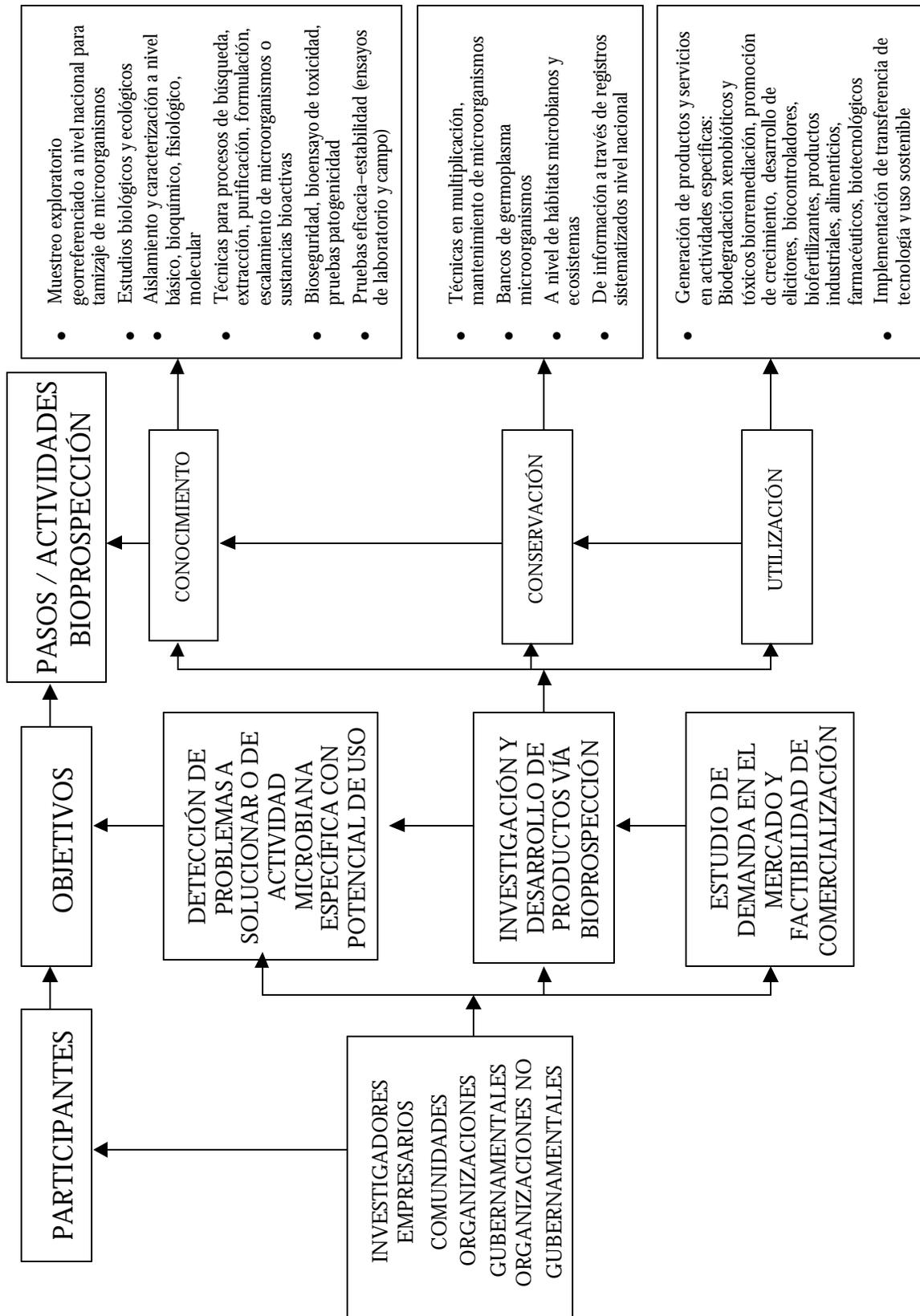


Figura 20. Objetivos, pasos, actividades propuestas, para el desarrollo de un programa nacional de bioprospección en el área de microbiología

Tabla 14. Sinopsis de respuestas obtenidas sobre la pregunta 1. ¿Qué pasos de investigación propone para desarrollar bioprospección en su área temática?

Identificar problema en el campo. Formular preguntas. Verificar pertinencia y contexto	Proponer métodos. Análisis de resultados. Registrar y publicar. Retroalimentar el sistema
Conocer del material biológico y su entorno	Realizar estudios ecológicos relación microorganismo ambiente (biodiversidad)
Explorar ecosistemas. Screening (tamizaje) de microorganismos	Hacer muestreos representativos
Caracterizar	Aplicar técnicas para búsqueda de sustancias bioactivas bioplaguicidas, biofertilizantes y servicios, producción de metabolitos de interés industrial y de alimentos
Preservar las poblaciones	Establecer bancos de germoplasma
Implementación de bases de datos	Establecer redes entre grupos
Formación de personal a nivel técnico y científico. Capacitación en biología molecular	Crear infraestructura, logística
Realizar bioensayos, adecuado diseño experimental. Formulación microbianas como producto comercial	Validar efectividad en condiciones de campo y en diferentes regiones

Tabla 15. Sinopsis de respuestas obtenidas sobre la pregunta 2. ¿Cuáles podrían ser los objetivos de investigación en su área de trabajo para un programa nacional de bioprospección?

Identificar problema pertinente	Investigar a nivel: Básico, bioquímico y molecular	Llegar al desarrollo de productos	Desarrollar Formulación Escalamiento Bioseguridad	Interactuar con Ministerios de: Salud, Agricultura, Medio Ambiente
Estudiar necesidad o demanda en el mercado	Conocimiento biológico (organismo, especie, variedad) Sistematizar información. Conservar o bioprospectar	Desarrollar proceso biotecnológicos		
Reconocer y evaluar una actividad específica o potencial. Ej: Nutrición animal, biofertilizantes, biocontroladores, fitosanitarios	Establecer bancos de germoplasma de microorganismos	Conservar hábitats microbianos y ecosistemas	Bioprospectar Ambientes extremos y sistemas ecológicos únicos.	Formación de investigadores. Obtener recursos para fortalecimiento de grupos y capacitación
	Intercambiar material biológico respetando derechos de obtentor. Proponer criterios técnicos para reglamentación en bioprospección			Implementar procesos para evaluar tecnologías necesarias para ejecutar transferencia

Tabla 16. Sinopsis de respuestas obtenidas sobre la pregunta 3: ¿Cuales podrían ser las actividades de investigación en su área de trabajo para cumplir los objetivos formulados en la pregunta 2?

Muestreo a nivel nacional, aislamiento y conservación	Caracterización fisiológica, bioquímica, molecular, ecológica	Multiplicación de microorganismos	Producción, formulación, vehiculización, Escalamiento.	Pruebas de actividad. Bioensayos de toxicidad. Pruebas de patogenicidad
Muestreo descriptivo georeferenciado	Selección de marcadores para la identificación	Extracción y purificación de metabolitos activos de interés		Actividades específicas en: Biodegradación de xenobióticos y tóxicos, promotores de crecimiento, biorremediación, desarrollo de elicitores a partir de patógenos.

Otro aspecto a considerar es la etapa de producción a gran escala. Si bien se logra iniciar el desarrollo de un producto, éste se da generalmente con bajo rendimiento en producción; por lo cual se reitera el hecho de asociarse con la industria para su fortalecimiento y proyección real.

Igualmente, en proyectos con organismos vivos es de gran importancia contemplar y dar cumplimiento a las condiciones de bioseguridad, debido al riesgo potencial que puede ofrecer su manipulación y liberación en condiciones de campo sin estudios previos a nivel de invernadero y de parcelas experimentales o estudios de toxicidad según el caso.

Se resaltó la importancia de efectuar la evaluación de actividades específicas o potenciales de un microorganismo, para posterior desarrollo de productos.

A otro nivel, la conservación de organismos debe darse no sólo en bancos de germoplasma sino también se debe efectuar a nivel del hábitat o la conservación *in situ*, con información georreferenciada. Se planteó como un aspecto fundamental teniendo en cuenta la necesidad de conservación en términos de reposición del material biológico. Un ejemplo claro está dado a nivel de microorganismos con biotopos específicos, o de rizósferas y filósfera de determinadas plantas.

En el caso de llevarse a cabo intercambio de material biológico de referencia, se deben proponer criterios claros para su reglamentación, respetando los derechos que se estipulen para el manejo.

Por otra parte, se propone fortalecer la formación de investigadores a través del fomento de políticas de apoyo financiero, de tal manera que los productos/servicios y las tecnologías a que se de lugar puedan ser transferidas a las comunidades.

Los pasos que se proponen para desarrollar bioprospección en el área de microbiología y las actividades para cumplir los objetivos presentan convergencias, inclusive con los objetivos mismos.

De acuerdo con la información consignada (Tabla 14), como pasos básicos de investigación se establecieron:

1. Realizar una propuesta metodológica con un adecuado diseño experimental, para efectuar exploración (dirigida o no) y muestreo representativo que permita la obtención de aislamiento y selección (tamizado o screening) de la actividad buscada, por ejemplo: producción de sustancias bioactivas de uso en farmacología, agroindustria, enzimas, biofertilizantes, bioplaguicidas, biopolímeros, alimentación y nutricosméticos, entre otros.
2. Llevar a cabo investigaciones sobre biodiversidad microbiana. Se hace énfasis en estudios sobre caracterización microbiológica de organismos benéficos y patógenos.

Como propuesta adicional contemplada dentro de los pasos se encuentra la de crear una red común de investigación en bioprospección, mediante la unión de instituciones y potencial humano.

Las actividades pueden ser entendidas como aquellas que permiten el desarrollo de los objetivos y complementan las primeras etapas en el proceso de bioprospección. Se plantean principalmente actividades relacionadas con: muestreo, aislamiento y caracterización de microorganismos, multiplicación, extracción y purificación de sustancias de interés, producción a gran escala, vehiculación, ejecución de pruebas de efectividad, patogenicidad y bioensayos de toxicidad.

Adicionalmente, como actividades a nivel molecular se sugiere la búsqueda de genes o expresión de sus moléculas con fines industriales. También se ha planteado como de gran importancia bioprospectar sistemas ecológicos únicos (ambientes extremos) debido a la oportunidad de hallar microorganismos con gran potencial biotecnológico.

Así mismo, es necesario elaborar adecuados diseños experimentales, análisis, registro y publicación de resultados, retroalimentación del sistema, gestión y obtención de recursos para fortalecimiento de grupos y capacitación, se debe lograr la interacción entre diferentes entidades.

En lo referente a sí se conoce con profundidad alguna experiencia internacional en bioprospección existe desconocimiento en el 63% de las personas (Figura 21). Mencionaron algunos casos como el programa de bioindustrias en Japón, recuperación de suelos desertificados por contaminación de petróleo en España, producción de biofertilizantes cubanos utilizando fijadores biológicos de nitrógeno, desarrollo de bioplaguicidas en Israel, caracterización y búsqueda de metabolitos útiles en Bélgica-España-EE.UU., normas relacionadas con bioprospección en la comunidad europea, así como algunos ejemplos de transferencia de tecnología.

Los participantes consideraron relevantes dentro de esas experiencias aspectos relacionados con financiación internacional estableciendo reglas claras, profundización en el conocimiento y uso de bioplaguicidas y biofertilizantes, creación de una legislación adecuada que permita procesos de negociación entre las partes involucradas con distribución equitativa de beneficios, aplicación de tecnologías de ADN en microbiología e industria.

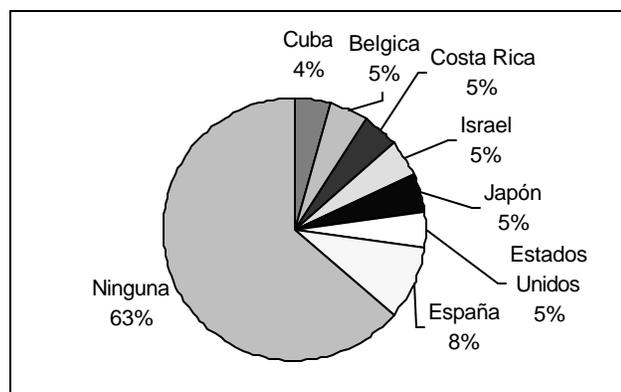


Figura 21. Experiencias en bioprospección conocidas a profundidad

Las investigaciones en microbiología están relacionadas con sectores que deben ser fortalecidos para emprender programas de bioprospección, estos se observan en la Figura 22.

Encontramos que las investigaciones se encuentran representadas así: Agentes de protección de cultivos agrícolas (23%), bioprocesos (16%), biorremediación (12%), farmacéutico (6%), biofertilizantes (4%), microbiología agrícola y del suelo (4%), medicina (3%), semillas (3%), ornamental (1%), otros (28%) relacionados con nutrición y salud animal, industria de alimentos, protección de cultivos agrícolas por inducción de resistencia sistémica, agricultura orgánica.

Para el desarrollo de las investigaciones de bioprospección en microbiología se requiere de la participación de personal calificado de manera interdisciplinaria. En la Tabla 17 se registra el número de personas que opinaron sobre el requerimiento de cada una de las especialidades que propusieron en la encuesta.

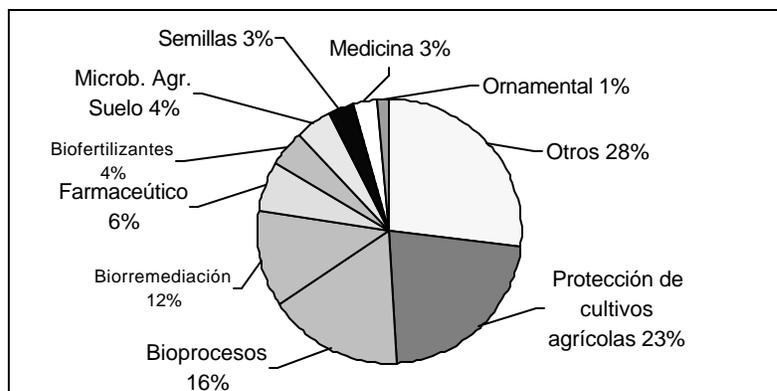


Figura 22. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación

Sobresale la necesidad de microbiólogos y biólogos moleculares. La identificación de microorganismos requiere de la generación y procesamiento de información de tipo bioquímico, fisiológico, ecológico, genético, molecular, más aún en el caso de microorganismos no cultivables.

Tabla 17. Especialidades o profesionales propuestos como necesidad para realizar investigación en bioprospección

CIENCIAS NATURALES		CIENCIAS NATURALES		ECONOMÍA Y CIENCIAS SOCIALES		INGENIERÍAS	
ESPECIALIDADES	N°	ESPECIALIDADES	N°	ESPECIALIDADES	N°	ESPECIALIDADES	N°
Biólogo molecular	9	Enzimólogo	1	Economista	1	Ingeniero químico	5
Microbiólogo	9	Bacteriólogo	1	Bioestadístico	1	Ingeniero agrónomo	3
Biólogo	7	Botánico	1	Administrador de Empresas	1	Biotechnólogo	2
Genetista	4	Microbiólogo agrícola y veterinario.	1			Ingeniero ambiental	1
Fitopatólogo	3	Microbiólogo industrial	1			Ingeniero agroindustrial	1
Bioquímico	3	Químico farmaceuta	1				
Fisiólogo	2	Micólogo	1				
Taxónomo sistemático	2	Médico veterinario	1				
Microbiólogo del suelo	2	Zootecnista	1				

Si se discrimina por áreas y profesionales, un 77% correspondió a investigadores en Ciencias Naturales, 18% a Ingeniería y 5% a Economía y Ciencias Sociales.

La interacción entre las anteriores disciplinas es necesaria para avanzar en los procesos. Es importante resaltar el hecho de establecer grupos interdisciplinarios, en donde exista cooperación entre entidades (comunidad–universidad–gobierno–industria). Se requiere formación en aspectos

éticos y legales relacionados con procesos de negociación y comercialización con productos de origen microbiano.

Con base en lo anterior se establecieron necesidades de capacitación, manifestadas por los diferentes grupos participantes (Tabla 18).

Tabla 18. Necesidades de capacitación para programas en bioprospección

ENTRENAMIENTO	NÚMERO	ENTRENAMIENTO	NÚMERO
Técnicas fitoquímicas	29	Mejoramiento	12
Bioprocesos	34	Bioinformática	35
Mercadeo	30	Legislación	38
Bioética	20	Química combinatoria	8
Técnicas biología molecular	28	Proteómica	9
Negociación de tecnologías	38	Técnicas bioquímicas	21
Genómica	23	Otros	9

Sobresale la necesidad de hacer énfasis en procedimientos referentes a legislación, negociación de tecnologías, mercadeo, bioprocesos y bioinformática para avanzar en procesos de bioprospección en el área de microbiología.

Se busca articular los conocimientos teóricos con la práctica, de tal forma que resulten más efectivos los procesos. Se requiere fortalecimiento en la adquisición de infraestructura, equipos, reactivos y logística (Tabla 19), de acuerdo con la información dada por los encuestados en términos del número de respuestas para cada caso.

Tabla 19. Prioridades en infraestructura, equipos e insumos requeridos

PRIORIDADES	NÚMERO	PRIORIDADES	NÚMERO
Equipos de laboratorio	77	Laboratorios	44
Reactivos e insumos	20	Financiación	9
Acceso a información	7	Transporte	5
Ninguna	2		

Se puede diferenciar entre equipos de laboratorio e infraestructura física (laboratorios), invernaderos.

En cuanto a prioridades logísticas cerca del 50% de los participantes manifiestan necesidades en adquisición de equipos, mientras que para infraestructura e insumos se registra un 25% para cada una de ellas. Entre los primeros se destacaron necesidades en equipos para trabajos en biología molecular, química analítica, microbiología, ingeniería química, principalmente. Se indicaron también necesidades en bioinformática (equipos y programas).

Prioridades en infraestructura, insumos y equipos para llevar a cabo los procesos dependen de cada institución, resaltando que en algunos casos es más importante el equipo de investigadores y su potencial humano. Se propuso como estrategia ideal de ser posible, la centralización en una gran sede, de equipos robustos o muy específicos, de tal forma que puedan ser aprovechados por diferentes grupos de investigación.

Se planteó interés en que los resultados de las investigaciones no generen beneficios únicamente para el grupo investigador de base, sino que se creen redes entre grupos y se efectúen alianzas estratégicas con empresarios para la comercialización de los productos (Figura 23).

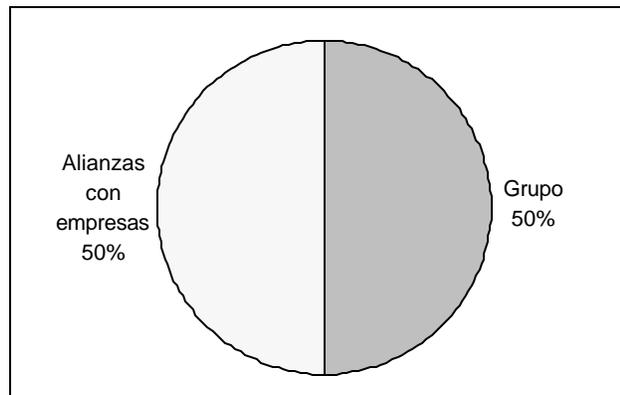


Figura 23. Aprovechamiento de los resultados de las investigaciones

Igualmente existe unificación de criterios en cuanto a la necesidad de lograr que los resultados obtenidos en investigación básica, tengan aplicación a nivel práctico. El aprovechamiento de los beneficios de la investigación debe estar dado por el grupo que la realizó, buscando alianzas estratégicas con empresas para su desarrollo y comercialización. La universidad debe estar en función de la investigación para futuras aplicaciones y desarrollos. Se sugirió (5%) que la alianza con empresas fuera posterior, en el momento de la comercialización y que se tuviera en cuenta allí el reconocimiento de plusvalías.

Por otra parte, en la pregunta relacionada con la utilización de alguna forma de propiedad intelectual para proteger un producto o resultado de la investigación, el 19% respondió que no ha tenido relación con utilización de patentes, derecho de obtentor o secreto comercial (Figura 24).

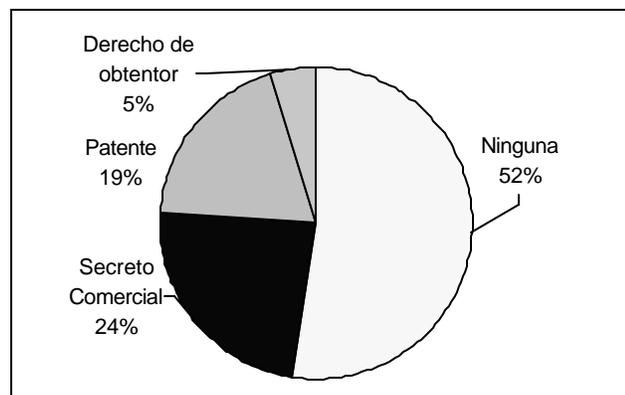


Figura 24. Uso de mecanismos de propiedad intelectual

Se evidenció un desconocimiento general con respecto a aspectos reglamentarios relacionados con derechos de propiedad intelectual, es necesario superar esta carencia mediante instrucción en dicha área.

Con relación a si se están formando los recursos humanos necesarios para que el país emprenda programas en bioprospección, el 55% coincide en que la universidad está formando el personal necesario, en contraposición a un 45% que no lo considera así (Figura 25); en este caso se plantea que se deben fortalecer algunas áreas y tópicos (Tabla 20).

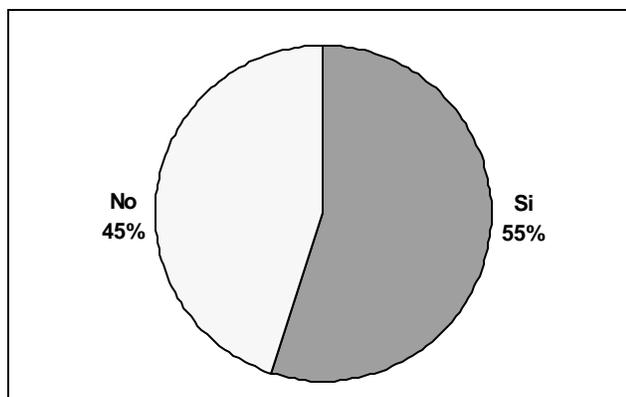


Figura 25. Grado de formación adecuada de personal para programas en bioprospección

Tabla 20. Áreas a fortalecer en la formación de personal

ÁREAS / ASPECTOS	ÁREAS / ASPECTOS
Metodología de la investigación	Microbiología básica
Biología molecular	Bioprocesos
Bioquímica	Química analítica
Bioinformática	Acceso a recursos biológicos
Biogeografía	Ecología
Ecología microbiana	Microbiología del suelo
Legislación	Evaluación de proyectos
Generación de empresas	Mercadeo

Se evidenció la carencia de formación de personal científico y técnico en algunas áreas cuyo conocimiento es fundamental para emprender programas de bioprospección en Colombia.

La creación de una red de investigadores en bioprospección a nivel nacional se plantea como una alternativa que permitiría avanzar rápidamente en los procesos, unificando esfuerzos, información y procedimientos según la especialización e infraestructura de cada uno.

En términos generales, los trabajos de investigación y desarrollo encaminados a la obtención de productos en microbiología se han centralizado en bioprocesos tales como: producción de biocatalizadores, tecnología de enzimas, control de plagas, producción de biopolímeros, biofertilización de suelos, producción de inoculantes microbianos, uso de microorganismos como bioindicadores, procesos de biorremediación, biodegradación, aspectos de bioseguridad, estudios de metabolitos o sustancias activas de microorganismos con múltiples usos a nivel médico, agrícola, veterinario, industrial, forense, y más recientemente, estudios relacionados con genómica y proteómica de microorganismos.

Se manifestó la necesidad por parte de los grupos participantes de generar incentivos para los investigadores, con el fin de promover el interés y el desarrollo de productos vía bioprospección en nuestro país.

Se propone el fortalecimiento en líneas o actividades a nivel de posgrado en: conocimiento de estrategias conducentes a la generación de empresas, evaluación de proyectos empresariales, estrategias de mercadeo y comercialización de productos en bioprospección, legislación y derechos de propiedad intelectual, profundización y actualización en biología molecular, sistemática, bioquímica, microbiología básica y del suelo, ecología microbiana, proteómica, genómica funcional, bioquímica molecular, bioprocesos, diseño de metodologías para la transferencia a nivel rural de los resultados de investigación, bioinformática, bioética.

Se resalta la importancia de que la transferencia de tecnología sea efectuada en períodos de tiempo acordes con los intereses de los empresarios, productores y de todos aquellos que deseen obtener el beneficio de los productos o servicios generados.

Existe en la mayoría de investigadores y empresarios encuestados la disposición de suministrar información a nivel nacional que sea de uso público, debido a que en la actualidad muchos no se encuentran registrados en ninguna base de datos y les gustaría participar en un sistema interactivo; en donde puedan ofrecer los resultados de su investigación, efectuar consultas y actualizar información relacionada con temas de su interés en bioprospección.

ANÁLISIS DE MODELOS DE BIOPROSPECCIÓN EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA

En el segundo taller efectuado, se revisaron y discutieron modelos seleccionados en el área de microbiología, con el fin de comparar la forma como se ha abordado la investigación hasta la obtención de productos. Cabe anotar que el proceso dado en cada institución representa casos de estudio que vale la pena analizar, ya que si bien se observa convergencia en los eventos dados en las etapas de desarrollo de productos, la manera como se han iniciado, desarrollado y fundamentado éstos, presenta enfoques diferentes.

En el esquema presentado por CORPOICA (Figura 26), se observan las diferentes etapas dadas durante el proceso de selección y obtención de productos biocontroladores de plagas y de fitopatógenos presentes en suelo o en poscosecha.

Se puede observar que el proceso parte desde la observación y muestreo en campo (aleatorio o programado) de los microorganismos que causan infección en insectos plaga (epizootias), pasando por diferentes etapas de aislamiento y selección del agente, bioensayos a nivel de laboratorio–invernadero–campo para evaluar su actividad biocontroladora, producción masiva, escalamiento, preformulación, formulación, hasta la obtención del producto al cual se le efectúan estudios de factibilidad, modo de acción, toxicidad, ecotoxicidad y pruebas de eficacia, para posterior registro del producto y patente si amerita hacerlo. Los muestreos se han efectuado en zonas de gran biodiversidad como Chocó, Amazonas, Orinoquía; en donde es muy grande la probabilidad de descubrir microorganismos con buen potencial biotecnológico.

En el evento de gestionar una patente, ésta sería dada con relación a la tecnología desarrollada (fórmula maestra), no se contemplaría la cepa como tal, debido a que todo es un proceso elaborado alrededor de obtener un producto efectivo gracias a la adecuada formulación, ya que los microorganismos pueden verse afectados por las condiciones medioambientales del lugar en donde se van a aplicar; por lo cual se seleccionan los excipientes y se efectúan pruebas de

compatibilidad para garantizar el mantenimiento de su viabilidad frente a diferentes factores relacionados.

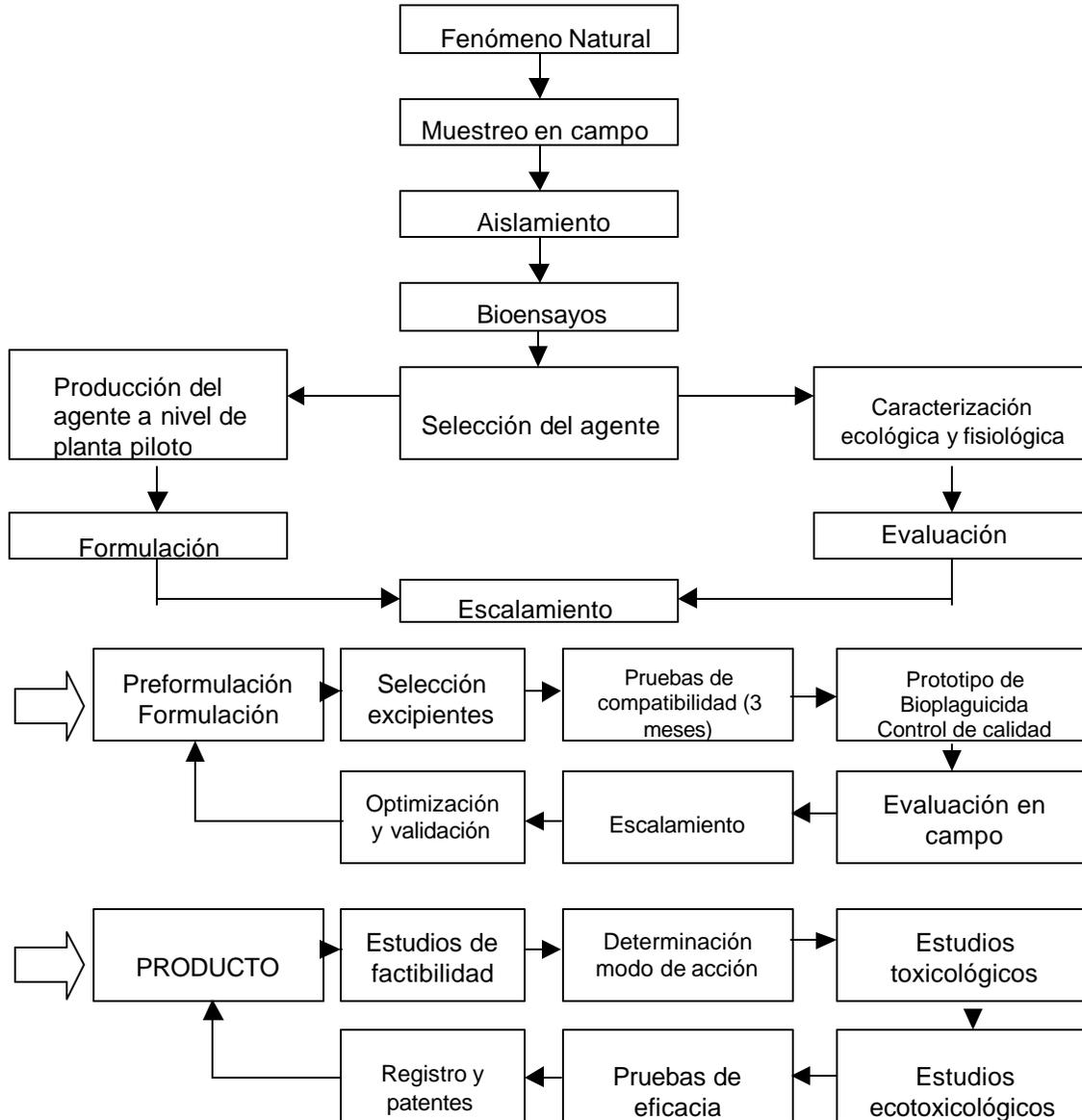


Figura 26. Modelo de desarrollo de bioplaguicidas CORPOICA-Tibaitatá

CORPOICA como ente netamente investigador no efectúa comercialización directa de sus productos, lo hace a través de una oficina de agronegocios, la cual se encarga del proceso de negociación y venta de productos con empresas nacionales o internacionales. Aún no se han comercializado los bioplaguicidas producidos debido a que no se ha pasado a un nivel de producción a gran escala que les permita posicionarse en el mercado, tampoco se han establecido con claridad criterios de negociación para la distribución de regalías.

Para pasar a una escala de producción que permita cubrir la demanda del mercado y su posicionamiento, se podría vender el desarrollo de la tecnología para obtener financiación y efectuar comercialización de los productos. Igualmente, se necesita conseguir apoyo económico

para invertir en los procesos de investigación conducentes a la caracterización bioquímica y molecular de los microorganismos pertenecientes al banco de germoplasma; en la actualidad los recursos existentes se han destinado al mantenimiento de las cepas.

Se podría estudiar la posibilidad y viabilidad de realizar alianzas y negociaciones con países industrializados para gestionar recursos económicos que permitan avanzar en procesos de investigación (aislamiento, caracterización, producción, estudios de toxicidad e impacto ambiental sobre especies relacionadas con la plaga a controlar, evaluación en campo). En la Figura 27 se muestran los modelos de comercialización planteados por CORPOICA con empresas nacionales y extranjeras.

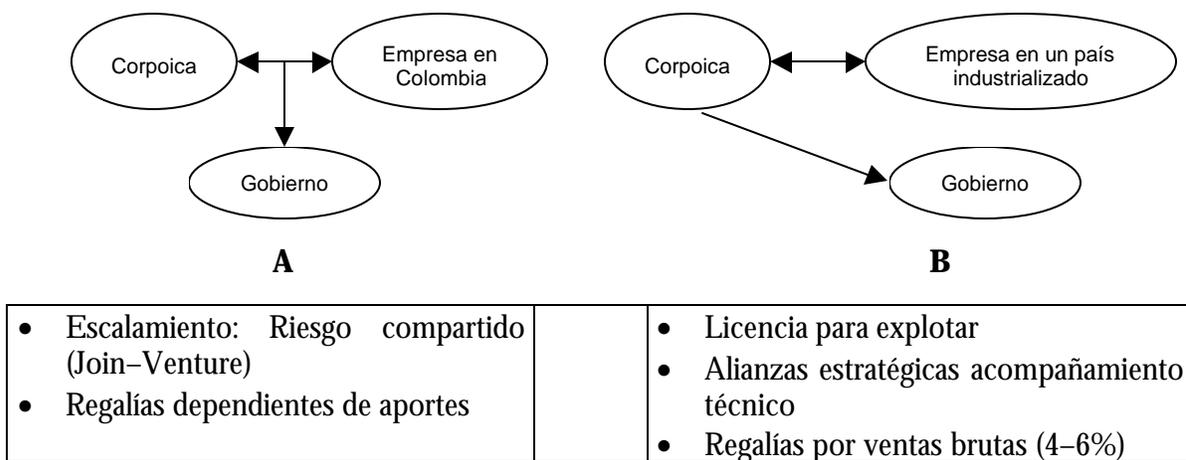


Figura 27. Modelo de comercialización con empresas nacionales (A) y con empresas extranjeras (B) propuesto por CORPOICA

La carencia de recursos financieros también pueden ser solventada mediante apoyo de entidades gubernamentales que destinen fondos específicos para tal fin.

El laboratorio de control biológico del programa MIP (manejo integrado de plagas) se encuentra registrado ante el ICA-LANIA (Laboratorio Nacional de Insumos Agrícolas) para la certificación de sus productos y servicios a nivel nacional.

El segundo caso de estudio está representado por CENICAFÉ quien ha establecido un modelo para la producción de diferentes microorganismos biocontroladores de plagas y enfermedades en el cultivo de café, además de adelantar investigaciones relacionadas con el empleo de microorganismos como biofertilizantes con miras a establecer una caficultura biológica.

Su estructura financiera (Figura 28) y operacional (Figura 29) le permite una adecuada dotación en infraestructura, equipos e insumos, de tal forma que pueda cumplir con los objetivos propuestos dentro del plan quinquenal de investigación. CENICAFÉ a nivel interno tiene cuatro programas a través de los cuales canalizan las necesidades manifestadas por el caficultor planteando los trabajos de investigación hacia la solución de dichos requerimientos. Así, CENICAFÉ realiza investigaciones y genera resultados que son entregados al servicio de extensión, quienes transfieren los conocimientos directamente al caficultor.

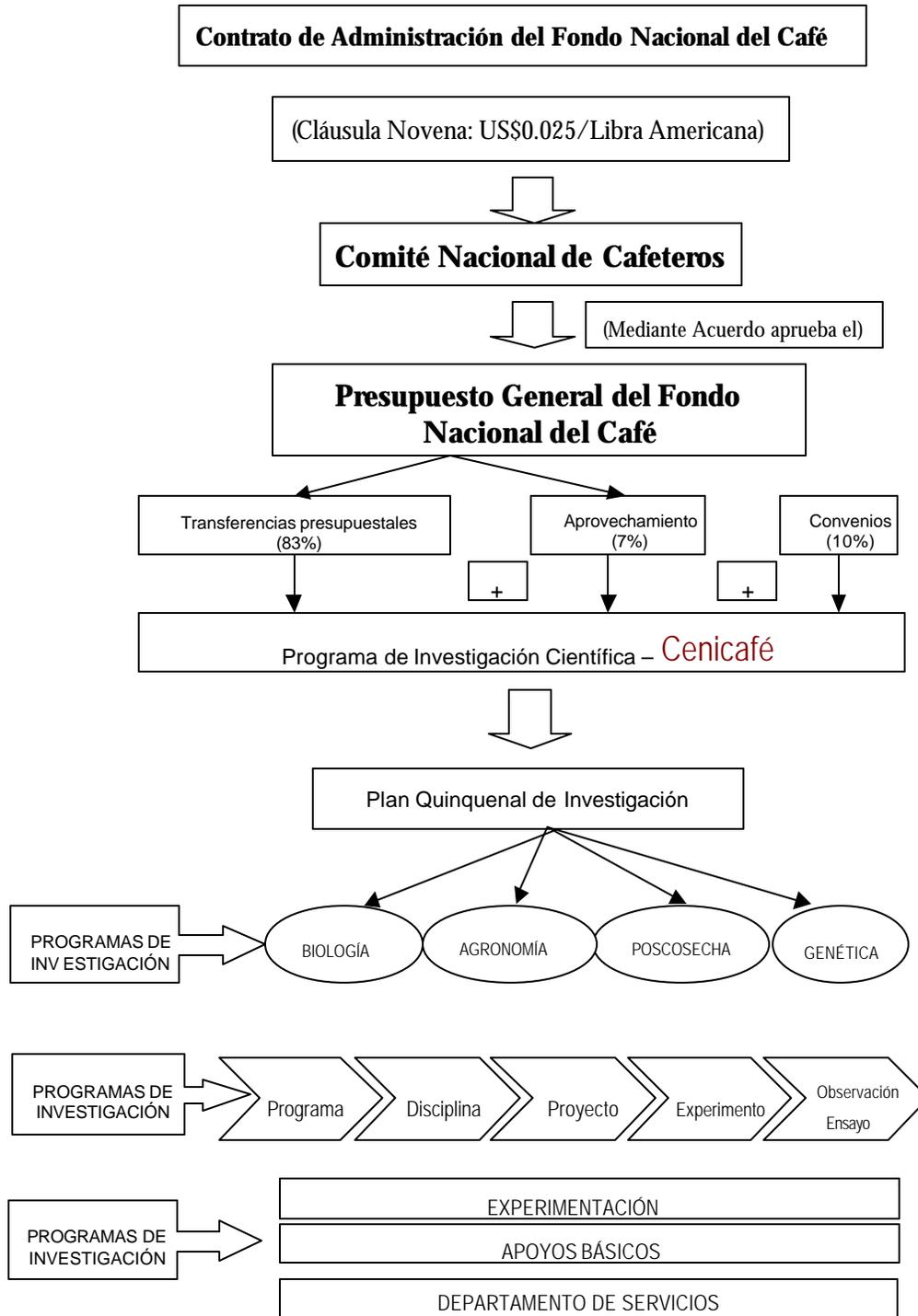


Figura 28. Recursos destinados a programas, estrategias y servicios de investigación de CENICAFÉ

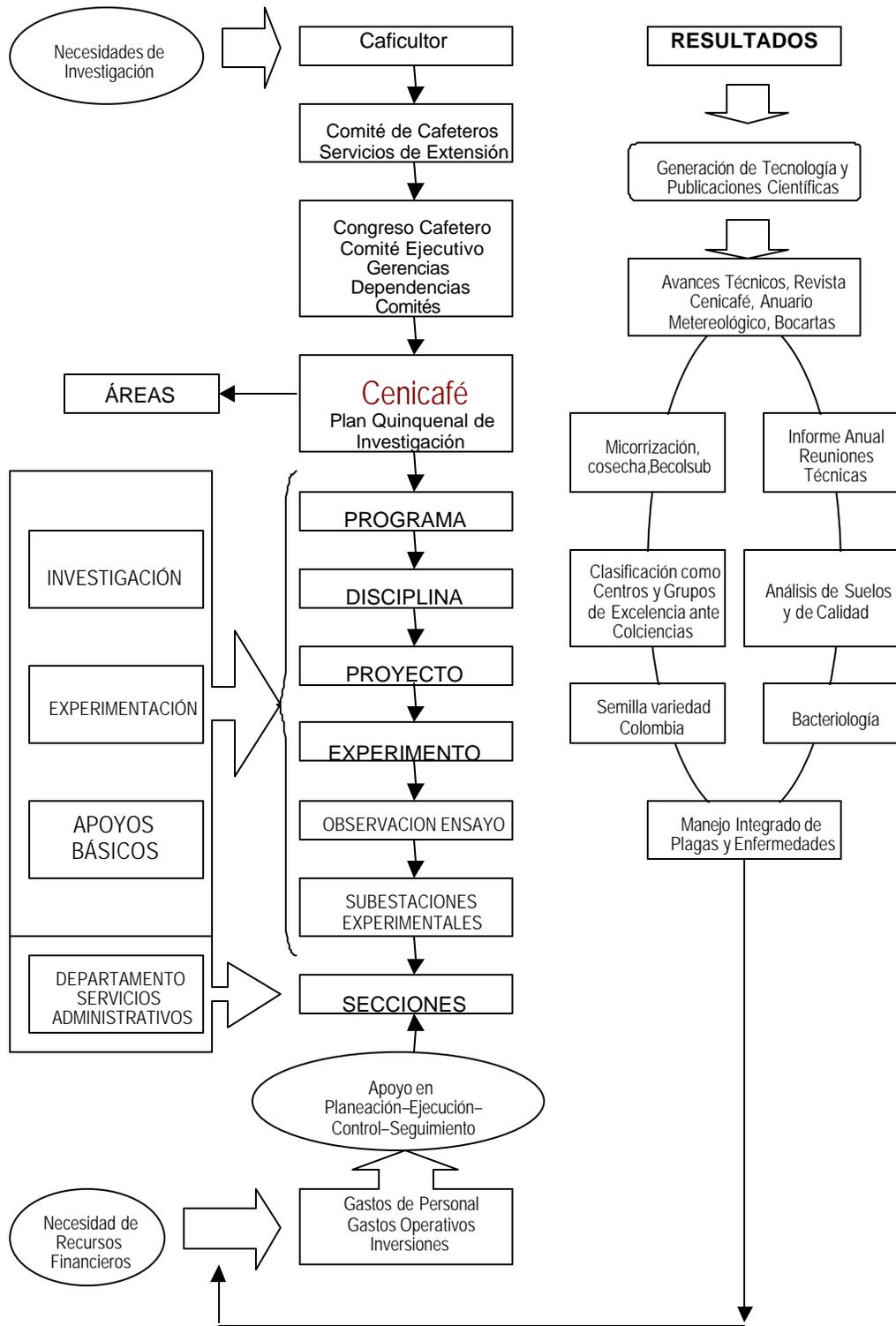


Figura 29. Estructura operacional de CENICAFÉ

Los modelos de investigación efectuados por CENICAFÉ a nivel nacional (Figura 30) y con la participación de instituciones de la Comunidad Económica Europea y países del tercer mundo (Figura 31) pueden ser observados a continuación.

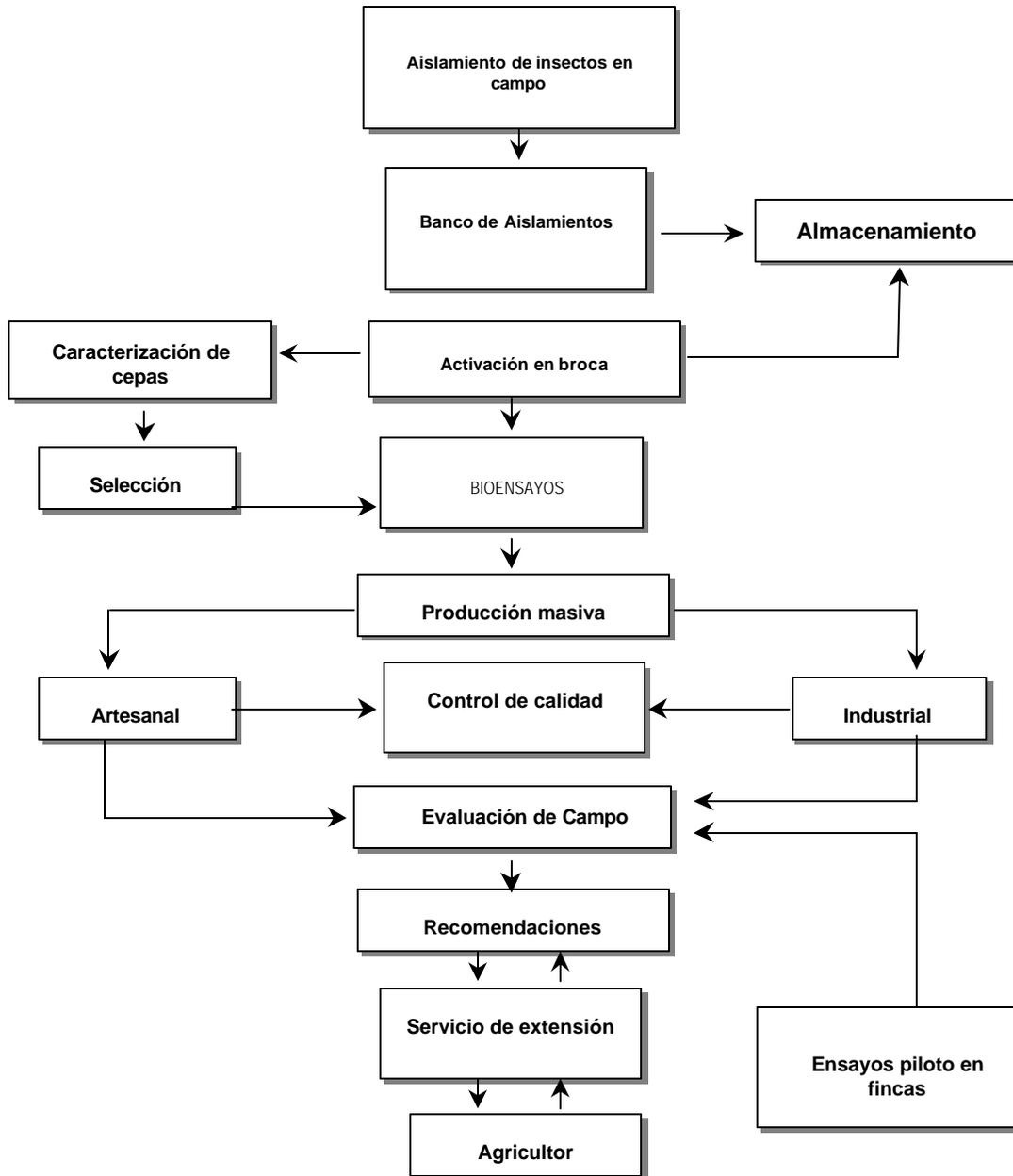


Figura 30. Modelo de investigación para la utilización de hongos entomopatógenos para el control microbiológico de la broca del café

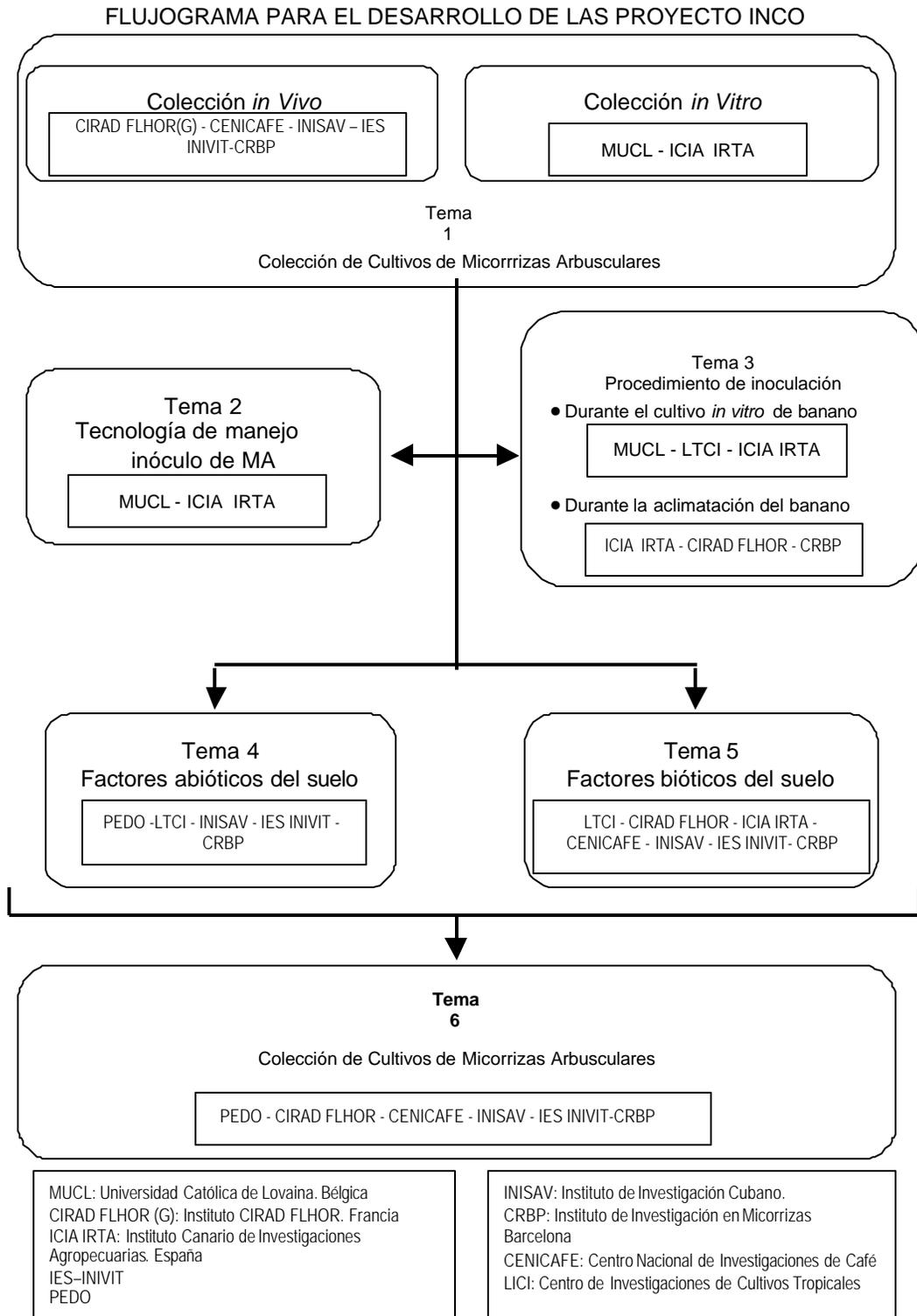


Figura 31. Modelo de investigación financiado por la Comunidad Económica Europea para la mitigación de factores bióticos y abióticos del suelo por micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) en sistemas de propagación en plátano y banano

El desarrollo de agentes de control biológico es una alternativa eficaz dentro de programas de manejo integrado de plagas y enfermedades. El empleo de los hongos *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin es de gran utilidad para el control de la broca.

Para la obtención de productos biocontroladores de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) CENICAFÉ realiza diferentes etapas que involucran aislamiento, caracterización, conservación, bioensayos, evaluación de eficacia, producción masiva y aplicación (Figura 30). Es importante resaltar la labor de extensión que ha venido efectuando, de tal manera que los beneficios llegaron inicialmente al agricultor mediante el suministro de los hongos biocontroladores, seguido de acompañamiento y asesoría técnica para producción artesanal con ensayos piloto en fincas. Dados los efectivos resultados, actualmente se realiza producción industrial con distribución a los agricultores a través del servicio de extensión, obteniendo control del 45% de la población en 1995 (Rivillas y Bustillo, 2002). Es un claro ejemplo de transferencia de tecnología para la solución de las necesidades de la comunidad de caficultores.

El modelo de convenio internacional con la Comunidad Europea (proyecto INCO) firmado entre varios países tiene como fin la caracterización y producción de inóculo micorrízico (Figura 31), allí se observa que a partir de la obtención y caracterización de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) se establece una colección cuyo manejo tecnológico (cultivo monoaxénico), inoculación y formulación favorece el establecimiento de musáceas (plátano y banano) micropropagadas.

El conocimiento de la biología y del modo de acción de las cepas nativas de MVA frente a diferentes factores ecológicos y bióticos del suelo es fundamental para su formulación, de tal forma que se mantenga su efectividad evitando además el desprestigio que en algunos casos se da para los inoculantes microbianos, debido a que las fallas se presentan a este nivel.

A nivel de biocontroladores, CENICAFÉ no tiene establecidos mecanismos de protección de derecho intelectual, ya que los resultados de sus investigaciones son publicadas con el fin de manejar la biodiversidad de manera sostenible, colocándola al servicio de los caficultores para la obtención de beneficios. No obstante, están considerando la obtener patentes para protección de algunos de sus resultados.

Otro caso de estudio es el modelo presentado por la empresa nacional Live Systems Technology – LST (Figura 32) generada con aportes de 22 socios cuya empresa desarrolla bioplaguicidas a gran escala y se efectúa comercialización. Cuenta con un grupo multidisciplinario que ha acumulado 16 años de experiencia en el área, quienes tomaron la decisión coyuntural de desvincularse de la compañía multinacional Agrevo S.A., al retirarse del mercado latinoamericano, constituyendo así con éxito su propia empresa.

Con base en la colección de microorganismos (3.500 cepas) que poseen, pueden efectuar screening (tamizaje) para la selección y caracterización de cepas para utilización en bioprocesos efectuando las etapas necesarias para investigación, desarrollo, formulación, producción, control de calidad (con estándares de gestión de calidad ISO 9002 y en transición a la fase ISO 9000 versión 2000), y mercadeo de sus productos (Figura 33); también ofrecen servicios en control de calidad de productos microbiológicos en diversas áreas a terceros, ya que cuenta con el registro ante el Laboratorio Nacional de Insumos Agrícolas del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA-LANIA).

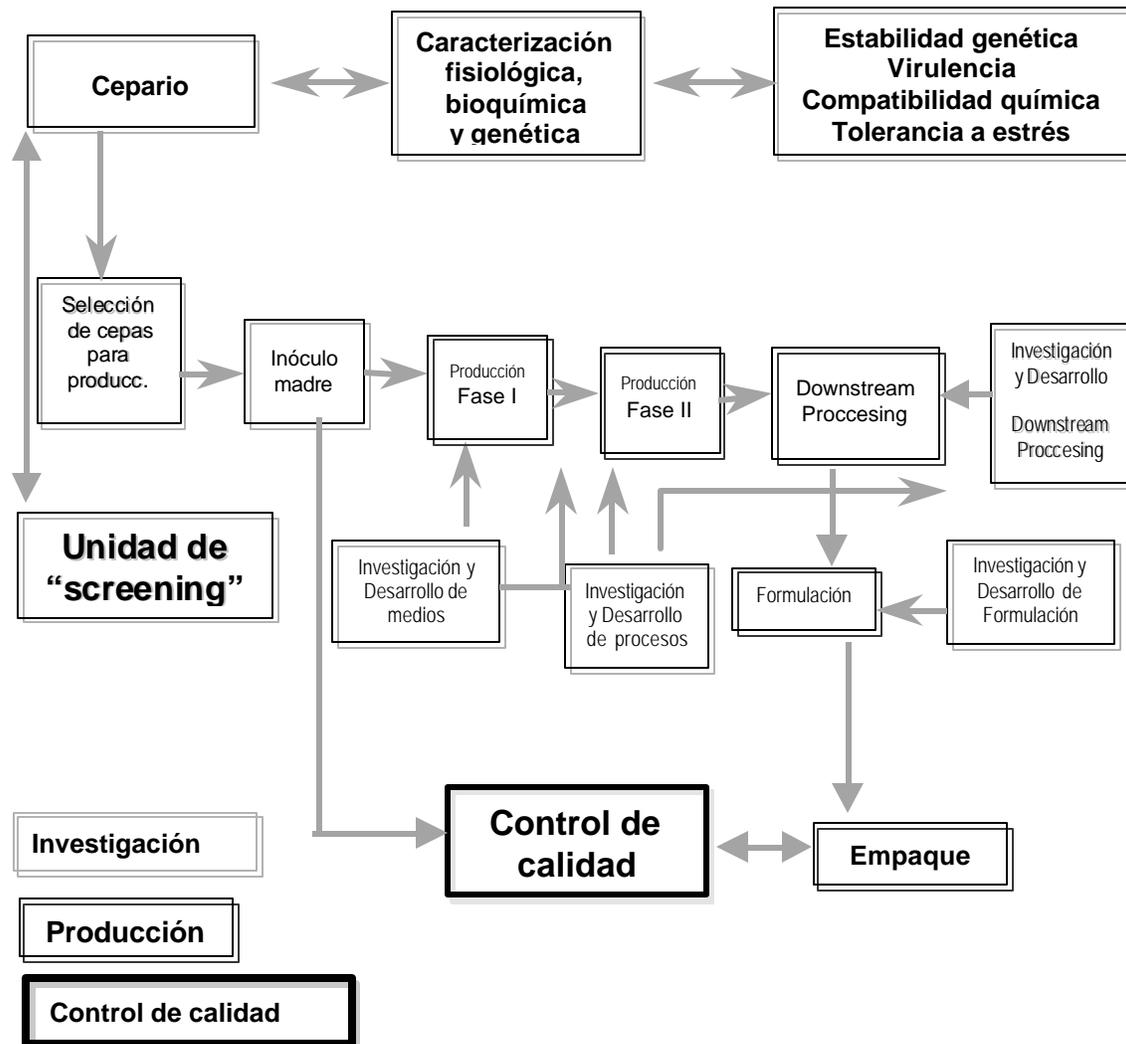


Figura 32. Modelo de investigación, desarrollo y producción presentado por la empresa nacional LST

Es interesante observar que la bioprospección se ha enfocado básicamente en microorganismos del área agrícola, debido a la necesidad actual a nivel mundial de solucionar el problema de desestabilización de los ecosistemas por el uso incontrolado de agroquímicos.

Los proyectos se han llevado a cabo con recursos financieros propios, de COLCIENCIAS y con cooperación de centros de investigación extranjeros. Efectúan trabajos de tesis y pasantías con universidades para desarrollar actividades específicas que requiere la empresa.

La articulación entre la empresa privada y la investigación básica generada en las universidades es importante para el avance en los procesos y en el descubrimiento de nuevas especies de microorganismos y potencialidades.

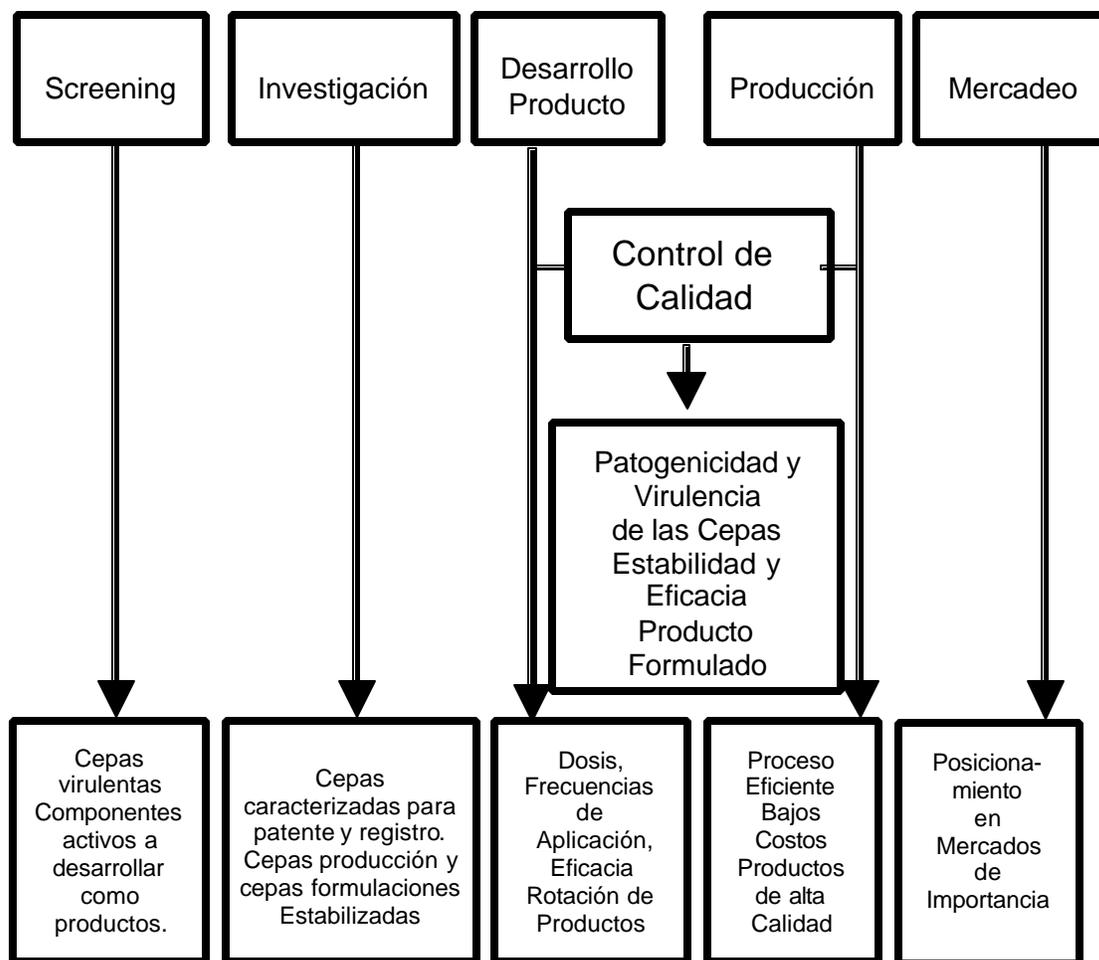


Figura 33. Modelo de producción y comercialización de biopesticidas. – LST

El dinero generado por la comercialización de sus productos en mercados de importancia a nivel nacional e internacional (Italia, Liga Árabe) ha sido utilizado para su propio beneficio y mantenimiento; no manejan patentes (sólo sería dado para algo muy novedoso).

Live Systems Technology ha abordado investigaciones de toxicología y ecotoxicología para el manejo y aplicación de sus productos, resaltando que son necesarias y en el país no siempre se efectúan. Actualmente se están buscando convenios con la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Colombia, la cual se encuentra en proceso de certificación para poder realizar pruebas de patogenicidad y toxicidad oral aguda, pulmonar, dermal, sensibilización cutánea e irritación ocular en animales de bioensayo, que son requeridas para dar cumplimiento a las normas internacionales de la Agencia para la Protección Ambiental (EPA) o de entidades reglamentarias de la Comunidad Económica Europea. A nivel ecotoxicológico se hacen pruebas de toxicidad en peces, invertebrados acuáticos, insectos benéficos (parasitoides o predadores).

El cuarto caso de estudio está representado por el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia - IBUN, que es un ejemplo de un instituto de investigación universitario en el cual se desarrollan procesos biotecnológicos que involucran todas las etapas necesarias para la obtención de productos, el IBUN ha tenido que superar obstáculos como el nivel de competitividad en producción, conocimiento global sobre desarrollo en laboratorio y aplicación

industrial, procesos de negociación. Es interesante observar la secuencia de eventos a través del tiempo, en donde el IBUN ha adquirido una valiosa experiencia en el conocimiento de procesos de desarrollo, apropiación y manejo de recursos y tecnologías, además de evaluación de alternativas de negociación.

En un inicio los esfuerzos estuvieron dirigidos a la formación del personal interdisciplinario encargado de los procesos intentando efectuar desarrollos biotecnológicos para entrar en diferentes mercados, no obstante, el grado de competitividad alcanzado no fue el esperado, así como tampoco el retorno de beneficios económicos; el balance positivo en esta fase está representado por la implementación de técnicas que permitirían iniciar procesos, además de otros relacionados con el aprendizaje de la experiencia vivida. Luego vino una etapa donde se determinó que era conveniente conocer e implementar algunos procesos biotecnológicos exitosos a nivel mundial mediante la utilización de sistemas modelo con cepas tipo de referencia, de tal forma que se pudiera aprender todo lo relacionado con su manejo y producción; de allí se generó la necesidad de trabajar con cepas nativas, a las cuales posteriormente se les evidenció una mayor efectividad con respecto a las cepas tipo.

Todo el conocimiento generado en el proceso de intentar la obtención de productos biotecnológicos encierra un nivel que resulta difícil de determinar en cifras monetarias, es así como se toma conciencia de la necesidad de involucrar especialistas en economía para tratar de dar una asignación real a los productos.

Se están efectuando cuatro proyectos cuyo éxito está dado principalmente en el descubrimiento de microorganismos con potenciales de uso a nivel agrícola e industrial, pero en términos generales se percibe que es grande la labor de mercadeo que debe efectuarse para atraer la atención de inversionistas, que crean en las bondades de lo que se ofrece y arriesguen capital en la generación de procesos.

Uno de los proyectos que constituye un ejemplo de desarrollo biotecnológico en donde se ilustra un proceso de bioprospección en el sentido de partir de un objetivo hasta llegar a la obtención de un producto industrial, es la búsqueda de un biopolímero de origen microbiano con características químicas novedosas, se indica en la Figura 34 y Figura 35.

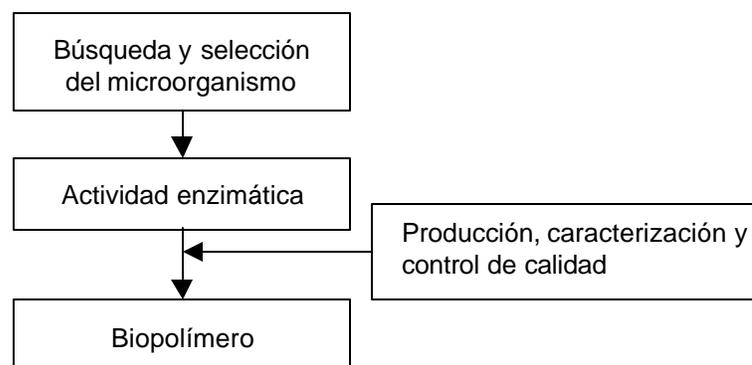


Figura 34. Etapas de la investigación básica para la producción de biopolímeros (IBUN)

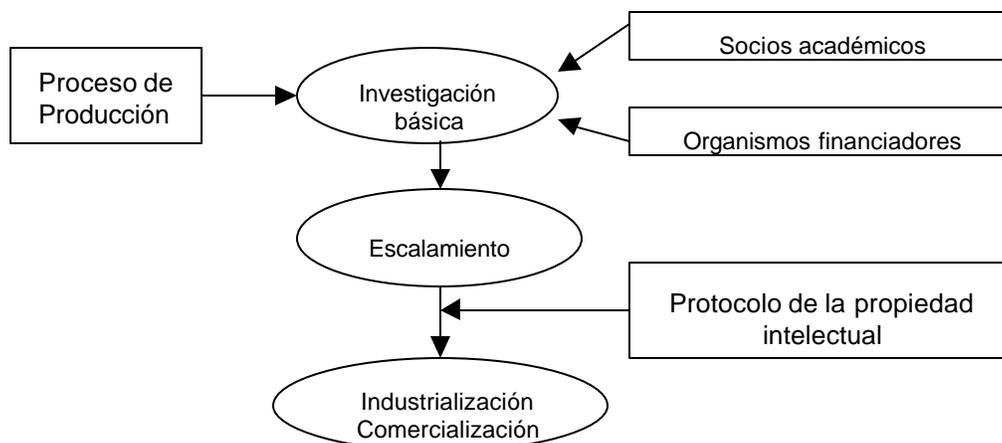


Figura 35. Etapas de desarrollo del producto-biopolímero (levana) de origen microbiano. Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN)

El proyecto de desarrollo de levanas (polímero derivado de azúcares) tuvo su origen en la búsqueda programada de microorganismos que los produjera, ya que tienen muchas aplicaciones novedosas como sustitución de gelatinas de origen animal para recubrimiento de cápsulas, o como películas para recubrimiento de frutas y utilización en fibras alimenticias. Se efectuó el aislamiento y caracterización de la enzima que produce el biopolímero a partir de una cepa nativa muy eficiente, se inició entonces la gestión con empresarios para su comercialización, en donde dos entidades manifestaron interés y con quienes se emprendieron dos tipos diferentes de negociación de acuerdo a lo propuesto por los empresarios. Se presentaron dificultades en cuanto a que el IBUN como institución académica no tenía muy claro el manejo de los derechos de propiedad intelectual, y aún no se sabe si debía negociar o licenciar la tecnología (aunque la opción que mejor se perfila es la de participar en el proceso de desarrollo industrial en donde el Instituto obtenga regalías a manera de royalties); además, para cubrir la demanda nacional se necesitaría de una planta que tendría un valor aproximado de un millón de dólares, costo que no piensa asumir una de las empresas en su totalidad, siendo allí en donde se dificulta la negociación. Sin embargo, la otra empresa interesada no desea negociar el desarrollo del producto, prefiere hacer la totalidad de la inversión y que el IBUN aporte sólo la materia prima; igualmente se está tratando de establecer una negociación equitativa.

El proyecto de fermentación anaerobia para producir solventes tuvo un decaimiento durante 1980–1990 debido a que a nivel mundial los productos se obtenían a través del petróleo de tal forma que no se podía competir con los altos costos de producción que incluyen la utilización de azúcares como sustrato de fermentación. Son muy pocos los grupos a nivel mundial que trabajan en esta línea, el proyecto nunca se abandonó; se han obtenido cepas nativas con gran eficacia en la producción de solventes y degradación de sustratos recalcitrantes. En Colombia puede tener gran aplicación en la degradación de residuos celulósicos como los producidos por la palma de aceite, y ya se han efectuado algunos ensayos con el Centro de Investigaciones de la Palma de Aceite (CENIPALMA) con buenos resultados, o para la obtención de enzimas útiles para estos procesos.

En los demás casos relacionados con la producción de bioplaguicidas, biofertilizantes y solventes, de igual manera se determina la necesidad de asociarse con empresarios desde un comienzo para lograr una producción a mayor escala; con extensión y mercadeo de los productos.

Otro ejemplo de interés en donde se muestra una vía diferente en un proceso de investigación en bioprospección es el desarrollo de productos biofertilizantes. La bioprospección involucra planeación de actividades (con pasos comunes como se ha indicado en los diferentes modelos expuestos) en una forma más o menos estructurada, como se sintetiza en la Figura 36. En este caso se parte de un objetivo diferente, enfocado hacia la investigación básica: el estudio de microorganismos en un cultivo con producción sostenible y sin aplicación de agroquímicos. Se detectan actividades importantes y se reconocen microorganismos promisorios para mejorar el estatus de nutrientes en el suelo y la productividad en cultivos, información que se divulga en un Congreso de Ciencia del Suelo (Valero, 2000), la cual interesa a industriales, quienes se involucran en el proceso y participan en un proyecto de Ciencia y Tecnología, cuya financiación requiere del concurso de la industria.

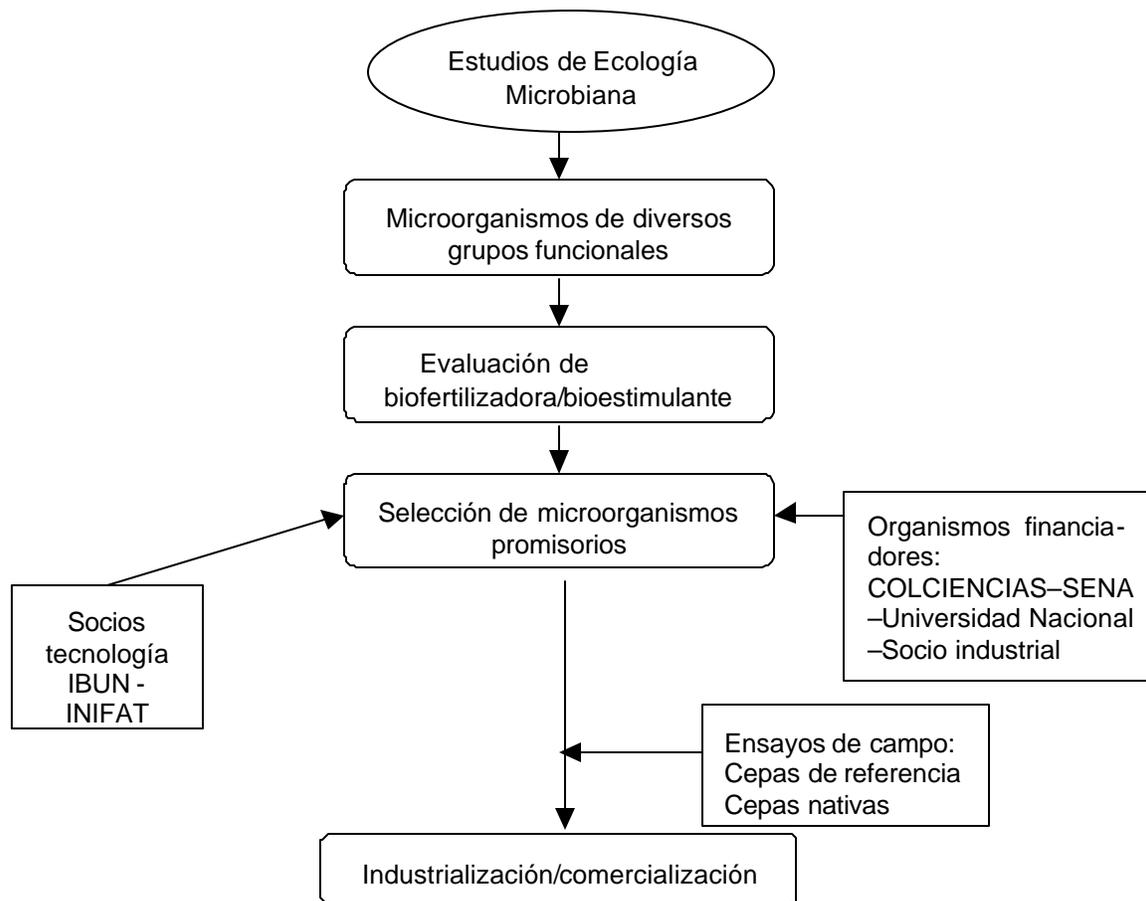


Figura 36. Etapas de investigación básica (Laboratorio Microbiología del Suelo - Departamento de Biología) y desarrollo de biofertilizantes IBUN- Biocultivos

Institucionalmente se puede destacar el hecho de la interacción de diferentes instancias, aún dentro de la misma universidad y a nivel nacional e internacional, como son: el Laboratorio de Microbiología del Suelo, donde se originó la línea de investigación, el Instituto de Biotecnología, el Instituto de Investigación Fundamental de Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” INIFAT de Cuba, el intercambio de tecnología para formulación y escalamiento, con empresarios (biocultivos) de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), cofinanciado por el Gobierno (Universidad Nacional–COLCIENCIAS–SENA–industria privada).

De esta forma la alianza con la industria privada permitirá el escalamiento a nivel de planta piloto, que de manera reiterada se ha nombrado entre los principales factores limitantes. Por otra parte es relevante el hecho de perfilarse una aplicación “industrial–comercial” más rápida, por la experiencia zonal en estos proyectos biotecnológicos pero desarrollados a escala de Colombia por el IBUN (Aristizábal, 2000), el interés de investigadores (Valencia, 1979) y recientemente de industriales en propiciar aplicaciones con enfoque agroecológico.

Dentro de los procesos de bioprospección, un punto crítico está dado en cuanto a la distribución de regalías, porque en algunas oportunidades la empresa exige mayor beneficio al haber patrocinado económicamente parte de la investigación, es necesario determinar los costos de cada etapa para que se puedan sacar los porcentajes de ganancia.

Es interesante que a raíz de las dificultades en la negociación, la universidad ya empezó a intervenir para que se logre la obtención de regalías entre 2 – 7.5%, correspondientes al manejo de la tecnología y el proceso de acompañamiento, teniendo en cuenta el tipo de producto. También se está pensando en la creación de un fondo para las patentes que se produzcan, dado su alto costo a nivel nacional e internacional.

No sólo el costo es una limitante para el proceso de patentes, la consignación de cepas nativas en ceparios internacionales como requisito ofrece desventajas en cuanto al temor de la posible utilización de la cepa en el exterior, para lo cual se plantea efectuar caracterización molecular generando un mapa de la información genética del microorganismo. Por otro lado, la ventaja que ofrece el mantenimiento de la cepa en un cepario internacional es que ante la eventualidad de pérdida de la cepa o de su estabilidad, se tiene la oportunidad de acceder a la colección para recuperar el microorganismo, además de asegurar su mantenimiento por largo tiempo.

En Colombia no se patentan microorganismos se patentan el desarrollo tecnológico, pero hay un componente adicional que debe tenerse en cuenta y es la solicitud de acceso al recurso biológico, que debe ser tramitado para lograr su obtención (muestreo) y utilización; también se deben involucrar aspectos relacionados con la concertación con las comunidades. El acceso al recurso biológico puede ser directo (ejemplo: recolección de muestra del suelo) o en algunos casos se necesita diligenciar el permiso de acceso para garantizar la continuidad en el muestreo, es muy importante velar así por el mantenimiento de los sistemas ecológicos y por ende del recurso biológico.

Al parecer la mejor estrategia para la obtención y comercialización de productos biotecnológicos por convenios con universidades o institutos de investigación es la de establecer contactos y negociaciones desde un inicio con los empresarios para evaluar posibilidades en el mercadeo de tal forma, que si existe factibilidad se pueda comenzar con los procesos de desarrollo compartido, para ir sorteando así los contratiempos que se vayan presentado.

El estudio de mercados internacionales no debe incluir únicamente la búsqueda de necesidades a solucionar, también es adecuada la orientación hacia el ofrecimiento de productos novedosos para los cuales por determinadas condiciones (carencia de materia prima o de metodología para obtención y producción) se imposibilita o dificulta su acceso.

Si en nuestro país la bioprospección aborda necesidades regionales, estaría dando el primer paso para avanzar con un programa que genere empleo y recursos para todos.

MODELO DE BIOPROSPECCIÓN PARA COLOMBIA EN EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA

Con base en las deliberaciones, los diversos enfoques aplicados, la discusión de los modelos presentados por representantes de empresas, comunidades académicas e investigativas, y con la reunión de ideas y experiencias de los participantes provenientes de diferentes regiones del país; se propone un modelo general de bioprospección para nuestro medio. Este se puede considerar como una resultante que integra elementos y experiencias aportadas por todos los participantes del segundo taller de bioprospección.

En primera instancia es importante tener en cuenta que la bioprospección puede involucrar:

- Búsqueda de un organismo o un componente biológico para llevarlo a un producto
- Organismo(s) para un servicio ecológico, por ejemplo biorremediación, fitorremediación
- Bioprospección no tangible, o relativa al conocimiento generado aplicable en otro contexto. Así por ejemplo, cuando se llega a dilucidar que a cierta planta o animal que se utiliza con fines medicinales se le ha aislado e identificado un compuesto cancerígeno, esto permite llevar a acciones para prevenir su uso.

El modelo contempla fases o etapas, con sus procesos y pautas de estrategias para lograr las metas o propósitos de los diferentes eventos. Se presta énfasis en la etapa inicial o de la IDEA, con la consecuente motivación que desencadena un proceso de bioprospección en donde se destacan como principales etapas (Figura 37):

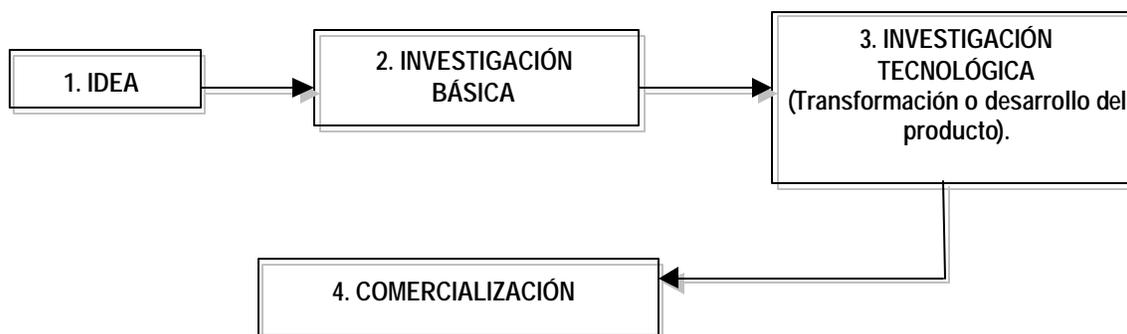


Figura 37. Eventos dados dentro del proceso

La investigación y desarrollo (Figura 38) puede generarse por una necesidad, problema, uso potencial (biofertilizante, bioplaguicida, producto industrial, farmacéutico, alimenticio), o demanda en el mercado; la etapa de investigación básica implica acceso al recurso biológico que constituye en sí la materia prima, en donde se podrían formular las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se tuvo acceso al recurso biológico?
- ¿Se efectuó muestreo directo?
- ¿Proviene de conocimiento asociado a una comunidad?
- ¿Se realizó concertación con la comunidad para el caso de explotación a gran escala?
- ¿Cómo realizaron el acuerdo?
- ¿Cómo se involucró a la comunidad en el proceso?

- ¿Se accedió a un banco de germoplasma?
- ¿Se obtuvo otra forma de acceso?
- En la etapa de selección del microorganismo: ¿cómo se identificó al microorganismo como útil?

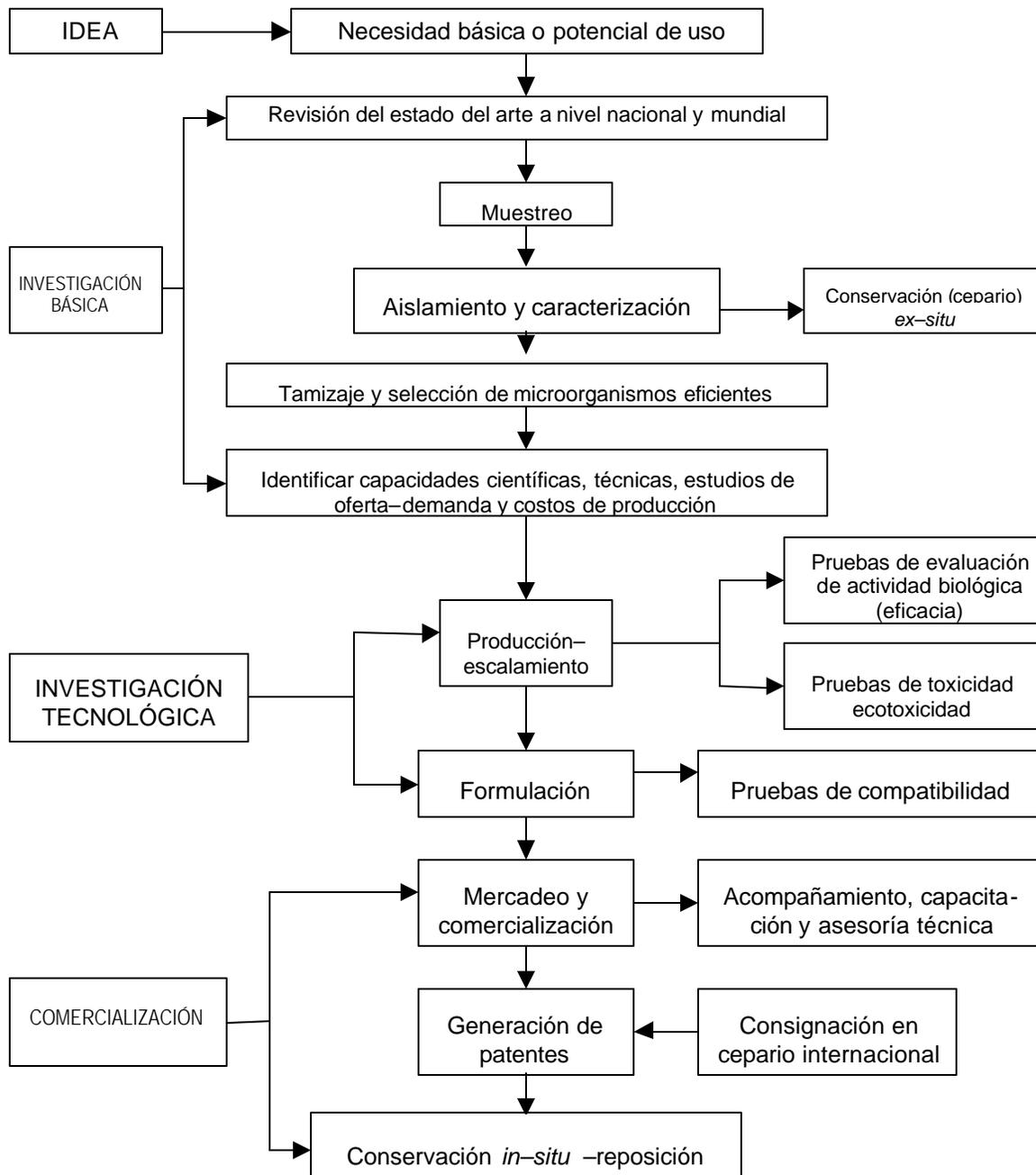


Figura 38. Etapas propuestas para un modelo de bioprospección en microbiología

El proceso de caracterización está dado a nivel morfológico, bioquímico, genético, taxonómico, ecológico (interacciones con factores ecológicos que puedan afectar el producto de interés, inventario de poblaciones naturales y potencialidad de aprovechamiento sin afectar su sostenibilidad). En esta etapa inicia la prospección en términos de identificar los beneficios con valor tangible e intangible que se pueden obtener, de acuerdo con estudios de mercadeo.

Es importante el análisis de la viabilidad y pertinencia del proyecto. Implica también el evaluar con qué capacidades se cuenta en cuanto a personal calificado, así como las técnicas operativas (infraestructura, equipos, insumos) y financieras. Al darle un valor económico a una actividad microbiana luego de un proceso de investigación, se estaría pasando de estudios de caracterización de la biodiversidad a estudios bioprospectivos.

Para la validación del producto se requieren ensayos en parcelas experimentales, bioensayos de toxicidad, ecotoxicidad, certificación, estudios de compatibilidad con agroquímicos; todo esto encaminado a garantizar las condiciones de bioseguridad por aplicación o utilización de los productos de origen microbiano. En la etapa de producción se efectúan procedimientos relacionados con diseño de plantas, control de calidad (en insumos biológicos es vital cuando se trata de introducir productos nuevos), producción en ciclo cerrado que fomenta la sostenibilidad y conservación del recurso biológico y del entorno ambiental.

No siempre los estudios en bioprospección deben generar un producto comercializable como tal, la utilización de los microorganismos como “sistemas de alarma”, o bioindicadores ambientales pueden generar beneficios económicos a términos de ahorro de dinero al establecer tratamientos preventivos en lugar de erradicativos para ciertas enfermedades principalmente en plantas, a nivel ambiental mediante monitoreos para mantenimiento de ecosistemas, o para detección de toxicidad de suelos; muchas veces resulta más rentable no establecer un cultivo hasta no recuperar las condiciones apropiadas de éste, para lo cual también los microorganismos son utilizados como bioindicadores o por su potencial para biorremediación.

En cuanto a lo relacionado con el entorno de beneficios a la industria y la comunidad, se destacan procesos de comercialización, protección de productos (derechos de propiedad intelectual), asesoría y acompañamiento al cliente sobre cierto tipo de productos (por ejemplo en biofertilizantes microbianos para uso agrícola, éstos no se pueden aplicar en suelos tóxicos que afecten la viabilidad del producto biológico). En el caso de productos biocontroladores, éstos presentan especificidades de acuerdo con el insumo biológico (parasitoides, bacterias, hongos, virus, entre otros).

Sería conveniente que se pudiera establecer un fondo con aporte de todas las personas que han integrado un consorcio de investigación y desarrollo en bioprospección, de tal manera que se tengan recursos suficientes para su mantenimiento en ocasiones en donde no se obtengan convenios con empresas u otros sectores económicos.

En la Figura 39 se presenta una propuesta sobre las funciones y beneficios que se pueden derivar de un proceso de bioprospección en el área de Microbiología para los diferentes participantes en el proceso en nuestro país, los cuales integran diferentes instancias sociales y naturales. A nivel de beneficios se indican no sólo los de tipo económico, sino que además la generación de conocimiento representa otra clase de beneficios que pueden servir de base para posterior obtención de remuneración económica.

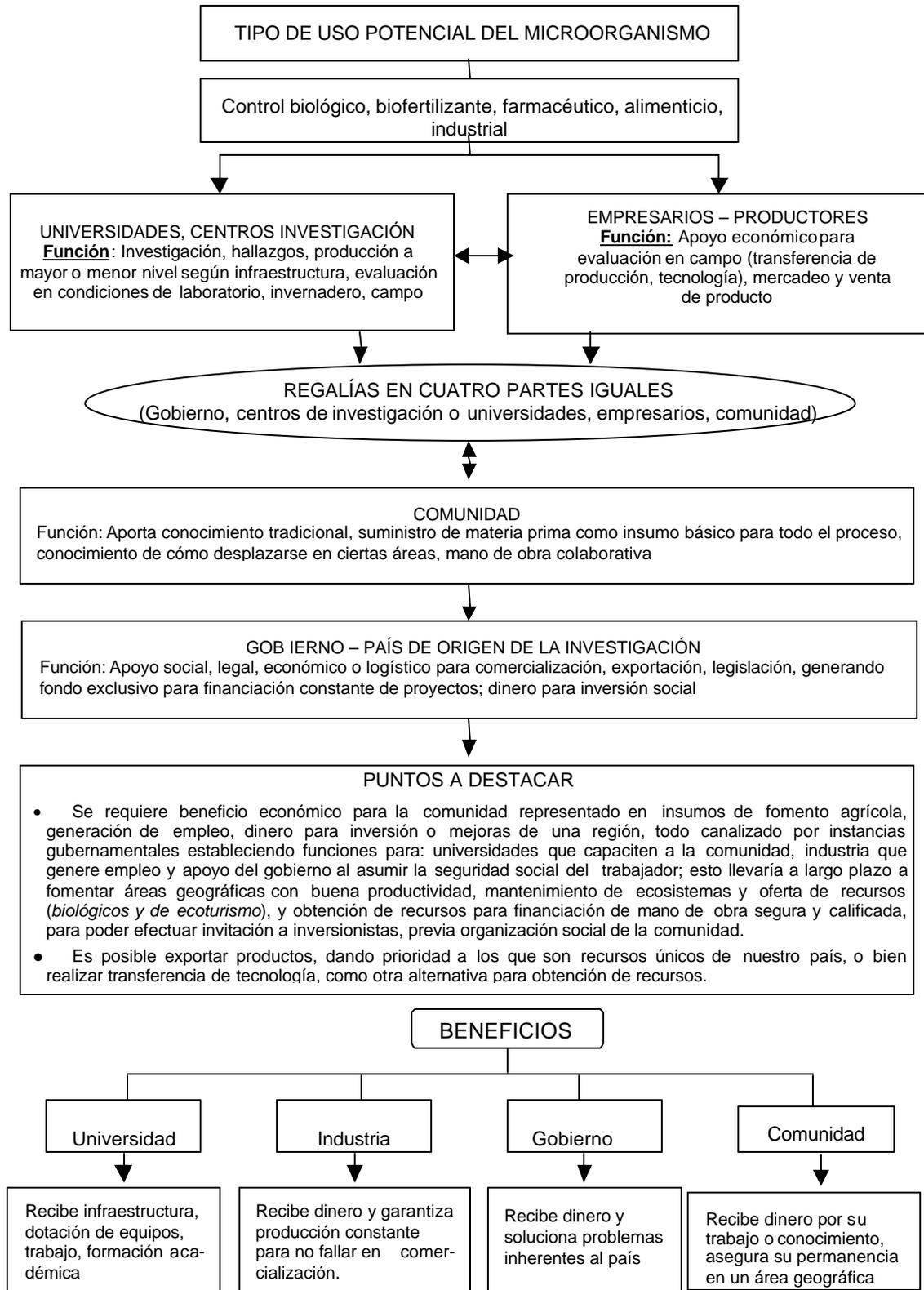


Figura 39. Esquema organizacional y financiero propuesto para el desarrollo de bioprospección en microbiología

COMENTARIOS GENERALES PARA EL ÁREA DE MICROBIOLOGÍA

Se aprecia que los grupos, instituciones e investigadores que trabajan en el campo de la microbiología tienen un rango amplio de acción con relación a actividades investigativas conducentes a la generación de productos y servicios biotecnológicos.

Si se tiene en cuenta la definición de bioprospección como búsqueda de un organismo para un aprovechamiento actual o potencial (ejemplo: producto o servicio ecológico), pocos grupos están trabajando de manera específica en este sentido con el objetivo de llegar a un producto; más bien se trata de investigaciones en caracterización, o bien desarrollos en bioprocesos, pero especialmente a nivel de laboratorio; esto puede ser debido a la existencia de pocos grupos de investigación de carácter interdisciplinario, de laboratorios especializados, a la falta de financiación, o de articulación con empresarios.

Recientemente hay un énfasis importante dirigido hacia productos agropecuarios a nivel nacional. Es necesario precisar que muchos trabajos llegan hasta la etapa de investigación básica, y pocos pasan a la tecnológica de elaboración de productos. Entre los puntos críticos se encuentran los relacionados con la formulación y el control de calidad, aspecto de importancia para abrir mercados. Como estrategia para pasar al escalamiento y llegar a un producto y su comercialización se apreció que el concurso de industriales es fundamental, ejemplos exitosos integran universidad, gobierno e industria (Anexo 1.3).

Las investigaciones encaminadas a realizar bioprospección, así como la valoración de los recursos biológicos se puede llevar a cabo en diferentes ámbitos o a partir de diversas fuentes de información, por lo cual se deben tener en cuenta procesos de bioprospección realizados a partir de comunidades, empresas u otras. Por lo tanto no se trata de proponer un modelo en especial, sino más bien tener en cuenta pautas generales, que en el caso de investigaciones con microorganismos se han venido consolidando y estandarizando, dado que estos han sido la fuente para el desarrollo de la genética, biología molecular y la biotecnología en general.

Otro enfoque para el desarrollo de bioprospección es el partir de investigaciones básicas, por ejemplo estudios en ecología microbiana sobre estrategias y mecanismos de funcionamiento en ecosistemas, y detectar grupos funcionales de microorganismos con capacidades interesantes; para efectuar posteriormente de manera planificada, la búsqueda sistemática para aplicaciones en agricultura, microbiología ambiental, biodegradación de tóxicos, inoculantes microbianos tipo biofertilizante o fitoestimulador, biopolímeros, industria química y farmacéutica.

Algunos ejemplos de trabajos que arrojan resultados innovadores son los efectuados en minería, mediante bioprospección biológica consistente en la búsqueda de microorganismos que puedan utilizar ciertos gases como fuente de carbono, ayudando a la prospección para la perforación de yacimientos de petróleo; el estudio en ecología microbiana en sistemas aerobios mesofílicos para tratamiento de desechos orgánicos ricos en proteínas; estudios en ecología microbiana con aplicaciones en la producción de bioplaguicidas y biofertilizantes realizados (ver Anexo 1.3).

En consenso los participantes se propusieron las siguientes ideas:

- Es fundamental la creación de un fondo nacional para gestionar investigación en bioprospección, mediante alianzas estratégicas de personal científico y técnico a manera de red y que se genere un banco de proyectos, con los suficientes fondos monetarios para su desarrollo. Se trata de explorar lo singular del país y realizar desarrollos propios mediante grupos interdisciplinarios. Es necesario el apoyo del gobierno mediante la asignación de recursos del Estado para generar o afianzar empresas biotecnológicas que cubran el mercado interno y efectúen exportaciones que nos permitan posicionarnos en mercados internacionales.
- Se debería tener en cuenta que dado que los diferentes contextos de investigación en bioprospección dependen del grado de desarrollo de las instituciones, sería pertinente para abordar estrategias, la formulación del tipo de pregunta y tiempo de investigación acordes con procesos iniciales básicos o de avance tecnológico, según sea el caso.
- El trabajo con microorganismos puede ser directo (sin solicitud de acceso), si se trata únicamente de estudios de caracterización; en caso de que tengan alguna aplicación interesante a nivel comercial sería necesario realizar los procesos de permiso para la obtención del recurso biológico.
- Otra característica del trabajo con microorganismos es la facilidad de obtenerlos mediante muestras o cultivos. Una vez se logra su cultivo en el laboratorio y en el caso de desarrollo tecnológico hasta producto, es difícil evitar la utilización del microorganismo y duplicación del producto. La protección del microorganismo requiere idealmente del conocimiento de huellas moleculares. Por tal razón algunos investigadores confieren mayor importancia al secreto comercial o generación de patentes de los procesos de producción y características del producto, más que a patentar el microorganismo como tal. Naturalmente existen patentes dadas a microorganismos, pero presentan la dificultad de que se requiere obligatoriamente el depósito en ceparios internacionales, lo que puede implicar riesgos en la pérdida del recurso, además de asumir costos relativamente altos.
- Como otra alternativa para la protección de recurso biológico microbiano se propuso no sólo la caracterización molecular, sino además el registro en una institución centralizada y aprobada por el Estado como centro de referencia para su conservación.
- En otro sentido, también se debe propiciar la cooperación entre empresas e investigadores para la búsqueda y desarrollo de nuevos medicamentos efectivos contra enfermedades críticas para la humanidad “que implican costos muy altos”, para los cuales todos tendríamos derecho al acceso, incluyendo personas de bajos recursos. Por lo anterior, se podría destinar un porcentaje de las regalías que se generen a un fondo común de ayuda humanitaria.
- Dentro de las investigaciones en microbiología que se perfilan a futuro con una buena proyección se encuentran trabajos con protocolos de restauración que involucren interacción entre las áreas de fisiología vegetal–microbiología–genética–ecología, recuperación de suelos degradados, detoxificación mediante técnicas de biorremediación, ampliación en la búsqueda de metabolitos o sustancias bioactivas obtenidas a partir de microorganismos, innovaciones en el desarrollo de bioplaguicidas y biofertilizantes, planteamiento de programas para apoyar generación de bioindustrias, estudios farmacológicos prospectivos con microorganismos,

optimización de la relación suelo–planta–animal, producción de alimentos y forrajes a partir de biomasa microbiana, producción de colorantes de origen biológico. Se puede apreciar que existen muchos temas para investigaciones con carácter bioprospectivo.

- La aplicación de productos biológicos a nivel agrícola requiere de una labor de sensibilización mediante campañas publicitarias, capacitación y acompañamiento del usuario, ya que sus efectos no son tan rápidamente observados en comparación con la aplicación de productos químicos; motivo por el cual muchos no los utilizan, o los compran no por que crean en sí en su efectividad, sino porque les resultan más económicos.
- Un solo microorganismo puede generar un recurso e industria de gran impacto, es el caso del ejemplo dado por especies de *Streptomyces* y toda la gama de antibióticos obtenidos (aunque se requiere del descubrimiento de nuevas familias químicas o de estrategias para el control de las superbacterias resistentes), enzimas y otros productos farmacológicos derivados; o como *Thermus aquaticus*, bacteria de la cual se deriva una de las enzimas claves, la DNA polimerasa, denominada TAQ, usada para amplificación génica en biología molecular.
- Finalmente se debe recalcar que por las grandes potencialidades que posee nuestro país se pueden proyectar trabajos exitosos en bioprospección, debido a su reconocida megadiversidad, que representa una fuente de organismos y microorganismos.

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE PLANTAS

*Luz Marina Melgarejo M.¹¹
Alejandro Chaparro Giraldo¹²
Martha Lucía Cepeda¹³*

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el porcentaje de participación de los asistentes al primer taller nacional de bioprospección, la investigación relacionada con el área temática de plantas se encuentra representada por un 39% distribuido entre grupos de investigación provenientes de universidades, institutos o centros de investigación, empresas, ONG y Corporaciones Autónomas Regionales. De los 177 participantes, 69 se inscribieron en el área temática y se presentaron ponencias de 20 grupos de investigación en la mesa de trabajo (Tabla 21). Esto demuestra la fuerte influencia de la tradición en investigación en esta área temática a nivel nacional, impulsada por la Expedición Botánica hace más de dos siglos y fortalecida por la necesidad de conocimiento y aprovechamiento de las especies vegetales, que se manifiesta en el establecimiento y desarrollo de varios grupos y centros nacionales de investigación de especies cultivadas y caracterización de especies vegetales de diversas regiones del país. El análisis que se presenta en este capítulo parte de una muestra representativa de los grupos de investigación que trabajan bajo diferentes objetivos en este tema, objetivos que se encuentran enmarcados dentro de la definición genérica de bioprospección como “investigación realizada para identificar especies, variedades, genes y productos con usos actuales y potenciales por parte de la humanidad” (Sittenfeld y Gamez, 1993).

El país posee capacidad técnica institucional y experiencia en algunas áreas de investigación específicas. La Tabla 21 presenta un acercamiento al inventario de instituciones que realizan investigación, en bioprospección de plantas en Colombia, participantes del primer taller nacional.

Tabla 21. Entidades y temas presentados durante los talleres nacionales

ENTIDAD	ÁREA DE INVESTIGACIÓN	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química. Sede Bogotá	Flora colombiana, química y posibilidades de aprovechamiento	Estudios sobre elucidación de estructuras de metabolitos secundarios y análisis preliminares de actividad biológica
Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Farmacia. Sede Bogotá	Fitofarmacología, fitoquímica de especies medicinales	Fitoquímica y evaluación de actividad biológica. Obtención de nuevos productos naturales o de semisíntesis con posibles usos en terapéutica

¹¹ Profesora Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia

¹² Profesor Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia

¹³ Investigadora auxiliar Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia

ENTIDAD	ÁREA DE INVESTIGACIÓN	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Química. Sede Bogotá	Química y tecnología de aromas de frutas de Colombia	Análisis químico y síntesis de aromas de frutas como papayuela, curuba, gulupa, lulo, piñuela, guayaba, mango entre otros
Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales ICN	Botánica económica, etnobotánica, etnobiología e informática	Estudio de familias, géneros y especies de interés socioeconómico y cultural en Colombia
Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira	Recursos genéticos	Caracterización, conservación y uso potencial de <i>Capsicum</i> (ají)
Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Sede Bogotá	Cultivo de tejidos Mejoramiento genético Fisiología vegetal	Propagación <i>in vitro</i> , sanidad vegetal, metabolitos secundarios, mejoramiento genético y fisiología de poscosecha
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Uso de plantas medicinales como alternativa de control biológico en problemas fitosanitarios.	Control biológico
Universidad Tecnológica del Chocó	Productos naturales de la región chocoana	Inventario y uso potencial de especies útiles del Chocó con base en experiencia en campo e información ubicada en herbarios y bases de datos
Universidad de Córdoba. Departamento de Química	Química de productos naturales de la región de Córdoba	Estudios de metabolitos secundarios con actividad biológica y potencial de uso de Annonaceae y Rutaceae
Universidad de la Amazonía	Frutales amazónicos	Caracterización bromatológica de frutales con potencial agroindustrial
Universidad del Magdalena	Poscosecha de frutas y vegetales del Caribe colombiano	Biotecnología y cadenas productivas de frutas y vegetales tropicales
Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Tecnología Química	Fitoquímica de plantas del parque regional Ucumari	Determinación de actividad biológica y tamizado fitoquímico
Escuela de Medicina Juan N. Corpas	Etnomedicina, etnofarmacia, productos fitoterapéuticos	Caracterización etnobotánica, clínica, taxonómica, toxicológica y fitoquímica
CENIPALMA	Palma de aceite	Estudios en fisiología, fitosanidad, y mejoramiento relacionados con el cultivo y productos derivados de la palma de aceite
FEDERACAFÉ - Centro Nacional de Investigación del Café (CENICAFÉ)	Investigación relacionada con el café	Caracterización del banco de germoplasma del café, estudios en fisiología, sanidad vegetal y mejoramiento genético
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI	Flora amazónica Frutales amazónicos, Manejo y transformación Recursos genéticos	Inventarios, conservación, uso, ordenamiento y monitoreo de ecosistemas Análisis bromatológico, manejo, conservación y procesamiento de materias primas promisorias de la región amazónica Caracterización (morfológica, bioquímica y molecular), conservación en bancos de germoplasma y uso prospectivo de la diversidad
Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT	Genómica	Estudios genómicos para mejoramiento, caracterización y conservación de frijol, yuca, arroz y forrajes
Fundación Colombiana Pro Comercio Justo y Mercados Verdes PROCOMVERDE	Plantas medicinales	Fomentos, promoción y patrocinio del manejo sostenible del comercio de plantas medicinales y sus derivados
Fundación Bertha Hernández de Ospina	Orquídeas	Inventarios y conservación de orquídeas

CONTEXTO PARA ACTIVIDADES DE BIOPROSPECCIÓN EN EL ÁREA DE PLANTAS

En la información presentada en la Tabla 21 se evidencia la participación activa de las instituciones en el tema, destacándose como primer grupo a la comunidad universitaria nacional, dentro de la cual se están formando y desarrollando grupos de investigación representados por la Universidad Nacional, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Universidad Tecnológica del Chocó, Universidad de Córdoba, Universidad de la Amazonía, Universidad del Magdalena, Universidad Tecnológica de Pereira y Escuela de Medicina Juan N. Corpas; el segundo grupo en orden de participación lo constituyen los centros o institutos nacionales de investigación de carácter privado o mixto, representados por el Centro de Investigación en Palma de Aceite - CENIPALMA, Centro Nacional de Investigación del Café - CENICAFÉ, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI y el Instituto Alexander von Humboldt; el tercer grupo está conformado por ONG como la Fundación Bertha Hernández de Ospina y Pro-comercio Justo y Mercados Verdes (PROCOMVERDE) y el cuarto grupo correspondiente a los centros de investigación a nivel internacional, estuvo representado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT.

Dentro de los grupos universitarios, la Universidad Nacional de Colombia presenta un porcentaje destacado en investigación, dada la diversidad de sus programas académicos y su presencia en varias regiones del país. Así mismo, el conjunto de universidades regionales registra un porcentaje representativo de quienes orientan sus actividades alrededor de los problemas locales y regionales. Otro grupo importante lo conforma la universidad privada, en este taller representada por la Escuela de Medicina Juan N. Corpas con la persistente labor en el tema de botánica medicinal.

Con relación a los centros e institutos de investigación, la respuesta a la convocatoria del taller refleja la presencia de instituciones de distinta naturaleza en el campo de la investigación relacionada con bioprospección vegetal. CENICAFÉ, es una institución dependiente de la Federación Nacional de Cafeteros, de carácter privado, con su labor científica y técnica en el cultivo de café han beneficiado a gran parte de la población del país. CENIPALMA, es un centro adscrito a la Federación Nacional de Palmicultores, de carácter privado, que desarrolla investigación en el cultivo de la palma de aceite, una especie que importancia en la economía nacional. El instituto SINCHI, es una corporación civil sin ánimo de lucro, de carácter público, sometida a las reglas del derecho privado y vinculada al Ministerio del Medio Ambiente, tiene como objetivo propender por el conocimiento, la investigación científica y el apoyo a la región amazónica. El instituto Alexander von Humboldt, corporación civil sin ánimo de lucro, de carácter público, sometida a las reglas del derecho privado y vinculada al Ministerio de Medio Ambiente tiene como objetivo el estudio de especies biológicas del país.

Las organizaciones no gubernamentales participantes en el taller, no representan ampliamente las actividades que este tipo de instituciones realiza en el área vegetal en el país, apoyando sectores de la sociedad interesados en obtener resultados que mejoren el entorno natural o la calidad de vida de los habitantes.

En el país son varios los campos en los que se realiza investigación sobre especies vegetales: taxonomía, morfología, etnobotánica, fitoquímica, bioquímica, genética, fisiología entre otros. La taxonomía o identificación de las especies, es una de las primeras actividades a realizar dentro del

proceso de la bioprospección. Ejemplos de trabajos en taxonomía lo constituyen el Programa de Flora del Instituto SINCHI y el del Herbario Nacional y Programa de Botánica Económica del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.

El Herbario Amazónico Colombiano - COAH del Instituto SINCHI, cuenta con una colección de 46.300 ejemplares botánicos. De los registros existentes, 37.000 ejemplares (80%) están determinados hasta nivel de especie, es decir, 5.380 especies han sido plenamente identificadas. El número de familias botánicas registradas es de 203, de éstas 24 corresponden a Pteridófitos, 4 a Gimnospermas y 175 a Angiospermas que se dividen en 33 familias de monocotiledóneas y 142 de dicotiledóneas. La información se encuentra totalmente sistematizada y georreferenciada y puede ser consultada a través de 20 campos diferentes.

El Herbario Nacional Colombiano - COL, cuenta con colecciones de referencia de la diversidad de familias botánicas del país y de sus regiones geográficas, la biblioteca Armando Dugand (única por su especialidad en sistemática y taxonomía) y un centro de cómputo con acceso al Sistema de Información Biótico Ambiental –SPICA®. También cuenta con aplicativos en bases de datos relacionadas, con información referenciada en flora y fauna de Colombia, con cerca de 120.000 registros con nomenclatura científica y vernacular, distribución geográfica, usos y 3.600 documentos bibliográficos sistematizados, que permiten realizar análisis bibliométricos. Este programa ha sido soporte fundamental para el desarrollo de trabajos a nivel de regiones, como es el caso del herbario de la Universidad Tecnológica del Chocó o de grupos de investigación como es el caso del programa Flora Colombiana, química y posibilidades de aprovechamiento del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia.

Algunos grupos de investigación parten del conocimiento etnobotánico para relacionar usos tradicionales con potenciales usos comerciales; en este tipo de trabajos aparece claramente la relación con comunidades locales, utilizando la etnobotánica como estrategia de conocimiento de la biología y el manejo de las especies. Otros grupos parten directamente a investigar sobre el recurso biológico o genético realizando tamizaje en busca de una determinada actividad biológica, sin intermediación con comunidades dado que los recursos con los que trabajan no están situados en alguna comunidad.

Ejemplos de trabajos en etnobotánica son los estudios de flora y fauna regional y local, a partir de la experiencia y saberes tradicionales indígenas, campesinas o afrocolombianas de la Cuenca Amazónica, el Chocó Biogeográfico, La Guajira y el altiplano Cundiboyacense desarrollados por el programa de Botánica Económica del ICN de la Universidad Nacional. Bajo esta misma perspectiva, la Escuela de Medicina Juan N. Corpas desarrolló un estudio de caracterización etnobotánica del “Amansatoros” (*Justicia polygonoides* H.B.K.), para su utilización en el área médica en trastornos de ansiedad. El Instituto SINCHI, ha evaluado los valores de uso de especies útiles, utilizando métodos de etnobotánica cuantitativa y obteniendo como resultado preliminar los valores de uso de 504 especies en el departamento del Putumayo.

Se registran una serie de actividades investigativas relacionadas con la búsqueda de principios activos mediante técnicas de fitoquímica. Estos trabajos tienen múltiples aplicaciones en la producción de bactericidas, fungicidas, antitumorales en medicina humana o productos fitosanitarios. También incluye la obtención de productos empleados en higiene o en usos culturales, tal como ha sido registrado para el caso de la cultura afrocolombiana en el Chocó (Universidad Tecnológica del Chocó). Un uso particular es la búsqueda y conocimiento de aromas

de frutas tropicales (Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia) o de extractos vegetales para control de agentes patógenos de especies cultivadas (Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia).

En algunos casos, estas aplicaciones parten de investigación en reservas biológicas, en parques nacionales (Universidad Tecnológica de Pereira) o en regiones de comunidades afrocolombianas o indígenas. Hasta el momento, se ha identificado un número importante de géneros y especies con potenciales aplicaciones comerciales. Ejemplos de ello son los trabajos presentados alrededor del aislamiento y obtención de metabolitos secundarios, y la evaluación de actividad antimicrobiana, antimalárica y anticáncer de sustancias puras o extractos crudos de diferentes especies vegetales (Universidad de Córdoba) (Anexo 1.4.11.)

Una muestra de los trabajos realizados sobre especies promisorias, es el que ha venido desarrollando el Instituto SINCHI en asocio con la Universidad de la Amazonía, la Universidad Nacional y organizaciones de productores agroindustriales. Estos trabajos incluyen desde la caracterización fisicoquímica, bioquímica y molecular hasta la identificación y establecimiento de usos agroindustriales de especies como el inchi (*Caryodendron orinocense*), la cocona (*Solanum sessiliflorum*), el carambolo (*Averroa carambola*), el borojó (*Borojoa patinoi*) y el arazá (*Eugenia stipitata*); palmas como canagucha (*Mauritia flexuosa*) el chontaduro (*Bactris gasipaes*); la piña nativa (*Ananas comosus*) el anón amazónico (*Rollinia mucosa*) y el pomarroso (*Syzygium malcasense*); theobromas (cacaos) como copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y maraco (*Theobroma Bicolor*), guanábana ácida (*Annona* sp.), chontaduro (*Bactris gasipaes*), marañón (*Anacardium occidentale*) y el género *Capsicum*.

Los centros de investigación (CENIS), atendiendo a su vocación agrícola, realiza investigación en la respectiva especie cultivada y su interacción con microorganismos o insectos, lo que constituye un apoyo para la implementación de programas orientados al manejo integrado de plagas y enfermedades. En relación con la especie cultivada que manejan, estos centros desarrollan trabajos tanto en el establecimiento de bancos de germoplasma como en la caracterización del mismo y su uso en programas convencionales y biotecnológicos de mejoramiento genético. También atienden problemas relacionados con el uso y manejo del producto que comercializan.

La prospección de genes es una línea de trabajo relativamente nueva en el país. CENICAFÉ reportó la identificación y caracterización del gen y de la región promotora de la principal proteína de reserva del grano de café, importante como precursor del aroma y la identificación de las secuencias promotoras de otros dos genes del café (alfa-tubulina y fenilalanina amonio-liasa). Además identificó los genes que codifican para dos proteínas quitinolíticas, aisladas de *Streptomyces albidoflavus*, inhibidores de proteinasas y amilasas que atacan enzimas digestivas de la broca. Mediante herramientas de biología molecular, CENICAFÉ reportó que en una genoteca derivada de hojas de café, 42% de genes exhiben similitud con genes conocidos de plantas u otros organismos, 19% con secuencias de proteínas con función desconocida y 39% nuevas secuencias.

El trabajo de genómica en CIAT está concentrado en frijol, yuca, arroz y forrajes como braquiaria. Los trabajos también incluyen mejoramiento y caracterización de germoplasma, buscando resistencia a enfermedades, insectos, estrés abiótico y mejoramiento de variedades para alta nutrición. En frijol han determinado cerca de 500 marcadores y en yuca 290 marcadores, en arroz mediante mapeo se han identificado y clonado genes para resistencia al añublo y al virus hoja blanca, en braquiaria se han identificado genes relacionados con resistencia a aluminio. En relación con trabajos en bioinformática y bases de datos, el CIAT hace parte de un consorcio de

centros para desarrollar herramientas de bioinformática para mapeamiento, análisis de QTL y evaluación de germoplasma. A este respecto, es importante hacer énfasis en la consolidación de bases de datos para manejo de genotipos, información de mapeo genético y almacenamiento de secuencias.

Los trabajos enfocados hacia la comercialización, última fase de cualquier proceso de bioprospección, están siendo atendidos por instituciones como la ONG PROCOMVERDE que tiene como objetivo general fomentar, promover y patrocinar el manejo sostenible del comercio de plantas medicinales y sus derivados, en el marco de la promoción de mercados verdes, que permitan un buen uso y conservación de la biodiversidad, así como la responsabilidad ambiental entre los distintos actores involucrados en los procesos. En otros contextos, la comercialización es realizada por la misma institución, como es el caso de CENICAFÉ.

La biota colombiana cuenta con especies cuyo potencial económico y probabilidad de explotación, dentro de los criterios de sostenibilidad y equidad, brindan valor agregado al recurso biológico-genético. De acuerdo con lo anterior, utilizando una amplísima gama de disciplinas y métodos de estudio que van desde la caracterización etnobotánica, bioquímica, fitoquímica, molecular, fisiológica hasta uso de herramientas de informática; los grupos colombianos de investigación en bioprospección vegetal han desarrollado trabajos con resultados concretos en las áreas de medicina, farmacia, botánica medicinal, semillas, protección de cultivos agrícolas, plantas ornamentales, tecnología de alimentos, bioprocesos e industria cosmética entre otros.

También se observa fortaleza en lo que se refiere a caracterización, alguna fortaleza en la etapa de desarrollo tecnológico y falta por implementar o fortalecer la etapa de comercialización en asocio con grupos empresariales.

Es necesario continuar fortaleciendo los grupos de investigación y aplicando fundamentos metodológicos que permitan conocer, conservar y utilizar de manera sostenible los recursos biológicos y genéticos, lo que significa agregar valor a estos recursos naturales. El realizar consecutivamente las etapas de la bioprospección proporciona beneficios monetarios y no monetarios a las comunidades locales y a la sociedad en general. Los beneficios monetarios se entienden como los flujos financieros derivados por ejemplo de la venta de un principio activo extraído a partir de una especie vegetal. Los beneficios no monetarios se evalúan en escalas diferentes al dinero como la promoción de la capacidad de investigación nacional, la conservación del medio ambiente o el fortalecimiento de la capacidad de la industria nacional en sectores relacionados con la tecnología, biotecnología y bioprospección.

Como conclusiones del primer taller se propuso implementar la bioprospección como herramienta para el desarrollo investigativo, tecnológico y económico del país. Es prioritario implementar y propender por actividades como: fortalecimiento de los grupos de investigación y del sistema educativo, desarrollo tecnológico, implementación de sistemas de información en el ámbito técnico y científico, y promoción del intercambio de conocimientos con las comunidades. También se propuso realizar estudios de valoración económica y de mercadeo, impulsar la comercialización de los productos obtenidos, fomentar la formación de negociadores y de cadenas productivas, la atracción de inversionistas y la participación de los empresarios, socialización en la comunidad científica de los conocimientos básicos en derecho de propiedad intelectual. Se consideró de importancia, en lo relacionado con contratos de bioprospección, el que el país mantenga un sistema legislativo estable.

ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS EN EL ÁREA DE PLANTAS

El instrumento de análisis diligenciado por los participantes durante el desarrollo del primer taller indicó que aproximadamente el 50% de las encuestas (33) fueron respondidas por personas que trabajan en el área temática de plantas.

Para ordenar la información y el análisis de la encuesta, se tuvo en cuenta los objetivos del Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (Ley 165 de 1994) y a partir de ésta la Política Nacional de Biodiversidad (Consejo Nacional Ambiental, 1997) en cuanto a conocer, conservar y utilizar sosteniblemente los recursos biológicos y genéticos.

Conocer: el conocimiento de la biodiversidad incluye la distribución, el inventario de especies, la caracterización de los componentes (a escala celular, molecular, ecosistémico, de poblaciones y especies) y la protección y recuperación del conocimiento y prácticas tradicionales. La caracterización es necesaria para el conocimiento de la diversidad biológica, lo que permite evaluar y determinar el uso prospectivo y el valor de los recursos naturales.

Conservar: Incluye las medidas de conservación *in situ* (sistema de áreas protegidas) y conservación *ex situ* (bancos de germoplasma, herbarios, jardines botánicos, bancos de ADN). La conservación es esencial porque a través de esta se mantienen algunos recursos biológicos potenciales a bioprospectar o que se estén bioprospectando.

Utilizar: El uso debe estar integrado a la conservación de la biodiversidad, los sistemas de producción y la realidad social. Es necesario ampliar perspectivas de uso sostenible, de las especies, que conlleven a aprovechar su potencial.

En el objetivo **Conocer** pueden ubicarse las siguientes respuestas:

1. Estudios de especies de uso ancestral:

- Determinar las especies vegetales de uso tradicional
- Realizar colectas y caracterizar
- Obtener extractos vegetales y realizar pruebas de actividad biológica de las plantas que usan las comunidades
- Evitar la desaparición del conocimiento tradicional y su importancia social y cultural en las comunidades.

2. Estudios de especies en general:

- Establecer recorridos de colecta de material en el país con ayuda de sistemas de información geográfica y teniendo en cuenta localización de especies ya colectadas anteriormente
- Continuar con la identificación de especies promisorias
- Caracterizar germoplasma, utilizando herramientas de la fisiología, bioquímica, fitoquímica, entre otras
- Analizar el estado de las poblaciones silvestres y cultivadas
- Valoración económica de la diversidad vegetal

- Ampliar el conocimiento florístico en Amazonía, por ser una región de alta diversidad.

El resultado de la encuesta indica algunas actividades dentro de la etapa de caracterización, dependiente del tema de estudio por parte de los grupos de investigación, entre las cuales se destacan:

- Análisis bioquímico, fitoquímico y quimiotaxonómico de especies de familias vegetales no exploradas, con el fin de cuantificar y cualificar los metabolitos de las especies
- Evaluación de las actividades biológicas de los extractos vegetales obtenidos y caracterización de los núcleos químicos responsables de las actividades biológicas
- Búsqueda de sustancias activas promisorias como agentes de control de plagas en cultivos
- Caracterización fisicoquímica y fisicomecánica de las especies
- Identificación de biomoléculas antagonistas de patógenos y plagas
- Caracterización de genes de resistencia
- Desarrollo de un mapa genético del café
- Evaluación y caracterización de bancos de germoplasma existentes en el país
- Diagnóstico e identificación de las variedades agrícolas existentes con fines farmacéuticos o cosméticos
- Estudio de plantas con potencial de uso en agricultura.

En el objetivo **Conservar** se pueden citar las siguientes respuestas referentes tanto a conservación *ex situ* como *in situ*.

- Establecer recorridos de colecta de material en el país y realizar colectas
- Diseño e implementación de estrategias de conservación tanto *in situ* como *ex situ* de los recursos genéticos priorizados
- Promover el mantenimiento y caracterización de bancos *ex situ*
- Documentar los bancos de germoplasma (georreferencia de las accesiones colectadas, datos de pasaporte, etc.).

En el objetivo **Utilizar** se citan las siguientes respuestas:

- Evaluación del potencial de aprovechamiento de recursos *in situ* y de los recursos *ex situ* que se tienen en bancos de germoplasma
- Uso y aprovechamiento de las especies priorizadas
- Diagnóstico de las especies vegetales útiles
- Usos de plantas medicinales y obtención de subproductos
- Aplicación de los subproductos derivados de la diversidad en la industria alimenticia, medicina, cosmética, otros
- Elaboración de nuevos productos que contribuyan con el desarrollo económico y social de las regiones
- Investigación en plantas para ampliar la base alimentaria de los pequeños agricultores
- Conocer las propiedades farmacológicas que poseen las plantas y árboles maderables
- Caracterizar el uso y comercialización de plantas medicinales, aromáticas y de condimento.

El análisis de las encuestas indica que el 52% de las respuestas obtenidas están relacionadas con conocer, el 40% con utilizar y el 8% con conservar. Esta tendencia revela que los bioprospectores vegetales se han interesado por conocer y utilizar pero falta implementar y hacer efectivos

programas de conservación del recurso que se prospecta, caracterizar los bancos, así como fomentar la continuidad de estudios, desde investigación básica pasando por investigación aplicada hasta obtención de un producto comercializable, de la especie seleccionada. (Figura 40).

Otras respuestas citadas y que están vinculadas al proceso de bioprospección son:

- Divulgación y socialización de resultados
- Validación y transferencia de tecnologías
- Creación de empresas con fines de innovación tecnológica
- Implementar acuerdos y convenios de cooperación interinstitucional involucrando las comunidades productoras
- Realizar planes de negocios para productos biotecnológicos
- Conocimiento sobre Derecho de Propiedad Intelectual y comercialización de productos.

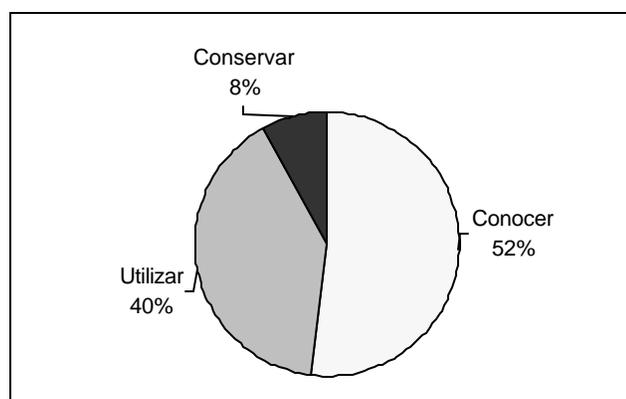


Figura 40. Conocer, conservar y utilizar, según los bioprospectores vegetales

En lo referente al conocimiento de las experiencias internacionales en bioprospección, de la totalidad de encuestas analizadas, el 24% conoce con profundidad alguna experiencia internacional de bioprospección de plantas, específicamente los casos de INBio y la multinacional MERCK en Costa Rica, el caso de la multinacional NATURE'S WAY vs. comunidades y gobierno de Vietnam, los trabajos acerca de caracterización y evaluación de germoplasma de un tomate silvestre en Perú, cuyos genes ya fueron incorporados al tomate comercial en USA, la utilización de la biotecnología para especies de frutas y hortalizas por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) de México y los estudios sobre maíz, papa, ají y plantas medicinales en Bolivia.

El 42% de los encuestados consideran experiencias relevantes en el área, además de los casos internacionales descritos, otras experiencias internacionales como las de la multinacional NOVARTIS en relación con insecticidas no convencionales, las investigaciones de Robert Dressler con flora mesoamericana, la experiencia de Costa Rica y Panamá en cuanto a legislación, convenios y beneficios para el país donante del recurso fitogenético, comercialización y elaboración de fitomedicamentos en otros países de Latinoamérica. También hace referencia a algunas experiencias nacionales, como es el caso del estudio de antioxidantes a partir de plantas realizado por la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, el convenio entre la Escuela de Medicina Juan N. Corpas y la empresa Labfarve, la Asociación de comunidades Paeces del Cauca,

y los trabajos en hortalizas de Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira con los cuales se han producido cultivares mejorados de zapallo, cilantro, tomate, pimentón y habichuela.

En la Tabla 22 se observa que los sectores de producción, reportados por los investigadores encuestados, cubren una amplia gama de la bioprospección de plantas. Sectores relacionados con la agricultura, (semillas, protección de cultivos y alimentos), presentan el mayor porcentaje (39%), seguidas por los sectores que se orientan a la medicina, aplicaciones en farmacia y botánica medicinal (37%).

El bajo porcentaje reportado para bioprocesos y biorremediación probablemente se debe al poco desarrollo de estas disciplinas en nuestro país, o a que la mayoría de las actividades realizadas por grupos de investigación están relacionadas principalmente con caracterización y estudios de uso potencial de las especies, mientras que un bioproceso corresponde a una de las últimas etapas del desarrollo tecnológico de un producto e implica mayor inversión de tiempo y costo.

Tabla 22. Sector con el que se relaciona la actividad de investigación

Sector	Número	Porcentaje	Sector	Número	Porcentaje
Medicina	8	8	Bioprocesos	7	7
Farmacéutica	14	14	Biorremediación	4	4
Botánica medicinal	15	15	Cosmética	4	4
Semillas	10	10	Otros	4	4
Protección de cultivos	14	14	No responde	1	1
Ornamental	6	6	Total	102	100
Alimentos	15	15			

En cuanto a la biorremediación, esta disciplina se ha venido desarrollando durante los últimos años a partir de la necesidad de restaurar y regenerar ecosistemas, tal es el caso del Instituto Colombiano del Petróleo.

Los trabajos relacionados con el sector de producción cosmética se reportan con un 4% del total de investigaciones, este sector presenta gran dominio en el mercado nacional e internacional, sin embargo, son escasas las investigaciones que se realizan en relación con este sector productivo debido probablemente a la poca interacción entre las entidades que realizan la investigación y las empresas de cosmetología e industria farmacéutica.

Los avances en investigación en bioprospección requieren la participación activa de profesionales especializados, que puedan intercambiar y socializar los conocimientos con otros investigadores o personas que se puedan ver beneficiadas con los resultados y productos de las investigaciones. Los resultados obtenidos en las encuestas acerca de los requerimientos de recurso humano calificado (Tabla 23), indican que de las especialidades profesionales necesarias para garantizar el éxito de las investigaciones en bioprospección vegetal, el 68% corresponde a las ciencias naturales, 46% de estas a alguna especialidad de la biología y 19% en alguna especialidad de la química.

El 24% de los grupos de investigación participantes en el taller, requieren personal especializado en ciencias sociales y económicas, lo que indica tendencia hacia enfoques interdisciplinarios y a la importancia de las ciencias sociales en estudios relacionados con la biodiversidad, ya que de esta puede derivarse beneficios sociales y económicos que podrían promover el mejoramiento de la calidad de vida. El 8% de los grupos indican la necesidad de vincular profesionales especializados

del área de las ingenierías, profesionales capacitados para innovar y utilizar metodologías que conlleven a una alta producción de diversos procesos (Figura 41).

Tabla 23. Especialidades o profesionales propuestos como necesidad para realizar investigación en bioprospección

Especialidad	Porcentaje	Especialidad	Porcentaje	Especialidad	Porcentaje
C. Naturales	68	C. Socioeconómicas	24	Ingenierías	8
Biólogo*	46	Antropólogo	3	I. Agrónomo	2
Químico**	19	Arquitecto Paisajista	1	I. de Procesos	2
Médico	2	Sociólogo	3	I. Forestal	1
Nutricionista	1	Economista	15	I. Químico	1
		Mercadotecnista	2	I. Industrial	1
				Diseñador Industrial	1

*Las especialidades que se mencionan de los biólogos son las siguientes, en orden numérico: botánico (11%); bioquímico (6%); general (6%), genetista (5%); molecular (4%); fitopatólogo, microbiólogo, etnobotánico, entomólogo y zoólogo, cada uno con el 2%; ecólogo y ambiental, cada uno con el 1%.

**Las especialidades que se mencionan de los químicos son las siguientes, en orden numérico: farmaceuta (9%); orgánico y general, cada uno con el 4%; fitoquímico y toxicólogo, cada uno con el 1%.

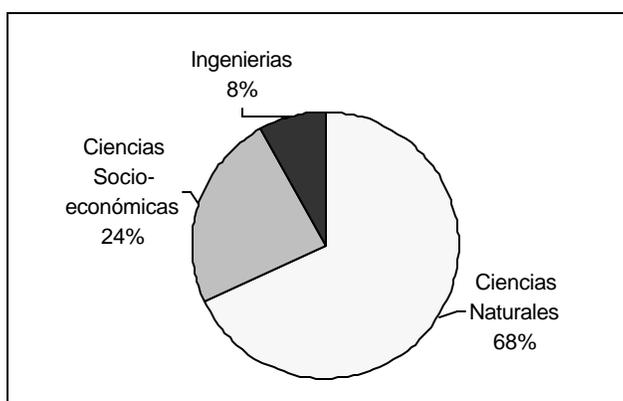


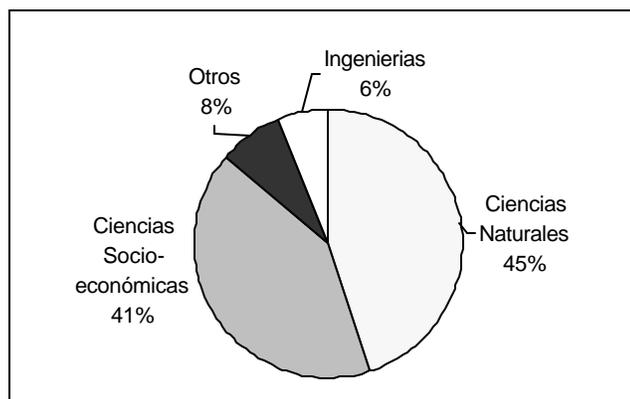
Figura 41. Necesidades de especialistas en ciencias naturales, socioeconómicas e ingenierías

Conjuntamente con las necesidades de profesionales especializados, existen necesidades de capacitación de los integrantes de grupos de investigación. De acuerdo con lo manifestado por los encuestados (Tabla 24), un porcentaje del total de respuestas, se refiere a técnicas de laboratorio (26%), seguido por temas tales como legislación (14%), negociación de tecnologías (12%) y mercadeo (10%). La aplicación de herramientas de informática al análisis molecular, conocida como bioinformática, aparece con un 7%, indicando que las tecnologías más novedosas están implementándose paulatinamente por los grupos de investigación. Temas como la bioética aparecen citados en un porcentaje representativamente bajo (2%). Con un porcentaje similar aparece la necesidad de capacitación en aspectos relacionados con economía (Figura 42).

Cuando se analizan las prioridades de acuerdo con el área de la ciencia o tecnología, aparece claramente un equilibrio entre ciencias naturales (45%) y socioeconómicas (41%) (Figura 42). Al observar estos resultados en términos prospectivos, es interesante anotar que los grupos de investigación en bioprospección vegetal tienden hacia el trabajo interdisciplinario y conjunto de especialistas en las ciencias naturales, sociales y económicas.

Tabla 24. Necesidades de capacitación para programas en bioprospección vegetal

ENTRENAMIENTO	Número	Porcentaje	ENTRENAMIENTO	Número	Porcentaje
Técnicas en fitoquímica – bioquímica – proteómica	22	17	Negociación de tecnologías	16	12
Técnicas en Biología molecular – genómica	12	9	Mercadeo	13	10
Bioinformática	9	7	Bioética	3	2
Ecología – autoecología	5	4	Economía	2	2
Mejoramiento - germoplasma	4	3	Metodología de la investigación	1	1
Química combinatoria	2	2	Producción de publicaciones	1	1
Biorremediación	1	1	Manejo de comunidades	1	1
Edafología	1	1	C. Socioeconómico	56	41
Fisiología	1	1	Bioprocesos	7	5
Conservación	1	1	Cultivos	1	1
C. Naturales	58	45	Ingenierías	8	6
Legislación	19	14	Otros	11	8
			Total	133	1.00

**Figura 42. Necesidades de capacitación según los bioprospectores vegetales**

El bajo porcentaje de necesidades de capacitación en especialidades pertenecientes al área de ingenierías, puede expresar una menor intención de escalar los procesos a nivel de planta piloto, o simplemente que la mayoría de investigaciones no llega aún al nivel de plantearse el escalamiento.

En cuanto a las prioridades logísticas y de acuerdo con las respuestas de los investigadores en bioprospección vegetal (Figura 43), las necesidades prioritarias que exponen los grupos se encuentran relacionadas con la adquisición y el mantenimiento de equipos (38%) e infraestructura (32%). Es necesario el planteamiento de estrategias para atender esta necesidad, una alternativa propuesta es la de organizar por regiones los grupos y centralizar equipos e instalaciones costosas, para que sean utilizadas por un mayor grupo de investigadores. Otra alternativa propuesta es especializar los grupos de investigación teniendo en cuenta sus fortalezas y constituir alianzas entre ellos, de tal manera que cada uno se encargue de una parte del proceso.

Un aspecto de suma importancia es el que hace referencia al empleo de formas de propiedad intelectual para proteger los productos de investigación. De acuerdo con los resultados obtenidos, un porcentaje altamente representativo (84%) de investigadores no está utilizando ningún tipo de

protección de derechos de propiedad intelectual (DPI), mientras que el resto de participantes (16%) reportan el uso de patentes o derechos de obtentor (Figura 44).

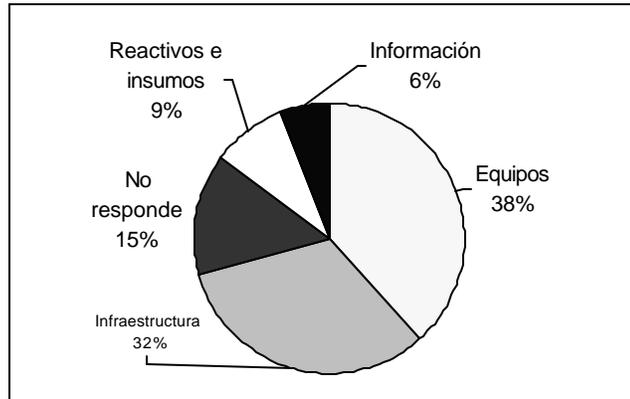


Figura 43. Prioridades en infraestructura, reactivos y equipos, en el área vegetal

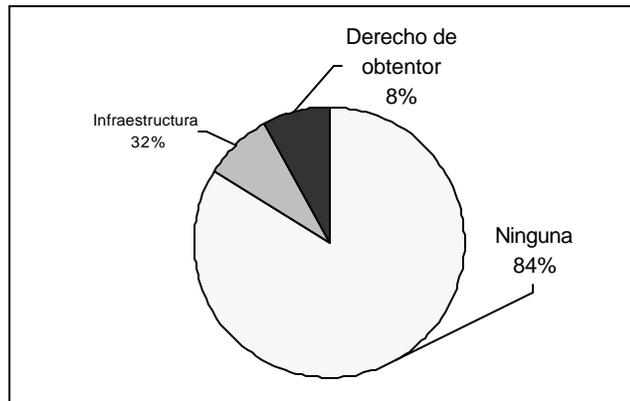


Figura 44. Tipos de derechos de propiedad intelectual usados por los bioprospectores vegetales

Resulta probable inferir que la mayoría de investigaciones no han desarrollado productos o procesos susceptibles de ser protegidos por algún tipo de DPI. También debe considerarse el desconocimiento del tema por parte de los investigadores, el desacuerdo con las formas de DPI establecidas o la aprobación por parte de los centros de investigación de uso de tecnologías o productos para servicio público en general. El hecho de la no utilización de formas de DPI responde a que la mayoría de investigaciones reportadas en los talleres, ciertamente no han llegado a la obtención del producto. Finalmente no existe un claro conocimiento de la existencia, regulación y uso de estas normas por parte de la mayoría de los grupos de investigación.

Es importante mencionar la oposición de un pequeño sector de los investigadores que trabajan con las comunidades al uso de las formas conocidas de DPI, por considerarlas ajenas al contexto cultural de las comunidades indígenas, afrocolombianas y campesinas.

ANÁLISIS DE MODELOS DE BIOPROSPECCIÓN EN EL ÁREA DE PLANTAS

Algunos de los modelos presentados por centros de investigación durante el segundo taller nacional han logrado desarrollar el proceso completo de bioprospección, desde la investigación básica hasta el trámite de patentes, derechos de obtentor o registro para comercialización del producto obtenido. Esto indica que la institución ha contado con infraestructura, recurso humano, recurso económico, trabajo interdisciplinario, metas claras y financiación propia para sostener todas las actividades de la bioprospección así como la gestión de patentes o alguna otra forma de Derecho de Propiedad Intelectual. Son los casos de CENICAFÉ y Pizano S.A./Monterrey Forestal Ltda. que a continuación se presentan.

El caso de CENICAFÉ, presenta dos modelos; el primero se relaciona con la obtención de la Variedad Colombia y el segundo corresponde a un modelo biotecnológico que busca como producto final una variedad de café resistente a la broca, en este último caso aunque aún no se ha llegado a la obtención de una variedad cuentan con algunos subproductos que pueden ser objeto de alguna forma de DPI.

El primer modelo biológico de mejoramiento convencional correspondiente a la obtención de la Variedad Colombia (Figura 45) surgió como una respuesta ante la amenaza de la presencia en nuestro territorio de la roya, una de las enfermedades de mayor importancia en el cafeto. Hace 40 años aproximadamente, cuando la enfermedad aún no había hecho su aparición en Colombia, la Federación Nacional de Cafeteros tuvo la visión de investigar sobre este problema. Fue así como se planteó una estrategia de prevención, la cual consistió en emplear los materiales existentes dentro de la especie *Coffea arabica* que expresaban resistencia a la roya, con el fin de generar una nueva variedad resistente y durable. El desarrollo y la obtención de este producto se inició a partir de las introducciones provenientes de Asia y de África en el año 1960 por la FAO. Se ingresaron 1.100 genotipos de café que permanecen en CENICAFÉ y a partir de esas introducciones, se han realizado nuevas entradas obtenidas por los mejoradores genéticos (aproximadamente 3.000) para tener un total de 4.100 entradas que hoy en día se conocen como la Colección Colombiana de Café.

En el año de 1964 se empezaron a efectuar cruces entre las dos variedades (Caturra y Tibor), y posteriormente se llevaron a cabo los ensayos para comprobar la resistencia de los híbridos frente a la roya en Portugal, debido a que la enfermedad no había llegado a Colombia. Esta enfermedad se reportó por primera vez para nuestro país hacia el año 1983.

Luego de estos ensayos, se obtuvo la Variedad Colombia de un cultivar compuesto en el que se habían seleccionado plantas con las mejores cualidades de resistencia a la enfermedad, vigor, porte, fenotipo, grano, producción, adaptación y calidad de bebida. Cuando se logró la mejor progenie, se propagaron en diferentes localidades del país y finalmente se obtuvo la semilla de la Variedad Colombia, la cual fue entregada a los comités departamentales para que a través de estos se distribuyera a un costo muy razonable entre los caficultores. Así, cuando la enfermedad llegó al territorio nacional, la producción permaneció prácticamente inalterada.

Esta investigación, que surgió a partir de la necesidad de los productores e investigadores del país por proteger uno de los renglones más valiosos de nuestra economía, demuestra que el trabajo

conjunto, las alianzas estratégicas, el acompañamiento a los cultivadores, el control de calidad y la comercialización, son elementos fundamentales en los procesos de investigación en bioprospección.

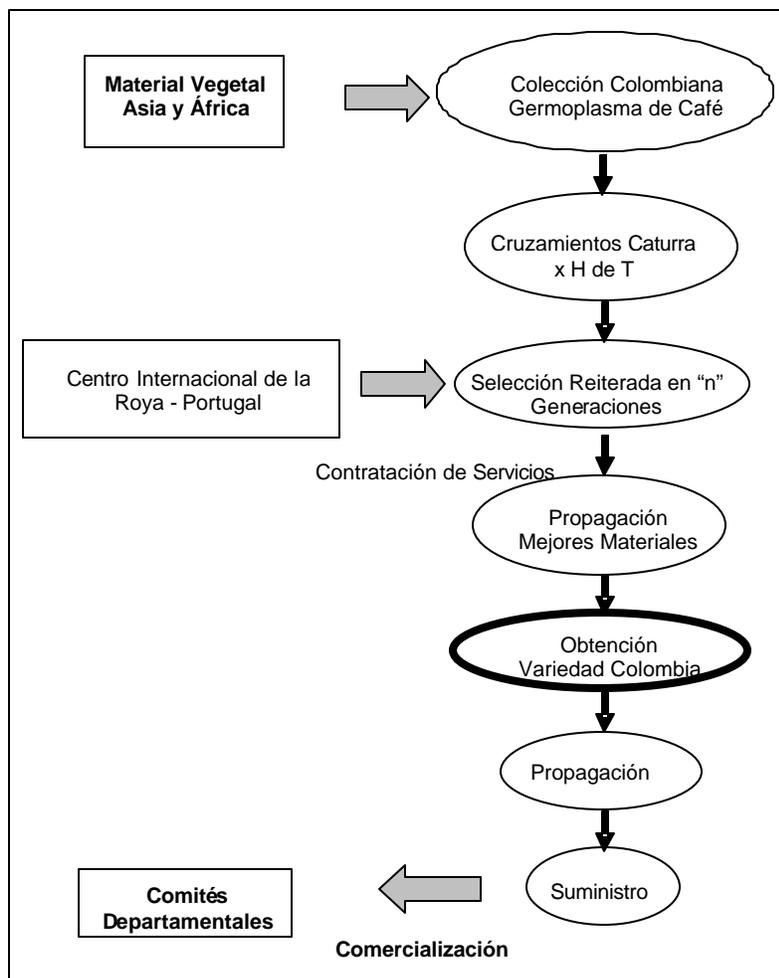


Figura 45. Modelo de CENICAFÉ obtención de Variedad Colombia

Es de resaltar que desde el comienzo se mantuvo una interacción con el Centro Internacional de la Roya, mediante un convenio que incluyó una contratación de servicios, el cual todavía está vigente. Actualmente, el convenio tiene como interés evaluar variedades resistentes a una enfermedad que aún no ha ingresado al país, el CBD (Coffee Berry Disease), las pruebas de campo se están realizando con la colaboración de un país africano.

El segundo modelo (Figura 46) consiste en el mejoramiento genético con biotecnología, como respuesta al problema de la broca *Hypotenemus hampei*. Este insecto se alimenta y se reproduce al interior del grano del café, causando varios tipos de daños tales como la caída de los frutos pequeños, pérdida de peso de la almendra y de la calidad. La estrategia propuesta para contrarrestar este problema consistió en recurrir a la biotecnología como herramienta de mejoramiento, con el fin de introducir en el café genes de resistencia presentes en otros organismos, con lo cual se conferiría resistencia a la planta, debido a que no se conocen fuentes de resistencia por parte del género *Coffea*.

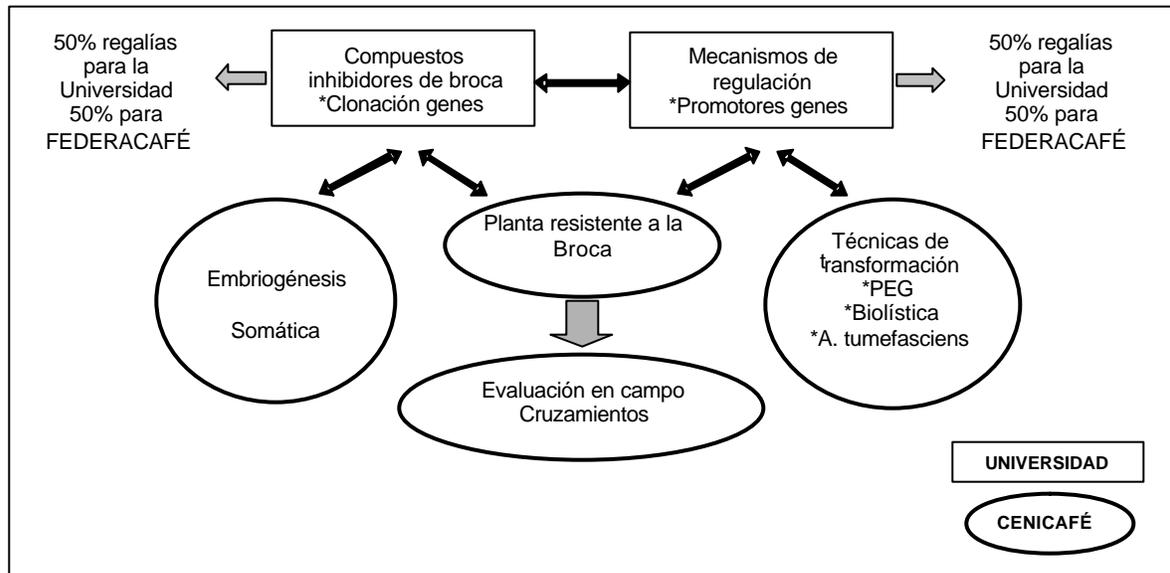


Figura 46. Modelo de CENICAFÉ para la obtención de plantas resistentes a la broca

En este modelo se utiliza el concepto de transformación genética, el cual consiste en la introducción de secuencias de ADN aisladas e identificadas, que confieren características agronómicas de interés que sean difíciles o imposibles de obtener por métodos tradicionales. En este caso, la técnica de transformación genética se utiliza para transferir acervos genéticos secundarios y terciarios, ya que el acervo genético primario no se encontró la resistencia a la broca, por lo que se recurrió al acervo de otras especies.

Para el desarrollo de esta investigación se ha recurrido a ciertos organismos como el actinomiceto *Streptomyces*, hongos entomopatógenos, fitopatógenos y otras plantas, para hacer la búsqueda de los genes de resistencia a la broca.

Para el desarrollo de las primeras etapas de la investigación, CENICAFÉ ha contado exclusivamente con recursos de la Federación de Cafeteros; en la etapa de las técnicas de transformación genética e identificación de compuestos se recurrió a un convenio con la Universidad de Cornell (Estados Unidos) y para la clonación de promotores se llegó a un acuerdo con la Universidad de Purdue (Estados Unidos).

Con la integración de todas las etapas anteriores se espera obtener una planta resistente a la broca, una vez se haya logrado el objetivo se podrá continuar con las evaluaciones de campo y los cruzamientos para poder finalmente entregar al agricultor una variedad comercial.

Para los estudios desarrollados con la Universidad de Cornell, la Federación Nacional de Cafeteros estableció un contrato con participación activa en la investigación, realizada por investigadores colombianos que se encontraban haciendo doctorado. Una de las cláusulas del contrato estableció que las tesis realizadas por estos investigadores debían relacionarse con el mejoramiento genético del café. Si se obtenía algún producto o beneficio comercial, el 50% sería para la universidad de Cornell y el otro 50% para la federación. Igual se ha realizado con la Universidad de Purdue. La patente sobre los productos de investigación obtenidos con la

Universidad de Cornell está en proceso de registro; el acuerdo que existe hasta el momento es que la Federación tiene derecho a usar el gen clonado en Cornell para su cultivo en café, si Cornell quiere usar ese gen y sirve para controlar alguna enfermedad en otros cultivos también lo puede hacer sin necesidad de pagar ningún tipo de regalías. Sin embargo, si el gen es requerido por un tercero éste debe pagar regalías por utilización, las cuales serán distribuidas en 50% para la Federación y 50% para CENICAFÉ. Para el caso de los compuestos que controlen la broca la clonación de genes que CENICAFÉ se encuentra desarrollando es apta para patente bajo la premisa de que la construcción genética que sea usada en CENICAFÉ esté libre de regalías.

Las fuentes de financiación de las investigaciones, presentado en el modelo de mejoramiento genético del café con el uso de herramientas biotecnológicas, provienen en su mayoría, de la gestión y recursos de la Federación. También se ha contado con recursos de COLCIENCIAS para la ejecución de trabajos de investigación puntuales (tesis o proyectos cortos de clonación de genes).

Otro caso interesante presentado durante el taller, es el modelo expuesto por Pizano S. A. / Monterrey Forestal LTDA, el cual presenta un modelo de desarrollo de producción para el uso y conservación de *Pachira quinata* (Figura 47).

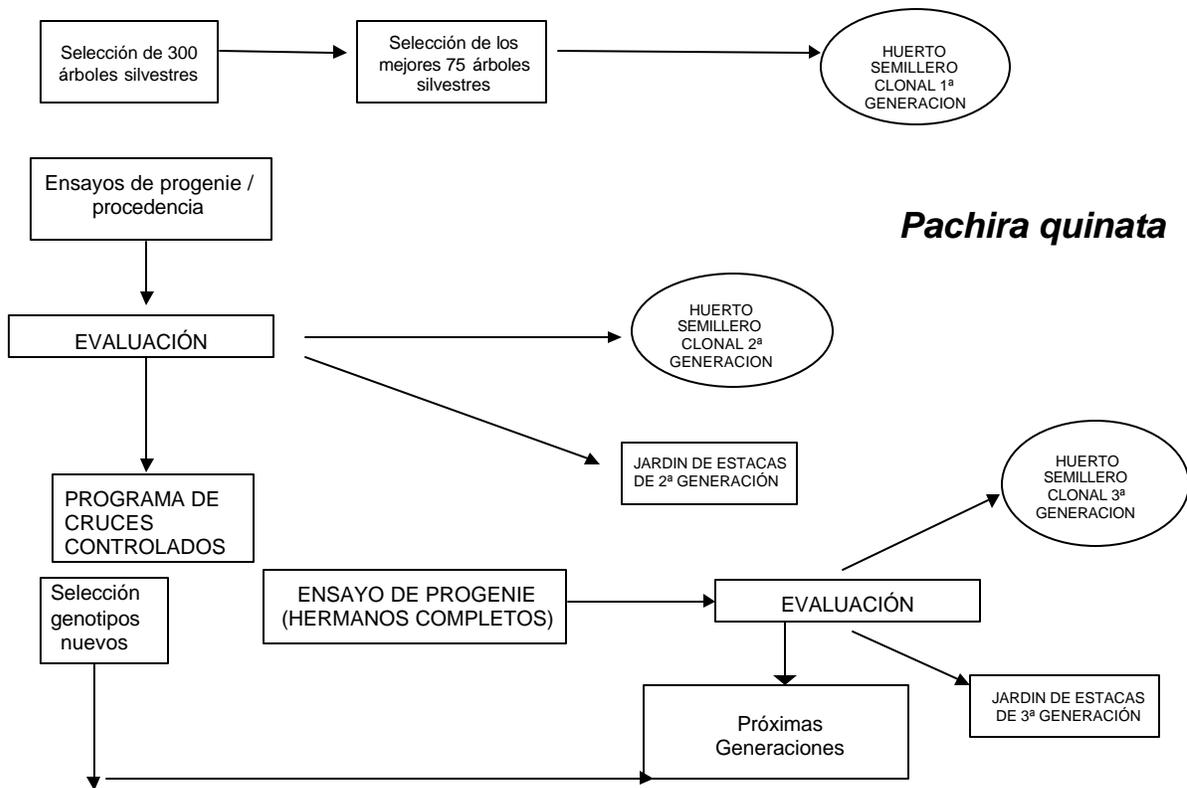


Figura 47. Modelo de desarrollo de producción para el uso y conservación de *Pachira quinata*. Pizano S. A. / Monterrey LTDA.

La investigación, el modelo indica etapas como selección, adaptación y mejoramiento de especies forestales para la producción de madera y comercialización en el mercado nacional e internacional, de acuerdo a especificaciones de resistencia, peso, dimensiones y color, así como certificación de manejo forestal y cadena de custodia.

La *certificación forestal* de Pizano se caracteriza por verificar el manejo forestal sostenible y promover la conservación de los bosques. Los productos del manejo forestal sostenible se ofrecen como productos ambientalmente responsables y se brinda a los consumidores la oportunidad de apoyar esta actividad.

El *proceso industrial* presenta un diseño de planta y proceso de acuerdo con características fisicoquímicas (astillado, secado, pegante, tiempo de prensado) y un diseño de planta y proceso de acuerdo con dimensiones de los rollos de madera (tornos, secadoras, pegantes).

El *proceso comercial* considera el diseño de nombre comercial, la definición de nicho o sector del mercado (contrachapado y decorativo), la introducción y promoción del producto y el servicio posventa.

Para este conjunto de procesos, la inversión hasta el momento asciende a setecientos cincuenta millones de pesos (\$750.000.000.00), considerando personal (30%), recolección de material (9,2%), ensayos y evaluación (23%), manejo de huertos y rodales (6,9%), semilleros y asistencia técnica (30,9%). Los beneficios que se han generado a partir de este modelo se expresan a través de la conservación de la base genética de la especie, del mantenimiento de las comunidades vegetales por ser claves para la restauración y conservación de especies asociadas, y por último, a través de beneficios sociales por reinversión en la empresa, impulsando el desarrollo y bienestar de la población. Además de estos beneficios, a partir de la experiencia y adquisición de conocimientos, se puede asegurar el éxito en inversiones futuras.

Otros modelos presentados durante la realización del segundo taller, han desarrollado parte del proceso, principalmente en cuanto al aspecto de investigación en ciencia básica y aplicada con algún desarrollo tecnológico, articulándose con productores de la comunidad o inversionistas interesados en trabajar conjuntamente. La institución o centro de investigación lleva a cabo el acompañamiento, instrucción y transferencia de tecnología durante el proceso de articulación con la empresa. Así mismo, la empresa, asociación o comunidad, adopta la tecnología e incluso aporta ideas que pueden permitir un desarrollo eficiente, colocan sus tierras, insumos agrícolas y personal para laboreo, y marchan a la par con las actividades establecidas. Tales son los casos del instituto SINCHI y el de las ONG con el reasentamiento Nasa Juan Tama.

El SINCHI (antigua corporación Araracuara) tiene un grupo de investigación, sobre Frutales Amazónicos, conformado desde hace más de 10 años. En algunas de sus etapas lo ha desarrollado conjuntamente con la Universidad de la Amazonía sede Florencia y la Universidad Nacional de Colombia (en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA y el Departamento de Biología). En los últimos años trabaja conjuntamente con la Universidad Politécnica de Cartagena en España.

La investigación se inició en el departamento del Guaviare, en 1991, y en la actualidad se cuenta con un centro piloto en el departamento del Caquetá. Además, cuenta con un grupo interdisciplinario con el cual se procura ampliar dominios de trabajo y el espectro de la investigación. En la propuesta de investigación hay cooperación y concertación con empresas productivas del Caquetá, quienes fueron involucrados en el proceso de acuerdo con las alternativas de desarrollo tecnológico que la institución había propuesto para la región.

La acogida de este tipo de alternativas de desarrollo tecnológico se ha manifestado a escala departamental, a partir de las solicitudes de planes de mejoramiento y desarrollo de las regiones, realizadas por algunas comunidades. Esto ha permitido también la concertación de otro proyecto de investigación, en frutos amazónicos, con una asociación de productores en el departamento del Amazonas, además del avance de los proyectos existentes en algunas zonas del Guaviare y Caquetá.

La estructura de los proyectos se ha venido manteniendo con el tiempo y se ha ido depurando de acuerdo a la experiencia en la investigación. El trabajo se inició con un grupo de especies consideradas promisorias, principalmente frutícolas y de consumo en otros países de la cuenca. De esta selección inicial, en la que hoy existen unos criterios mucho más técnicos, existe una definición de ofertas y hay un interés por parte de la comunidad para profundizar en la investigación de algunas de esas especies frutícolas o forestales (Figura 48). En la actualidad, se han desarrollado modelos agroforestales que contemplan hasta diez especies comerciales, entre frutas y árboles maderables.

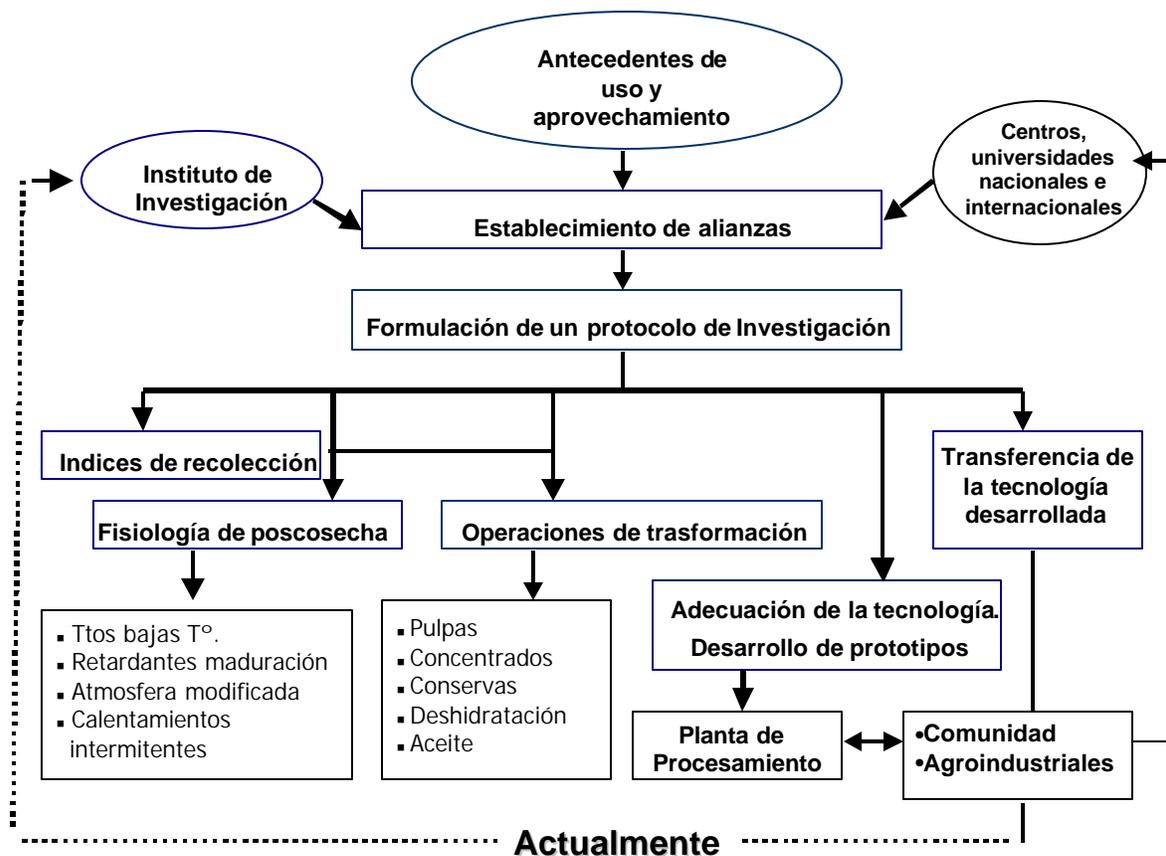


Figura 48. Modelo Instituto SINCHI. Frutales Amazónicos

La primera etapa en el desarrollo de la investigación consiste en una caracterización proximal de la especie, para posteriormente realizar investigación en la fisiología de pre y poscosecha. El aprovechamiento debe ser desde el momento mismo del establecimiento en campo y por esta razón, se trabaja en huertos o con especies que estén involucradas en sistemas agroforestales. Durante la poscosecha se estudia el manejo del fruto entero en fresco, para poder establecer

parámetros de crecimiento, maduración, índices de recolección y otras características posteriores para la conservación.

Transcurridas estas etapas, se inician los trabajos en aspectos de transformación, mediante un conjunto de técnicas que permiten la conservación tanto como producto en fresco como producto procesado. Finalmente, una parte muy importante de la investigación en cuanto a la transferencia de la tecnología, es la entrega de los resultados a la comunidad y el acompañamiento en el proceso, para que de esta manera la comunidad se apropie del conocimiento. Esto implica involucrar a los grupos productores de la región, resaltando la importancia que tiene el adoptar las bases tecnológicas para desarrollos productivos.

Actualmente se ha establecido una línea muy clara sobre el aprovechamiento integral de una especie (el arazá); primero la caracterización, luego una investigación sobre la formulación de la estandarización de los productos, para posteriormente realizar la evaluación de las características y la estabilidad de los productos. Finalmente, el escalamiento del proceso para lograr una cantidad de productos que puedan entrar a competir en el mercado.

Desde el inicio, la idea ha sido mejorar la dieta básica de las comunidades de la región, a partir de los desarrollos obtenidos por la institución. Para generar un excedente es necesario pasar de la producción a nivel de planta piloto, a una muestra agroindustrial bajo el criterio de alta calidad. Esto hace que los productos obtenidos puedan incursionar en el mercado y que los vinculados al proyecto aprovechen los excedentes, lo cual lleva a una mejora sustancial en la calidad de vida de los habitantes de la región.

Los agricultores que se encuentran en la zona donde se está desarrollando el proyecto, el piedemonte caqueteño en la parte occidental de la Amazonía colombiana, han participado en el proceso desde la selección hasta la transformación de los productos. En la parte de transformación, los productores participan trabajando conjuntamente con el instituto, en el sentido de modificar y ajustar los procesos que se desarrollan. Los productores han participado en modificaciones del diseño de la planta, capacidades instaladas, capacidades de los motores, escalamiento de los procesos y cálculos de costos, con el fin de obtener una amplia participación en mercados nacionales.

La empresa de agroproductores del Caquetá ha iniciado los procesos de comercialización, primero en los mercados locales y regionales, para luego acceder a los mercados de ciudades capitales como Neiva y Bogotá. Para esto se tiene registro local de los productos y se está tramitando el registro ante el INVIMA.

Este modelo también se caracteriza por el establecimiento y fortalecimiento de alianzas estratégicas entre el instituto, la comunidad (productores, empresarios) y las universidades. Las instituciones académicas están llamadas a interactuar para desarrollar mejores trabajos con los escasos recursos dedicados a la investigación.

La prospección y transformación de los productos de las especies amazónicas se encuentra fuertemente ligada al proceso de comercialización de estos productos o sus derivados. Debe considerarse la importancia de seguir fortaleciendo los mercados en pro del desarrollo de la región, pero también es importante tener en cuenta la diferencia entre el concepto agroindustrial y el concepto económico de los habitantes de la región; es diferente la forma en que la comunidad

ve el uso y aprovechamiento de las especies (por ejemplo, las comunidades indígenas) y la dinámica económica de la asociación de productores o agroindustriales. Por esta razón, es necesario establecer una dinámica de trabajo acoplada a las condiciones regionales. Tal es el caso del aprovechamiento de la chagra por parte de una comunidad indígena del Guainía, en lo referente con el género *Capsicum* (ají), esta comunidad hace procesamiento de frutos y tiene un canal pequeño pero existente de comercialización con el vecino país de Venezuela, lo que convierte a la especie en un elemento de la vida de la comunidad.

La prospección para el caso del fruto del arazá ha sido de ocho años de trabajo aproximadamente. La población local, nacional campesina e indígena se beneficia con este tipo de trabajos en los que se realiza investigación básica, investigación aplicada, desarrollo y transferencia de tecnología; se han diseñado arreglos agroforestales y se han creado diferentes comités de fruticultores y la Asociación de Hortifruticultores de la Amazonía. Los agricultores, a través de los comités y de las UMATAS están aumentando las áreas sembradas y de esta manera organizándose.

El modelo presentado por la ONG con la COMUNIDAD NASA DE JUAN TAMA, conformada por 128 familias provenientes del resguardo de Vitonco – Tierradentro (Cauca) (anexo 2.4.4.), tiene como objetivo la prospección de plantas medicinales y su transformación en productos como champú, cremas y aceites esenciales, estos últimos con fines terapéuticos y agrícolas. Este modelo surgió como una alternativa frente a la crítica y nueva situación ecológica, cultural, social y económica a la cual se enfrentó la comunidad después de una avalancha en 1994 (Figura 49).

La ONG inició este trabajo con la comunidad (niños, profesores de escuela y médicos tradicionales), recuperando flora medicinal no tradicional, efectuando registros, fichas etnobotánicas y una colección básica en herbario. Posteriormente, dentro de la comunidad se conformó un grupo cuyo objetivo se encaminó a producir orgánicamente plantas medicinales y alimenticias, cultivadas en las huertas familiares. Paralelamente, se diseñó un pequeño laboratorio para la extracción de aceites esenciales, manejado por integrantes de la comunidad entrenados para este fin por la ONG. Esta transferencia de tecnología y el acompañamiento respectivo por parte de la ONG, ha permitido que en la actualidad la comunidad maneje el laboratorio y utilice los productos elaborados.

En su momento se logró establecer un pequeño mercado; sin embargo, este mercado no pudo mantenerse vigente por la falta de apoyo y presupuesto, no sólo para mantenimiento, sino para el proceso de registro de los productos. Aun así, bajo estas condiciones resulta interesante la articulación entre el saber ancestral y la apropiación tecnológica en este modelo, en el cual se han implementando algunas técnicas en agricultura orgánica, química y de mercadeo, todo esto a partir del intercambio entre la comunidad indígena y la ONG.

Por esta razón, debe enfatizarse en la aplicación de las investigaciones y experiencias en el desarrollo de la bioprospección vegetal, a través de alianzas estratégicas con empresas de carácter público o privado, que faciliten la articulación y financiación de proyectos que generen productos de calidad a partir del conocimiento y manejo de las especies.

Esto demuestra la importancia que tiene para el país el fortalecimiento de la relación entre los institutos de investigación y las empresas interesadas en invertir en biotecnología. Es necesario tener en cuenta que en nuestro país no solamente contamos con una buena capacidad en

infraestructura instalada en universidades y centros de investigación de carácter público y privado, sino que también contamos con personal especializado y con amplia trayectoria, dedicado a realizar estudios e investigaciones en diferentes campos de la botánica. Así mismo, el conocimiento tradicional desarrollado a través del tiempo por las comunidades, constituye una base para la prospección de especies promisorias y sus productos derivados.

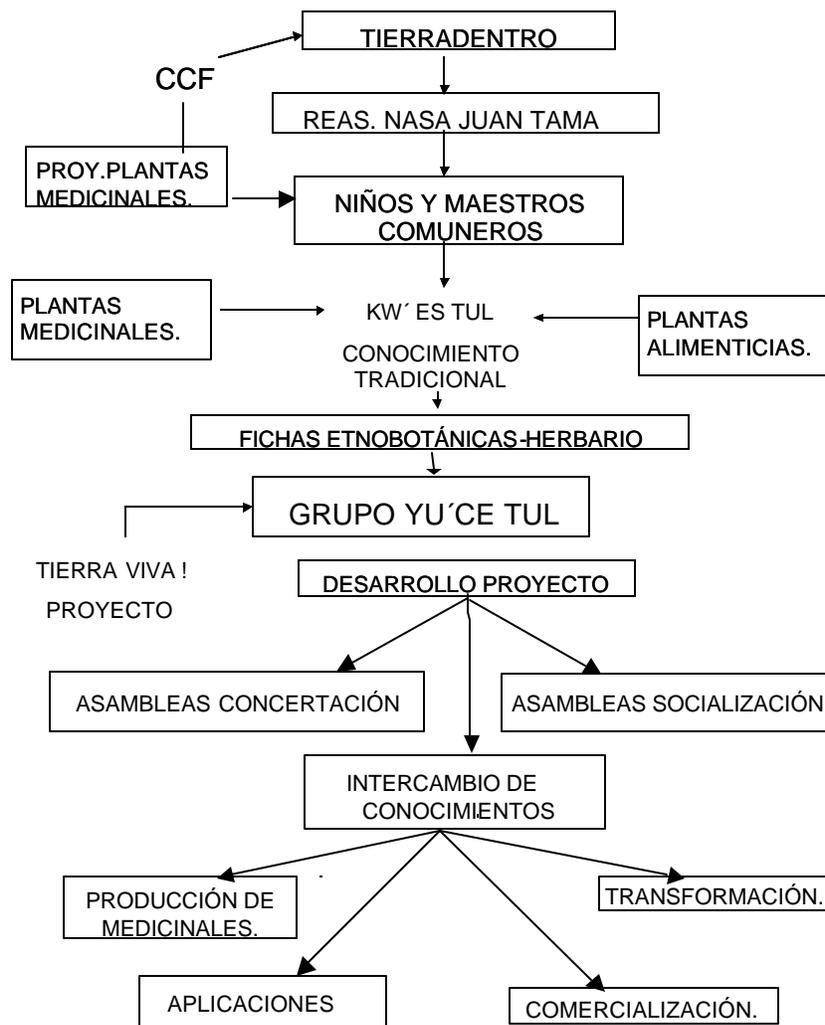


Figura 49. Modelo ONG - Comunidad Nasa Juan Tama

Mediante la utilización de estrategias de mercadeo y comercialización adecuadas, se puede mejorar la competitividad de los productos a la vez que se genera empleo estable y bien remunerado. Los sectores relacionados a la biotecnología con especies vegetales tienen un gran potencial de crecimiento y si las empresas nacionales logran establecerse de forma competitiva en esos mercados, los beneficios en generación de empleo, consumos intermedios y contribución en impuestos serían de gran importancia para el desarrollo social y económico de la nación.

APROXIMACIÓN AL ESTADO ACTUAL DE LA BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA EN EL ÁREA DE ECOLOGÍA

Fagua Álvarez-Flórez¹⁴

Julia Premauer¹⁵

Marcela Celis Pacheco¹⁶

INTRODUCCIÓN

El primer taller nacional de investigación en bioprospección se realizó con el objetivo de establecer el estado del arte de la bioprospección en el país. El presente capítulo tiene como fin reunir las experiencias y discusiones de los investigadores que participaron en esta área temática para realizar el análisis y aproximación al estado actual de la bioprospección en ecología; así como profundizar un poco en el papel de la ecología para la bioprospección como base para establecer áreas prioritarias de bioprospección y productos de los ecosistemas como son los servicios ambientales.

Durante el desarrollo del primer taller nacional de investigación en bioprospección se evidenció por parte de los participantes en el área de ecología una gran confusión con respecto a qué significa el enfoque de bioprospección en ecología. Por esto es importante retomar la definición de bioprospección, según Alatorre (1995) como *“la observación sistemática de relaciones ecológicas entre los seres vivos y su ambiente que produce información valiosa para su uso posterior en procesos de producción en diversos sectores. La información es la que está contenida en el material genético, en metabolitos secundarios o en sus interacciones”*.

Esta definición de prospección ecológica tiene en cuenta, por un lado, que la información que se busca o prospecta puede deducirse a partir de las interacciones observadas entre especies, y que llevan al descubrimiento de estructuras útiles para la industria como metabolitos secundarios. Y, por otro lado, tiene en cuenta que también la observación de las interacciones pueden llevar a encontrar que las especies participan en procesos útiles, como por ejemplo, la biorremediación, importante para la restauración de ecosistemas, o procesos de sinergismo o antagonismo, cuando se trata principalmente de microorganismos que favorecen o impiden otros procesos; por ejemplo, las bacterias del rúmen.

Adicionalmente, la información útil se refiere también a los servicios ambientales que presta un ecosistema como: fijación de CO₂, regulación de gases, regulación del clima, producción y regulación de agua, retención de sedimentos, control de la erosión, control y prevención de

¹⁴ Investigadora auxiliar Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia

¹⁵ Investigadora auxiliar Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia

¹⁶ Investigadora auxiliar Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia

desastres, entre otros (Barrantes y Castro, 1999)¹⁷. Los servicios ambientales se definen a partir de las funciones ecosistémicas. Los servicios ambientales son las posibilidades o el potencial de que los ecosistemas sean utilizados por los humanos para su propio bienestar (Huetting *et al.*, 1998¹⁸ citado en Pérez *et al.*, 2000¹⁹). Desde el punto de vista geográfico, los servicios ambientales pueden ser de interés global o local. Por ejemplo, los servicios ambientales de regulación de gases y regulación del clima, no tienen demarcación territorial y se consideran de interés global. La regulación hídrica es un servicio ambiental con más interés local o territorial, pero en vista de que la escasez de agua se está sintiendo en varios países, por adición se está convirtiendo en un servicio ambiental de interés global. Los demás servicios ambientales son de interés local o territorial. (Pérez *et al.*, 2000).

Después de esta definición detallada queda más claro que se van a encontrar casos de prospección ecológica en todas las áreas temáticas que se trabajaron en el taller, las cuales se basan en el tipo de organismo que se prospecta. Varios trabajos presentados en las áreas de plantas, organismos marinos y sobre todo en la de microbiología son investigaciones que hacen búsquedas con base en relaciones ecológicas de organismos de interés o realizan biorremediación. Por ejemplo, los trabajos realizados en microbiología ambiental por el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional- IBUN y por el Centro de Investigaciones en Microbiología- CIMIC (véase capítulo microbiología).

¹⁷ Barrantes y Castro. 1999. Generación de ingresos mediante el uso sostenible de los servicios ambientales de la biodiversidad en Costa Rica. SEED. INBIO.

¹⁸ Huetting R., Lucas, Bart de Boer, Jan L. Huib J. 1998. The Concept of Environmental Function and its Valuation. *Ecological Economics* 25 (1): 31-35.

¹⁹ Pérez A., C. J., R. Barzev y P. Herlant. 2000. Pagos por servicios ambientales conceptos y principios. RDS Nicaragua. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. © PASOLAC <http://www.sdn.org/mirrors/lc/nic/documentos/s.a.-agua/introduccion.htm>.

ANÁLISIS TALLERES NACIONALES DE BIOPROSPECCIÓN

En esta sección se analiza la información recogida a través de las ponencias presentadas y de la discusión. Los participantes en el área temática de ecología representan el 13% del total de asistentes, se presentaron nueve ponencias de grupos de investigación repartidas en cuatro universidades, dos fundaciones, tres corporaciones regionales, además de varios investigadores independientes (Tabla 25). De estos grupos hay dos que tienen experiencia en restauración de ecosistemas; y la mayoría se encuentran trabajando en investigación básica de caracterización del medio, de la diversidad y de relaciones ecológicas específicas, también es de anotar los grupos que investigan en uso sostenible de los recursos y relación entre comunidades indígenas y su medio ambiente.

La Fundación Restauración de Ecosistemas Tropicales - FRET tiene como objetivo desarrollar algunos temas relacionados con la restauración de ecosistemas alterados por actividades humanas o desastres naturales. En este sentido, pretende consolidar las prácticas de la restauración ecológica, como herramienta fundamental para apoyar los planes, proyectos y políticas de conservación y desarrollo sostenible.

Tabla 25. Entidades que participaron en ponencias en el área de ecología

ENTIDAD	TEMA DE INVESTIGACIÓN	PROYECTO
Fundación Restauración de Ecosistemas Tropicales – FRET	Restauración ecológica	Introducción a la ecología de la restauración
Corporación Autónoma Regional Cundinamarca CAR	Bioensayos de toxicidad Contaminación de ecosistemas acuáticos. Restauración ecológica	Evaluación de la toxicidad relativa de sustancias tóxicas en vertimientos y cuerpos de agua receptores y otros estudios.
Corporación Regional del Cauca- CRC	Ordenamiento y caracterización del medio biofísico	Estudios de la CRC
Corporación Regional del Dique – CARDIQUE	Biodiversidad	Diversidad biológica de remanentes de bosques secos tropicales en la costa Atlántica de Colombia.
Universidad Nacional de Colombia –sede Bogotá, Departamento de Biología	Ecología básica y ecofisiología en plantas y microorganismos	Análisis integrado de estrategias adaptativas de plantas de páramo y del bosque altoandino de la Cordillera Oriental
Universidad de Cartagena, Grupo de Química Ambiental y Computacional	Contaminación de ecosistemas acuáticos	Contaminación con mercurio en diversos ecosistemas de la costa Caribe colombiana
Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Silvicultura, manejo sostenible	Ensayos de manejo del bosque secundario del Magdalena Medio
Universidad de la Guajira	Etnobiología, etnobotánica, uso y manejo sostenible, etno-educación	Etnoecología Wayuu en la sierra de la Makuira, Alta Guajira Colombia
Fundación Terrapreta	Uso y manejo sostenible, Proyectos comunitarios	Manejo sostenible de productos no maderables del bosque como estrategia de consolidación territorial

La CAR, seccional Cundinamarca, presentó un proyecto de gestión ambiental de los ecosistemas acuáticos, donde considera aspectos relacionados con la respuesta de los organismos y los ecosistemas a la descarga de contaminantes. Determinaron valores de concentración letal de

sustancias de interés sanitario que afectan la calidad del recurso agua con el fin de establecer las regulaciones de uso y descarga de los vertimientos. Actualmente ya están elaborados los manuales de procedimientos y protocolos estandarizados para bioensayos de toxicidad aguda con *Daphnia magna* y *Bacillus cereus*, de toxicidad subletal con *Selenastrum capricornutum*, de toxicidad crónica con *D. magna* y un protocolo para bioensayos de toxicidad aguda con semilla de lechuga batavia y peces (alevinos de trucha arco-iris *Oncorhynchus mykiss*). La importancia de los bioensayos radica en que el análisis de las propiedades físico-químicas, no da la información suficiente para determinar la concentración a la cual se vuelve tóxica para los humanos y otras especies.

Igualmente, presentó una relación de los proyectos que vienen realizando en temas importantes desde el punto de vista de restauración de ecosistemas altoandinos que se encuentran muy fragmentados y amenazados de desaparecer con el manejo actual y el factor tensionante del cambio climático. Los proyectos son los siguientes: 1) técnicas de reproducción de especies nativas. 2) Utilización de microorganismos nativos beneficiosos para la biofertilización de árboles autóctonos empleados para reforestar. 3) Restauración de bosques secos andinos (convenio con el Laboratorio de Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas de la Universidad de Amsterdam). 4) Biodiversidad, historia de la vegetación y estudio del efecto antrópico de los humedales de la sabana de Bogotá (convenio con el Laboratorio de Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas de la Universidad de Amsterdam).

Estos dos ejemplos nos muestran que en el país se cuenta con experiencia en la utilización de especies en ensayos de toxicidad de aguas, así como en proyectos de restauración de ecosistemas disturbados que implican búsqueda de especies que faciliten la sucesión vegetal y la utilización de microorganismos como las micorrizas. Aunque no participaron en el taller, otro ejemplo de esto, es el programa modelo de ciudad sostenible que tiene el Distrito Capital con el DAMA donde parte esencial de este modelo es la restauración ecológica. Bogotá desde su plan de ordenamiento territorial ha emprendido el proyecto de crear o recuperar una estructura ecológica principal, es decir red de áreas protegidas. Para esto han elaborado un protocolo de restauración ecológica junto con la Fundación Bachaqueros, Salamanca y Camargo (2000) un libro que busca ser una guía de especies dinamogenéticas para ser empleada en la reconstrucción de los ecosistemas nativos del Distrito Capital y los bienes y servicios que ellos proveen, así como áreas similares del cinturón altoandino. Está diseñado específicamente para ecosistemas típicos del centro de la cordillera Oriental entre 2600 y 3400 m que corresponde al bosque altoandino y subpáramo que concentran las mayores necesidades de restauración.

La CRC dentro del marco del Proyecto Colectivo Ambiental viene adelantando una serie de estudios base en la región sobre recursos naturales en convenio con institutos y entidades pertenecientes al Sistema Nacional Ambiental (SINA). Estos estudios se encuentran en una primera fase de conocer el estado actual de los recursos del departamento en sus componentes bosque, agua, suelos y biodiversidad para posteriormente considerar potencialidades de aprovechamiento bajo el contexto del desarrollo sostenible.

Dentro de los participantes también contamos con la presencia de universidades. En ellas se encuentran distintos grupos de investigación y se llevan a cabo proyectos en diferentes áreas. La Universidad de Cartagena con el grupo de Química Ambiental y Computacional, realiza estudios tendientes a caracterizar el estado de la contaminación por mercurio en las diferentes especies de peces de las ciénagas mineras del sur de Bolívar, canal del Dique, bahía de Cartagena, Bajo Magdalena y río San Jorge. Esto con el fin de conocer la relación de la diversidad biológica con las

actividades antropogénicas contaminantes de tal forma que las iniciativas de prospección puedan aplicarse para el mejoramiento de las condiciones de vida de aquellas personas cuya subsistencia depende en forma directa del recurso pesquero.

En el Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá se adelanta el proyecto “Análisis integrado de estrategias adaptativas de plantas de páramo y del bosque altoandino de la Cordillera Oriental” del cual forman parte profesores de diferentes áreas con proyectos complementarios. El proyecto busca producir conocimiento nuevo sobre diversos aspectos funcionales del páramo y del bosque altoandino y configurar los modelos estructurales y funcionales particulares de las especies.

La Universidad Distrital presentó el proyecto “Ensayos de manejo de bosques secundario del Magdalena Medio” el cual pretende evaluar la incidencia de las técnicas de aclareo, liberación y refinación, sobre los incrementos en área basal y regeneración natural del bosque secundario de algodóncillo. La especie puede alcanzar un alto grado de valor comercial tanto para la empresa como para la comunidad local, ya que ensayos previos confirmaron sus propiedades físicas, mecánicas y de utilización para emplearla en la fabricación de molduras.

La Universidad de la Guajira con el grupo de estudios en Etnoecología y Educación Ambiental desarrolla un estudio cuyo objeto es resolver los interrogantes relacionados con las estrategias de uso de la biodiversidad, el conocimiento local sobre los recursos naturales, cambios en el patrón de asentamiento y actividades productivas de la comunidad Wayuu. El estudio se realiza con la aprobación y la participación de la Asociación de Palabreros “Wayuu Araurayú”.

Otros actores fundamentales dentro del proceso de bioprospección del país lo constituyen las fundaciones que propenden por el estudio y conservación de nuestros recursos naturales.

La Fundación Terrapreta ha desarrollado proyectos con comunidades indígenas de la Amazonía y Orinoquía colombiana con el apoyo de entidades internacionales como la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) para construir formas sostenibles de utilización de los recursos naturales con principios de equidad social, eficiencia tecnológica, y fortalecimiento de los valores culturales de los pueblos amazónicos.

Los grupos que se presentaron son una pequeña muestra de lo que se está desarrollando en bioprospección en el área de ecología en el país. Se está trabajando en caracterización de los recursos bióticos y físicos, en restauración de ecosistemas altoandinos, en problemas como la calidad del agua y contaminación del recurso pesquero, en investigación básica, nuevas propuestas de uso sostenible del recurso maderero y, por supuesto, toda la parte de proyectos con comunidades locales.

Sin embargo, para el desarrollo de la bioprospección en general y ecológica en particular, es importante contar con la participación de instituciones y entidades nacionales que trabajan en los temas de caracterización de la biodiversidad y conservación como La Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, Departamento Técnico-Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), Institutos de Estudios Ambientales, Instituto de Ciencias Naturales, Red de Jardines Botánicos, Ecofondo, Red Nacional de Reservas Privadas, ONG como Fundación Natura, Herencia Verde, WWF (World Wildlife Fund -Fondo Mundial para la Naturaleza) y Conservación Internacional (CI), entre otros.

INSTRUMENTO DE ANÁLISIS EN EL ÁREA DE ECOLOGÍA

De las personas que diligenciaron la encuesta el 13% correspondieron al área de ecología. Teniendo en cuenta los diferentes enfoques de investigación de los grupos que asistieron, en el momento de definir los pasos y objetivos a seguir para hacer investigación en bioprospección en Colombia, se presentaron distintas prioridades. En los siguientes párrafos tratamos las preguntas del instrumento de análisis ¿cuáles podrían ser los objetivos de investigación y cuáles serían las actividades a realizar para un programa nacional de bioprospección?.

Los objetivos de investigación, planteados por los grupos que trabajan en restauración y áreas relacionadas con conservación y ecología básica, para abordar la prospección ecológica son: realizar diagnóstico de áreas disturbadas, seguido de una investigación en aquellas especies resistentes a condiciones adversas y observar el tipo de alteraciones que afectan los ecosistemas tropicales. Estimular los organismos e implementar metodologías para la restauración de ecosistemas. Determinar procesos de consolidación de la estructura y función de los ecosistemas tropicales en diferentes etapas de desarrollo. Se plantea caracterizar funcionalmente los ecosistemas estratégicos.

En la naturaleza existen especies que tienen un efecto en cascada en la persistencia de todas las demás especies del ecosistema, la mayoría de veces indirectamente. Se han detectado diferentes tipos de especies como predadores, herbívoros, competidores, mutualistas, entre otras y sus interacciones pueden ser muy complejas y muchas veces sutiles. La detección de estas especies es importante para la conservación de la biodiversidad (Bond, 1994²⁰).

Para cumplir con los objetivos de la investigación de bioprospección en Colombia se plantearon las siguientes actividades: la realización de inventarios de flora y fauna en áreas y ecosistemas disturbados que posteriormente puede indicar en cuáles especies se debe estudiar los atributos vitales. La identificación de especies con uso potencial, resistentes a diversos tipos de estrés; por ejemplo, en ecosistemas de zonas áridas y sistemas ampliamente cambiantes como el páramo, estudios autoecológicos de las mismas, la evaluación de las limitantes ecológicas para la recuperación de áreas degradadas, y la formulación de indicadores de recuperación del ecosistema. Realizar estudios para establecer los límites de aprovechamiento de recursos biológicos, identificar tensionantes en ecosistemas perturbados y no perturbados, y evaluar la dinámica de los ecosistemas naturales.

Además, se planteó la necesidad de identificar los servicios ambientales que prestan los ecosistemas del país, teniendo siempre presente su importancia estratégica a escala global, por su papel como reservorio de biodiversidad y corredor biológico, entre otros.

Las Corporaciones Autónomas Regionales propusieron como objetivo establecer estrategias de manejo y conservación dentro de la Política Nacional Ambiental y como actividades propusieron

²⁰ Bond, W.J. 1994. Keystone species. En: Schultze E-D & H. A. Mooney (Eds) Biodiversity and Ecosystem Function. Springer Verlag, Berlin, 525 paginas.

realizar estudios diagnósticos de recursos biofísicos de ecorregiones, inventarios y caracterización de las especies promisorias (taxonomía, ecología y morfología), junto con la definición de acciones o lineamientos regionales y nacionales para el manejo de recursos genéticos.

Un grupo importante de participantes en la mesa de ecología que trabajan en el área de etnoecología, resaltó como objetivos: documentar el conocimiento tradicional y revalidarlo en términos de la relación hombre - recursos naturales; describir el uso y tipo de recursos según el conocimiento tradicional. Realizar inventarios de diversidad biótica y cultural, y acuerdos con comunidades para acceso al recurso a prospectar.

Las actividades propuestas fueron: Evaluación de las formas de producción tradicional y mejoramiento de las mismas con la implementación de estrategias productivas sostenibles para el beneficio de las comunidades locales. Fortalecimiento de los mecanismos de protección, valoración y compensación del conocimiento tradicional para las comunidades afrocolombianas, indígenas y campesinas. Resaltaron también la importancia de identificar las comunidades interesadas en trabajar en bioprospección (botánica medicinal) y fortalecer las organizaciones locales para la toma de decisiones sobre: acuerdos, leyes, propiedad intelectual y conocimiento colectivo, con la realización de talleres comunitarios, socialización de resultados de investigación y publicación de los mismos.

Las experiencias internacionales en bioprospección son desconocidas por la mayoría de participantes y sólo se mencionaron: 1) el proyecto TRAMIL, proyecto de investigación aplicada sobre la medicina tradicional popular de Haití, de República Dominicana y de las demás islas, con miras al mejoramiento y la racionalización de las prácticas medicinales populares fundadas en el uso de las plantas medicinales en Centro América. 2) El proyecto Prolaguna entre Ricerca e Cooperazione y la Corporación Autónoma Regional de la Guajira, cuyos objetivos son la protección, recuperación y uso racional del ecosistema costero del Caribe colombiano; así como protocolos de restauración en Sur África. Los investigadores consideran relevante para su trabajo las experiencias de botánica económica del Instituto de Ciencias Naturales, trabajos en etnobotánica en México y Guatemala, proyectos de desarrollo rural de la FAO como la “Guía Metodológica para el Diseño de Políticas de Desarrollo con Enfoque de Género en la Región Amazónica” con la participación de instituciones y centros de investigación del medio ambiente y de la Amazonía, como POEMA– Brasil (Program Poverty and Environment in Amazonia) y estudios en especies resistentes a condiciones adversas.

Los principales sectores relacionados con la actividad de investigación de los encuestados del área de ecología fueron: botánica medicinal y biorremediación, los demás sectores se distribuyeron más homogéneamente (Figura 50). Otros sectores que no estaban en la encuesta y que representan un 14% fueron: control de erosión, conservación, educación ambiental, ecología de alta montaña, mejoramiento de especies forestales.

En la Tabla 26 y Tabla 27 se muestran los resultados de preguntas con respuestas múltiples en donde se presentan las frecuencias de selección de la respuesta. Los especialistas que más se necesitan para desarrollar los proyectos de investigación son biólogos y botánicos, es decir, del área de las ciencias naturales (Tabla 26)

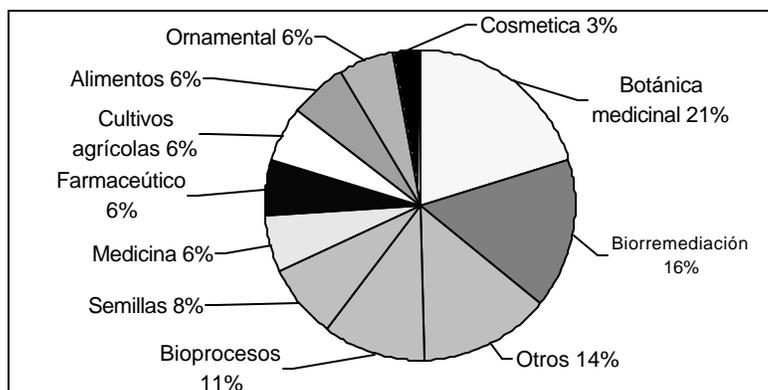


Figura 50. Sector con el que se relaciona su actividad de investigación

Tabla 26. Especialidades necesarias para realizar investigaciones en bioprospección

Especialidades	Responden	Especialidades	Responden
Biólogo	14,3%	Bioinformática	2,9%
Botánico	11,4%	Bioprocesos	2,9%
Abogado	5,7%	Bioremediación	2,9%
Bioquímico	5,7%	Edafólogo	2,9%
Ecólogo	5,7%	Etnobotánica	2,9%
Economista	5,7%	Farmacólogo	2,9%
Geólogo	5,7%	Geógrafo	2,9%
Mercadotecnista	5,7%	Ingeniero agrónomo	2,9%
Administrador	2,9%	Ingeniero ambiental	2,9%
Agroecólogo	2,9%	Ingeniero forestal	2,9%
Antropólogo	2,9%	Lingüista	2,9%

Es evidente la importancia que está cobrando en el país la necesidad de un trabajo interdisciplinario para sacar adelante las investigaciones en bioprospección, donde aparte del conocimiento científico se requieren múltiples nociones para que los proyectos sean viables y útiles para la sociedad y el país. Dentro de las necesidades más destacadas de capacitación se encuentran bioprocesos (12,8%), bioinformática y legislación (10,6%), mercadeo (8,5%) y aumentar la capacidad de negociación (6,4%), la cual será la base para que se optimice el aprovechamiento de nuestra biodiversidad (Tabla 27).

Tabla 27. Necesidades de capacitación

Capacitación	Responden	Capacitación	Responden
Bioprocesos	12,8%	Genómica	6,4%
Bioinformática	10,6%	Negociación	6,4%
Legislación	10,6%	Tec. bioquímica	6,4%
Bioética	8,5%	Tec. biología molecular	6,4%
Mejoramiento	8,5%	Proteómica	4,3%
Mercadeo	8,5%	Química combinatoria	2,1%
Fitoquímica	8,5%		

Una de las grandes preocupaciones de los grupos de investigación a nivel general es la necesidad de equipos (38,5%), financiación (15,4%) y capacitación y laboratorios con (11,5%) para poder ejecutar los proyectos de bioprospección.

Hay pocos grupos con alguna forma de propiedad intelectual. Del área de ecología hubo dos grupos con patentes y derecho de obtentor (Corporación Regional del Cauca y Universidad de La Guajira) y uno (Terrapreta) con secreto comercial, el secreto comercial está en las técnicas para la obtención de extractos y posterior transformación de las plantas para producir localmente productos transformados como cremas, jarabes o cápsulas. La capacitación en esas técnicas la recibieron por parte del laboratorio de farmacología vegetal de la Escuela de Medicina Juan N. Corpas.

Fue evidente el desconocimiento de las bases de datos existentes y de las que conocen no se tiene conocimiento sobre cómo acceder a ellas. Las bases de datos existentes tienen acceso limitado. Se dieron ejemplos de bases de datos que manejan algunas corporaciones regionales, bases de datos georeferenciadas como la del Instituto Alexander von Humboldt, y el Instituto SINCHI. Se anotó la necesidad de bases de datos sobre clima y meteorología a escala local y que los proyectos estén georeferenciados.

DISCUSIÓN

Entre los acuerdos generales a los que llegaron los participantes en la discusión está como primera medida la definición de la bioprospección ecológica como la herramienta que permite identificar las especies promisorias para su uso industrial, farmacéutico, para la restauración de ecosistemas, por medio de investigaciones de autoecología de las especies, de relaciones intra e interespecíficas y mecanismos de adaptación a ambientes extremos.

Los investigadores presentes coincidieron en que la bioprospección es una actividad cuyo objetivo de búsqueda y desarrollo es la diversidad biológica, porque de ella hacen parte las especies, las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas. La biodiversidad involucra varios niveles de organización, y atributos que según Noss (1990)²¹ son composición, estructura (patrones) y función (procesos), además de ciclos de energía y nutrientes.

El valor de la biodiversidad es inherente a ella como producto de evolución biótica y como una característica de la biósfera natural Hobbie *et al.* (1994)²², diferentes grupos humanos le dan distintos valores según sea su relación con la naturaleza estrecha o distante; los tipos de valor que expone Andrade (1997) son moral y ético, simbólico, naturalista, científico y utilitario. Este último es el que nos compete en la bioprospección. Así desde este punto de vista más utilitario, es de vital importancia preocuparnos de los cambios en la diversidad, porque la población humana depende tanto de la diversidad de especies como de la diversidad genética dentro de las especies (Hobbie *et al.*, 1994).

En la discusión se resaltó reiteradamente que en los proyectos de bioprospección, la conservación de la biodiversidad debe ser la premisa y una tarea paralela muy bien articulada que garanticen la supervivencia de especies prospectadas. Los distintos estudios en todos los niveles, son los que permiten tener un soporte básico de información de los ecosistemas, en los cuales se encuentran los recursos biológicos, y una herramienta para la biología de la conservación en cuanto a monitoreos y pautas de utilización de los recursos de manera sostenible. Noss (1990) asegura que la relación entre biodiversidad ecosistémica y biodiversidad específica es básica para conocer el estado de conservación de una especie o para ser utilizada como un criterio para iniciar la bioprospección en un área dada.

Relacionado con lo anterior, para la conservación del hábitat natural del cual se extrae la especie de interés, se necesitan estudios ecológicos que aportan conocimiento de las relaciones de flujos de materia y energía, dinámicas y disturbios del ecosistema. Análisis de las poblaciones naturales en las cuales se va a acceder a la especie para que se mantenga la población debe responder a las preguntas de ¿cuántos individuos colectar, y de cuáles edades?. Si la especie (animal o vegetal) se va a producir se necesita saber sus requerimientos básicos de temperatura, nutrientes, etc. Esto se resume en autoecología o ecofisiología.

Aunque hubo un consenso general contra el extractivismo, la bioprospección puede conllevar fácilmente a la explotación del recurso de forma extractiva y evitar que esto suceda, es en parte el

²¹ Noos R. F., 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology* 4 (4): 355-364.

²² Hobbie S.E., Jensen D.B., y F.S.Chapin III, 1994. Resource Supply and Disturbance as Controls over Present and Future Plant Diversity. En: *Biodiversity and Ecosystem Function*. Schulze y Money. 1994 (Eds.) Springer Verlag, Berlin.

papel de la ecología en la bioprospección al proveer herramientas para la conservación del hábitat donde se encuentren los organismos de interés. La conservación *in situ* es vital para gran variedad de organismos, el caso de muchos microorganismos, ranas venenosas o plantas, que fuera de su hábitat natural tienen comportamientos diferentes en la producción de metabolitos secundarios. Es importante promover la conservación *in situ*.

Se resaltó la importancia de conocer y estudiar la relación estrecha que se da entre algunos grupos humanos y la naturaleza y es por medio de la etnoecología que se aporta al conocimiento acerca de la interacción de las comunidades locales con el medio natural, su aprovechamiento (especies promisorias) y uso sostenible. Además de la necesidad de promoción de la organización sobre todo en las comunidades campesinas.

Dentro de la mesa también se discutieron algunos aspectos concernientes a la legislación y que son preocupaciones que se comparten en otras áreas temáticas. Se reiteró en la importancia de la socialización de la normatividad sobre investigaciones, en particular se hizo referencia al decreto 309 de 2000, conocido como estatuto de la investigación, y que regula todo lo concerniente a solicitudes de acceso a recursos biológicos. Se anotó la necesidad para que exista un diseño claro de políticas, porque en últimas los proyectos son base para el mejoramiento de la calidad de vida.

Se propuso realizar una orientación normativa y tecnológica para el aprovechamiento de especies, estrategias de manejo y conservación como recurso genético dentro de la política ambiental del país, desarrollo de acuerdos y contratos de cooperación interinstitucional

Al mencionar las escalas más grandes que abarcan ecosistemas y ecorregiones, en las cuales también es importante la bioprospección ecológica, se habló de la necesidad de establecer los servicios ambientales de los ecosistemas, como otra manera de utilizarlos para provecho humano, además de promover su uso sostenible.

Actualmente los servicios ambientales se están tomando como opción de desarrollo sostenible en Centro América, buscando una amplia participación de los diferentes actores que pueden contribuir a la producción de bienes y servicios ambientales, y a la gestión sostenible de los recursos naturales. Los servicios ambientales de los ecosistemas son otra alternativa de bioprospección. Las ideas que se propusieron en la discusión del taller van desde un nivel local para ecoturismo, regulación de agua, a un nivel global de captura de carbono y como corredor biológico (Chocó biogeográfico y ecosistemas andinos).

En el Informe Nacional del Estado de la Biodiversidad en Colombia, el Instituto Alexander von Humboldt hace una relación de los ecosistemas colombianos y sus servicios ambientales, los siguientes son los servicios de algunos de todos los ecosistemas terrestres que se encuentran en mencionado informe.

Los páramos son prioritarios para restauración y bioprospección. Sus servicios ambientales son el agua potable, regulación de agua y energía eléctrica. Las selvas y bosques montanos también son prioritarios para restauración y bioprospección, sus servicios ambientales incluyen el ser reservorios de variabilidad genética, la regulación de caudales e interceptación de neblina, control de erosión y avalanchas. El bosque seco tropical es muy importante y prioritario para restauración y bioprospección, por ser uno de los más amenazados del neotrópico. Es hábitat de diferentes

especies de uso humano como varias especies de leguminosas forrajeras, ornamentales y frutales. Son bancos genéticos desconocidos.

La conservación de lo prospectado, la prioridad de cuáles ecorregiones bioprospectar y los servicios ambientales, están inevitablemente enmarcados en el cambio climático. Las recomendaciones de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) hacen notar que el éxito en el esfuerzo por alcanzar los objetivos de la Convención de Diversidad Biológica (CDB) a saber: - conservación de la biodiversidad, utilización sostenible de sus componentes y participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de sus recursos genéticos - debe necesariamente tener en cuenta el cambio climático.

En el marco del cambio climático global hay ecosistemas prioritarios de restauración y de bioprospección en los Andes del Norte (páramo y bosque altoandino) por presentar doble condición de riesgo llamadas *HotSpot* y *Global Climatic Tensor*. ¿Por qué la Región Andina? Primero es una zona con alta biodiversidad y endemismo, a la vez de estar muy amenazada por los altos índices de destrucción por intervención directa de las poblaciones humanas que la habitan esto significa condición *HotSpot* (Castaño, 2000). Y la condición de *Global Climatic Tensor* significa que son ecosistemas que con el cambio climático gradualmente permitirán un uso humano mayor debido al cambio en el suelo y al presentarse condiciones más favorables para habitarlos y explotarlos. En la actualidad ya hay registros del cambio acelerado que se vienen presentando de la cobertura vegetal en áreas de páramo (Castaño, 2000). Hay un alto grado de amenaza de extinción de especies y de desaparición hasta del mismo páramo.

PRINCIPALES INDUSTRIAS Y MERCADOS QUE SE BENEFICIAN DE LA BIOPROSPECCIÓN: TENDENCIAS INTERNACIONALES Y PROYECCIONES

Santiago Carrizosa²³

INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años, el acelerado desarrollo científico y tecnológico se ha expresado en la aparición de múltiples industrias y mercados que se benefician directa e indirectamente de la diversidad biológica. Las industrias farmacéutica y agrícola han sido las más eficientes en el aprovechamiento del material genético y sus derivados para el diseño y desarrollo de productos farmacéuticos, pesticidas y semillas modificadas genéticamente. Las técnicas de ingeniería genética, la química combinatoria y la inspección de alto caudal (*High-Throughput Screening*), entre otras, han posibilitado la lectura eficaz y eficiente de la diversidad biológica como nunca antes; estos avances científicos también han promovido un vertiginoso desarrollo de normas internacionales como el Convenio de Diversidad Biológica, el cual ha proporcionado elementos básicos para que todos los países interesados en regular el acceso a su patrimonio genético elaboren sus leyes y políticas nacionales. Como miembro del Pacto Andino, Colombia participó en el desarrollo del Régimen Común sobre Acceso a los Recursos Genéticos conocido como la Decisión 391 (D391) la cual fue aprobada el 2 de julio de 1996. Han pasado cerca de seis años desde su aprobación y la mayoría de los países que se encuentran bajo la jurisdicción de la Decisión han tenido dificultades para interpretarla y ponerla en práctica. Este ha sido uno de los ejemplos clásicos en que el desarrollo normativo ha avanzado de manera independiente al desarrollo científico, tecnológico y empresarial sin conocer a fondo las características y potencialidades de la industria que pretende regular; por esto, países andinos como Colombia, Ecuador y Perú se encuentran elaborando políticas y reglamentos que faciliten la implementación de la D391. En Colombia, por ejemplo, algunas de las discusiones se centran alrededor de temas como qué tipo de organismos biológicos debe regular la D391, qué lugares deben ser excluidos del acceso, o qué industrias debe regular la Decisión (Paola Ferreira, *com. pers.*).

Este trabajo pretende contribuir al debate mediante el análisis de los siguientes aspectos: 1) Elementos de juicio que pueden ser utilizados por los tomadores de decisiones para definir qué recursos genéticos podría regular la D391; y 2) Mercados y tendencias de las principales industrias que se benefician de la bioprospección.

²³ Genetic Resources Conservation Program Universidad de California, Davis

1. Elementos de juicio que pueden ser utilizados por los tomadores de decisiones para definir qué recursos genéticos podría regular la D391

1.1. ¿Qué tipo de acceso regula la Decisión 391?

La D391 regula el acceso a todos los recursos genéticos *in situ*, *ex situ*, y sus derivados, de manera que sin tratar de interpretarla, se puede decir que toda la diversidad biológica de Colombia puede ser regulada por la Decisión; esto también incluye el componente intangible o conocimiento asociado a la biodiversidad.

1.2. ¿Qué recursos genéticos deben ser regulados por la Decisión 391?

Uno de los temas fundamentales que la futura política de bioprospección colombiana deberá definir es cuáles son los recursos genéticos y los derivados que serán regulados por la D391, aspecto que no sólo debería depender de la interpretación de la D391 sino de otros factores. A continuación se presentan algunos de los principales elementos que deben ser tenidos en cuenta para el análisis de este tema:

1.2.1. Interpretación sobre qué tipo de recursos genéticos regula la D391

Como se mencionó anteriormente, la lectura directa de la D391 indica que todos los recursos genéticos y sus derivados deben ser regulados por este marco de acceso. Sin embargo, para algunos analistas, cubre únicamente aquellos recursos cuyo material genético ha sido utilizado y transformado por los bioprospectores mediante técnicas de biotecnología moderna. Esta fue la interpretación utilizada por el gobierno colombiano en el dictamen del siguiente caso: En 1998 el Ministerio de Medio Ambiente de Colombia le manifestó a Shaman Pharmaceuticals²⁴ que no necesitaba llenar una solicitud de acceso a recursos genéticos para importar desde Colombia látex de la especie *Croton lechleri*, con lo cual produciría el medicamento denominado “Provir” que se usaría para el tratamiento de diarrea crónica en pacientes con SIDA; la droga en cuestión, se fabricaría teniendo como base un compuesto químico (SP-303) no sintetizable, que se extrae del látex de la planta citada. En ese sentido, Colombia le informó a la compañía mencionada que en el caso en concreto no se configuraba acceso a los recursos genéticos dado que el látex no ha sufrido un proceso de transformación substancial; por otra parte, la autoridad ambiental del gobierno ecuatoriano tuvo una respuesta diferente frente a la misma consulta. Los ecuatorianos realizaron una lectura directa de la D391 y concluyeron que el látex del *Croton* era uno de los compuestos derivados de los recursos genéticos y por consiguiente el acceso a este tipo de recursos debería ser regulado por la D391 (Ruiz, 2000)²⁵.

²⁴ Shaman Pharmaceuticals casi quiebra al no poder financiar los costos de pruebas adicionales clínicas exigidas por la Agencia Reguladora de Estados Unidos (FDA) para el medicamento Provir. Como resultado de esta crisis económica Shaman (conocida ahora como Shaman Botanicals) se cambió al sector de la botánica medicinal y ahora comercializa un medicamento llamado “Normal Stool Formula” el cual es presentado como un extracto estandarizado del látex del *Croton lechleri* que ha sido utilizado por indígenas de la Amazonía por siglos para curar la diarrea (<http://www.shamanbotanicals.com/>).

²⁵ Ruiz, M. 2000. Regulating Bioprospecting And Protecting Indigenous Peoples Knowledge In The Andean Community: Decision 391 And Its Overall Impacts In The Region. United Nations Conference on Trade and Development BIOTRADE Initiative. Expert Meeting on Traditional Knowledge, Geneva.

1.2.2. Interpretación del tratado internacional de la FAO sobre recursos genéticos para la alimentación y la agricultura

Antes de que el tratado fuera aprobado a finales del 2001, todos los recursos genéticos eran cubiertos por la D391, ahora 65 géneros de cultivos agrícolas serán cubiertos por un mecanismo multilateral de intercambio de recursos genéticos y esta lista puede aumentar en el futuro (FAO, 2001)²⁶. Colombia fue uno de los 116 países que apoyaron la negociación del tratado pero todavía no lo ha firmado. Actualmente, la Cancillería y el Ministerio del Medio Ambiente están investigando cuáles son las implicaciones de este tratado sobre la aplicación de la D391, las cuales no son claras dada la naturaleza supranacional de la convención (Ana María Hernández, *com. pers.*).

1.2.3. Política de biodiversidad, comercio, inversión e investigación del país

¿Cuáles son las prioridades para el país en materia de fortalecimiento de la industria nacional que depende de la utilización de la biodiversidad? ¿Qué tipo de inversión se requiere? ¿Qué estrategias tiene el país para atraer esta inversión? ¿Cuáles son las estrategias del país para agregarle valor a los recursos genéticos? ¿Cuáles son las prioridades de investigación del país? ¿Cuáles son las implicaciones sobre la investigación de tipo académico? ¿Qué industrias internacionales pueden contribuir para el fortalecimiento de la industria y la ciencia nacional? Estas son algunas de las preguntas que se deben considerar en la identificación de los recursos genéticos y los derivados que deben ser regulados por la D391.

1.2.4. Características del mercado internacional

Tendencias industriales y su demanda por recursos genéticos y sus derivados. Las tendencias internacionales en las ventas de la industria que se beneficia de la diversidad biológica y su demanda por recursos genéticos pueden ser indicadores valiosos para la definición de una política proactiva que se enfoque en la identificación y conocimiento de compañías interesadas en el establecimiento de alianzas estratégicas con representantes de la industria y la academia nacional.

2. Mercados y tendencias de las principales industrias que se benefician de la bioprospección

2.1. ¿Qué industrias podrían aprovechar la diversidad biológica de Colombia?

Hoy día prácticamente toda la diversidad biológica de Colombia puede ser aprovechada de alguna manera por una gran variedad de industrias que operan a escala nacional e internacional. Estas industrias incluyen:

1. Farmacéutica
2. Botánica medicinal
3. Semillas
4. Protección de cultivos
5. Biotecnología: Áreas diferentes a la farmacéutica y agricultura
6. Ornamental
7. Cosméticos y cuidado personal

²⁶ FAO 2001. International treaty on plant genetic resources for food and agriculture, Rome.

En este trabajo se presentará un análisis preliminar sobre los mercados, las tendencias en ventas internacionales, los actores y la demanda de las cinco primeras industrias mencionadas anteriormente que utilizan los recursos genéticos y sus derivados para el desarrollo de productos que son comercializados a nivel internacional.

2.1.1. *Industria farmacéutica*

Desde los años 60 la industria farmacéutica ha crecido rápidamente. En países como Estados Unidos, el gobierno ha contribuido a este crecimiento, en parte gracias a las investigaciones del Instituto Nacional de Cáncer (INC) sobre compuestos activos contra dicha enfermedad, obtenidos a partir de muestras biológicas. Comparada con otras industrias que se benefician de la biodiversidad, la farmacéutica cuenta con el mayor valor anual de ventas en el mercado, sus actividades incluyen no sólo el desarrollo y mercadeo de medicamentos, sino también la creación de bancos de compuestos químicos y biológicos; sin embargo, muy pocas compañías se dedican únicamente al desarrollo de medicamentos. Por ejemplo, el 32% y 55% de las ventas anuales de Monsanto y Novartis corresponden únicamente a productos farmacéuticos, el resto proviene de ventas de productos agroquímicos y semillas.

Tendencias del mercado mundial

Desde 1996 las ventas de esta industria han crecido cada dos años entre el 2% y 4% (Figura 51). Para el año 2002 algunos analistas proyectan un aumento del 28% lo cual es un poco exagerado dadas las tendencias de años anteriores y la recesión actual en Estados Unidos y algunos países Europeos (www.ims-global.com/). Sin embargo, a pesar de la recesión es probable que el aumento en las ventas para el 2002 también sea entre el 2% y 4% dado que ésta es una de esas industrias cuyos productos (i.e., medicamentos) son considerados como esenciales y como tal, la industria es apoyada por una demanda relativamente constante por parte de los consumidores a nivel mundial.

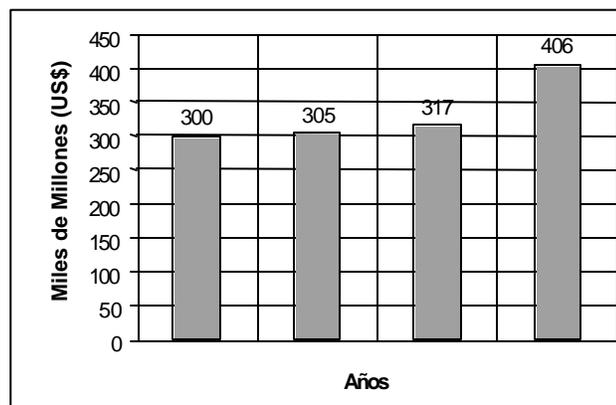


Figura 51. Ventas de la industria farmacéutica a nivel mundial

Las cifras de la Figura 51 incluyen medicamentos derivados de productos naturales y varios investigadores han realizado algunos intentos para estimar su contribución a las ventas anuales. Por ejemplo, se sabe que 11 de los 25 medicamentos que mejor se vendieron en Estados Unidos en 1997 tienen compuestos naturales o derivados de productos naturales. Y se estima que la contribución de estos productos naturales a las ventas globales en 1997 pudo haber estado entre

US\$75.000 y US\$120.000 millones (www.ims-global.com/ y Ten Kate y Laird, 2000²⁷). Si se asume que las ventas globales en 1997 estuvieron alrededor de los US\$310.000 millones, entonces las ventas de productos naturales estarían entre el 24% y 38% de las ventas totales.

Mercados

Los mercados más grandes de esta industria se encuentran en Estados Unidos y Europa. En el año 2000, por ejemplo, las ventas de la industria farmacéutica alcanzaron US\$317.000 millones, casi el 50% de las ventas a nivel mundial se registraron en Estados Unidos y alrededor de una cuarta parte de éstas ventas se registraron en Europa (Figura 52), mercados como el de América Latina, Asia, África y Australia presentaron ventas bastante bajas y ésta ha sido la tendencia general en años anteriores (www.ims-global.com/).

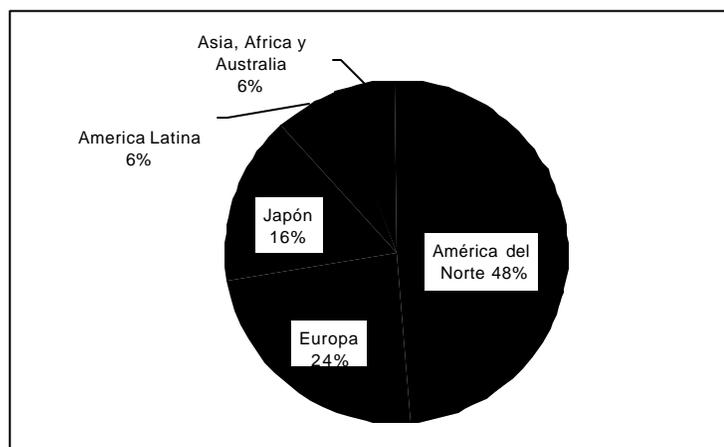


Figura 52. Mercados de la industria farmacéutica en el año 2000

Actores

Hoy día existen cerca de 1.700 compañías biotecnológicas, 1.000 de éstas tienen su sede en Europa, de las cuales hay muchas organizaciones pequeñas flexibles e innovadoras, característica que facilita el descubrimiento de nuevos productos; sin embargo, su tamaño no las favorece para el mercadeo de productos, lo cual implica grandes cantidades de dinero para poder pagar las pruebas clínicas de la FDA (Food and Drug Administration) de Estados Unidos. Por esto, muchas de estas firmas se asocian con grandes compañías que se concentran en el desarrollo de productos farmacéuticos. Por ejemplo en 1997, Glaxo Wellcome obtuvo el 100% de sus ingresos a partir de ventas farmacéuticas, Eli Lilly obtuvo el 87%, Sankyo Co Ltda el 75% y Pfizer el 74% (Ten Kate y Laird, 2000).

En los últimos cinco años las mayores ventas de productos farmacéuticos han correspondido a multinacionales como Pfizer, GlaxoSmithKline, Merck & Co, AstraZeneca y Bristol Myers y Squibb, todas estas organizaciones han utilizado productos naturales en sus investigaciones. Por ejemplo, en agosto 1998, Pfizer y Phytopharm establecieron un acuerdo para experimentar con un medicamento contra la obesidad derivada de una planta de Sur África (The Wall Street Journal, 1998); así mismo, el medicamento Taxol contra el cáncer de Bristol Myers Squibb (cuya patente expiró en el 2000), le trajo a la compañía cerca de US\$ 1.600 millones (www.ims-global.com/).

²⁷ Ten Kate, K. y Laird, S.A. 2000. The commercial use of biodiversity: Access to genetic resources and benefit-sharing, Earthscan, London.

Organizaciones del gobierno y universidades en países industrializados también contribuyen de manera significativa al desarrollo de medicamentos con base en organismos biológicos. En Estados Unidos, por ejemplo, durante los últimos 40 años el INC ha analizado cerca de 400.000 compuestos con objetivos farmacéuticos y todos los productos exitosos son desarrollados y comercializados por compañías farmacéuticas privadas lo cual permite el mercadeo de productos derivados de sus investigaciones. El gobierno también financia gran cantidad de iniciativas como los Grupos Cooperativos Internacionales de Biodiversidad (GCIB), que son alianzas entre bioprospectores de Estados Unidos y varios países del mundo para la identificación de organismos biológicos útiles para la industria farmacéutica y agrícola (Carrizosa, 2000²⁸).

Igualmente, en Inglaterra, el Departamento de Comercio e Industria ofrece donaciones cercanas a medio millón de dólares para financiar el crecimiento inicial de compañías farmacéuticas. En Alemania, una compañía biotecnológica puede recibir dos millones de dólares de donación del gobierno federal y estatal y cerca de un millón de dólares de préstamo a bajos intereses (Haycock, 1998). Igualmente, el sector universitario en Estados Unidos es tremendamente proactivo en la investigación de organismos biológicos como fuente de productos farmacéuticos.

Demanda

La demanda de la industria farmacéutica por recursos genéticos puede observarse directa e indirectamente a través de los siguientes factores: la contribución de los recursos genéticos a la producción y venta de medicamentos; los presupuestos de investigación y desarrollo de las compañías farmacéuticas; proyectos actuales de bioprospección y encuestas.

- **Contribución de los recursos genéticos a la producción y venta de medicamentos:** Grifo *et al.* (1997)²⁹ encontró que los 150 medicamentos que mejor se vendieron en 1993 contenían compuestos activos de origen natural, semisintético o sintético pero inspirado en compuestos naturales (Tabla 28). Se estima que en 1997, las ventas de productos naturales contribuyeron entre el 24% y 38% a las ventas totales.

Tabla 28. Contribución de los recursos genéticos a 150 medicamentos

Origen	Producto natural	Semi sintético	Sintético	Total Medicamentos	%
Vegetal	9	25	-	34	23
Animal	6	21	-	27	18
Hongos	4	13	-	17	11
Bacterial	5	1	-	6	4
Marino	2	-	-	2	1
Sintético	-	-	64	64	43
TOTAL	26	60	64	150	100

- **Presupuestos de investigación y desarrollo de las compañías farmacéuticas:** En 1998, los gastos en desarrollo e investigación llegaron a US\$ 21.100 millones (PHARMA, 1998). Se estima que entre el 2001 y el 2005 expirará la patente de medicamentos que se venden por cerca de US\$100.000 millones y las grandes compañías farmacéuticas perderán un porcentaje significativo de ingresos al tener que compartir el mercado con organizaciones que desarrollan

²⁸ Carrizosa, S. 2000. La bioprospección y el Acceso a los Recursos Genéticos (Con la colaboración de Adriana Casas). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá, Colombia.

²⁹ Grifo, F. Newman, D. Fairfield, A.S., Bhattacharya, B. and Grupenhoff, J.T. 1997. The Origins of Prescription Drugs. In F. Grifo and Rosenthal (eds) Biodiversity and Human Health, Island Press, Washington DC.

productos genéricos (*Reuters Business Insight*, 2001³⁰). Por esto, muchas compañías están intensificando sus actividades de investigación. Por ejemplo, para el 2002 Merck elevó su presupuesto de investigación de US\$2.500 millones a US\$2.900 millones (CNN, 2001³¹); y se estima que entre 1% y 4% de este presupuesto podría ser utilizado para actividades que involucran el descubrimiento de productos naturales (Ten Kate y Laird, 2000).

- **Proyectos de bioprospección:** Actualmente la demanda de recursos genéticos y sus derivados se puede demostrar fácilmente al observar la gran cantidad de compañías, organismos de investigación gubernamental y universidades que participan en proyectos de bioprospección. Para una revisión detallada de estos proyectos se pueden consultar las siguientes fuentes: Rosenthal *et al.* (1999), Ten Kate y Laird (2000), www.etcgroup.org/main.asp, y Carrizosa (2002)³².
- **Encuestas:** Según una encuesta realizada a 26 organizaciones que desarrollan investigaciones farmacológicas (ej., Pfizer, Bristol-Myers Squibb, y el Instituto Nacional de Cáncer), éstas se refirieron a las plantas como el tipo de organismo que más demandan para el desarrollo de productos; luego de las plantas otros organismos demandados por las compañías son microorganismos, especies marinas, hongos e insectos (Ten Kate y Laird, 2000).

2.1.2. Industria de la botánica medicinal

A diferencia de la industria farmacéutica, la de la botánica medicinal utiliza materiales vegetales completos como hojas, tallos, y extractos para el desarrollo de sus productos finales. Estas medicinas también incluyen muchos ingredientes activos cuya función e interacción en muchos casos no se conoce muy bien; esto se debe en parte a que en varios países como Estados Unidos la industria botánica no está sometida a las costosas y extensas pruebas científicas y clínicas que le exige la FDA a la farmacéutica. Sin embargo, es importante recordar que muchas de estas medicinas son el resultado de pruebas continuas por parte de comunidades indígenas de países en proceso de desarrollo, que en varias ocasiones han demostrado su efectividad, seguridad y eficiencia. Los beneficios económicos derivados de esta industria son muy pequeños comparados con otras industrias que se pueden beneficiar de la bioprospección.

Tendencias del mercado mundial

En 1996, las ventas de productos de esta industria alcanzaron US\$16.400 millones a escala mundial. Sin embargo esta cantidad ha disminuido en los últimos años, comportamiento que puede ser observado en el mercado de los Estados Unidos según informes recientes (*Herb Research Foundation*, 2000). Entre el año 82 y 97 las ventas crecieron un 720% en Estados Unidos (Figura 53), algunos analistas predicen que las ventas alcanzarán US\$5.000 millones en el 2002; sin embargo, esta cifra es un tanto exagerada, dado que en los últimos años las ventas de productos derivados de la botánica medicinal han bajado considerablemente debido a que los mercados están saturados a escala internacional por causa de la recesión de los últimos dos años (NBJ, 1996³³ y 1998³⁴; *Herb Research Foundation*, 2000; Mahady, 2001³⁵).

³⁰ Reuters Business Insight. 2001. Strategic Intelligence: The Top 12 Pharmaceutical Companies, pp. 158.

³¹ CNN. 2002. Merck warns on 2002. December 11.

³² Carrizosa. S. 2002. Análisis Comparativo de Modelos Internacionales de Bioprospección: Implicaciones para la Conservación de la Biodiversidad y la Distribución Equitativa de Beneficios. Primer Taller Nacional sobre bioprospección. Universidad Nacional, Colombia.

³³ NBJ, 1996. Raw Materials I. Vol. 1, No. 1.

³⁴ NBJ, 1998. Sales and Marketing Strategy and Spending. Vol 3, No.3.

³⁵ Mahady, G.B. 2001. Global Harmonization of Herbal Health Claims, *The Journal of Nutrition*, Vol. 131, p. 1120S

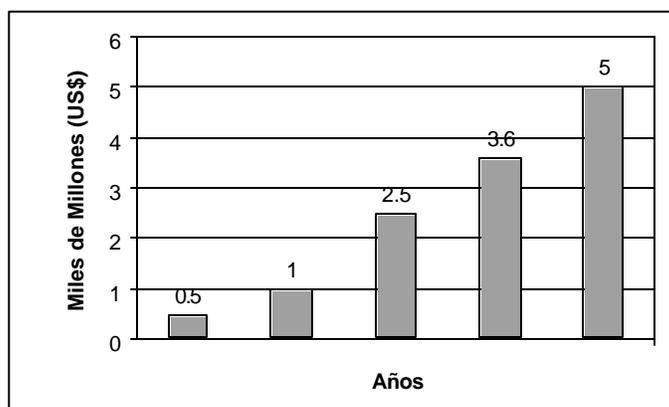


Figura 53. Ventas de la industria de la botánica medicinal en Estados Unidos

Mercados

En 1996, los mercados más grandes de la industria de la botánica medicinal se encontraban en Europa y China (Figura 54), situación que probablemente continúa hoy día debido a que las ventas en otros mercados importantes como el de los Estados Unidos han disminuido en los últimos años. En Europa, los mayores consumidores de este tipo de productos son Alemania, Francia, Italia, Inglaterra y España. China también tiene un mercado considerablemente grande debido a que la medicina tradicional de este país depende en gran medida del abastecimiento de plantas medicinales. Otros mercados importantes se encuentran en Estados Unidos y Japón (Gruenwald y Buettel, 1996³⁶; Brevoort, 1998³⁷; Gruenwald, 1997³⁸ y Yuquan, 1998³⁹).

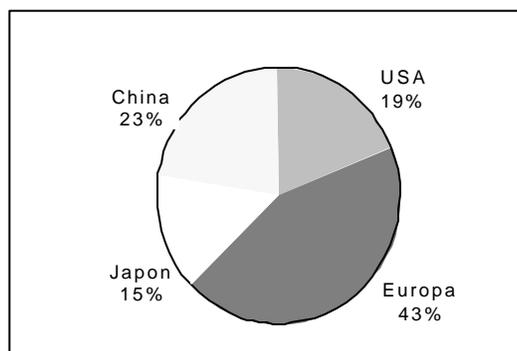


Figura 54. Principales mercados de la industria de la botánica medicinal en 1996

Actores

El tamaño y la función de las compañías que dependen de la botánica medicinal varía mucho, algunas se especializan en el procesamiento y mercadeo de las hierbas y se preocupan poco por su efectividad (Ten Kate y Laird, 2002), otras manufacturan un producto eficiente y de buena calidad siguiendo métodos científicos; algunos de estos productos son extractos estandarizados sobre una base vegetal y generalmente se llaman fitomedicinas, otros son vendidos en grandes cantidades sin ninguna especificación sobre la cantidad del compuesto químico activo o el grupo químico al cual

³⁶ Gruenwald, J. y Buettel, K. 1996. The European Phytotherapeutics Market, Drugs made in Germany, Vol. 39, No. 1. p. 6-11

³⁷ Brevoort, P. 1998. The Booming US Botanical Market: A New Overview. Herbalgram, No. 44.

³⁸ Gruenwald, J. 1997. Europe Leads in Herbal Remedies, NBJ, Vol 12.

³⁹ Yuquan, W. 1998. China Medipharm Insights, 8 April.

pertenecen. La forma de presentación de estos productos incluye tabletas, cápsulas, té, extractos, tinturas, y hierbas frescas y secas que se venden en volumen.

La estructura en este negocio se divide en: surtidores, manufactureros/mercaderes, y vendedores. Los surtidores incluyen los cultivadores, exportadores y otros agentes que proporcionan la materia bruta. Los principales surtidores de material botánico son Indena (Italia), Botanicals Internationals (Estados Unidos), Henkel (Alemania), y Hauser (Estados Unidos) (NBJ, 1998). Estas organizaciones proporcionan material en bruto a compañías que manufacturan y mercadean el producto a nivel mundial, las cuales incluyen Leiner Health Products (Carson CA), Pharmavite (San Fernando CA), y American Home Products/Lederle (Madison NJ). Los vendedores de esta industria incluyen una gran diversidad de negocios alrededor del mundo.

Esta es una industria con un gran número de empresas pequeñas y medianas. Es también una industria compleja sin integración vertical, cuyos productos se conocen bajo muchos términos como fitomedicinas, productos naturales, vitaminas, tinturas, suplementos dietéticos, y alimentos naturales. El valor del producto obviamente aumenta con el grado de procesamiento en la siguiente dirección: hierba fresca, hierba seca, tintura, extracto, extracto estandarizado y fitomedicina (NBJ, 1998).

Demanda

En los últimos dos años la demanda por productos de esta industria ha disminuido. La lista de especies que más se vendieron en 1996 (Tabla 29) en Estados Unidos no ha cambiado substancialmente en los últimos años, lo cual se debe en parte a que el presupuesto de investigación y desarrollo de esta industria es de los más bajos si se compara con el de otras industrias como la farmacéutica (Ten Kate y Laird, 2000).

Tabla 29. Especies que más se vendieron en 1996 en Estados Unidos

Especie	Origen geográfico
<i>Echinacea</i> spp.	América del Norte
<i>Allium sativum</i>	Asia Central/Europa
<i>Hydrastis canadensis</i>	América del Norte
<i>Panax</i> spp.	América del Norte/Asia
<i>Ginkgo biloba</i>	China
<i>Serenoa repens</i>	América del Norte
<i>Aloe vera</i>	Sur África, Madagascar, Arabia

El mercado actual en países como Estados Unidos está saturado de medicinas botánicas y los precios han bajado considerablemente (Herb Research Foundation, 2000 y Kane, 2001⁴⁰), lo cual se debe a que en los últimos años consumidores, particularmente de países industrializados, están preocupados por los efectos secundarios de los medicamentos, bajos estándares de desarrollo de los productos, información falsa y falta de investigación científica en la industria de la botánica medicinal (Kane, 2001). En conclusión, muchas empresas han quebrado y otras buscan unirse con las más exitosas para consolidar bloques financieros sólidos.

La industria botánica medicinal es una industria que participa en pocos proyectos de bioprospección y si lo hace, son muy pocas las compañías que se inclinan a compartir los

⁴⁰ Kane, J.R. 2001. Nutritional Supplements are under the Weather (sales decline) (Statistical Data Included). Chemical Market Reporter, June Issue.

beneficios derivados de la biodiversidad. Algunas excepciones incluyen compañías como Shaman Botanicals (conocida antes como Shaman Pharmaceuticals), organización que ha utilizado el conocimiento tradicional para identificar cuatro productos medicinales potenciales para tratar problemas gastrointestinales, ansiedad, frustración sexual y falta de energía; estos productos contienen el látex del *Croton lechleri* coleccionado en países como Ecuador, Colombia y Venezuela, compuesto que hace unos años iba a ser procesado y comercializado como un producto farmacéutico.

En 1998, cuando el potencial de la industria de la botánica medicinal parecía ser prometedor, los GCIB de África, Surinam y México-Maya⁴¹ decidieron adelantar investigaciones en esta área (Rosenthal *et al.*, 1999⁴²). Sin embargo, se desconoce cuál sería el esquema de distribución de beneficios derivado de la comercialización de productos en esta industria. Lo que sí se espera es que las ganancias sean mucho menores comparadas con las que se podrían obtener a partir de la comercialización de un producto farmacéutico patentado. Por otra parte, la industria de la botánica medicinal puede presentar oportunidades para el establecimiento de asociaciones comerciales (Joint Ventures) que sin lugar a dudas contribuyen a la construcción de capacidad local y es allí donde se pueden esperar los mayores beneficios para un país rico en diversidad biológica como Colombia.

2.1.3. Industria de semillas

Tendencias del mercado mundial

Entre 1970 y 1996 el comercio internacional de semillas aumentó cuatro veces (FIS/ASSINSEL 1998). En 1998, aproximadamente 1.500 compañías vendieron cerca de US\$30.000 millones en semillas comerciales. Pioneer Hi-Bred International, Monsanto (la cual se fusionó con Pharmacia Corp.), Novartis Seeds, Groupe Limagrain, y Advante son algunos ejemplos de las 23 compañías más grandes de semillas que fueron responsables por el 31% de estas ventas; sin embargo, desde 1998 el comercio internacional de semillas ha disminuido debido al aumento en la producción de semillas modificadas genéticamente (MG) cuyo comercio internacional se ha visto afectado debido a las medidas impuestas por el Protocolo de Bioseguridad y el *Codex alimentarius*, organismo que establece los estándares internacionales de seguridad alimentaria (FAO, 2001). Estados Unidos es el mayor productor de semillas MG; en el año 2000, el 25% del maíz, 54% de la soya y 61% del algodón plantado en Estados Unidos fue MG; en los últimos años el mercado de estos y otros productos biotecnológicos ha disminuido en Europa y países como Japón, Corea, Australia, Nueva Zelanda y México, algunos de los cuales ya tienen leyes que exigen el etiquetado de productos derivados de la biotecnología. Estados Unidos mezcla la semilla biotecnológica con la no biotecnológica lo cual impide la exportación de cualquier carga de maíz, soya y algodón a estos países (Calvin Qualset, *com. pers.*).

Países que firmaron y ratificaron el Protocolo de Bioseguridad también están poniendo en práctica el principio de precaución para impedir la entrada de productos MG que pueden tener efectos negativos sobre la salud y los ecosistemas. La Unión Europea utiliza este principio y desde 1998 no ha aprobado dicho comercio con los Estados Unidos. La Unión Europea también quiere

⁴¹ El GCIB ejecutado en México fue cancelado a finales del 2001 luego de un largo proceso en que varias comunidades indígenas se opusieron a la comercialización de su conocimiento y a los recursos genéticos.

⁴² Rosenthal J.P., Beck D., Bhat, A., Biswas J., Brady L., Bridsbord K., Collins S., Cragg G., Edwards J., Fairfield A., Gottlieb M., Gschwind L.A., Hallock Y., Hawks R., Hegyeli R., Johnson G., Keusch G.T., Lyons E.E., Miller R., Rodman J., Roskoski J., and Siegel-Causey D. 1999. Combining high-risk science with ambitious social and economic goals, *Pharmaceutical Biology*, 37:6-21.

que exista un proceso para rastrear los productos biotecnológicos a lo largo de su cadena de producción y distribución, pero Estados Unidos se opone debido a los altos costos que esto implicaría y a que, según este país, los productos biotecnológicos son tan seguros como cualquier otro (FAO, 2001).

En 1999, el área sembrada con cultivos MG alcanzó cerca de 40 millones de ha (Figura 55). Estados Unidos, Canadá y Argentina fueron los mayores productores (FAO, 2001). Es difícil predecir si el área de cultivos MG aumentará o disminuirá en el futuro, esto depende de como se implementen las medidas del Protocolo de Bioseguridad y el *Codex alimentarius* y de la presión comercial y política que ejerza Estados Unidos en la Comunidad Europea para que vuelvan a comprar las cosechas MG. Otros cultivos que han sido MG en Estados Unidos son la papa, el tomate, la papaya, el melón, el arroz, la remolacha, y el tabaco.

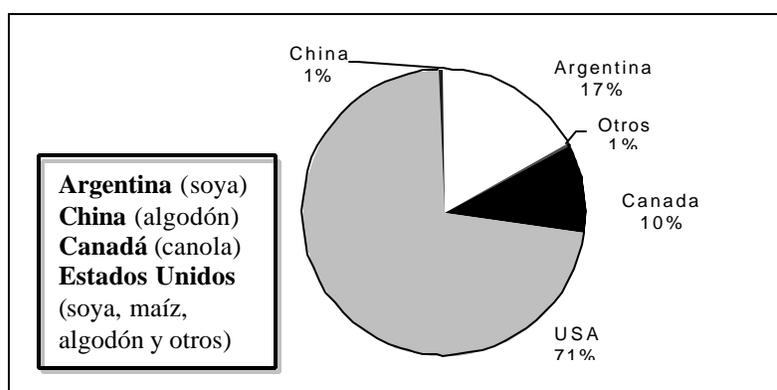


Figura 55. Área sembrada con cultivos MG en 1999 (40 millones de ha)

Actores

El sector privado desempeña un papel predominante en la industria internacional de semillas. En 1998, Pioneer Hi-Bred International, Monsanto (la cual recientemente se fusionó a Pharmacia Corp.) y Novartis Seeds alcanzaron ventas por US\$3.900 millones lo cual equivalió al 13% de todas las ventas. En el 2000 el 20% del mercado de semillas fue controlado por Aventis, Monsanto, Dupont (Estados Unidos), Syngenta y Dow Chemical (RAFI Geno-Types, 2000⁴³).

A pesar de que la venta comercial de semillas continúa creciendo con respecto al mercado total de semillas, el sector privado es la fuente dominante en menos de la mitad de países del mundo. En muchos países el sector público todavía controla su abastecimiento y distribución. El gobierno es responsable por la mayoría del mejoramiento de semillas en países como Japón, China e India. La semilla mejorada y distribuida por este sector llega a US\$10.000 millones lo cual equivale al 20% del mercado global. (Rabobank, 1994⁴⁴). En Estados Unidos también existe una tendencia al aumento en la inversión en programas de investigación y desarrollo para el mejoramiento de semilla en el sector privado con respecto al sector público. El tipo de cultivos producidos por el sector privado con respecto al público también varía; por ejemplo en países desarrollados el maíz

⁴³ RAFI Geno-Types 2000. Profile of the Gene Giants-The World's Five Largest Genetic Engineering Companies. <http://www.purefood.org/ge/fivegeco.cfm>

⁴⁴ Rabobank. 1994. The World Seed Market: Developments and Strategy. Agricultural Economic Institute. Rabobank, Ministry of Agriculture, Netherlands.

es casi todo mejorado por el sector privado, mientras que el sector público en países en proceso de desarrollo todavía desempeña un papel importante en el mejoramiento de este cultivo. En Europa la mayoría del trigo se produce en el sector privado y los campesinos no guardan la semilla para replantarla en la siguiente temporada (Calvin Qualset, *com. pers.*), pero en Estados Unidos muchos campesinos todavía guardan la semilla, la replantan y esta es una de las razones por las cuales el sector privado no está muy interesado en el mejoramiento del trigo. Las universidades y el sector público también juegan un papel importante en el mejoramiento y producción de trigo, avena y cebada.

En el sector público también se encuentran todos los programas de mejoramiento de organizaciones agrícolas gubernamentales, los Centros Internacionales del Grupo Consultivo de Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) y bancos de germoplasma nacionales y regionales tienen cerca de 6 millones de accesiones. Las universidades y organizaciones no gubernamentales (ONG) especialmente de países desarrollados también desempeñan un papel importante en el campo del mejoramiento de semillas.

Demanda

La industria de semillas y los campesinos alrededor del mundo todavía dependen del acceso a los recursos genéticos para aumentar la productividad y variabilidad de las 30 cosechas principales que se necesitan para alimentar 6.000 millones de personas. El acceso a recursos genéticos para la alimentación y la agricultura es todavía importante, lo cual fue demostrado con la firma del Tratado Internacional sobre Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura el 3 de noviembre del 2001. El tratado tiene las siguientes características principales: 1) Establece un sistema multilateral de acceso a germoplasma de 65 géneros de cultivos básicos para la alimentación como maíz, trigo, arroz, avena, y frijoles los cuales no podrán ser patentados ni reclamados bajo ninguna forma de propiedad intelectual; 2) Reconoce los “Derechos de Agricultor” de manera que los agricultores mantienen su derecho a conservar, utilizar, intercambiar y vender semillas conservadas en su propia finca; y 3) Resguarda el derecho a la protección de los conocimientos tradicionales y la participación de los agricultores en la distribución de beneficios, entre otros aspectos. El acuerdo fue aprobado por 116 votos y contó con la abstención de Estados Unidos y Japón.

La mayoría del germoplasma utilizado en los programas de mejoramiento de las compañías privadas de semillas proviene de sus propias colecciones y tan sólo el 1% es obtenido de áreas silvestres (Figura 56), estas compañías han acumulado extensas librerías de recursos genéticos a lo largo de varias décadas, donde se encuentran semillas que han sido mejoradas para ciertas características de producción o resistencia a enfermedades y que están protegidas por medio de patentes o derechos de obtentor. Estas colecciones generalmente tienen un bajo porcentaje de semillas silvestres o no mejoradas las cuales generalmente son de bajo valor para las compañías (Swanson y Luxmore, 1996⁴⁵). El uso de variedades silvestres requiere de programas de mejoramiento extensivos para eliminar las características indeseables que incluyen baja producción y debilidades morfológicas como la mala postura de la planta. En una encuesta realizada a 29 organizaciones públicas y privadas se encontró que el 67% de los entrevistados nunca o en muy raras ocasiones pagaba por acceso a los recursos genéticos frente al 33% que sí lo hacía (Ten Kate y Laird, 2000). En general todos los bancos de germoplasma del sector público intercambian muestras sin costo alguno para las partes y los centros de investigación de CGIAR proporcionan

⁴⁵ Swanson, T.M. y Luxmore, R.A. 1996. Industrial Reliance upon Biodiversity: A Darwin initiative project, DOE.

muestras de manera gratuita siempre y cuando este material no sea patentado; sin embargo, si llega a existir un desarrollo comercial a partir de la muestra, el CGIAR ofrece la oportunidad para renegociar las condiciones del acceso.

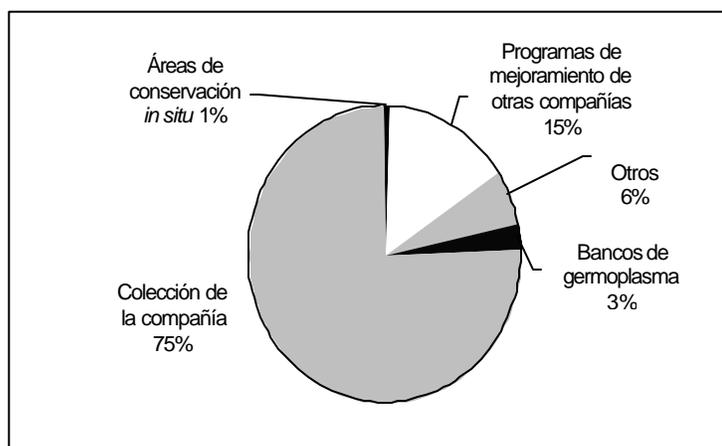


Figura 56. Fuente del germoplasma utilizado por la industria de semillas

2.1.4. Industria de protección de cultivos

Esta industria se especializa en la protección de cultivos mediante el desarrollo de métodos químicos y biológicos que incluyen herbicidas, insecticidas, fungicidas, reguladores de crecimiento vegetal, rodenticidas y molusquicidas. En los últimos años esta industria también ha modificado genéticamente ciertos cultivos para que sean resistentes a algunas enfermedades, pero esta actividad no representa un ingreso significativo. En 1998, la venta de semillas MG registró tan sólo el 2% del mercado de agroquímicos.

Tendencias del mercado mundial

En 1996, el mercado mundial de protección de semillas vendió cerca de US\$30.560 millones (Agrow, 1998⁴⁶), en 1997 esta cifra bajó a US\$30.200 millones (British Agricultural Association, 1998⁴⁷), en el 2000 las ventas bajaron de nuevo cerca de 0.6% con respecto al año anterior alcanzando US\$29.900 millones. Este comportamiento se debió en parte a que la patente de muchos agroquímicos expiró (PANUPS, 2001⁴⁸). Al parecer este sector presenta un crecimiento lento y algunos analistas predicen que el mercado llegará a US\$31.400 millones en el año 2005 (Figura 57). Se estima que la contribución de los recursos genéticos a esta industria alcanza cerca de US\$3.000 millones (Ten Kate y Laird, 2000).

Bancos de germoplasma como los del CGIAR (ej., 11 bancos) todavía siguen coleccionando germoplasma silvestre, pero no tanto como a finales los años 70 y 80, que fue cuando se registraron los picos más altos en las colecciones.

⁴⁶ Agrow. 1998. Global Agrochemical Market up to 1.3% in 1997. No. 299.

⁴⁷ British Agricultural Association. 1998. The world market. Pages 29-31 in Annual Review, British Agricultural Association, London.

⁴⁸ PANUPS. 2001. Handful of Corporations Dominates Commercial Agriculture. Pesticide Action Network Updates Service. <http://www.panna.org/panna/resources/panups/panup-20010910.dv.html>

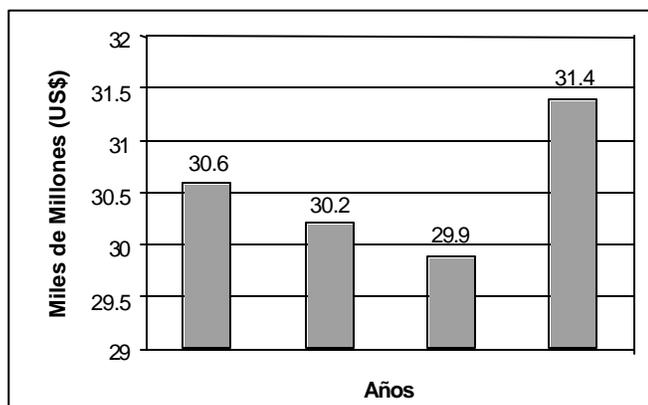


Figura 57. Ventas mundiales de la industria de protección de semillas

En las Américas, las colecciones se han concentrado principalmente en maíz, papa y cassava, y se considera que son altamente representativas de la diversidad regional, pero algunos científicos opinan que todavía se necesita hacer otras colecciones de especímenes que muestren resistencia a sequías y suelos ácidos y salinos. Universidades de la región también tienen interés en la colección de materiales silvestres que presentan resistencia a éstas y otras características ambientales (FAO, 1998⁴⁹); sin embargo, la conclusión general es que no hay suficiente demanda de germoplasma silvestre por parte del sector privado de semillas.

Mercados

Al igual que la industria farmacéutica, los mayores mercados de esta industria se encuentran en Estados Unidos y Europa (British Agricultural Association, 1998); sin embargo, la tendencia general en los últimos años muestra que las ventas han disminuido considerablemente en Europa y se han registrado algunos aumentos en los mercados de Estados Unidos, América del Sur, Asia y Japón (PAN, 2001⁵⁰) (Figura 58).

En 1997, las mayores ventas a escala mundial fueron registradas por los herbicidas, insecticidas y fungicidas (British Agricultural Association, 1998). Los cultivos MG tan sólo alcanzaron el 2%, cifra que ha disminuido en los últimos años debido a la influencia de las normas del Protocolo de Bioseguridad y del *Codex alimentarius* (Figura 59).

Actores

En el 2000, Aventis, Monsanto, DuPont, Syngenta y Dow Chemical controlaron el 68% del mercado de productos que protegen las cosechas, otros representantes importantes de esta industria incluyen las multinacionales Monsanto, BASF, DuPont, AgrEvo, Bayer, y American Home Products (RAFI Geno-Types, 2000). El sector público y académico no se especializa en el desarrollo de productos sino en la investigación pura y aplicada: investigadores en este sector buscan organismos con aplicaciones económicas potenciales, para luego entrar en acuerdos con compañías privadas para el desarrollo y comercialización de productos.

⁴⁹ FAO, 1998. The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, Rome.

⁵⁰ PAN, 2001. Global Agrochemical Sales Down. PAN

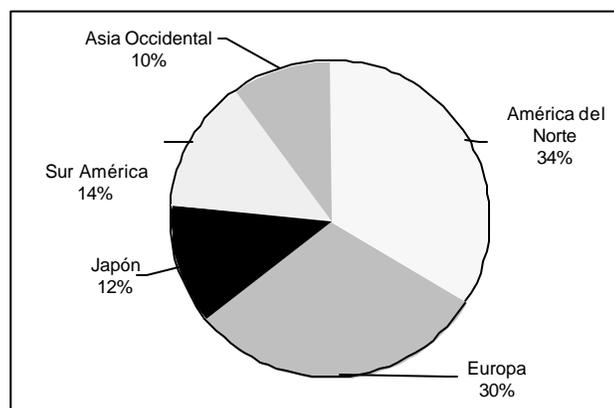


Figura 58. Mercados de la industria de protección de semillas en 1997

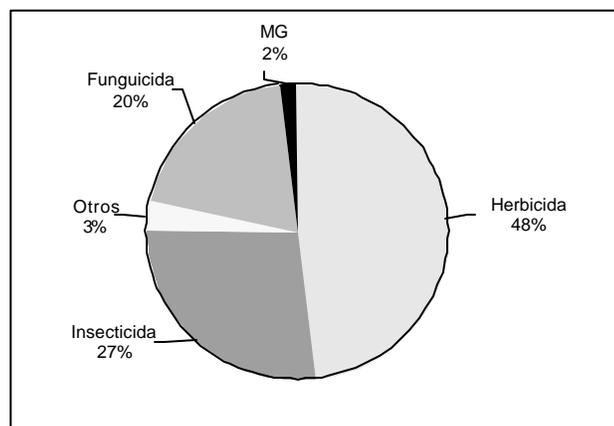


Figura 59. Ventas por producto en 1997

Demanda

La industria de protección de cultivos es altamente dependiente del acceso a recursos genéticos y sus derivados y demanda la obtención de nuevos materiales como muestras de suelos y plantas. Es similar a la farmacéutica en el sentido de que también está acostumbrada a pagar regalías y otro tipo de compensaciones por muestras obtenidas de intermediarios como universidades y jardines botánicos; sin embargo, hay que tener en cuenta que los costos de investigación y desarrollo de productos naturales siempre son mayores que los de los productos sintéticos y algunas compañías pueden enfocarse más en el análisis de sus propias librerías de compuestos aislados de productos naturales (Ten Kate y Laird, 2000).

Varios proyectos de bioprospección como el GCIB que se ejecuta actualmente en Chile, Argentina y México, colecciona muestras para esta industria, asimismo, acuerdos de bioprospección recientes como el firmado entre la compañía farmacéutica brasileña Extracta y Glaxo Wellcome en 1999, están analizando las propiedades antifúngicas de muestras de plantas, hongos y bacterias coleccionadas en la Amazonía (Bonalue Neto y Dickson, 1999⁵¹).

⁵¹ Bonalue Neto, R. y Dickson D. (1999) deal launches major hunt for drug leads in Brazil [News]. Nature 400: 302.

2.1.5. Industria biotecnológica (áreas diferentes a la farmacéutica y a la agricultura)

Tendencias del mercado mundial

Esta industria agrupa compañías que se especializan en áreas diferentes a la producción de farmacéuticos y semillas modificadas genéticamente, que incluyen diagnósticos, procesamiento de comidas, energía, salud, biorremediación, biocatalisis y manejo ambiental. Un ejemplo famoso de esta industria es la enzima “Taq DNA polimerasa” de la bacteria *Thermus aquaticus* descubierta en el Parque Nacional de Yellowstone, la cual facilita la replicación del DNA mediante el proceso conocido como “Reacción en cadena de la polimerasa.” Las bacterias, los hongos y los virus son algunos de los grupos que más se desconocen en la naturaleza y también son los más demandados por la industria biotecnológica.

Es complicado estimar las ventas globales de esta industria debido a la gran diversidad de actores y productos involucrados (Tabla 30). Por ejemplo, es difícil cuantificar de manera global la contribución económica de las enzimas que son vendidas a la industria de alimentos, estas son cifras que normalmente no son reportadas por analistas de mercado; además, las estadísticas de los diferentes mercados no reportan qué parte corresponde a la biotecnología. Sin embargo, se estima que en este mercado se presentan ventas que oscilan entre los US\$60.000 y US\$120.000 millones (Ten Kate y Laird, 2000).

Tabla 30. Estimación de las ventas anuales de la industria biotecnológica (áreas diferentes a la farmacéutica y agricultura)

Producto	Mercado anual (US\$ millones)
Biotecnología Ambiental	56.000-120.000
Enzimas (detergentes, almidones, textiles, repostería, bebidas, lácteos, cueros, petróleos)	1.400.000
Biocatalisis	1.600.000-1.800.000
Diagnósticos: DNA polimerasa alcalina, fosfatasa glucosa oxidasa.	150.000-160.000
Biomateriales	Muy bajo, pero con gran potencial
Bioenergía	Muy bajo, pero con gran potencial

Actores

Generalmente esta industria se especializa en el desarrollo de productos que solucionan problemas de otras compañías. Estos productos incluyen sistemas de biocontrol, enzimas, intermediarios bioquímicos y otros sistemas biológicos. Ejemplos de esta industria incluyen compañías como Hoffmann-LaRoche, Montana Biotech Corporation, y Diversa las cuales tienen intereses en áreas como el análisis de DNA, la identificación de enzimas útiles y el aislamiento y caracterización de microorganismos. Esta industria también colecciona células de mamíferos, insectos, organismos marinos y plantas, los principales coleccionistas de este sector incluyen las universidades, jardines botánicos y pequeñas compañías (Ten Kate y Laird, 2000).

Demanda

En Estados Unidos el sector universitario es el que colecta la mayor cantidad de muestras para esta industria, sin embargo, las compañías farmacéuticas también son muy activas en esta labor; generalmente, estas compañías identifican un problema que deben resolver para algún cliente y luego buscan los recursos genéticos que pueden resolverlo. Algunas compañías realizan acuerdos para obtener muestras de otros países mientras que otras simplemente coleccionan muestras de

plantas o suelos ilegalmente durante sus vacaciones en otros países. Muchas de las compañías de este sector también acuden a colecciones privadas de recursos genéticos y productos derivados para identificar muestras que puedan contribuir a su investigación. Estas colecciones incluyen muestras de extractos vegetales, enzimas, DNA, RNA, muestras de suelos, células de mamíferos, insectos, organismos marinos, algas, plantas secas, semillas, hongos, bacterias y virus (Ten Kate y Laird, 2000), algunas pueden consultarse por internet en www.im.ac.cn/imcas/junbao.html, www.wdcm.nig.ac.jp/wfcc, y www.belspo.be/bccm/.

En una encuesta reciente, cerca del 75% de las compañías entrevistadas dijeron que la demanda por recursos genéticos crecerá en los próximos años debido principalmente a los avances científicos que están descubriendo más aplicaciones para los recursos genéticos, especialmente en el tratamiento de desechos y en la disponibilidad de nuevas herramientas como las librerías de expresión de genes, bases de datos de biología molecular y la bioinformática (Ten Kate y Laird, 2000). Otra consideración que indica un posible aumento en la demanda, es que los grupos biológicos que trabaja esta industria, que incluyen bacterias, insectos, virus y hongos, son muy poco conocidos, además, muchas de las especies que ya han sido clasificadas por la ciencia, no han sido analizadas ni caracterizadas mediante técnicas biotecnológicas.

Actualmente existen varias compañías como Diversa que son muy activas en proyectos de bioprospección buscando enzimas y otros compuestos. Diversa tiene acuerdos con países como Costa Rica, Bermuda, Indonesia, México, Rusia, Ghana, Kenya y Estados Unidos (Parque Nacional Yellowstone y corporaciones de comunidades nativas de Alaska) (www.diversa.com/). Adicionalmente varios de los GCIB que inicialmente se enfocaron en la colección de plantas se están interesando en bacterias, hongos, algas y otros microorganismos para ser aprovechados por la industria biotecnológica (Rosenthal *et al.*, 1999). Es importante aclarar que el rango de regalías que paga esta industria es menor si se compara con el de la industria farmacéutica (Ten Kate y Laird, 2000).

CONCLUSIÓN

Es importante lograr un buen conocimiento sobre las industrias que se benefician de la biodiversidad antes de definir los recursos genéticos que debe regular la D391. Este documento presentó una aproximación inicial a dicho conocimiento, mediante el análisis de las tendencias de crecimiento de los mercados de estas industrias, sus principales actores y la demanda que tienen estas organizaciones por los recursos genéticos y sus derivados. El análisis de los factores muestra que actualmente existe una demanda importante por estos recursos por parte de la industria farmacéutica, de protección de cultivos y biotecnológica (que excluye la industria farmacéutica y agrícola) (Tabla 31), pero esta demanda es cíclica y varía según factores económicos, políticos y científicos como el estado del mercado, la expiración de patentes y nuevas tecnologías.

Tabla 31. Tendencias de mercados y demandas por recursos genéticos de las principales industrias que se benefician de la biodiversidad

Industria	Tendencias del mercado mundial (ventas)	Demanda por recursos genéticos
Farmacéutica	Aumentar	Alta y puede aumentar
Botánica medicinal	Disminuir	Baja
Semillas	Las ventas dependen de la implementación futura de normas internacionales como el Protocolo de Bioseguridad y el <i>Codex alimentarius</i> .	Baja
Protección de cultivos	Aumentar	Alta y puede aumentar
Biotecnología (excluye la industria farmacéutica y agrícola)	Aumentar	Alta y puede aumentar

Hace 10 años la colección de organismos biológicos en condiciones *in situ* era una prioridad, pero hoy día el desarrollo de nuevas tecnologías como la química sintética y combinatoria, la inspección de alto caudal, la nanotecnología, la genómica y la gran cantidad de librerías de compuestos que son disponibles para las compañías biotecnológicas, presentan otras alternativas para el desarrollo de productos que pueden ser muy atractivas para algunas organizaciones dadas las restricciones impuestas por muchas leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos en países biodiversos.

Sin embargo, es muy probable que los mercados y demandas de estas industrias por recursos genéticos silvestres aumenten en los años venideros, dado que la tecnología todavía es relativamente pobre comparada con la contribución de los compuestos naturales. Estas industrias están dispuestas a pagar una compensación monetaria y no monetaria por el acceso a recursos genéticos y sus derivados, y las compañías farmacéuticas continuarán buscando compuestos naturales como lo demuestran los proyectos actuales de bioprospección.

Por otra parte, las industrias de semillas y botánica medicinal presentan una baja demanda por recursos genéticos silvestres y sus derivados (Tabla 31). El mejoramiento de semillas es un proceso largo y costoso cuando se utiliza germoplasma silvestre como punto de partida. Por esto, generalmente, la industria de semillas trabaja con germoplasma que ya ha sido seleccionado y mejorado para ciertas características de productividad, resistencia y contenido nutricional. No es una industria que este acostumbrada a pagar por el acceso a germoplasma ya que lo puede obtener gratuitamente de muchos bancos de conservación *ex situ* nacionales e internacionales.

El mercado internacional de la industria de la botánica medicinal se encuentra saturado con un conjunto de especies que no ha cambiado mucho en los últimos diez años. La confianza del público en la calidad de los productos de esta industria ha disminuido debido a reportes de individuos intoxicados con algunos productos como la Kava (*Piper methysticum*) que ha producido serios problemas hepáticos en muchos consumidores. Países como Francia y Suiza ya no permiten la venta de este producto, Alemania anunció que lo va a sacar del mercado y la FDA de Estados Unidos está estudiando casos de hepatitis y varios problemas hepáticos ocasionados por la Kava que han sido reportados desde 1998 (www.kava-side-effects.com/). La industria de la botánica medicinal no invierte gran cantidad de dinero en programas de investigación y desarrollo y por consiguiente no saca al mercado productos derivados de nuevas especies medicinales de manera frecuente. Es una industria que no está acostumbrada a pagar por acceso a recursos genéticos y al no patentar sus productos no puede pagar regalías. Sin embargo algunos de los GCIB han expresado interés en desarrollar productos para esta industria. Pero estos son casos aislados y no deben ser considerados como una tendencia que tenga repercusiones importantes en los mercados internacionales.

Según lo anterior una estrategia de bioprospección nacional interesada en promover el acceso a los recursos genéticos de Colombia y su aprovechamiento sostenible debe enfocar sus esfuerzos en el establecimiento de acuerdos con las industrias farmacéutica, de protección de cultivos y biotecnológica que son las que presentan un buen crecimiento en sus ventas a escala internacional y presentan gran demanda por recursos genéticos novedosos. Asimismo, estas son industrias que tienen la tradición y posibilidad económica de compartir los beneficios derivados de la biodiversidad. Sin embargo, es importante mantenerse informado sobre las fluctuaciones del mercado y demandas de todas las industrias que se benefician de los recursos genéticos para poder modificar la estrategia de bioprospección según los cambios que se presenten.

Fuentes adicionales de información que se pueden consultar en el Internet

SOBRE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA	
Información en general	Investigación de mercados
http://www.biotechsage.com/	http://www.pharmaceuticaloutsourcing.com/open/library/
http://www.open.imshealth.com/	
http://www.datamonitor.com/	
http://www.cato.com/biotech/bio-co.html	
SOBRE LA INDUSTRIA DE LA BOTÁNICA MEDICINAL	
http://www.naturalbusiness.com/	http://www.marketresearch.com/
http://www.herbalgram.org/	
http://www.hsrmagazine.com/	
http://www.drmmag.com/magazines/lh/herbalgram.asp	
SOBRE LA INDUSTRIA BIOTECNOLÓGICA EN GENERAL	
http://biotech.icmb.utexas.edu/	http://www.marketresearch.com/
http://www.nal.usda.gov/bic/	
http://www.woodmac.com/life.htm	

MARCO JURÍDICO SOBRE BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA

Gabriel R. Nemogá⁵²

INTRODUCCIÓN

Los regímenes jurídicos de acceso a recursos genéticos, sus productos derivados y el conocimiento asociado a ellos, surgen debido a la demanda por la creciente industria biotecnológica. El avance de la biología molecular y de las biotecnologías para manipular material genético ha incidido en el cambio acelerado de las estructuras jurídicas e institucionales relacionadas con recursos genéticos en los últimos veinte años. A comienzos de los años ochenta del siglo pasado, al interior de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se aprobaba un Compromiso Internacional que declaraba los recursos genéticos como patrimonio común de la humanidad y por tanto, como bienes de libre acceso. La creciente apropiación y monopolio de tales recursos durante la década de los ochenta, mediante títulos de propiedad intelectual por parte de inversionistas privados transnacionales y de sus gobiernos, propició que los países proveedores reclamaran la soberanía sobre sus recursos genéticos. En las negociaciones internacionales que se concretaron al interior de la FAO en la última década del siglo pasado, así como en el Convenio sobre Diversidad Biológica firmado en Río de Janeiro en 1992 se ratificó el Principio de la Soberanía de los Estados, a la vez que se promovió una participación justa y equitativa en los beneficios derivados del uso comercial e industrial de los recursos genéticos. Una investigación reciente ha documentado que los mercados anuales globales para los productos derivados de recursos genéticos en los diversos sectores de aplicación oscilan entre 500 y 800 billones de dólares⁵³. Los recursos genéticos, sus productos derivados y el conocimiento asociado constituyen la materia prima en dicho mercado.

El régimen común andino consagrado en la Decisión 391 de 1996, establece las condiciones y términos para el acceso a los recursos genéticos, los productos derivados y el conocimiento asociado, en desarrollo del principio de soberanía de los países miembros, sobre sus recursos. Estos regímenes de acceso constituyen una respuesta a la industria biotecnológica global que demanda el acceso y uso de tales recursos. Estos regímenes representan las posibilidades y aspiraciones de los países con extensa diversidad biológica no sólo por participar en los beneficios económicos derivados del uso de recursos genéticos, sino también en el desarrollo de nuevas tecnologías, en la capacitación de recursos humanos, y en las diferentes fases de la investigación y desarrollo de productos. El reto que enfrentan estos países comienza con la estructuración de procedimientos, formas de gestión y contratos que atiendan a los diversos intereses, a la vez que

⁵² UNIJUS. Facultad de Derecho, Ciencias Políticas y Sociales

⁵³ European Information Technology Observatory (EITO) Frankfurt, citado por Ten Kate Kerry and Laird Sarah A The commercial use of biodiversity: Access to genetic resources and benefit-sharing. Earthscan Publications Ltd. United Kingdom. 1999. p. 1. Ver también: Barbier, E.B., J.C. Burgess, y C. Folke, 1994. Paradise Lost? The Ecological Economics of Biodiversity. London: Earthscan Publications. The rise of the global exchange economy and the loss of biological diversity. En: E.O. Wilson (de.). Washington, D.C: National Academy Press. Rose, R., 1992. Swaney, J.A. y P.I. Olson, 1992. The economics of biodiversity lives and lifestyles. En: Journal of Economic Issues, Vol. 16, No. 1. pp. 1-25.

garanticen los derechos de propiedad constituidos sobre los recursos biológicos y el conocimiento asociado.

1. RECURSOS BIOLÓGICOS Y GENÉTICOS

El marco jurídico vigente sobre “Acceso a Recursos Genéticos” precisa el objeto de acceso a través de definiciones incluidas en la Decisión 391 de 1996. Esta Decisión representa la primera iniciativa regional en el mundo para establecer un marco común dentro de los principios y compromisos derivados del Convenio de Diversidad Biológica⁵⁴, ratificado por Colombia mediante Ley 165 de 1994. Por estar contenidas en la legislación vigente, estas definiciones son de observación necesaria, pero cada país miembro de la comunidad andina puede especificarlas en su reglamentación interna para lograr los objetivos de la Decisión. Las definiciones pertinentes que se presentan ha continuación se encuentran, junto con otras definiciones, en el artículo 1 de la Decisión 391 de 1996. Es importante tener en cuenta que el marco jurídico nacional diferencia los regímenes de propiedad, los trámites de acceso y las competencias de autoridades ambientales según se trate de acceso a recursos biológicos o a recursos genéticos como se mostrará más adelante.

Recursos biológicos

Individuos, organismos o partes de éstos, poblaciones o cualquier componente biótico de valor o utilidad real o potencial que contiene el recurso genético o sus productos derivados.

Recursos genéticos

Todo material de naturaleza biológica que contenga información genética de valor o utilidad real o potencial.

Producto derivado

Molécula, combinación de moléculas naturales, incluyendo extractos crudos de organismos vivos o muertos de origen biológico, provenientes del metabolismo de organismos vivos.

Componente intangible

Todo conocimiento, innovación o práctica individual o colectiva, con valor real o potencial, asociado al recurso genético, o a sus productos derivados o al recurso biológico que los contiene, protegido o no por regímenes de propiedad intelectual.

Es necesario considerar las características específicas derivadas de la naturaleza del material genético, cuando se trata de analizar formas de propiedad y control sobre el mismo. Una aproximación general sobre el material genético, permite identificarlo como un fragmento de ADN ya sea que constituyan un gen o parte de él. La necesidad de destacar el interés central en los recursos genéticos, corresponde con el enfoque de una obra muy conocida sobre

⁵⁴ En el artículo 2 el Convenio de Diversidad Biológica (CDB) presenta igualmente definiciones relacionadas con el objeto de acceso. Ver: <http://www.biodiv.org>

bioprospección, donde se señala: “el valor real del recurso reside en la información contenida en los genes o químicos, no en sus propiedades físicas”⁵⁵.

Se pueden proponer las siguientes características del material genético: a) Uso no excluyente. Su utilización no elimina la posibilidad de que otros lo usen simultáneamente⁵⁶ b) Irreducibilidad. Su uso no implica su agotamiento absoluto. El empleo de la información genética como tal no limita su disponibilidad. No se desconoce que el uso indiscriminado puede ocasionar la reducción de la diversidad genética y provocar la extinción de especies. Aquí se trata del uso de información genética en el contexto de la investigación e innovación tecnológica, c) Intangibilidad. Esta característica hace referencia a que la información genética no es un bien tangible. Aunque las secuencias genéticas o los fragmentos de genes son objeto de manipulación, el control sobre la información genética no puede garantizarse mediante su posesión física. d) Reproducibilidad. Como componente de los organismos biológicos, la información genética tiene la característica de reproducirse en forma natural.

Estas características son elementos relevantes cuando se trata de establecer mecanismos jurídicos e institucionales que garanticen el control y la compensación justa y equitativa por la aplicación de material e información genética. Las complejidades del marco jurídico y las relaciones contractuales resultan más evidentes cuando se toman en cuenta los diferentes regímenes de propiedad aplicables a los recursos biológicos y genéticos.

2. REGÍMENES DE PROPIEDAD

Los regímenes de propiedad que se han aplicado sobre los recursos biológicos y genéticos se han transformado históricamente respondiendo a variables políticas y tecnológicas. No se pretende presentar aquí una relación exhaustiva de todas las formas de propiedad. Se presenta a continuación una relación de formas jurídicas y conceptos relevantes en el marco del régimen jurídico colombiano⁵⁷.

2.1. Recursos biológicos

Patrimonio de la Nación o bienes públicos

El derecho internacional ambiental ha reconocido reiteradamente que los recursos naturales renovables son patrimonio de los estados miembros, en desarrollo de la soberanía que ejercen sobre su territorio. En Colombia, el Decreto 2811 de 1974 o Código de Recursos Naturales Renovables, declaró expresamente que los recursos naturales renovables y demás elementos ambientales ubicados en el territorio nacional son patrimonio de la Nación⁵⁸. La normatividad posterior ratificó este concepto en relación con recursos hidrobiológicos marinos y continentales, fauna y flora silvestre, recursos forestales. La normatividad posterior a la Constitución Política de

⁵⁵ Reid W.V., Laird S.A., Meyer C.A., Gamez R., Sittenfeld A., Janzen, D.H., Gollin M.A., and Juma C. 1993. A new lease on life En Biodiversity prospecting: using resources for sustainable development. Washington, D.C. pág. 1-59.

⁵⁶ Correa Carlos. 1994. Derechos de Soberanía y de Propiedad Intelectual sobre los Recursos Genéticos. REDES. Págs. 29-77.

⁵⁷ Véase Nemogá, G. R. “Régimen de propiedad sobre recursos genéticos y conocimiento tradicional” Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. III, No. 1, pp. 17-35.

⁵⁸ Decreto 2811 de 1974. Artículos 42 y 43.

1991 ratifica este principio. La Ley 99 de 1993 ratificó el concepto de patrimonio natural de la Nación al asignarle al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) la función de regular las condiciones generales para el manejo, uso, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales. Además de la categoría de bienes públicos, los recursos biológicos pueden pasar a ser propiedad estatal, privada o individual y colectiva o comunal.

Propiedad estatal

El Estado como entidad política autónoma y soberana tiene la titularidad sobre bienes muebles e inmuebles específicos para el cumplimiento de sus funciones. En este sentido el Estado puede tener la titularidad de derechos de propiedad sobre organismos biológicos. Sobre esta base puede realizar negocios jurídicos que transfieran la titularidad de los derechos sobre organismos biológicos.

Propiedad privada individual

La forma de propiedad privada garantiza a sus titulares la facultad de explotar, usufructuar y transferir el derecho de dominio sobre sus bienes. Su regulación pertenece al ámbito del derecho privado y constituye la columna vertebral del sistema económico de producción capitalista. Dentro del marco jurídico colombiano el derecho a la propiedad está protegido como una garantía fundamental. Por ello el derecho de propiedad privada no puede ser vulnerado por leyes posteriores, pero en caso de conflicto, con motivos de utilidad pública o interés social, deben predominar éstos. Por tanto, este derecho no es absoluto. Adicionalmente, el artículo 57 de la Constitución Política establece que la propiedad es una función social que implica obligaciones y como tal, tiene una función ecológica inherente.

Propiedad colectiva o comunal

Bajo esta forma de propiedad, la facultad de disponer o realizar negocios jurídicos sobre los bienes recae en una colectividad. Los miembros de la colectividad carecen de facultades individuales para transferir el dominio de los bienes comunes; ellos no son titulares de partes alicuotas de dicho bienes.

2.2. Recursos genéticos

Patrimonio común de la humanidad

La colección alrededor del mundo de organismos biológicos y de los recursos genéticos contenidos en ellos después del dominio colonial, se fundamentó en propósitos científicos y productivos. Para estos fines, el material biológico y genético fue considerado como patrimonio común de la humanidad, es decir, bienes de libre acceso o bienes de dominio público. Durante los años sesenta y setenta, por ejemplo, se intensificaron las colecciones de recursos fitogenéticos considerados indispensables para alimentación y la agricultura. Estas colecciones se realizaron sin compensación alguna para los países aportantes o para sus agricultores y se depositaron en bancos genéticos que luego entrarían a formar parte del Grupo Consultivo Internacional para Investigación Agrícola (CGIAR, sigla en inglés) integrado por 16 institutos internacionales

ubicados en su mayoría en zonas geográficas de gran diversidad genética⁵⁹. Se estimó que los países y sus agricultores proveedores de diversidad genética y conocimientos, se verían retribuidos con el acceso a nuevas tecnologías como las que caracterizaron la llamada Revolución Verde⁶⁰.

Propiedad intelectual

Las formas de propiedad intelectual se designaron para garantizar el control económico de los beneficios derivados de la utilización de recursos genéticos en el sector agrícola e industrial. Durante los años veinte, en los Estados Unidos se designaron patentes de plantas para garantizar el monopolio sobre variedades vegetales de reproducción asexual. En los años sesenta se diseñaron sistemas jurídicos para proteger los derechos de las compañías y particulares sobre nuevas variedades vegetales. En Europa, se creó la Unión de Obtentores Vegetales (UPOV) para garantizar el monopolio en la explotación económica de las nuevas variedades. Desde los años ochenta, con el surgimiento de modernas biotecnologías que permitieron la transferencia de material genético superando barreras biológicas naturales, los regímenes jurídicos tanto en Estados Unidos como en Europa extendieron la aplicación de patentes industriales sobre variedades vegetales y animales, así como sobre material genético⁶¹.

Derechos soberanos del país de origen

La creciente apropiación privada bajo títulos de propiedad intelectual de los recursos fitogenéticos aportados bajo el concepto de “patrimonio común de la humanidad” provocó cuestionamientos a este sistema. En 1983 dentro de la FAO, se aprobó el Compromiso Internacional sobre Recursos Fitogenéticos implicando que los recursos fitogenéticos, en general, eran patrimonio de la humanidad; con esta declaración, se abarcaban variedades mejoradas y no mejoradas y se derivaba de ella que los países aportantes del material genético tendrían libre acceso a las variedades vegetales desarrolladas a partir del material aportado. Los países avanzados en tecnología se opusieron a esta interpretación que lesionaba sus derechos de propiedad intelectual. Negociaciones posteriores en el seno de la FAO llevaron a reconocer los derechos soberanos de los países sobre sus recursos genéticos, pero establecieron a la vez que el acceso a variedades mejoradas no podría hacerse sin pagar derechos a los titulares⁶². Igualmente se reconocieron los Derechos de los Agricultores en 1989 y 1991, la Resolución 5 de 1989 de la FAO sobre Derechos de los Agricultores reconoció las contribuciones pasadas, presentes y futuras de los agricultores a la conservación, mejoramiento y disposición de recursos fitogenéticos, particularmente en los centros de diversidad genética. Finalmente, en la Reunión de Río de 1992, el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) afirmó la soberanía sobre los recursos genéticos de los países de origen, estableció la obligación de los países de facilitar el acceso a sus recursos genéticos y estableció garantías sobre los derechos de propiedad intelectual. Por su parte la Decisión 391 de 1996 entró a reafirmar el carácter de patrimonio o bienes de la Nación de los recursos genéticos y

⁵⁹ Posey Darrel y Dutfield Graham. 1996. Beyond Intellectual Property. Toward Traditional Resource Rights for Indigenous Peoples and Local Communities. International Development Research Centre. Canada.

⁶⁰ Riley Kenneth. 1996. Farmer's Rights, CGIAR and IPGRI. En Agrobiodiversity and Farmers' Rights, Swaminathan Research Foundation, Reliance Printed. Madras. Pags. 57-71

⁶¹ Sobre la adecuación del derecho de patentes en Europa Nemogá S. Gabriel R. (1994). “Globalización y Transformación de las Formas Jurídicas. Apropiación de Material Genético Vegetal” En Pensamiento Jurídico No.1. pp. 132-148.

⁶² Esquinas A., José. 1996. The Realization of Farmer's Rights En Agrobiodiversity and Farmers' Rights, Swaminathan Research Foundation, Reliance Printed. Madras. Pags. 2-25. Bonilla J. y Nemogá G. 2000. Biodiversidad, Economía y Derecho. Politeia. 25. págs. 55-121.

sus productos derivados (artículo 6), asignándoles además las características de inalienables, imprescriptibles e inembargables.

En noviembre de 2001 se aprobó el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura⁶³ en la FAO. En este Tratado los estados miembros ratificaron sus derechos soberanos sobre sus recursos fitogenéticos a la vez que establecieron un sistema multilateral de acceso y distribución de beneficios (Art. 10). El sistema multilateral tiene como objetivo establecer como dominio público un grupo de especies vegetales que se considera esencial para la alimentación y la agricultura (Art. 11.2); el Tratado incluye mediante un Anexo, la lista de cultivos alimentarios y forrajeras sobre los que se tendrá libre acceso y establece que los receptores de tales cultivos no constituirán derechos de propiedad intelectual o de otra índole que limite el acceso (Art. 12.3, literal d). El Tratado fue abierto para la firma de los Estados hasta el 4 de noviembre de 2002.

3. FASES DE LA LEGISLACIÓN

La legislación nacional puede ser destacada por el desarrollo progresivo de una estructura jurídica sobre propiedad y acceso a recursos genéticos. Los principales instrumentos legales son la Constitución Política de 1991, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y la Decisión 391 de 1996.

3.1. Constitución Política de 1991

La Constitución Política de 1991 reconoce y protege la diversidad étnica y cultural de la Nación como uno de sus principios rectores de la nación colombiana (Art. 7. C.P.). Asimismo establece la responsabilidad del Estado y de las personas en la protección de la riqueza natural y cultural de la Nación (Art. 8. y Art. 95 numeral 8. C.P.). En relación con los recursos genéticos, la Constitución Política impone al Estado la regulación de su salida e ingreso del país, y su utilización de acuerdo con el interés nacional (Art. 81, C. P.).

Los anteriores mandatos junto con las obligaciones de proteger la diversidad e integridad del ambiente (Art. 79 C. P.), conservar las áreas de especial importancia ecológica (Art. 79 C. P.), planificar el aprovechamiento de los recursos naturales garantizando el desarrollo sostenible (Art. 80 C. P.), cooperar con otras naciones en la protección de los ecosistemas en zonas fronterizas (Art. 80 C. P.), y la necesidad de que las acciones del Estado garanticen la participación ciudadana para garantizar el derecho al ambiente sano, constituyen imperativos que las instituciones estatales deben hacer efectivas en materia de protección al ambiente.

De similar importancia es el mandato constitucional, ordenando que la explotación de los recursos naturales en territorios de minorías étnicas se realice sin desmedro de su integridad cultural, social y económica y con la participación de las comunidades indígenas en las decisiones que se adopten respecto a la explotación de recursos naturales ubicados en sus territorios (Art. 330 C. P.).

⁶³ Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, Adoptado por el 31º periodo de sesiones de la Conferencia de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2001.

3.2. Ley 99 de 1993

La Ley 99 de 1993 al establecer el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y al erigir como organismo rector de la política ambiental al MMA, le asignó también funciones distintivas relacionadas con la protección y manejo de los recursos naturales y en particular con los recursos genéticos del país (artículo 5 numerales 2, 20, 21 y 38). Entre las funciones relacionadas se destacan: 1) Organizar el inventario nacional de la biodiversidad y de los recursos genéticos nacionales; 2) Regular la obtención, uso, manejo, investigación, importación, exportación, así como la distribución y comercio de especies y estirpes genéticas de fauna y flora silvestre; 3) Regular la importación, exportación y comercio de material genético, establecer los mecanismos de control y vigilancia, y disponer lo necesario para reclamar el pago o reconocimiento de los derechos o regalías que se causen a favor de la Nación por el uso de material genético. En virtud de esta ley, el MMA es la autoridad encargada de defender los intereses y los derechos que la nación colombiana tiene sobre los recursos genéticos.

3.3. Ley 165 de 1994

Esta ley ratifica el CDB incorporando este instrumento de derecho internacional como parte de la legislación nacional. El CDB reconoce los derechos de los países de origen sobre sus recursos genéticos. A la vez que reconoció la soberanía de los países sobre dichos recursos, introduce la obligación de establecer regímenes jurídicos que faciliten el acceso a los mismos⁶⁴.

El CDB establece principios y objetivos en relación con la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, la distribución justa y equitativa de los beneficios que se deriven de su uso y los derechos soberanos de los estados sobre sus recursos biológicos. Los artículos 15, 16 y 19, son el eje alrededor del cual giran los contratos de acceso cuya estructura jurídica habrían de desarrollar cada país miembro, como lo hicieron los países de la comunidad andina estableciendo un régimen común de acceso a través de la Decisión 391 de 1996. Los contratos, son la concreción de los términos mutuamente acordados para el acceso y fijan las condiciones para: a) acceder a los recursos genéticos, sus productos derivados o componente intangible asociado, b) acceder y transferir tecnología para el desarrollo de las actividades de acceso y c) distribuir los beneficios derivados de la biotecnología desarrollada a partir de los recursos genéticos, productos derivados o los componentes intangibles asociados, suministrados por los países y comunidades.

Al pronunciarse sobre la exequibilidad de la Ley 165 de 1994, aprobatoria del CDB, la Corte Constitucional reiteró el principio de patrimonio de la Nación sobre los recursos genéticos⁶⁵.

3.4. Decisión 391 de 1996

En desarrollo de los compromisos adquiridos al suscribir el CDB, los países miembros del Acuerdo de Cartagena o Pacto Andino, adoptaron un régimen legal sobre acceso a recursos genéticos; esta iniciativa se motivó en la necesidad de fortalecer posiciones de negociación en el ámbito internacional, a la vez que de presentar una estrategia unificada ante las solicitudes de acceso a recursos genéticos, productos derivados y conocimientos asociados a los recursos

⁶⁴ Nemogá, G. Régimen de propiedad sobre recursos genéticos y conocimiento tradicional. En: Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. III, No. 1, pp. 17-35. 2002

⁶⁵ Sentencia C - 519/94

genéticos de la región. Esta decisión expresa los fundamentos de un régimen común para la región; de un lado, destaca que la diversidad biológica, el endemismo y rareza de sus recursos tienen un valor estratégico en el contexto internacional y de otro, que las comunidades indígenas, afroamericanas y locales de los países miembros que viven en estrecha interdependencia con los recursos biológicos, han contribuido a su conservación y deben participar de los beneficios de dicha contribución para su desarrollo económico y social. La Decisión además, busca que la cooperación científica, técnica y cultural contribuya al desarrollo armónico e integral de los países miembros.

La Decisión 391 de 1996 fue el primer régimen jurídico para regular el acceso a los recursos genéticos de una región y no sólo de un país. Otras iniciativas jurídicas como el Régimen de Acceso en Filipinas (Orden Ejecutiva No. 247 de 1995) y la Ley de Biodiversidad en Costa Rica (Ley 7788 de 1998) tienen un alcance limitado a las fronteras nacionales correspondientes. La estructura jurídica del régimen común de acceso contenido en la Decisión 391 de 1996 presenta a continuación.

3.4.1. Principios generales sobre acceso

Los principios generales que rigen el acceso sobre recursos genéticos están desarrollados en el Régimen Común Andino o Decisión 391 de 1996.

Soberanía relativa

Es en virtud del reconocimiento de la soberanía de los países para regular el uso y aprovechamiento de sus recursos reconocido por el Convenio de la Diversidad Biológica, que se desarrolla el régimen común de acceso a los recursos genéticos. La soberanía recae sobre los recursos genéticos de los cuales los países miembros son países de origen. Al efecto, la Decisión define por país de origen del recurso genético el que “posee los recursos genéticos en condiciones *in situ*, incluyendo aquellos que habiendo estado en dichas condiciones, se encuentra en condiciones *ex situ*.”

El artículo 5 de la Decisión reafirma la soberanía de los países sobre sus recursos genéticos y sus productos derivados. Sin embargo, la soberanía de los países no es absoluta. Los estados miembros se hallan obligados a conservar su biodiversidad y a promover su uso sostenible, además de tomar las medidas preventivas respecto de potenciales daños más allá de su jurisdicción territorial. Adicionalmente, los países al suscribir el CDB, adquirieron la obligación de facilitar el acceso a sus recursos genéticos, la cual sólo puede ser negada en casos excepcionales.

Limitaciones al acceso

La Decisión 391 prevé que los estados miembros pueden establecer limitaciones parciales o totales sobre el acceso a recursos genéticos y sus productos derivados mediante norma legal expresa en los casos relacionados con los siguientes riesgos: a) contra las especies, subespecies, variedades o razas; b) contra la integridad ambiental; c) para la salud humana o la identidad cultural de los pueblos; d) de erosión genética; e) por bioseguridad; y f) importancia estratégica de áreas geográficas o recursos. (Artículo 45, Decisión 391 de 1996).

Consentimiento informado previo

El CDB estableció como premisa general en el artículo 15, numeral 5, que el acceso a los recursos genéticos debe estar sujeto al consentimiento informado previo del país que los provee. El principio del consentimiento informado previo se desarrolla en el artículo 22 de la Decisión 391, el cual exige que entre los requisitos de la solicitud se acompañe la información sobre los usos actuales y potenciales del recurso, producto derivado o componente intangible, su sostenibilidad y los riesgos que pudieran derivarse del acceso. Por su parte, el artículo 26 prevé que la solicitud contenga la información que le permita a la autoridad nacional competente, evaluar el impacto de las actividades de bioprospección sobre los recursos biológicos y sus ecosistemas, al igual que ponderar las contraprestaciones necesarias para que la negociación de acceso cumpla la premisa de una distribución justa y equitativa de beneficios.

Los artículos 8 (j) y 10 (c) de la CDB establecen que los estados deben proteger las innovaciones, prácticas y conocimiento de las comunidades indígenas y locales, al igual que asegurar la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de su uso. El acceso a recursos sobre los que las comunidades indígenas y locales ejercen derechos, debe estar precedido de la obtención de su consentimiento informado previo.

La Decisión 391 destaca la contribución histórica de las comunidades indígenas, afroamericanas y locales a la diversidad biológica, su conservación y uso sostenible. Al reconocer los derechos de las comunidades sobre sus conocimientos, innovaciones y prácticas establece los requisitos para que el acceso a tales recursos cuente con el consentimiento de las comunidades correspondientes.

Términos mutuamente acordados

El CDB establece en su artículo 15, numeral 4 que el acceso a los recursos genéticos debe basarse en términos mutuamente acordados. Este mecanismo parte del reconocimiento de los derechos soberanos de los países de origen sobre sus recursos genéticos y sus productos derivados. La Decisión 391 de 1996 desarrolla una estructura jurídica basada en relaciones contractuales entre el bioprospector y los titulares de derechos sobre recursos biológicos, recursos genéticos, productos derivados y conocimiento asociado a los recursos genéticos. Los diversos tipos de contratos previstos se detallan adelante.

Distribución justa y equitativa

La CDB vincula el acceso a recursos genéticos con la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de su uso o aplicación (artículo 15). La Decisión 391 incluye entre sus principios “la participación justa y equitativa en los beneficios derivados del acceso” (artículo 2). En el acuerdo mutuo de voluntades que se concreta en el contrato se han de establecer las contraprestaciones a cargo del solicitante para satisfacer la distribución de beneficios en forma justa y equitativa. Como se detalla adelante, la Decisión prevé que el acceso al componente intangible o conocimiento asociado al recurso genético, requiere además del contrato principal de acceso, un anexo en el que se prevea la distribución justa y equitativa de los beneficios provenientes de dicho componente (artículo 35).

Las experiencias de contratos de bioprospección en diversos contextos culturales muestran una variada gama de las posibles contraprestaciones que pueden obtener los estados que otorgan el acceso, las cuales se resumen en la Tabla 32.

Tabla 32. Beneficios monetarios y no monetarios

No monetarios	Monetarios
<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento en publicaciones • Investigación conjunta y fortalecimiento de capacidad científica local • Participación en la planificación y toma de decisiones en investigación y desarrollo comercial de productos • Muestras biológicas para colecciones nacionales e inventarios de biodiversidad • Control sobre las muestras y resultados de investigación. • Copropiedad o propiedad exclusiva sobre Derechos de Propiedad Intelectual (DPI) • Libre acceso a tecnología y a resultados de la investigación • Protección de aplicaciones locales de DPI • Transferencia de tecnología (equipos, materiales, documentación) • Entrenamiento en métodos de bioprospección, colección y preparación de muestras, monitoreo de biodiversidad, monitoreo socioeconómico, y técnicas agronómicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Pagos por bioprospección • Pagos por muestras • Porcentaje de los presupuestos de investigación • Porcentaje de regalías • Desarrollo de esquemas alternativos para la generación de ingresos • Compromiso de adquirir muestras en la misma fuente • Fondos específicos para conservación • Fondos internacionales con base en impuestos y ventas

Fuente y adaptación de: Columbia University School of International and Public Affairs: Access to Genetic Resources: An evaluation of the Development and Implementation of Recent Regulation and Access Agreements. Environmental Policy Studies, Working Paper No. 4, New York 1999, p. 75. Citado por Seiler Achim y Dutfield Graham "Regulating Access and Benefit Sharing: Basic Issues, legal instruments, policy proposals." BfN-Skripten 46, 2001, p. 17.

3.4.2. Estructura jurídica sobre acceso

La estructura jurídica sobre acceso a recursos genéticos y sus productos derivados se caracteriza por los siguientes elementos:

Autoridad nacional competente

Se identifica la institución autorizada para conceder el acceso a recursos genéticos y sus productos derivados, al igual que para definir los términos de negociación correspondientes. En el caso colombiano, el gobierno, mediante la Resolución 68 del 1997, identificó al MMA como la autoridad nacional competente.

Procedimiento

El marco jurídico vigente fija un procedimiento que se inicia con la presentación de la solicitud de acceso ante la autoridad nacional competente. Dicha solicitud debe cumplir los requisitos establecidos en el artículo 26 de la Decisión 391 de 1996, entre los cuales se incluye: a) la identificación del solicitante; b) la identificación del proveedor de los recursos genéticos, biológicos, sus productos derivados, y del componente intangible asociado, cuando sea el caso; c) la identificación de la institución nacional de apoyo (INA); d) la identificación y *currículum vitae* del responsable del proyecto; e) la actividad de acceso que solicita; y f) la localidad o área en que se realizará el acceso.

La Resolución 620 de 1997 del MMA delega internamente competencias entre sus dependencias estableciendo en su artículo 1 que al Despacho del Viceministro le corresponde: a) Evaluar la solicitud de acceso, b) Emitir dictamen legal sobre la solicitud, c) Coordinar con la oficina jurídica el proceso de negociación, d) Coordinar la participación de otras entidades ambientales en la evaluación, e) Supervisar el cumplimiento de los contratos, estableciendo los mecanismos de seguimiento y control, f) Revisar los contratos vigentes y establecer las acciones de reivindicación

correspondientes, g) Mantener contacto con las oficinas nacionales de propiedad intelectual, h) Evaluar la idoneidad de la INA, i) Mantener un directorio de personas o instituciones que puedan prestar apoyo científico o cultural.

Por su parte, el artículo 2 de la Resolución 620 de 1997 establece las siguientes funciones de la Oficina Jurídica del Medio Ambiente: a) Recibir la solicitud de acceso, b) Revisar y pedir la documentación faltante, c) Expedir el auto de admisión e iniciar el trámite, d) Reconocer la confidencialidad de la información cuando sea pertinente, e) Crear y actualizar el Registro Público de Acceso a Recursos Genéticos y sus productos derivados, f) Expedir, cuando sea necesario, el auto de prórroga, g) Expedir el auto de plazo suplementario para que el solicitante pueda allegar permisos y licencias ambientales, h) Emitir conjuntamente con el Despacho del Viceministro el Dictamen Técnico Legal, i) Elaborar el proyecto de resolución de la solicitud para la firma del Ministro, j) Apoyar jurídicamente el proceso de negociación, k) Elaborar el proyecto de Minuta del Contrato y de la Resolución de acceso, l) Asesorar jurídicamente el Despacho del Viceministro.

Trámite de la solicitud

Luego de la presentación de la solicitud de acceso a recursos genéticos, la autoridad nacional competente, a través de su Oficina Jurídica decide si la solicitud de acceso cumple los requisitos reglamentarios. En caso de encontrarla acorde con la reglamentación, iniciará el trámite de la misma ordenando la publicación, registro y apertura del expediente correspondiente. Una vez admitida por la Oficina Jurídica y cumplida su publicación, la solicitud pasa al Despacho del Viceministro para la evaluación correspondiente. El MMA informa sobre la solicitud de acceso a las autoridades ambientales competentes según el ámbito de sus correspondientes jurisdicciones. Durante el período de evaluación el solicitante puede ser requerido para la presentación de documentación adicional. La Oficina Jurídica emitirá concepto sobre la procedencia o improcedencia de la solicitud; el MMA se pronunciará oficialmente mediante resolución rechazando o aprobando la solicitud. El efecto de una resolución aprobatoria es la apertura para la negociación propiamente dicha de los términos del acceso. Luego de la negociación y firma del contrato de acceso correspondiente, la resolución de acceso será publicada en un diario de amplia circulación.

Los diversos regímenes de propiedad que cobijan los recursos genéticos y biológicos hacen complejos los procedimientos y autorizaciones de acceso. La amplia y a veces incoherente legislación ambiental proveniente de antes de la Constitución Política actual, regula el manejo y uso de recursos biológicos, diferenciando los de flora, los de fauna silvestre, los hidrobiológicos y los forestales. Para el acceso a estos recursos biológicos con fines de investigación, uso y manejo la legislación identifica procedimientos e instituciones regionales y nacionales con competencias específicas⁶⁶. El Decreto 309 de 2000 reglamentó los procedimientos para investigación en diversidad biológica, señalando las entidades competentes, los requisitos de la solicitud y el trámite correspondiente. Es importante resaltar que el análisis integral de esta legislación y de las

⁶⁶ El examen exhaustivo de competencias y procedimientos está fuera del alcance del presente análisis. Algunas de las normas más relevantes son: Decreto 2811 de 1974 sobre recursos naturales renovables; Decreto 1608 de 1978 sobre fauna silvestre y sus productos, Decreto 1681 de 1978 y 2256 de 1991 sobre recursos hidrobiológicos; Decreto 1791 de 1996 sobre recursos forestales, Decreto 2256 de 1991 sobre acuicultura. Estas normas deben verse en concordancia con la Ley 99 de 1993 y demás normas concordantes. Un análisis detallado de competencias y procedimiento puede verse en "Acceso a Recursos Genéticos" Convenio UNIJUS-MMA, Primer Informe, Mayo 2002. Bogotá. Para la consulta de normas véase "Biodiversidad. Análisis normativo y de competencias para Colombia". Instituto A. von Humboldt-Legis Bogotá. 1999.

normativas sobre acceso a recursos genéticos permite concluir que los permisos y autorizaciones de acceso a recursos biológicos en ningún momento implican autorización de acceso al recurso genético contenido en tales recursos. Para obtener el acceso a los recursos genéticos, sus productos derivados o el conocimiento asociado a dichos recursos se deben observar los procedimientos previstos en la Decisión 391 de 1996 y la normatividad que la desarrolla.

Como resultado de la aprobación de la solicitud de acceso a recursos genéticos, sus productos derivados y en su caso, al componente intangible asociado, se establecen diversas relaciones contractuales que se especifican a continuación.

3.4.3. Contrato de acceso

Es el acuerdo de voluntades entre la autoridad nacional competente y una persona, natural o jurídica, en el cual se establecen los términos y condiciones para el acceso a los recursos genéticos, sus productos derivados y, de ser el caso, al componente intangible asociado.

En la Decisión 391 se identifica un contrato de acceso, con algunas modalidades en casos específicos, pero con un cuerpo caracteriza una única estructura contractual en cuanto a acceso a recursos genéticos. Al identificar los elementos naturales del contrato, el artículo 32 de la Decisión 391 identifica la autoridad nacional competente en representación del Estado y el solicitante del acceso como partes. La Decisión 391 prevé en su artículo 36 que se puedan celebrar contratos marco para amparar la ejecución de varios proyectos. Para la firma de esta modalidad de contratos marco, el solicitante tiene que ser una universidad, un centro de investigación o investigadores reconocidos. La reglamentación nacional no ha entrado a establecer criterios para establecer los requisitos que deben cumplir las entidades o personas para quedar cobijadas o excluidas de esta categoría de solicitantes.

Entre los elementos esenciales o naturales que definen el contrato de acceso están las partes y el objeto del mismo. Las partes están calificadas y comprenden la autoridad nacional competente de un lado y el solicitante del acceso, del otro.

Otro elemento esencial del contrato es el objeto. Para el solicitante el objeto es la obtención y utilización de los recursos genéticos conservados en condiciones *ex situ* e *in situ*, de sus productos derivados o, de ser el caso, de sus componentes intangibles, con fines de investigación, prospección biológica, conservación, aplicación industrial o aprovechamiento comercial, entre otros (Art. 1, Decisión 391 de 1996). Para la autoridad nacional competente en representación del Estado, el objeto del contrato comprende la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del acceso; la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de los recursos biológicos que contienen recursos genéticos, así como la consolidación y desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas locales y nacionales. (Art. 2 Decisión 391 de 1996).

El contrato de acceso tiene elementos implícitos que se derivan del marco jurídico nacional vigente. Para el caso colombiano este marco jurídico incluye la Constitución Política, la Ley 165 de 1994, la Ley 93 de 1993, la Decisión 391 de 1996, la Ley 80 de 1993, la Resolución 620 de 1997 y la Resolución 68 de 2000. Esta legislación sirve de marco jurídico general para la contratación en materia de recursos genéticos y sus productos derivados. Los elementos contenidos en este marco

suplen la expresión de la voluntad de las partes en caso de omisión de facultades que correspondan a la autoridad nacional competente como representante del Estado.

Finalmente el contrato de acceso contiene elementos eventuales que constituyen propiamente el ámbito de negociación entre las partes. Los siguientes son algunos de los más importantes, pero las partes pueden adicionar otros de particular interés o pertinencia en cada negociación⁶⁷.

Ámbito o alcance en cuanto a los recursos objeto de acceso

Este es uno de los elementos más críticos en el contrato de acceso pues se trata de delimitar el objeto de acceso. La precisión del lugar donde ha de realizarse la investigación y colecta sería apenas un elemento indicativo, pero insuficiente para determinar el acceso a poblaciones, especies u organismos particulares presentes en un determinado ecosistema. Una aproximación complementaria vendría a ser la autorización de acceso al material genético contenido en categorías específicas de organismos biológicos, de partes de organismos y de material biológico.

Exclusividad en actividades de bioprospección

La autoridad nacional competente y el bioprospector pueden acordar exclusividad de acceso a ciertos organismos biológicos o microorganismos, o a los organismos ubicados en una zona o localización geográfica específica.

La estrategia nacional en bioprospección puede definir no conceder prospección exclusiva sobre el material genético de cierta categoría de organismos o de poblaciones específicas. A la vez tal estrategia podría determinar criterios de exclusividad con fundamento en la necesidad de proteger la información sobre resultados de investigación y su potencial uso para propósitos de interés público.

Consentimiento informado previo

El contrato de acceso viene a concretar la forma de materializar el cumplimiento de este principio. Con ello se busca garantizar la participación de los titulares de derechos asociados a los recursos biológicos, genéticos y productos derivados materia de acceso y la correspondiente compensación. En este sentido, se pueden establecer los elementos mínimos de forma y contenido del anexo del contrato de acceso cuando se incluya el acceso al conocimiento asociado al recurso genético. La autoridad nacional competente puede optar por suscribir directamente dicho anexo si así lo considera pertinente. Igualmente se deben precisar los elementos de forma y contenido que deben observarse en los contratos accesorios cuando sea el caso.

Beneficios o compensación económica

La negociación dentro del contrato de acceso contempla la determinación de pagos dinerarios directos a cargo del bioprospector como contraprestación al acceso. La Tabla 32 beneficios monetarios y no monetarios, enumera las principales modalidades de beneficios monetarios que pueden derivar de un contrato de acceso.

Debido al potencial de los recursos genéticos para ser utilizados en procesos industriales, agrícolas, comerciales y de servicios en la determinación de pagos dinerarios uno de los factores a

⁶⁷ Los siguientes se deducen de diferentes experiencias de negociación sobre acceso a recursos genéticos. Esta enumeración es sólo ilustrativa. Para un análisis más extenso ver "Acceso a Recursos Genéticos" Primer Informe UNIJUS-Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2002.

tener en cuenta será el sector donde se proyecta utilizar los recursos. En cuanto al monto de participación en las regalías por concepto de comercialización y venta de productos, su fijación deberá tener en cuenta la participación de las comunidades, poblaciones locales o personas que hayan aportado información o conocimiento sobre la identificación y el uso de los recursos biológicos.

Transferencia de tecnología

Un factor de negociación en los contratos de acceso es el acceso a recursos tecnológicos por parte del país proveedor de los recursos genéticos. Tales recursos pueden estar representados por información clasificada, protocolos, equipos de laboratorio, reactivos, software y hardware entre otros. Como parte de esta transferencia el entrenamiento y capacitación de recursos humanos resulta ser un componente central; sin la calificación de recursos humanos para comprender y adecuar a las condiciones locales las técnicas, equipos y metodologías desarrolladas en las áreas tecnológicas más avanzadas, la transferencia de equipos e insumos para laboratorio será de alcance limitado.

Derechos de propiedad intelectual

El contrato de acceso puede contemplar diversas modalidades en cuanto a la obtención y titularidad de derechos de propiedad intelectual sobre el material, la información genética, y los productos derivados de los recursos materia de acceso.

Estos derechos también deben cobijar productos sintetizados a partir de la información genética o de la estructura de las moléculas biológicas contenidas en forma natural en los organismos. El establecimiento de la forma como ha de participar la autoridad nacional competente o las entidades de apoyo en los beneficios económicos derivados será objeto de negociación al concretarse la relación contractual. En esta materia, una opción que se utiliza con mayor frecuencia es la inclusión de cláusulas de renegociación futura sobre derechos de propiedad intelectual. Esta renegociación se hace efectiva sólo en la medida en que, como resultado de la investigación, se encuentran materiales, compuestos bioquímicos, o se desarrollen procedimientos o productos de aplicación industrial. En todo caso se debe prever el destino de la información sobre los resultados de la investigación cuando el bioprospector decida no obtener derechos de propiedad intelectual. En estas circunstancias, la autoridad nacional competente o la entidad de apoyo podrían tener la primera opción de titularidad sobre tales derechos.

Información producto de la investigación

Las condiciones de los informes que el bioprospector se compromete a rendir en cuanto a resultados de la investigación sobre el material accedido será materia de negociación. Dichos informes deben satisfacer el interés público, y han de incluir cuando menos la identificación del material objeto de acceso, las etapas de investigación y desarrollo cumplidas, los resultados alcanzados en investigación y desarrollo sobre el material, los productos o las posibilidades de aplicación industrial o comercial de los resultados y las posibles solicitudes de patentes u otras formas de propiedad intelectual, entre otros.

Confidencialidad

En el contrato de acceso podrán pactarse cláusulas de confidencialidad sobre información que el bioprospector desee proteger como tal. A su vez, el bioprospector puede adquirir obligaciones de

proteger la confidencialidad de información a la que acceda en desarrollo de las actividades de bioprospección.

Funciones de la entidad nacional de apoyo

En el proceso de negociación deberá fijarse el alcance de las actividades de bioprospección que la entidad nacional de apoyo va a desarrollar. El alcance dependerá de las capacidades técnicas y científicas existentes en la entidad en cuestión y de las capacidades que quiera fortalecer; se abre una amplia gama de posibilidades que va desde la colección, clasificación y catalogación de ejemplares hasta la identificación de principios activos, el desarrollo de productos y la comercialización. Debe tenerse en cuenta además, que la entidad nacional de apoyo tiene estipuladas funciones de seguimiento y control en relación con los recursos genéticos objeto de acceso y sus productos derivados conforme está contemplado en el artículo 43 de la Decisión 391.

Lugar y período de la bioprospección

El área de recolección no puede extenderse mediante reformas al contrato original de acceso de manera que resulte incluyendo actividades de bioprospección que requerirían un nuevo contrato. El lugar de las actividades de bioprospección no puede ser variado sino dentro estrictos límites establecidos en el objeto del contrato inicial, y en todo caso, sólo cuando pueda entenderse como una prolongación natural del lugar inicial de bioprospección según los recursos objeto de acceso. El contrato puede prever que el bioprospector tenga un acceso continuo o periódico a recursos biológicos en los que se hallen contenidos los recursos genéticos de interés. El período para realizar actividades de bioprospección es materia negociable entre las partes.

Resolución de conflictos

En la realización del contrato de acceso las partes pueden acordar que la resolución de conflictos que surjan dentro del contrato, excepto aquellas que puedan resolverse por vía de interpretación unilateral de la administración, se planteen y resuelvan ante un tribunal de arbitramento. La conformación de dicho tribunal y la definición de los asuntos sobre los que ha de decidir, serán materia de negociación. En caso de conflictos que deban resolverse por vía jurisdiccional, el contrato ha de dejar establecido que es la legislación del país que autoriza el acceso la que deberá servir de marco para la interpretación del contrato.

Renovación o terminación

El contrato de acceso ha de prever las cláusulas sobre su renovación o terminación, las condiciones para la terminación de las obligaciones y el período para el cumplimiento de obligaciones derivadas de la ejecución contractual.

Conservación

El contrato de acceso puede contener cláusulas que especifiquen los porcentajes de las compensaciones por pago adelantado, de los pagos periódicos o de los pagos por regalías que deban destinarse a programas o actividades de conservación de la biodiversidad. Asociada con esta cláusula, el contrato de acceso podrá especificar la necesidad de que la autoridad receptora de las compensaciones rinda informes periódicos sobre las actividades de conservación desarrolladas.

3.4.4. Contratos complementarios

La Decisión 391 prevé, además del contrato de acceso, la realización de varias relaciones contractuales accesorias. Los contratos complementarios quedan subordinados al contrato principal y están sujetos a la condición suspensiva prevista en el artículo 42. Tales contratos son necesarios en la medida en que la autorización de acceso a los recursos genéticos no garantiza el acceso a los recursos biológicos en los que aquellos están contenidos. Para acceder a los recursos biológicos correspondientes, el bioprospector ha de realizar un acuerdo con el titular de derechos sobre el terreno donde se hallan los recursos biológicos, con la institución donde están depositados en condiciones *ex situ*, o con el titular de derechos sobre los organismos biológicos. Así las potenciales contrapartes del bioprospector en los contratos accesorios son:

- Un propietario, poseedor o administrador del predio donde se encuentre el recurso biológico donde está contenido el recurso genético
- Un centro de conservación *ex situ*
- Un propietario, poseedor o administrador del recurso biológico que contenga el recurso genético.

Adicionalmente, la Decisión 391 prevé que el bioprospector establezca una relación contractual con una institución nacional de apoyo para la realización de las actividades de bioprospección. La autoridad nacional goza de la facultad de autorizar o no dicha institución pues tal participación viene a ser parte de la contrapartida por el acceso a recursos genéticos. Con su participación, la institución nacional de apoyo adquiere obligaciones relacionadas con el seguimiento y control de los recursos genéticos, productos derivados, sintetizados y componentes intangibles asociados, debiendo presentar informes sobre las actividades y responsabilidades a su cargo (Art. 43, D. 391).

Si bien la validez de los contratos accesorios con titulares de derechos para asegurar el acceso material al recurso biológico, o para establecer el acompañamiento de la institución nacional de apoyo están subordinados al contrato de acceso, la validez jurídica de tales contratos puede al mismo tiempo afectar el contrato de acceso. El artículo 44 de la Decisión 391 establece que la modificación, suspensión, rescisión o resolución de los contratos accesorios pueden causar la modificación, suspensión, rescisión o resolución del contrato principal por parte de la autoridad nacional competente, si ello afectara de manera sustancial las condiciones de acceso.

3.4.5. Componente intangible

La estructura jurídica de la Decisión 391 de 1996 prevé un acuerdo anexo para acceder al componente intangible asociado al recurso genético o a sus productos derivados. Este anexo busca asegurar la compensación equitativa para quienes provean el conocimiento asociado al recurso o a sus productos derivados. En el ámbito nacional el conocimiento asociado puede ser de carácter científico o de saberes, innovaciones, usos o prácticas de comunidades indígenas, afrocolombianas o locales. Aunque la Decisión 391 no menciona explícitamente comunidades campesinas, se puede interpretar que ellas están cobijadas bajo la acepción de comunidades locales. Los instrumentos de la FAO, aprobados por Colombia, han reconocido los derechos de los agricultores por las contribuciones pasadas y presentes hechas en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad y la necesidad de compensarlas.

Quien accede al componente intangible asociado al recurso genético o a sus productos derivados puede quedar sujeto a cláusulas de confidencialidad, limitaciones en el uso de dicho conocimiento,

reglas precisas sobre la difusión de dicha información y formas de compensación. Las formas de compensación serán objeto de negociación entre el proveedor del conocimiento y el bioprospector, pero deben satisfacer el requisito de una justa y equitativa distribución de beneficios; si la información o el conocimiento sobre el recurso están cobijados por títulos de propiedad intelectual, el anexo incluirá las características de las licencias que acuerden las partes para satisfacer una equitativa participación de beneficios. La Decisión 391 prevé que el anexo puede ser suscrito no sólo por el proveedor del componente intangible, sino también por la autoridad nacional competente. En el caso colombiano, la autoridad nacional competente podrá firmar dicho anexo, siempre y cuando observe los principios constitucionales y legales sobre participación y consulta con las comunidades indígenas, afrocolombianas y locales pertinentes cuando se trate de otorgar el acceso al conocimiento tradicional. El artículo 42 de la Decisión 391 prevé una condición suspensiva que sujeta el perfeccionamiento de este acuerdo anexo al del contrato de acceso. Sin embargo, la relación contractual entre el bioprospector y el proveedor del llamado componente intangible queda sujeta al derecho privado en la medida en que la autoridad nacional competente no suscriba dicho anexo.

CONSIDERACIONES FINALES

Dentro del marco jurídico colombiano los recursos genéticos son patrimonio de la Nación y tienen las características de ser inalienables, inembargables e imprescriptibles. Tanto el Consejo de Estado como la Corte Constitucional se han pronunciado declarando el carácter de bienes públicos de los recursos genéticos. El acceso a tales recursos por lo tanto debe observar los procedimientos y trámites previstos por el Estado.

Un régimen de acceso enfrenta el reto de potenciar las capacidades nacionales en ciencia y tecnología, promover el reconocimiento y la integración del conocimiento aportado por comunidades indígenas, afrocolombianas y locales, y fortalecer las capacidades técnicas e institucionales para la conservación de los recursos biológicos. Para avanzar en el logro de tales objetivos, el régimen de acceso debe respetar los derechos constituidos sobre los recursos biológicos que contienen los recursos genéticos y el conocimiento asociado. El logro de los objetivos perseguidos con el régimen de acceso estará supeditado a la convocatoria y participación efectiva de los diversos actores interesados. Esta participación permitirá reglamentar acertadamente aspectos clave de la Decisión como la diferenciación entre colección e investigación con fines científicos exclusivamente, y colección e investigación con fines comerciales. A este respecto la reglamentación debe incluir mecanismos de seguimiento y control de las actividades, con sanciones tendientes a evitar la transferencia de material biológico o genético a terceros usuarios en violación del régimen de acceso. La reglamentación también deberá precisar las características de “universidades, centros de investigación e investigadores calificados” que podrían suscribir contratos de acceso marco para cubrir diversos proyectos.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS INTERNACIONALES DE BIOPROSPECCIÓN: IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DE BENEFICIOS

Santiago Carrizosa⁶⁸

INTRODUCCIÓN

En 1992, la firma del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) envió un mensaje significativo a los proyectos internacionales de bioprospección. Desde el momento en que el CDB se convirtiera en ley internacional, estos proyectos tendrían que incorporar los objetivos y principios del convenio en sus actividades. Por ejemplo, tendrían que promover la distribución equitativa de beneficios y la conservación de la biodiversidad de los países que proporcionan las muestras biológicas y el conocimiento asociado. De igual forma, el CDB elaboró una carta de navegación para que los países ricos en biodiversidad desarrollaran las leyes que regulan el acceso a sus recursos genéticos.

Luego de casi una década de la firma del CDB, sólo el 23% de los países que ratificaron el Convenio han concluido o se encuentran desarrollando estas leyes (Ten Kate y Laird, 2000⁶⁹). Este balance sugiere que estos países carecen de recursos humanos, técnicos y financieros para adelantar este trabajo y que también han sido cautelosos dada la complejidad e implicaciones de las leyes que deben proponer. El desarrollo de estas leyes es un proceso lento en el que múltiples sectores de la sociedad deben participar con sus diferentes intereses y visiones.

Dentro de este 23% se encuentran países como Filipinas (Orden Ejecutiva 247 de 1995), los países del Pacto Andino (Decisión 391 de 1996) y Costa Rica (Ley de Biodiversidad de 1998) que han sido pioneros en el desarrollo de leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos y cuya experiencia es indudablemente valiosa para la mayoría de los países que se encuentran implementando marcos de acceso a sus recursos genéticos.

Actualmente muchos proyectos de bioprospección operan en países que no han desarrollado estas leyes de acceso y son cuestionados sobre si sus actividades cumplen con los objetivos y principios del CDB. Uno de los temas más controversiales es hasta qué punto estos proyectos promueven la distribución equitativa de beneficios y la conservación/uso sostenible de la biodiversidad. En este trabajo se examina esta pregunta en el contexto de dos marcos conceptuales de trabajo que

⁶⁸ Genetic Resources Conservation Program Universidad de California, Davis

⁶⁹ Ten Kate, K. y Laird, S.A. 2000. The commercial use of biodiversity: Access to genetic resources and benefit-sharing, Earthscan, London.

reflejan la situación de los países donde operan los proyectos de bioprospección. El Marco Conceptual A presenta un escenario donde países como Argentina, Chile, Bangladesh, la República Democrática del Congo, Madagascar, Panamá, Surinam, Zambia y Zimbabwe han ratificado el CDB pero no han desarrollado sus leyes de acceso (Figura 60). Según este marco el CDB establece que cada país que ha firmado y ratificado el Convenio tiene la autoridad para controlar el acceso a sus recursos; sin embargo, al no existir leyes de acceso, el gobierno no tiene el mandato legal ni los recursos financieros para monitorear los proyectos de bioprospección y asegurar que estos cumplan con el CDB; en este marco existe el supuesto de que los bioprospectores trabajan siguiendo los principios de la CDB. Este es por ejemplo el caso de los Grupos Cooperativos Internacionales de Biodiversidad (GCIB) que se están ejecutando actualmente en Surinam y Chile donde la máxima autoridad ambiental nacional del gobierno (ej., Ministerio de Medio Ambiente o Secretaría Ambiental) no negocia los proyectos de bioprospección y no monitorea las actividades del proyecto (Carrizosa, 1996⁷⁰). En este marco los bioprospectores generalmente negocian los acuerdos con intermediarios (ej., universidades, organizaciones no gubernamentales (ONG) y organizaciones gubernamentales que no tienen la capacidad técnica ni el mandato para negociar este tipo de acuerdos) y otros colaboradores (ej., propietario del predio y comunidad tradicional) que sirven para proporcionar las muestras en condiciones preestablecidas.

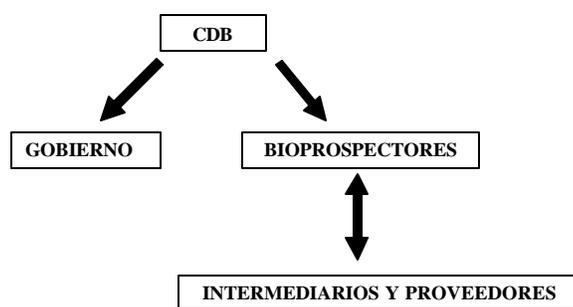


Figura 60. Marco conceptual A (acceso a recursos genéticos en países que carecen de leyes que regulan su acceso)

Por otra parte, el marco conceptual B (Figura 61) presenta el escenario alcanzado por países que cuentan con leyes y políticas que regulan el acceso a los recursos genéticos como Filipinas. En este caso, el gobierno juega un papel fundamental como negociador y también participante de estas iniciativas de bioprospección; así mismo, el gobierno cuenta con el mandato legal y la capacidad humana y financiera para monitorear las actividades de estos proyectos. Los bioprospectores establecen acuerdos con el gobierno y con posibles intermediarios y proveedores del material genético.

Ambos marcos conceptuales proporcionan un contexto en el que actualmente operan múltiples proyectos de bioprospección, dicho contexto también sirve para facilitar el análisis de las estrategias de distribución equitativa de beneficios y conservación/uso sostenible de la biodiversidad de estos proyectos. Para realizar este análisis se presentan seis modelos comerciales de bioprospección que son una muestra representativa del *modus operandi* de estos proyectos a nivel mundial.

⁷⁰ Carrizosa, S. 1996. Prospecting for Biodiversity: The Search for Legal and Institutional Frameworks. Ph.D. Dissertation, The University of Arizona, UMI Dissertation Services, A Bell y Howell Company.

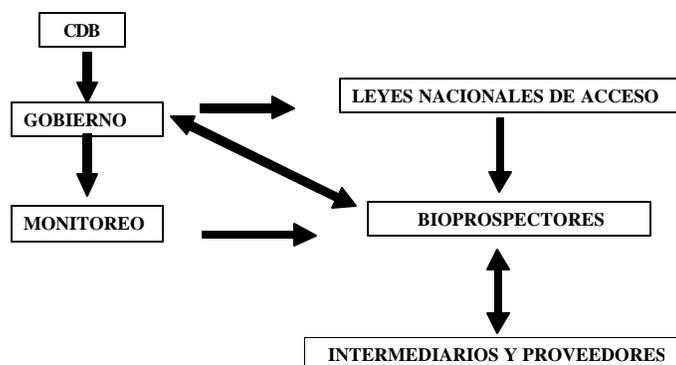


Figura 61. Marco conceptual B (acceso a recursos genéticos países que tienen leyes que regulan su acceso)

DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DE BENEFICIOS Y CONSERVACIÓN/USO SOSTENIBLE DE LA BIODIVERSIDAD

1. Distribución equitativa de beneficios

En los últimos años varios analistas han discutido el tema de la distribución equitativa de beneficios en el contexto de proyectos de bioprospección y prácticamente todas las aplicaciones prácticas de este objetivo del CDB se materializan en el establecimiento de acuerdos contractuales entre los bioprospectores de países industrializados y los que proporcionan los recursos genéticos en países ricos en biodiversidad⁷¹ (ver www.biodiv.org/programmes/socio-eco/benefit/case-studies.asp). Los contratos han sido identificados como el vehículo principal para facilitar y formalizar la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la biodiversidad, en esta sección se analiza el tema de distribución equitativa de beneficios en el contexto de seis modelos de relaciones contractuales establecidas entre los bioprospectores, igualmente se examinan las principales cláusulas de distribución de beneficios que generalmente hacen parte de estos contratos.

El tipo de contratos firmados a escala internacional entre los bioprospectores varía mucho según el objetivo y actividad propuesta. Por ejemplo si el objetivo es simplemente coleccionar muestras, entonces las cláusulas se refieren a aspectos como el número, tipo de compensación, condición de entrega, derechos sobre las muestras y generalmente el que las recibe tiene que informar sobre los resultados de experimentos realizados con éstas muestras. Este es el tipo de contrato que podría ser firmado entre una compañía farmacéutica y un intermediario como puede ser un jardín botánico, o entre un jardín botánico de un país industrializado y una universidad de un país que proporciona muestras; estos acuerdos se han denominado “Acuerdos de transferencia de materiales” o *Material Transfer Agreements* (MTA). Otros acuerdos que han surgido de intereses más particulares a nivel gubernamental son las “Cartas de Intención, Cartas de Colección y Memorandos de Entendimiento” del Instituto Nacional de Cáncer de Estados Unidos (INC) los

⁷¹ Sin embargo, la utilización de contratos como estrategia para la distribución de beneficios también ha sido criticada por múltiples analistas debido a que muchas cláusulas son confidenciales (ej., regalías) y esto no permite analizar si realmente la distribución de beneficios es justa y equitativa (Carrizosa, 1996).

cuales se enfocan en la colección y transferencia de muestras, estrategias no monetarias de compensación y la promesa de distribución equitativa de regalías cuando el producto sea entregado a una compañía comercial para su mejoramiento o comercialización. Otro tipo de acuerdo utilizado entre agencias del gobierno de Estados Unidos y socios gubernamentales y privados se denominan “Acuerdos Cooperativos de Investigación y Desarrollo” (CRADAS). Las CRADAS son acuerdos más elaborados que las “Cartas de Colección o Memorandos de Entendimiento” y se utilizan cuando los proyectos se encuentran en un estado avanzado de investigación y desarrollo; esta permite la transferencia de tecnología de una agencia gubernamental a un socio del sector privado mediante una licencia, bajo ella la agencia puede recibir dinero del sector privado pero no darlo al sector privado. Este acuerdo también estipula temas desarrollados con los derechos intelectuales de propiedad, propiedad y fuente de muestras, ámbito de la investigación y administración; además, el contrato hace énfasis en los temas relacionados con la distribución equitativa de beneficios (Carrizosa, 1996).

Algunos de los contratos que involucran varios socios tienden a ser complejos y extensos y estos se conocen como “Acuerdos de distribución de beneficios” y generalmente se firman entre compañías farmacéuticas, y otros intermediarios de países industrializados y no industrializados. Éstos son mucho más específicos en cuanto a la propiedad de las muestras, los esquemas de distribución de beneficios como pagos iniciales, regalías y compensaciones de tipo no monetario. En 1997, se propuso otro acuerdo menos ortodoxo llamado Licencia para el conocimiento o *Know-how license* como alternativa a una crisis que los bioprospectores tenían con una comunidad indígena, esta licencia fue utilizada para permitir que el miembro comercial (ej., Monsanto) del proyecto de bioprospección del GCIB ejecutado en Perú, pudiera utilizar el conocimiento de la comunidad Ahuaruna Guambisa. Dicha licencia permite que durante el período en que las muestras sean analizadas por Monsanto, la comunidad indígena reciba un pago anual correspondiente al derecho de uso del conocimiento (Lewis *et al.*, 1999⁷²).

Los acuerdos descritos anteriormente han sido utilizados principalmente en países que carecen de leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos (marco conceptual A). En países con leyes (marco conceptual B), Filipinas es el único que hasta el momento ha firmado un acuerdo de tipo comercial con un bioprospector mediante una modalidad de contrato denominada “Acuerdo Comercial de Investigación (ACI)”. La Orden Ejecutiva No. 247⁷³ establece unos requisitos mínimos que los ACI deben incluir y los bioprospectores tienen la libertad para negociar lo que ellos estimen necesario. Uno de los requisitos que ha causado más controversia es que cualquier tecnología o invento realizado a partir de especies endémicas puede ser utilizado por el gobierno de Filipinas sin necesidad de pagar regalías a los inventores, esta cláusula no ha sido bien recibida por compañías interesadas en bioprospectar en dicho país (Paz Benavidez *com. pers.*). En síntesis, este tipo de acuerdos señala no solo un conjunto de promesas que involucran la transferencia de muestras y transformación de recursos genéticos, sino también son un reflejo de la relación y transacción que se puede realizar entre países ricos en tecnología y países ricos en biodiversidad. Estos contratos son los corazones de las iniciativas de bioprospección y su equidad depende en gran parte en las capacidades de los negociadores.

⁷² Lewis, W.H., G. Lamas, A. Vaisberg, D.G. Corley y C. Sarasara. Peruvian Medicinal Plant Sources of New Pharmaceuticals (International Cooperative Biodiversity Group Peru) 1999. *Pharmaceutical Biology*, 37: 69-83.

⁷³ La Orden Ejecutiva No. 247 también da la opción para la realización de Acuerdos Académicos de Investigación (ACI). Hasta el momento solo un ACI ha sido firmado con el gobierno de Filipinas.

1.1. Modelos de bioprospección

Actualmente existen múltiples actores involucrados en negocios de bioprospección. Algunos de estos incluyen compañías farmacéuticas, agencias gubernamentales de investigación, ONG, universidades, jardines botánicos, herbarios, museos y universidades. Con esta gran variedad de actores es de esperar el diseño de múltiples objetivos y estrategias para facilitar la ejecución de proyectos de bioprospección en el contexto de leyes internacionales como el CDB y el Convenio internacional que regula el comercio de especies en peligro de extinción (CITES).

Algunos proyectos buscan no sólo medicamentos a partir de la diversidad biológica sino también su conservación y uso sostenible, otros grupos continúan buscando productos sin preocuparse por conservar la biodiversidad o por compensar de manera equitativa a los socios que proporcionan los recursos genéticos y el conocimiento asociado. Actualmente hay múltiples relaciones contractuales formales e informales entre actores de países desarrollados y no desarrollados. En esta sección se analizan seis modelos de relaciones contractuales de proyectos de bioprospección cuya ejecución comenzó luego de la firma del CDB; la forma en que estas relaciones contractuales están estructuradas sugiere la probabilidad de que los miembros que constituyen estos grupos reciban una porción justa y equitativa de los beneficios que son distribuidos entre los socios del proyecto de bioprospección. En cada modelo, el socio corporativo localizado en la cima del diagrama es el que generalmente proporciona la mayoría de los beneficios monetarios y no monetarios a los demás miembros del grupo. En cada uno de los modelos que están descritos a continuación los rectángulos representan los socios de países industrializados y las elipses simbolizan los socios de países ricos en biodiversidad de cada grupo de bioprospección. Los cinco primeros modelos ilustran proyectos ejecutados en países que carecen de leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos y que fueron diseñados con base en los principios y objetivos de la CDB (marco conceptual A). El sexto modelo muestra el caso de un proyecto ejecutado en las Filipinas, país que cuenta con la Orden Ejecutiva No. 247 para regular el acceso a sus recursos genéticos (marco conceptual B).

Modelo 1

Representa la situación de varios proyectos que se ejecutan actualmente a escala mundial. En este caso una compañía farmacéutica o universidad del país industrializado establece una relación contractual con un intermediario del país rico en biodiversidad que puede ser un jardín botánico, ONG o universidad la cual facilita la colección de muestras a cambio de ciertos beneficios (Figura 62). El intermediario generalmente tiene las conexiones necesarias para obtener las muestras de proveedores que pueden ser comunidades tradicionales y no tiene necesidad alguna de establecer vínculos contractuales lo cual se indica en la figura mediante la ausencia de flechas entre estos dos actores, este fue el caso a mediados de los años 90 cuando la Universidad Suiza de Laussane (USL) estableció un acuerdo para obtener muestras de plantas con la Universidad de Zimbabwe (UZ). La UZ a su vez obtuvo las muestras gracias a la colaboración de comunidades tradicionales. Simultáneamente la USL y la compañía farmacéutica Phytera (CFP) firmaron un acuerdo de distribución de beneficios bajo el cual Phytera recibiría una licencia exclusiva mundial a cambio de la cual la compañía le pagaría a la Universidad Suiza una regalía correspondiente al 1.5% de las ventas netas de cualquier producto. En 1999, un investigador de la universidad obtuvo una patente para un compuesto antimicrobial derivado de la especie *Swartzia madagascariensis* y no informó a la Universidad de Zimbabwe sobre dicha patente; más aún, en este caso la Universidad de Zimbabwe y la comunidad tradicional no participaron en la negociación del acuerdo de distribución de beneficios firmado entre la Universidad Suiza y la compañía farmacéutica, ellos

simplemente proporcionaron los medios para que la Universidad Suiza pudiera lograr acceso a los recursos genéticos de Zimbabwe sin involucrar al gobierno en ningún tipo de negociación de distribución de beneficios. Sin embargo, este esquema fue descubierto recientemente por una ONG local y probablemente el acuerdo de distribución de beneficios será renegociado con la participación de los proveedores del recurso genético (Meinberg y Mushita, 2000⁷⁴).

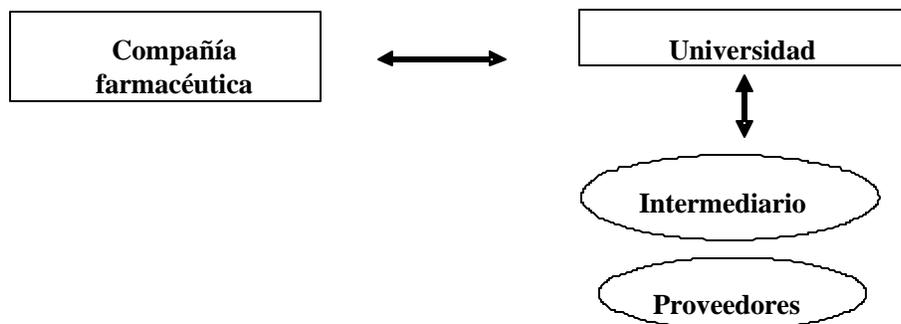


Figura 62. Modelo 1 (proyecto de la Universidad de Laussane (Suiza) en Zimbabwe)

Modelo 2

Este modelo muestra el tipo de arreglos contractuales que actualmente implementa el Instituto Nacional de Cáncer (INC). El INC ha analizado las propiedades farmacéuticas de plantas de países tropicales de manera sistemática desde 1956 y continúa trabajando activamente el análisis de compuestos biológicos con potencial anticancerígeno. En 1998, tenía proyectos de investigación con organizaciones de 24 países ricos en biodiversidad (Ten Kate y Laird, 2000).

Al comienzo de sus actividades el INC no establecía relaciones contractuales directas con los proveedores de muestras de países ricos en biodiversidad sino que utilizaba intermediarios como el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el Jardín Botánico de Nueva York, (JBNY) y el Jardín Botánico de Missouri (JBM) quienes a su vez utilizaban universidades de los países ricos en biodiversidad para la obtención de muestras o como fuentes de información sobre sitios biodiversos que no habían sido explorados; sin embargo, en 1990 en respuesta a las críticas de los proveedores de muestras el INC desarrollo lo que llamó “Carta de Intención” para facilitar la distribución equitativa de beneficios. Luego, en 1992, el INC produjo una versión mejorada a la que llamó “Carta de Colección” y finalmente en 1995 comenzó a utilizar el “Memorando de Entendimiento.”

Mediante cualquiera de estos acuerdos el intermediario (JBNY o JBM) del INC es también parte del acuerdo y representa los intereses del INC durante el proceso de negociación con la nación proveedora de la muestra. Si se obtiene un producto a partir de esta relación, una de las cláusulas de este acuerdo señala que la compañía farmacéutica (que mejorará o comercializará la muestra), debe recompensar al país proveedor de la fuente prima. Varios críticos dicen que pueden existir compañías farmacéuticas que no estén dispuestas a esto y el INC no las puede obligar, lo cual puede ser cierto en algunas ocasiones; sin embargo, la experiencia del INC en Malasia, la cual es ilustrada por el Modelo 2, indica lo contrario (Figura 63). Esta experiencia comenzó en 1987, cuando el INC comisionó a botánicos de la Universidad de Illinois (UI) para que coleccionaran plantas en el Estado de Sarawak (Malasia). La UI y los botánicos del Departamento Estatal

⁷⁴ Meinberg, F. y A. Mushita. 2000. Government and university determined to stop biopiracy by Swiss university. Berne Declaration, Switzerland. Community Technology and Development Trust (CTDT), Press Release February 28.

Forestal de Sarawak enviaron las primeras muestras dentro de las cuales se encontraba la especie *Calophyllum lanigerum* la cual fue identificada como fuente del compuesto Calanolide A.

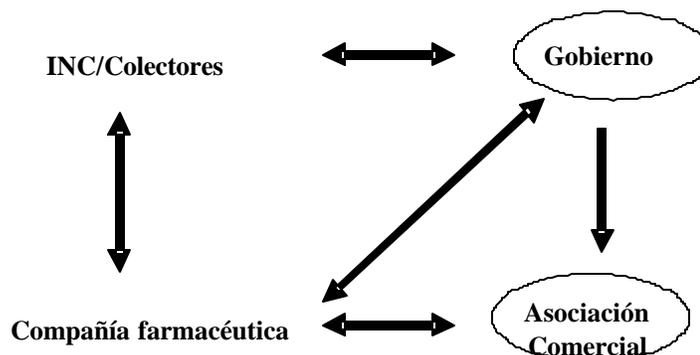


Figura 63. Modelo 2 proyecto del Instituto Nacional de Cáncer en Sarawak (Malasia)

Luego en 1992 el Calanolide B fue descubierto en especímenes de la planta *Calophyllum teysmannii* y se encontró que ambos compuestos eran efectivos para combatir el SIDA. En 1993, el INC le dio a la compañía farmacéutica Medichem Research Inc. una donación (“Small Business Innovation Research Grant”) para que desarrollaran la ruta sintética para el Calanolide A, trabajo que arrojó sus frutos en 1995. En consecuencia en ese año el INC le dio una licencia exclusiva de sus patentes a Medichem que incluía el desarrollo y comercialización de los Calanolides A y B, la licencia obligó a la compañía a negociar un acuerdo de distribución de beneficios con el Gobierno de Sarawak con lo cual el INC demostró el cumplimiento de lo establecido en la “Carta de Colección” firmada en 1994 con el Gobierno de Sarawak (ej., Departamento Forestal de Sarawak). Las negociaciones comenzaron en 1995 y concluyeron en 1996 con la creación de una asociación empresarial conocida como Sarawak Medichem Pharmaceuticals Inc. (SMP) la cual se comprometió a producir un medicamento con base en Calanolide A y a lograr su aprobación y comercialización en Estados Unidos; asimismo, esta asociación comercial continuaría trabajando en Calanolide B, en otras iniciativas de bioprospección en Sarawak y en el entrenamiento de científicos locales en técnicas biotecnológicas. En 1999, la participación de Medichem Research Inc. fue transferida a la compañía Advance Life Sciences Inc. (Bin Osman, 2002⁷⁵).

Modelo 3

La Figura 64 presenta dos de los cinco Grupos Cooperativos Internacionales de Biodiversidad (GCIB)⁷⁶ que están siendo ejecutados actualmente en Chile, Argentina y México (modelo 3) y Surinam (modelo 4).

El modelo 3 ilustra un escenario en el que un contrato fue negociado entre la Universidad de Arizona y American Cyanamid Company (la cual fue absorbida por American Home Products Corporation). Luego esta universidad, actuando como un intermediario, estableció contratos

⁷⁵ Bin Osman, M. 2002. Comparative policy review for access and exchange of genetic resources among Pacific Rim countries: The Malaysia experience. University of California, Davis (Unpublished manuscript).

⁷⁶ Los GCIB son proyectos de bioprospección financiados por la Fundación Nacional de Ciencia, el Departamento de Agricultura y los Institutos de Salud de Estados Unidos. Su principal objetivo es descubrir muestras biológicas con propiedades biotecnológicas y promover el crecimiento económico, y la conservación de la biodiversidad de las áreas donde trabajan. Estos proyectos son dirigidos por diversas organizaciones de los Estados Unidos e integrados por socios comerciales (que son compañías biotecnológicas principalmente de Estados Unidos) y socios de los países proveedores de las muestras biológicas.

individuales con universidades en Chile, Argentina y México (Universidad Católica de Chile (UCC), Universidad Nacional de la Patagonia (UNP) y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)), y una agencia gubernamental agropecuaria de Argentina (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)) para la colección de muestras. Igualmente la Universidad de Arizona firmó otros contratos con American University (G.W.L. Hansen's Disease Center at Louisiana State University (LSU)) para un análisis más avanzado de las muestras. Este grupo ha utilizado el conocimiento tradicional para el descubrimiento de productos pero no realizó acuerdo alguno con comunidades tradicionales. No obstante, si se llegara a realizar algún descubrimiento con base en el conocimiento tradicional, se prevé la creación de un fondo fiduciario para facilitar la distribución de regalías potenciales (Carrizosa, 1996).

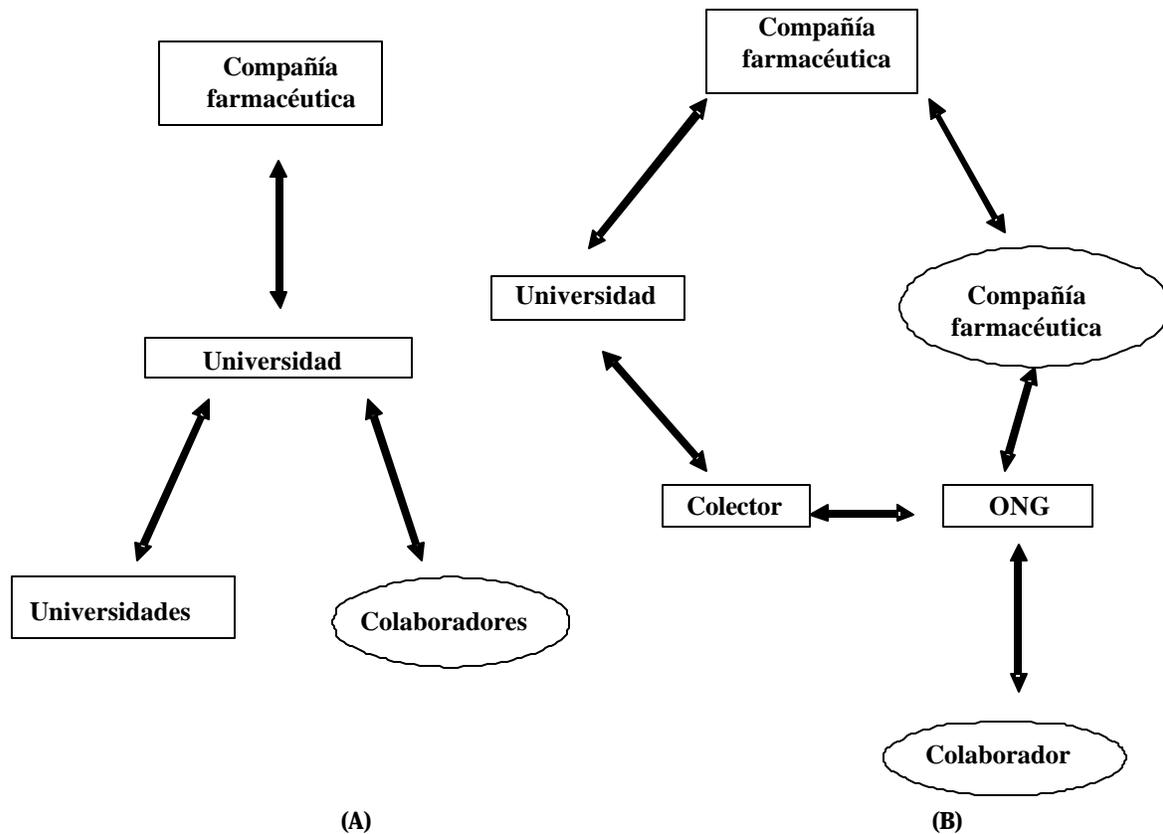


Figura 64. Modelo 3 (A) CGIB de Chile, Argentina y México y Modelo 4 (B) GCIB de Surinam

Modelo 4

El modelo 4 presenta un contrato que fue firmado entre varios socios de Estados Unidos y una compañía farmacéutica con sede en Surinam (Bedrijf Geneesmiddelen Voorziening Surinam (BGVS)). Los colaboradores locales fueron las comunidades que han aportado su conocimiento tradicional al proyecto. La colección de muestras fue realizada por el JBM y la oficina de Conservación Internacional que tiene su sede en Surinam y los extractos de las muestras fueron enviados por BGVS a Bristol Myers Squibb Pharmaceutical Research Institute (B-MS) de los Estados Unidos para efectuar pruebas científicas más sofisticadas, el potencial desarrollo de productos y su comercialización. En este caso las comunidades tradicionales no hicieron parte de la firma del contrato principal pero en teoría, Conservación Internacional se asegurara que si algún

producto es comercializado, los indígenas sean recompensados mediante proyectos de tipo comunitario financiados por un fondo fiduciario (Lisa Famorale, *com. pers.*).

Modelo 5

El modelo 5 ilustra las relaciones contractuales que el Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica (INBio) ha tenido por más de diez años con compañías farmacéuticas y biotecnológicas internacionales (Figura 65). El primero de estos acuerdos fue el famoso contrato firmado con Merck en 1991 que concluyó en 1999 luego de varias renovaciones en 1994, 1996 y 1998. Hasta el momento no se han reportado productos concretos derivados de esta iniciativa de bioprospección (Cabrera, 2002). Este modelo también ilustra uno de los proyectos más recientes de bioprospección firmado con la compañía biotecnológica Diversa en 1995 y renovado en 1998 y 2002. El objetivo principal de este proyecto es identificar enzimas de bacterias terrestres y acuáticas que se encuentran en condiciones ambientales extremas para ser utilizadas en procesos de la industria medicinal o alimenticia. Este es uno de los acuerdos más equitativos gracias a la experiencia de INBio en la negociación de este tipo de contratos y al valor agregado que el instituto le da a sus muestras; además, un acuerdo firmado entre el Ministerio del Medio Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE) e INBio autoriza las colecciones de muestras en áreas protegidas y obliga al instituto a entregar 10% de todos los presupuestos de proyectos de bioprospección y 50% de cualquier ingreso de regalías al MINAE para la conservación de la biodiversidad. Hasta el momento no se han pagado regalías por concepto de la comercialización de inventos, sin embargo, algunos productos de las áreas de la botánica medicinal y ornamental se encuentran en proceso de desarrollo (Cabrera, 2002⁷⁷).



Figura 65. Modelo 5 el INBio y compañías de farmacéuticas y biotecnológicas en Costa Rica

Modelo 6

Este modelo muestra una de las pocas relaciones contractuales de bioprospección de tipo comercial que han sido aprobadas bajo las leyes de acceso a recursos genéticos desarrolladas por un país después de que el CDB se convirtiera en ley internacional (Figura 66). Este es un acuerdo firmado en Filipinas entre el Departamento de Agricultura de este país, la Universidad de Utah y la Universidad de Filipinas con el objetivo de coleccionar muestras de organismos marinos con potencial anticancerígeno en ciertas áreas en las Filipinas. Las muestras son enviadas a Estados Unidos para la evaluación de sus propiedades farmacéuticas. En este caso, la Orden Ejecutiva 247 de este país faculta al Departamento de Agricultura para monitorear las actividades del proyecto de bioprospección y este es precisamente uno de los artículos mencionados en el contrato acordado entre las partes (Comercial Research Agreement, 1998⁷⁸). Este acuerdo fue firmado en 1998 por un término de tres años y su renovación se realizó a comienzos del 2002 bajo los mismos términos del contrato inicial (Paz Benavides, *com. pers.*).

⁷⁷ Cabrera J. 2002. Comparative policy review for access and exchange of genetic resources among Pacific Rim countries: The Costa Rican experience. University of California, Davis (Unpublished manuscript).

⁷⁸ Comercial Research Agreement. 1998. Established among the University of Utah, University of the Philippines and Department of Agriculture of the Philippines. Quezon City, Republic of the Philippines.

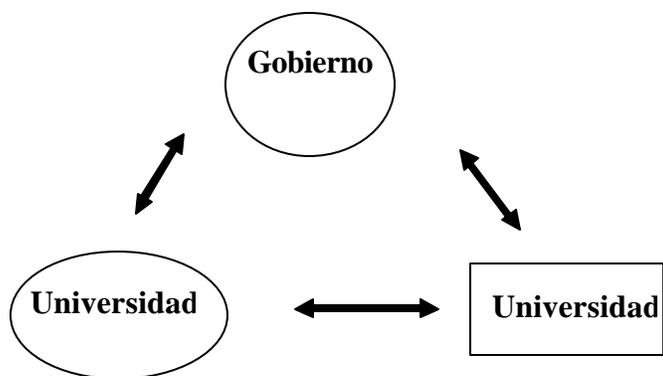


Figura 66. Modelo 6 relación contractual en un país con leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos. Ejemplo de Filipinas

1.1.1. Análisis

Desafortunadamente el modelo 1 (Figura 62) muestra que todavía hay ciertas organizaciones que tratan de evitar el mandato de distribución equitativa del CDB. En este caso no hubo contrato de distribución de beneficios firmado entre la Universidad de Suiza y su socio principal en Zimbabwe; igualmente el proveedor del recurso genético y su conocimiento asociado no fue considerado en el arreglo contractual de distribución de beneficios firmado por la Universidad de Suiza con la compañía farmacéutica. El modelo 2 (Figura 63) presenta una relación contractual más equitativa, en la cual, uno de los mayores beneficios que está recibiendo Malasia es la asociación comercial entre la compañía farmacéutica y el Gobierno Estatal de Sarawak. Es importante aclarar que ésta relación contractual se estableció diez años después de que las especies de *Calophyllum* fueran identificadas como fuente de compuestos anticancerígenos. Situación que no ocurre con los acuerdos actuales de bioprospección en los cuales varios beneficios inmediatos se pueden acordar desde antes de que las plantas sean colectadas.

El modelo 3 (Figura 64) ilustra los miembros de los países industrializados del GCIB de Chile, Argentina y México que establecieron un contrato de distribución de beneficios entre ellos, luego la Universidad de Arizona, actuando como intermediario, firmó contratos independientes con representantes de los países ricos en biodiversidad (ej., Chile, Argentina y Mexico). En este caso es importante resaltar que los miembros de los países ricos en biodiversidad no pudieron negociar directamente los beneficios con la compañía farmacéutica norteamericana que es la que en el futuro estará comercializando cualquier producto derivado de este acuerdo; por otra parte, los representantes de Estados Unidos del GCIB de Surinam establecieron el contrato entre ellos y una compañía farmacéutica del mismo país la cual seguramente tuvo la oportunidad de negociar sus intereses (modelo 4, Figura 64). En ninguno de estos acuerdos la máxima autoridad ambiental del gobierno de los países ricos en biodiversidad tuvo la oportunidad de negociar una distribución equitativa de beneficios para su país ni para los proveedores de muestras. El establecimiento de acuerdos justos y equitativos entre bioprospectores de países industrializados y países ricos en biodiversidad es un paso necesario y esencial para legitimar los proyectos de bioprospección en países que han sido despojados de sus recursos genéticos sin compensación alguna. En países que carecen de leyes para regular el acceso a sus recursos genéticos (marco monconceptual A) esto sólo puede ser logrado en la medida en que representantes del gobierno y proveedores de los recursos genéticos tengan acceso a la mesa de negociación principal con las compañías farmacéuticas y otros actores de los países industrializados. El mejor ejemplo de este escenario es el caso de

INBio (Costa Rica), organización que como muestra el modelo 5 (Figura 65) estableció una relación contractual directa con la compañía farmacéutica del país industrializado. Por más de una década INBio (Costa Rica) ha acumulado un caudal de experiencias significativas en el campo de negociación y ejecución de proyectos de bioprospección.

En los países que cuentan con leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos (marco conceptual B) como Filipinas, el gobierno exige que los bioprospectores no sólo obtengan el consentimiento informado previo de los proveedores del recurso genético sino que también exista una negociación de beneficios directa entre los representantes principales del país industrializado y los proveedores de muestras. Este fue el caso del acuerdo negociado entre la Universidad de Utah y la Universidad y el gobierno de Filipinas (modelo 6, Figura 65). En síntesis, los modelos 5 y 6 ilustran las únicas relaciones contractuales entre países industrializados y países ricos en biodiversidad, donde los miembros se encuentran a un nivel de negociación similar; es decir, donde todas las partes tienen la oportunidad de negociar una distribución de beneficios que puede llegar a ser equitativa. Qué tan equitativo sea el acuerdo final depende de varios factores entre los que se cuentan la capacidad de los negociadores y el valor agregado que los miembros le dan a las muestras.

1.1.2. Compensación

En general, todos los acuerdos de bioprospección que se realizan actualmente entre empresas comerciales (ej., farmacéuticas) y sus socios, incluyen cláusulas de compensación monetaria y no monetaria. El pago de regalías, pagos iniciales, pagos “milestone”, tarifas contractuales, entrenamiento y transferencia de tecnología, son algunas de las estrategias utilizadas por algunas organizaciones de investigación farmacéutica de países industrializados para recompensar grupos de países ricos en biodiversidad. El nivel de compensación puede variar según el país beneficiado y su grado de industrialización (Rubin y Fish, 1994⁷⁹). Más aún, el nivel de compensación refleja el valor agregado por los participantes en iniciativas de bioprospección y el valor potencial o actual del mercado de un producto comercial final.

Algunas iniciativas de bioprospección han dado recursos para promover la conservación de la biodiversidad y para recompensar la contribución intelectual de comunidades tradicionales; las razones detrás de este comportamiento son no sólo de tipo ético sino económico. Al asegurar que las comunidades sean recompensadas por sus recursos las compañías extranjeras esperan garantizar la sostenibilidad de la base natural como fuente de nuevos productos farmacéuticos, agrícolas y biotecnológicos.

Regalías

Generalmente, las tasas de las regalías dependen del precedente fijado por la industria en acuerdos previos de bioprospección. Esta tasa también depende no sólo de los riesgos y contribuciones que implican el desarrollo del producto final, sino también del valor agregado (ej., conocimiento farmacéutico, etnobotánico y ecológico) que los colectores y otros colaboradores aportan a las muestras y extractos. Algunas iniciativas de bioprospección también han considerado importante adicionarle a las regalías una prima para asegurar la conservación de la diversidad biológica (Rubin y Fish, 1994). La tasa de las regalías es generalmente confidencial; sin embargo, varios autores han

⁷⁹ Rubin, S. M. y S. C. Fish. 1994. Biodiversity Prospecting: Using Innovative Contractual Provisions to Foster Ethnobotanical Knowledge, Technology, and Conservation. *Colo. J.Int'l EIntl. L. y Pol'y*, Vol 5:23, pp. 23-58.

divulgado que se pueden encontrar entre 0.2% y 5% dependiendo de la contribución de los actores al desarrollo de productos (Reid *et al.*, 1993⁸⁰, Tobin, 1994⁸¹).

Una de las contribuciones más significativas al desarrollo de productos derivados de la biodiversidad es el conocimiento tradicional, el cual en el pasado ha dado lugar al descubrimiento de medicamentos como el Prostratin (*Homalanthus nutans*), Taxol (*Taxus brevifolia*), Vinblastina y Vincristina (*Catharanthus roseus*) entre otras. Algunos proyectos como el GCIB implementado en Surinam (donde no existen leyes de acceso a los recursos genéticos) reconocen el papel que el conocimiento tradicional juega en el descubrimiento de medicinas y una de las cláusulas contractuales establece que si se desarrollan productos con base en el conocimiento de las comunidades locales, ellas serán recompensadas mediante una tasa de regalía confidencial; en este caso, estos dineros irán a un fondo fiduciario que servirá para financiar proyectos que contribuyan al bienestar de la comunidad. La figura del fondo también ha sido utilizada por otros proyectos para canalizar dineros que van a beneficiar comunidades tradicionales (Figura 67)⁸².

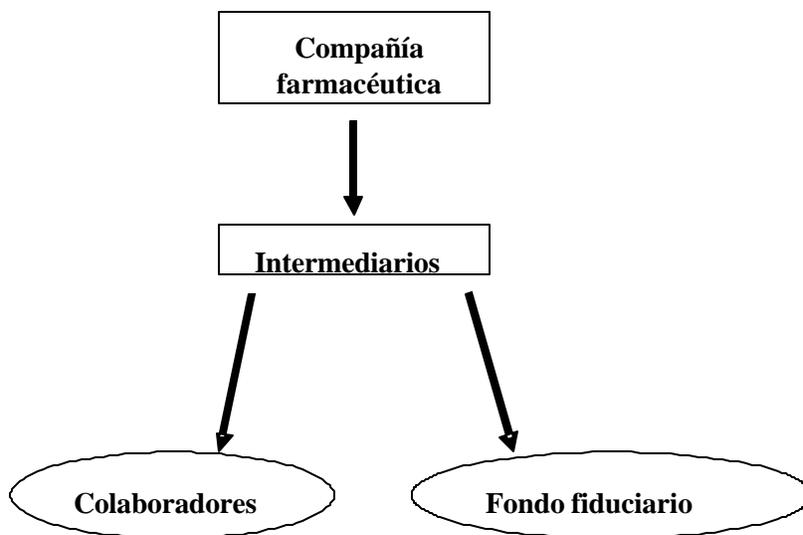


Figura 67. Modelo de distribución de regalías de los GCIB de Chile, Argentina, México y Surinam

La relación contractual entre los miembros de proyectos de bioprospección presentados en los modelos anteriores es un buen indicador de cómo será la distribución de regalías. Todavía no se sabe cuál va a ser el resultado de la renegociación del contrato entre la Universidad de Laussane

⁸⁰ Reid, W.V., S.A. Laird, R. Gámez, A. Sittenfeld, D.H. Janzen, Gollin, M.G., Juma, C. 1993. A New Lease on Life. In Reid, W.V., S.A. Laird, C.A. Meyer, R. Gámez, A. Sittenfeld, D. H. Janzen, M.G. Gollin, and C. Juma (eds.). Biodiversity Prospecting: Using Genetic Resources for Sustainable Development, World Resources Institute, USA.

⁸¹ Tobin, B. 1994. Putting the commercial cart before the cultural horse: A study of the International Cooperative Biodiversity Group Program in Peru. Unpublished ms.

⁸² Sin embargo, debido a eventos recientes es muy probable que de ahora en adelante la mayoría de los grupos de bioprospección traten de concentrar sus actividades en parques nacionales y zonas donde no se encuentran comunidades indígenas y donde no tienen la posibilidad de solicitar el conocimiento tradicional para la búsqueda de plantas debido a la oposición de múltiples comunidades indígenas a proyectos de bioprospección. Algunas comunidades asistidas por ONG internacionales activistas como ETC (anteriormente conocida como RAFI) critican fuertemente la labor de múltiples proyectos de bioprospección a nivel mundial. Por ejemplo, el GCIB Mexico-Maya fue cancelado a finales del 2001 debido a alegatos de biopiratería y a que aparentemente los actores del proyecto no consultaron debidamente a las comunidades. A mediados de los 90, los contratos del GCIB del Perú también tuvieron que ser renegociados debido a problemas que los bioprospectores tuvieron con la comunidad Aguaruna Guambisa.

(Suiza) y sus contrapartes de Zimbabwe, razón por la cual no se puede hablar aún sobre el flujo de regalías final que se presentará entre los actores del país que proporciono las muestras; sin embargo, si se mantiene la relación actual, la Figura 68⁸³ muestra que el flujo de regalías tendrá lugar únicamente entre actores de países industrializados.



Figura 68. Modelo de distribución de beneficios en el proyecto de la Universidad de Laussane en Zimbabwe

Con respecto al proyecto del INC en Sarawak (modelo 2, Figura 63), se asume que si en el futuro la compañía Advance Life Sciences Inc. comercializa algún medicamento elaborado con base en los Calanolides, las regalías serían divididas entre los miembros de la asociación comercial conformada por el Gobierno de Sarawak y Advance Life Sciences Inc. En este caso el INC también recibiría regalías dada su contribución a través de la identificación de los Calanolides (bin Osman, 2002). La Figura 69 sugiere que todas las partes han aportado recursos significativos a la sociedad y estos están representados en aportes monetarios (Gobierno de Sarawak) y conocimiento biotecnológico (Advance Life Sciences Inc y INC). En este modelo el Gobierno de Sarawak comparte tanto los riesgos como los beneficios de esta asociación; sin embargo, la distribución de regalías puede variar en el futuro según como se desarrollen los patrones de inversión (Ten Kate y Wells, 1998⁸⁴).

La Figura 67 muestra cómo las regalías de los modelos 3 y 4 de los GCIB son divididas entre los intermediarios de los países industrializados y los colaboradores de los países ricos en biodiversidad.

La Figura 70 ilustra uno de los escenarios más equitativos en que la regalía es repartida directamente con una organización del gobierno que proporciona la muestra y se prescinde del uso de intermediarios. Este es el flujo de regalías que tiene el INBio con sus socios comerciales (ej., Diversa); en este caso, 50% de esas regalías es entregado al gobierno para proyectos de conservación de biodiversidad.

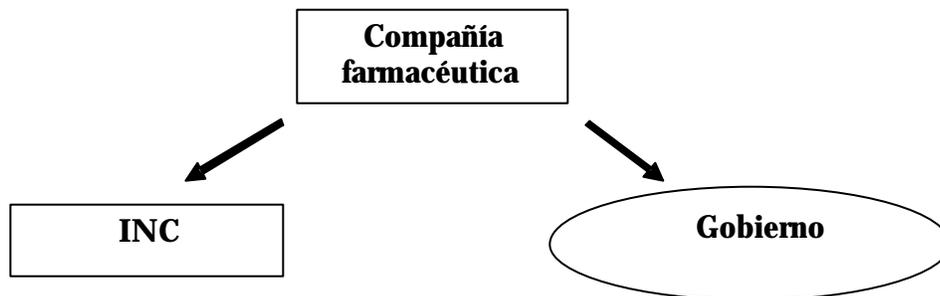


Figura 69. Modelo de distribución de beneficios en el proyecto del INC en Sarawak

⁸³ En cada uno de los modelos de flujo de regalías que están descritos a continuación los rectángulos representan los socios de países industrializados y las elipses simbolizan los socios de países ricos en biodiversidad de cada grupo de bioprospección.

⁸⁴ Ten Kate, K. y Wells, A. 1998. Benefit-Sharing Case Study: The access and benefit-sharing policies of the United States National Cancer Institute: a comparative account of the discovery and development of the drugs Calanolide and Topotecan.



Figura 70. Modelo de distribución de regalías de los proyectos de INBio en Costa Rica

La Figura 71 muestra cómo podría ser la distribución de regalías en el acuerdo firmado entre la Universidad de Utah, la Universidad de Filipinas y el Departamento de Agricultura de Filipinas (Figura 66, modelo 6). Si algún producto es comercializado por alguna compañía farmacéutica, las regalías y otros pagos correspondientes a licencias o pagos *milestone* que sean entregadas a la Universidad de Utah y la Universidad de Filipinas, serán compartidas con el Departamento de Agricultura de Filipinas y otros actores que hayan podido haber proporcionado las muestras utilizadas para el desarrollo del producto. Una cláusula controversial de la Orden Ejecutiva 247 que está presente en el contrato firmado entre las partes de este proyecto es que si se desarrollan inventos a partir de especies endémicas, la Universidad de Filipinas debe tener acceso a estos inventos sin necesidad de pagar regalía alguna.

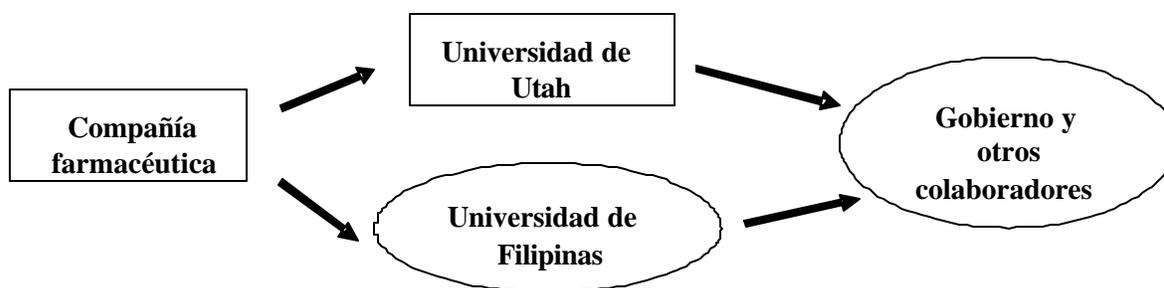


Figura 71. Modelo de distribución de regalías en el proyecto de la Universidad de Utah y el Gobierno de Filipinas

Los modelos de distribución de regalías que parecen ser más equitativos son los del INC (Figura 69), INBio (Figura 70) y Filipinas (Figura 71). El esquema actual de distribución de regalías de la Universidad de Laussane no incluye representantes de Zimbabwe, país, que proporciona las muestras y por lo tanto, se constituye como el mejor ejemplo de biopiratería o apropiación ilegal de los recursos genéticos de este país. El esquema de los GCIB ejecutados particularmente en Chile, Argentina, México y Surinam utiliza intermediarios del país industrializado que se apropian de un porcentaje de las regalías y el papel de estos intermediarios en algunas ocasiones puede ser desempeñado por representantes de los países que proporcionan las muestras. No obstante, este esquema reconoce la contribución de los socios de los países ricos en biodiversidad y les proporciona un porcentaje de las regalías si algún invento es comercializado (Figura 67).

Pagos iniciales y “milestone”

Usualmente, los pagos de avance apoyan un plan de trabajo predefinido que incluye costos de operación. Todos los proyectos de bioprospección descritos en este documento realizan estos pagos que les dan empleo a los colectores y técnicos que desarrollan extractos en los países proveedores de muestras; los pagos son dados al colector que puede ser una universidad, organización gubernamental o no gubernamental o una comunidad local. Dada la probabilidad tan

baja de obtener un producto a partir de los recursos genéticos puede que no existan regalías para las comunidades y organizaciones que aportaron su conocimiento tradicional. Debido a esto, los esfuerzos de negociación deben hacer énfasis en los pagos de avance y otros beneficios no monetarios. El único de los GCIB que ha realizado pagos iniciales como compensación del conocimiento tradicional ha sido el que se está ejecutando en Surinam. Este proyecto depositó US\$60.000 en un fondo fiduciario el cual ha financiado proyectos que proporcionan algunos beneficios directos a las comunidades tradicionales (Figura 67) e incluyen oportunidades de transporte para miembros de la comunidad a encuentros indígenas en Brasil y la compra de maquinas de coser, machetes y hachas que mejoraron la calidad de vida de algunas comunidades (Kingston *et al.*, 1999⁸⁵). Algunos de los pagos de avance de varias iniciativas de bioprospección también financian proyectos de conservación de la biodiversidad, aspecto que será discutido más adelante. Los pagos *milestone* se hacen en diferentes etapas del proyecto como cuando algún invento es realizado o para pagar costos relacionados con el registro y mantenimiento de patentes.

Beneficios no monetarios

Los beneficios no monetarios que generalmente se negocian en proyectos de bioprospección incluyen la transferencia de tecnología, oportunidades para entrenar científicos en universidades y laboratorios extranjeros, y el establecimiento de herbarios. Con excepción del proyecto de la Universidad de Laussane (Figura 62 y Figura 68), todas las iniciativas descritas en este documento han compartido algún tipo de beneficio no monetario; el entrenamiento, conocimiento y tecnología transferido por el INC, Medichem Research Inc. y Advance Life Sciences Inc al Gobierno de Sarawak han contribuido a la construcción, asociación comercial que en este momento se encuentra trabajando en los compuestos Calanolides A y B (Figura 63); asimismo, los beneficios no monetarios transferidos por las compañías farmacéuticas a INBio (Figura 65) han contribuido de manera importante a la construcción de la capacidad científica de esta organización (Jorge Cabrera, *com. pers.*).

Los beneficios no monetarios de los acuerdos de los GCIB de Chile, Argentina, Surinam y México han beneficiado, no a una organización en particular, sino a los socios que conforman estos grupos. Los socios comerciales de Estados Unidos han facilitado oportunidades de entrenamiento en técnicas biotecnológicas y también han transferido tecnología que incluye computadoras, geoposicionadores, vehículos, microscopios, y material de laboratorio a las contrapartes de los países que proporcionaron las muestras (Kingston *et al.*, 1999, Timmermann *et al.*, 1999).

El acuerdo firmado entre la Universidad de Utah, la Universidad de Filipinas y el Gobierno de Filipinas (Figura 66), le exige a la Universidad de Utah la transferencia de tecnología utilizada para el análisis de muestras y el desarrollo de productos potenciales. Este acuerdo también incluye las siguientes provisiones que contribuyen a la distribución equitativa de beneficios y protegen los derechos de los ciudadanos de Filipinas: 1) el Gobierno de Filipinas y las comunidades locales participantes en el proyecto tendrán acceso a todos los productos descubiertos con base en recursos genéticos de su país, siempre y cuando esto no perjudique aplicaciones existentes a patentes y otros derechos intelectuales de propiedad; 2) las partes de este acuerdo permitirán el acceso de cualquier ciudadano o entidad gubernamental filipina a los materiales depositados en

⁸⁵ Kingston, D.G.I. M. Abdel-Kader, B.N. Zhou, S.W. Yang, J.M. Berger, H. van de Werff, J.S. Miller, R. Evans, R. Mittermeier, L. Famolare, M. Guerin-McManus, S. Malone, R. Nelson, E. Moniz, J.H. Wisse, D.M. Vyas, J.J. Kim wright y S. Aboikonie. 1999. The Suriname International Cooperative Biodiversity Group program: Lessons from the first five years. *Pharmaceutical Biology*, 37:22-34

cualquier banco de germoplasma; y 3) todos los inventos, datos, documentos y publicaciones derivados de este proyecto incluirán una cláusula que reconozca el país y comunidad de donde los recursos genéticos y sus derivados fueron colectados. El acuerdo también exige que la Universidad de Filipinas entrene por lo menos a un representante del gobierno en la taxonomía de esponjas marinas o en la química de productos naturales mediante programas cortos de observación o pasantías.

2. Conservación y uso sostenible de la biodiversidad

La promoción de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad se puede entender como una forma de compensación monetaria y no monetaria. Monetaria si la compañía farmacéutica aporta un pago inicial para que organizaciones locales adelanten actividades en pro de la conservación de la biodiversidad, como sucede con los acuerdos firmados entre el INBio y sus socios comerciales; y no monetaria, si los miembros de estos proyectos desarrollan actividades de investigación, construcción de la capacidad local y otras iniciativas que pueden resultar en la declaratoria de áreas naturales, el establecimiento de herbarios y la realización de proyectos de propagación de especies promisorias. En general, los proyectos de bioprospección tienen el potencial de contribuir de manera positiva a la conservación de la biodiversidad aunque, también pueden ocasionar un impacto negativo a la estructura y composición florística de los hábitat donde se realizan las colecciones.

2.1. Implicaciones positivas

En general, la mayoría de los proyectos de bioprospección no han demostrado ser particularmente efectivos como motores que promueven programas significativos de conservación de la biodiversidad aunque existen algunas excepciones. Dentro de los esquemas de bioprospección analizados en este trabajo, INBio (Costa Rica) ha sido el más exitoso en la canalización de fondos para la conservación de la biodiversidad; este el mejor ejemplo de cómo recursos obtenidos de compañías biotecnológicas pueden apoyar programas de conservación de la biodiversidad. Entre 1991 y el 2000 INBio firmó nueve acuerdos comerciales de bioprospección con compañías biotecnológicas de países industrializados y estos acuerdos aportaron US\$2.7 millones a la conservación de la biodiversidad; el dinero fue distribuido al MINAE (el 10% del presupuesto de cada proyecto), a las áreas de conservación donde INBio trabaja, a las universidades públicas de Costa Rica y a otros grupos en INBio. INBio también debe darle al MINAE 50% de las regalías que reciba para ser utilizadas en la conservación de la diversidad; no obstante, ningún producto ha sido comercializado hasta el momento (Cabrera, 2002). Este esquema de financiación continuará cuando la Ley de Biodiversidad de 1998 sea operativa⁸⁶.

A pesar de que uno de los objetivos de los GCIB es promover la conservación de la biodiversidad, sus resultados en este sentido han sido marginales si se comparan con iniciativas de conservación adelantadas por los gobiernos de estos países y ONG ambientalistas. Los GCIB de Chile, Argentina, México y Surinam, por ejemplo, han promovido varias actividades que incluyen: 1) establecimiento de invernaderos para el cultivo de plantas medicinales; 2) inventarios taxonómicos de plantas; 3) remodelación de herbarios; y 4) talleres educativos. El GCIB de

⁸⁶ La Ley de Biodiversidad de Costa Rica fue aprobada por la legislatura de este país en abril de 1998. Sin embargo, fue demandada por ser inconstitucional y esto ha ocasionado que no se haya aplicado hasta el momento a ningún proyecto de bioprospección. En abril de 2002 la aplicabilidad de la ley todavía era incierta (Cabrera, 2002)

Surinam puede haber tenido una influencia indirecta y más que todo coyuntural, en la declaratoria de la Reserva Natural Central de Surinam (1.6 millones de ha.) en 1998 (Kingston *et al.*, 1999); aunque, este GCIB no tuvo una participación directa en la creación de la reserva. Dicha reserva fue creada gracias al trabajo independiente de la ONG Conservación Internacional (que coyunturalmente es uno de los miembros de este GCIB), la cual argumentó para convencer al gobierno, que la reserva protegería la oportunidad de bioprospectores como el GCIB para aprovechar comercialmente la biodiversidad de la región de manera sostenible, pero este fue un argumento marginal; el argumento que realmente convenció al Gobierno de Surinam fue un fondo de un millón de dólares que Conservación Internacional recaudó en Estados Unidos para el mantenimiento de la reserva, el cual hoy alcanza US\$15 millones gracias a aportes adicionales del Fondo Ambiental Global (GEF) y la Fundación de las Naciones Unidas (CI, 2000⁸⁷).

El proyecto del INC en Sarawak ha extraído el látex de los árboles *Calophyllum lanigerum* y *Calophyllum teysmannii* de una manera sostenible. Análisis de los árboles tres meses después de la extracción del látex no mostraron efectos adversos sobre los especímenes. Futuros experimentos analizarán el impacto de la extracción a largo plazo (entre 5 y 10 años). A pesar de ser especies comunes y relativamente abundantes, el Departamento Forestal de Sarawak ha realizado trasplantes de más de 6.000 individuos de *Calophyllum lanigerum* con una tasa de éxito relativamente alta; igualmente se han trasplantado cerca de 2.000 especímenes de *Calophyllum teysmannii* a bosques secundarios de una manera igualmente satisfactoria, experimentos futuros incluirán el análisis de los efectos ecológicos y fisiológicos del trasplante de estos organismos (Ten Kate y Wells, 1998).

El proyecto de la Universidad de Utah en Filipinas está obligado a implementar el mandato de la Orden Ejecutiva No. 247, con respecto a actividades que promuevan la conservación de la biodiversidad; por ejemplo, la Orden exige que se implemente un programa de monitoreo sobre el estado del área y las especies que son colectadas por los bioprospectores; asimismo, expone que debe haber un límite en el número de muestras que el bioprospector puede coleccionar y exportar.

Adicionalmente, la Orden Administrativa No. 9620 de 1996 que implementa las reglas y regulaciones para la prospección de recursos genéticos y biológicos, exige que el bioprospector pague un bono al gobierno como compensación del daño potencial de sus actividades y requiere que el bioprospector realice una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), si la secretaría técnica del gobierno decide que esto es necesario. El contrato del proyecto de la Universidad de Utah en Filipinas, señala que el impacto ambiental de este proyecto va a ser insignificante y exige el pago de un bono no mayor a 10.000 pesos filipinos (US\$200), dinero que será devuelto al finalizar el acuerdo. Este contrato también exige que el Departamento de Agricultura se encargue del monitoreo de las actividades del proyecto y le pide a la Universidad de Filipinas que contribuya al desarrollo y ejecución de un esquema de monitoreo de la bioprospección marina; según este acuerdo, la Universidad de Filipinas también debe realizar un módulo de información/educación sobre protección ambiental que esté dirigido a las comunidades que viven en las zonas donde las muestras serán colectadas. Asimismo, el contrato establece que la universidad ejecute una campaña sobre la protección, conservación de los recursos costeros y el valor de estos recursos.

⁸⁷ CI. 2000. Conservation trust brings economic opportunities to Surinam, Press Release. April 8.

2.2. Implicaciones negativas

Existe bastante evidencia sobre los impactos negativos que proyectos de bioprospección pueden ocasionar sobre los ecosistemas donde se realizan sus actividades. Una muestra de esto es que cerca de 200 especies de plantas medicinales han sido incluidas en los Apéndices del Convenio sobre el Comercio Internacional de Animales y Plantas Silvestres Amenazadas (CITES). El Apéndice I incluye especies que están en peligro de extinción cuyo comercio es prohibido y el Apéndice II incluye especies que también están amenazadas pero cuyo comercio se puede realizar con los permisos pertinentes. Por ejemplo, en África *Prunus africana*, ha sido vendida en el mercado de la botánica medicinal de Europa como tratamiento para la hiperplasia benigna de la próstata y ha sido cosechada de una manera insostenible por cerca de dos décadas; en consecuencia, esta especie fue puesta en el Apéndice II de CITES como especie vulnerable que necesita monitoreo (Cunningham *et al.*, 1997⁸⁸). Igualmente se sabe que *Trilepidea adamssi*, una planta endémica de Nueva Zelanda se extinguió, debido a que fue colectada en su totalidad (De Klemm, 1994⁸⁹). Además, el INC fue responsable de cosechar toda la población adulta del arbusto *Maytenus buchanii* (27.215 Kg), que es la fuente de compuesto anticancerígeno “Maytansine” (Oldfield, 1989⁹⁰).

No existe mucha información acerca de los impactos negativos sobre la conservación de la biodiversidad de los proyectos de bioprospección descritos en este trabajo y esto se debe en gran medida a que muchos de ellos no han sido monitoreados cercanamente por organizaciones independientes; se sabe que antes que el Gobierno de Sarawak implementara controles para asegurar la extracción sostenible del látex de las especies de *Calophyllum*, un individuo de esta especie que había sido identificado como la principal fuente del Calanolide A fue cortado. Curiosamente otros ejemplares de la misma especie nunca registraron niveles tan altos de este compuesto como el que se encontró en el espécimen que murió, lo cual se atribuye a posibles diferencias climatológicas que existen en los hábitat que ocupan los individuos de esta especie (Ten Kate y Wells, 1998).

⁸⁸ Cunningham, M.C., Cunningham, A.B. y Schippmann, U. 1997. Trade in *Prunus Africana* and the implementation of CITES. German Federal Agency for Nature Conservation. Bonn.

⁸⁹ De Klemm, C. 1994. Conservation Legislation. In Principles and Practice of Plant Conservation. Ed. D.R. Given, Timber Press, Oregon.

⁹⁰ Oldfield, M. L. 1989. The value of conserving genetic resources. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA.

CONCLUSIONES

La mayoría de los modelos aquí analizados, muestran que los proyectos de bioprospección no están distribuyendo los beneficios derivados de la biodiversidad de manera justa y equitativa. Asimismo, los objetivos de conservación y uso sostenible de la biodiversidad de estos proyectos son poco significativos si se comparan con iniciativas ambientalistas de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.

El análisis de los modelos 1, 3 y 4 (Figura 62, Figura 64, Figura 68 y Figura 67) implementados en el contexto del marco conceptual A (Figura 60), sugieren que los actores de los países ricos en biodiversidad no son tratados como verdaderos socios por parte de los bioprospectores de los países industrializados. Estos modelos muestran la clásica relación de tipo “centro-periferia” que explica también las desigualdades presentes en muchos procesos de desarrollo contemporáneos. Según este escenario, mientras que las actividades de bioprospección que tienen lugar en la “periferia” (ej. países ricos en biodiversidad) se limitan a asegurar que exista una fuente constante de muestras, las actividades que le agregan valor al producto y proporcionan una inversión significativa de capital en investigación se realizan en el “centro” (ej., países industrializados)⁹¹. Por otra parte, el modelo 2 (Figura 63 y Figura 69) y el modelo 5 (Figura 65 y Figura 70) sugieren que parte de la inversión del capital y construcción de capacidad local puede tener lugar en la “periferia” si se cuentan con los incentivos económicos adecuados para establecer alianzas estratégicas con los bioprospectores. En este escenario, la estrategia de bioprospección utilizada por INBio (modelo 5) que se fundamenta en la construcción de capacidad local, tiene una mayor probabilidad de éxito a largo plazo que la asociación comercial establecida en Sarawak para el aprovechamiento de los Calanolides A y B (modelo 2), la cual concluirá eventualmente si no se diversifica hacia el aprovechamiento de otras especies promisorias. INBio es el clásico ejemplo de cómo una organización puede obtener beneficios relativamente importantes para la conservación de la biodiversidad, sin la necesidad de contar con la ayuda de leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos⁹².

El modelo 6 implementado en el contexto del marco conceptual B (Figura 61 y Figura 66), sugiere que la inversión en la construcción de la capacidad local en la “periferia” se puede obtener mediante la asociación contractual que existe entre la Universidad de Utah y la Universidad de Filipinas. Sin embargo, cualquier beneficio que obtenga la Universidad de Filipinas corresponde a un arreglo contractual de tipo coyuntural, más que a una estrategia del país que se enfoque en el desarrollo de capacidad local para la ejecución de proyectos de bioprospección. Por otra parte, el modelo 6 también simboliza la soberanía que las leyes de acceso les otorgan a países ricos en biodiversidad y la oportunidad de éstos para dirigir el proceso de negociación y la distribución justa y equitativa de beneficios según su perspectiva local (Figura 66). Los proyectos que operan

⁹¹ A pesar de este análisis, algunos de los proyectos de bioprospección ilustrados por estos modelos argumentan que sus proyectos promueven una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la biodiversidad según el mandato del CDB. Esto indica que el debate conceptual sobre lo que debe ser una distribución justa y equitativa de beneficios debe continuar. La Conferencia de los Miembros del Convenio de Diversidad Biológica debe tomar el liderazgo en este sentido e indicar claramente que es lo que ellos entienden por distribución justa y equitativa en el contexto de los proyectos de bioprospección.

⁹² INBio ha tenido una influencia contundente en la filosofía de trabajo de varias organizaciones de biodiversidad de países como Malasia (Centro de Biodiversidad de Sarawak) y Colombia (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt) que han tratado de crear y concentrar la capacidad técnica y humana necesaria para aprovechar la diversidad biológica de manera sostenible tal y como INBio lo ha logrado a través de los múltiples acuerdos que ha firmado con compañías farmacéuticas extranjeras.

bajo este marco conceptual están obligados por las leyes de acceso a cumplir de manera estricta las leyes ambientales de cada país y asegurar la conservación y uso sostenible de la biodiversidad.

En este caso el gobierno tiene el mandato y los recursos financieros para implementar programas de monitoreo y asegurarse que lo pactado en los acuerdos se cumpla; desafortunadamente, las leyes de acceso como la Orden Ejecutiva 247 han probado ser un tanto restrictivas y exigentes, y no han facilitado la negociación de muchos proyectos de bioprospección⁹³. Desde 1995 el gobierno filipino ha recibido ocho solicitudes de acceso por parte de bioprospectores comerciales y 17 por parte de bioprospectores académicos, solo dos solicitudes (una comercial y una académica) han sido negociadas de manera exitosa (Benavidez, 2002⁹⁴); sin embargo, la realidad es, que a pesar de estas iniciativas locales de construcción de capacidad que pueden haber sido inspiradas por organizaciones como el INBio y promovidas por leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos, en cualquier modelo de bioprospección ejecutado hasta el momento en países subdesarrollados (que también son ricos en biodiversidad), la parte más significativa de inversión de capital y el mercadeo de productos se ha realizando en los laboratorios de las industrias localizadas en el “centro” (ej., países industrializados), lo cual significa que es preciso seguir trabajando en la construcción de la capacidad científica y en el desarrollo de estrategias de negociación de los países ricos en biodiversidad, para lograr conectar la brecha tecnológica que todavía separa la “periferia” del “centro” en este tipo de proyectos de cooperación internacional.

⁹³ En la región andina, Venezuela y Bolivia han sido los únicos países que hasta el momento han aprobado solicitudes de acceso bajo la Decisión 391. En general, la Decisión también ha probado ser restrictiva y su interpretación ha sido compleja para algunos países. Por ejemplo, este marco de acceso fue utilizado por el gobierno peruano para neutralizar las actividades del GCIB peruano hasta que este fuera adaptado a los nuevos requerimientos de la regulación peruana de la Decisión que deben ser aprobados este año (Manuel Ruiz, com. pers.). Colombia ha recibido nueve solicitudes de acceso desde 1997, una comercial y el resto de tipo académico (Ferreira 2002). Hasta el momento ninguna ha sido aprobada, lo cual se debe principalmente a factores de tipo político y técnico. Actualmente el Instituto von Humboldt está trabajando en una política nacional de bioprospección lo cual probablemente ayudará a aclarar las inquietudes de carácter técnico que se han tenido hasta el momento. Futuras administraciones tendrán que analizar si las condiciones políticas del momento permiten que se acepten solicitudes de bioprospección particularmente de carácter comercial.

⁹⁴ Benavidez, P. 2002. Comparative policy review for access and exchange of genetic resources among Pacific Rim countries: The Philippines experience. University of California, Davis (Unpublished manuscript).

ANEXO

1. PONENCIAS PRIMER TALLER NACIONAL

1.1. ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS

1.1.1. Fitorremediación de aguas y suelos mediante el uso de manglar

Institución: C.I. AGROSOLEDAD S. A.

Ponente: Luz Esther Sánchez

Contacto: luchamangle@hotmail.com

Financiación: ECOPETROL - Instituto Colombiano del Petróleo (I.C.P.), Fondo FEN y C.I. Agrosoledad S.A.

Duración de la investigación: Ocho años

Logros obtenidos: En 1992, a partir de los resultados de un trabajo de tesis realizado para la recuperación de suelos de manglar afectados críticamente por hidrocarburos, se obtiene información relevante que indica el poder fitorremediador del manglar en la recuperación de suelos hipersalinos sódicos y en los procesos de biorremediación con bacterias degradadoras de hidrocarburos. A partir de esto se inicia un proceso investigativo con el Instituto Colombiano del Petróleo en donde se trabaja con suelos afectados por aguas de producción de la industria del petróleo, obteniendo resultados exitosos. Se continúa la investigación, hasta llegar al diseño de un piloto industrial a manera de biorreactor para el tratamiento de las aguas de la industria del petróleo, paralelo a esto en una finca camaronera perteneciente a la empresa C.I. Agrosoledad S.A. ubicada en el departamento de Córdoba, se aplica el poder fitorremediador del manglar mediante la creación en 1996 de un humedal artificial para el tratamiento primario de las aguas de producción de la industria camaronera, manejando caudales de 6-8m³/seg. Los resultados obtenidos en más de un año de monitoreos mensuales de DBO5 y SST, demuestran la alta eficiencia del sistema; para DBO5 alcanzando remociones del 129% y para SST del 108%, observándose que el agua sale del humedal con menos carga contaminante inclusive si se compara con las aguas del sistema natural de donde se captan, a partir de noviembre del 2001 se comienza una segunda fase de investigación aplicada que busca recircular el 100% de las aguas del humedal a finales del 2002. Adicionalmente el humedal después de seis años de construido se ha convertido en verdadero refugio de la diversidad biológica; no solo al promover nuevas áreas de manglar (ecosistema con una alta tasa de devastación), sino porque en el humedal se registra abundante fauna y se ha constituido en un nicho importante para la recuperación del caimán aguja (*Crocodylus acutus*), especie amenazada. Se concluye que el sistema es altamente efectivo para el tratamiento primario de las aguas, siendo un ejemplo más del desarrollo sustentable y

confirmando la eficiencia de la aplicación de tecnología propia, sencilla y natural en la solución de problemas.

Resultados obtenidos: Patente Res.04716 del 29 de Feb del 2000. "Utilización de manglares en el control de salinidad y metales pesados de aguas de producción de la industria del petróleo". Instituto Colombiano del Petróleo. Coinventores: Dr. Jorge Luis Grosso. Biol. Luz Esther Sánchez. Biol. Ricardo Restrepo. Biol. Dario Avendaño.

Parámetros de diseño de un biorreactor industrial: para el tratamiento primario de aguas. de aguas de producción con contenido de sales y metales pesados

Métodos innovadores de selección, activación y siembra de manglar.

Proyecciones: Tratamiento primario avanzado de las aguas de la agroindustria del camarón.

Mejoramiento genético filial de la especie para obtener resistencia al frío.

Definir Parámetro de diseño para el tratamiento primario de aguas domésticas.

Montaje de biorreactor piloto para el control de cromo y sales de las aguas de producción de la industria curtidora.

1.1.2. Reproducción y cultivo de poliquetos marinos, como fuente alternativa de alimento fresco para suministrar a reproductores de camarón marino

Institución: IDELCALAO LTDA.

Grupo de investigación: Gustavo Adolfo Velásquez López y Mauricio Quitian

Ponente: Gustavo Adolfo Velásquez López

Contacto: velaluna@netscape.net

Objetivo: Sustituir la importación de poliquetos marinos requeridos por la industria de maduración y reproducción de camarones marinos, la cual alcanza a al fecha un volumen cercano a los 800 kilos/mes.

Financiación: C. I. Agrosoledad S. A. e Idelcalao Ltda.

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Primera etapa: inicio en septiembre del 2000 con fin de la primera etapa en octubre del 2001. Correspondió a la fase de exploración del proyecto. Segunda etapa: Inicio en marzo del 2002 y presenta metas de cultivo para finales del 2002.

Durante la primera etapa se realizo la búsqueda de especies de poliquetos que por morfología lograran cumplir con las necesidades de consumo de los reproductores de *Penaeus vannamei*, la exploración se realizo en los fondos de las piscinas camaroneras de la finca Agrosoledad S. A. y el la zona sur occidental de la bahía de Cispatá.

Se analizaron nueve especies de poliquetos y se seleccionaron a dos de ellas por su tamaño como base de partida para buscar su reproducción bajo condiciones de laboratorio y obtener el ciclo cerrado de producción. Las dos especies seleccionadas fueron clasificadas preliminarmente como *Neantes (nereis) succinea* y *Marphysa sanguinea*.

La especie clasificada inicialmente como *Marphysa sanguinea* se encuentra actualmente en un proceso de reclasificación taxonómica ya que presenta diferencias significativas en la composición numérica, espacial y morfológica de las estructuras taxonómicas importantes como son las lámelas branquiales, los ganchos aciculares y el aparato mandibular. Es posible que se trate de una especie aun no clasificada.

Se logro la reproducción inicial de las dos especies estudiadas y posteriormente la maduración y reproducción de la generación obtenida bajo condiciones de cultivo en laboratorio, con lo que se establece el ciclo cerrado de producción cumpliendo el objetivo de no depender de animales de medio natural para futuras producciones.

Se describió el desarrollo larval para ambas especies y se determinaron los requerimientos mínimos de manejo requeridos para lograr el levante de las larvas, los juveniles y los adultos hasta su talla reproductiva. Se logro un rendimiento inicial para el cultivo de la especie *Marphysa* sp., correspondiente a 211 g/m².

Proyecciones: Se identificaron necesidades de investigación asociada en los temas de control de reproducción, mecanismos de alimentación, análisis bromatológico y manipulación de los contenidos de ácidos grasos en la población cultivada. Se identificaron los primeros puntos de análisis a nivel de patología y de control de fauna acompañante.

La segunda etapa de investigación pretende explorar un mayor número de poliquetos con potencial de cultivo, ampliar la búsqueda a otras áreas de nuestra costa Atlántica y buscar en la costa Pacífica en donde por condiciones ambientales son reportados los poliquetos con mayor tamaño.

1.1.3. Diagnóstico y evaluación de la factibilidad biológica, técnica y económica del cultivo experimental de moluscos bivalvos de interés comercial en el Caribe

Institución: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" - INVEMAR.

Grupo de investigación: PRIMERA FASE: Juan Pablo de La Roche, Adriana Valero, Carolina García, Claudia Castellanos, Alonso Córdoba, Javier Gómez, Socorro Sánchez, Carlos Torres y Mario Rueda. SEGUNDA FASE: Adriana Valero, José González Porto, Claudia Castellanos y Lorena Aja

Contacto: fnewmark@invemar.org.co

Financiación: INVEMAR, BID, BPIN, Fondo para la Acción Ambiental y Centrum Für Internationale Migration Und Entwicklung - CIM de Alemania

Duración de la investigación: primera fase dos años, segunda fase año y medio

Logros obtenidos: El objetivo de este proyecto fue evaluar la factibilidad biológica, técnica y económica para el desarrollo de la acuicultura de varias especies de moluscos bivalvos en las regiones de Santa Marta y La Guajira

Durante el estudio, se analizaron algunos aspectos económicos, de comercialización y mercadeo del cultivo de bivalvos a nivel piloto. Se complementó la dinámica poblacional de las especies promisorias, se confirmó la baja oferta de semilla y la escasa fijación de juveniles en ambiente natural. Igualmente se compararon las artes y densidades para el cultivo de ostiones (*Liropecten nodosus* y *Argopecten nucleus*) y se logró la reproducción y desarrollo larval de la ostra perlífera *Pinctada imbricata* en el ámbito de laboratorio.

Se llevo a cabo una experiencia preliminar con pescadores artesanales mediante un taller de capacitación teórico práctico para lo cual se elaboró una cartilla ilustrativa sobre el cultivo de bivalvos y un vídeo informativo.

Entre mayo y diciembre de 2000, una serie de actividades se realizaron con el propósito de socializar y divulgar los aspectos obtenidos en el proyecto. Actualmente se concluyeron dos publicaciones como resultado de la información básica y aplicada generada en el proyecto después de varios años de estudio en algunas zonas del Caribe colombiano. Los documentos en mención son: "Una guía práctica ilustrada para el cultivo de algunas especies de bivalvos" y una publicación especial, en prensa, sobre las especies de bivalvos identificadas como promisorias para la acuicultura, aspectos relacionados con la ecología, dinámica poblacional, épocas de desove, crecimiento y supervivencia en cultivo, larvicultura de las especies, entre otros están involucrados en la publicación.

Se realizaron experimentos de acondicionamiento de reproductores, inducción al desove y desarrollo larval en cautiverio, para las especie *Argopecten nucleus* y *Lyropecten nodosus*, obteniendo por primera vez para Colombia una descripción detallada del proceso reproductivo y desarrollo larval. El estadio de semilla o juvenil se alcanzó 25 días después del desove.

Como productos de esta investigación se destacan la capacitación de cinco tesis de pregrado, uno de maestría, la participación en dos cursos y en 10 congresos internacionales, la publicación de dos cartillas ilustrativas del cultivo, una publicación en la Revista Colombia Ciencia y Tecnología de COLCIENCIAS y una publicación especial en proceso de edición.

1.1.4. Búsqueda de sustancias bioactivas en organismos marinos colombianos

Institución: Universidad de Antioquia - Departamento de Farmacia

Grupo de investigación: Productos Naturales Marinos

Ponente: Alejandro Martínez

Contacto: amart@muiscas.udea.edu.co

Objetivo: Búsqueda de sustancias con actividad biológica, presentes en organismos marinos colombianos

Financiación: Universidad de Antioquia y COLCIENCIAS

Logros obtenidos: Desde su génesis, ha venido desarrollando proyectos de investigación en líneas relacionadas con la actividad antimicrobiana y antiparasitaria, especialmente a partir de esponjas y algas marinas del Caribe colombiano. Entre los principales resultados obtenidos hasta ahora se destacan el aislamiento de sustancias de tipo esteroide, el sulfato de halistanol, una sustancia con actividad antimicrobiana y activa contra el virus del sida. Por otro lado, de una esponja marina del género *Ircinia*, se aisló una fracción esteroide con actividad antiparasitaria, la cual se encuentra en proceso de caracterización actualmente. También se ha verificado la existencia de sustancias con actividad antimicrobiana en macroalgas. Estos resultados se han publicado en revistas especializadas y se han presentado en varios congresos científicos, y ha llevado a que el grupo sea catalogado dentro de la categoría C, promisorio, por COLCIENCIAS en el año 2000.

En particular la Universidad de Antioquia, ha aprobado proyectos que benefician al grupo en infraestructura para seguir desarrollando nuevas investigaciones, aquí se destaca la compra de equipos de alto costo como un Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear, y recientemente un equipo de Cromatografía Líquida HPLC. Recientemente el grupo ha planteado y le ha sido aprobado el desarrollo de un proyecto de tamizaje de esponjas marinas del Golfo de Urabá, para explorar si las especies existentes en esta área geográfica hasta ahora inexplorada, contienen sustancias con actividad biológica útil para el potencial desarrollo de medicamentos.

También se están elaborando propuestas de investigación para la obtención de sustancias antiparasitarias, mediante extracción directa a partir de los organismos marinos y por hemisíntesis química. En este taller se presentaron los resultados más importantes hasta ahora obtenidos, resaltando la enorme importancia que tiene la bioprospección para el caso de los recursos marinos, y para el desarrollo de nuevos proyectos de investigación con los recursos marinos colombianos.

1.1.5. Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Química

Grupo de investigación: Carmenza Duque, Sven Zea, Oscar Osorno, Mónica Puyana, Coralia Osorio, Alicia Lucía Morales y Edgar Bautista

Ponente: Carmenza Duque

Contacto: cduqueb@ciencias.unal.edu.co

Duración de la investigación: Veintidós años.

Logros obtenidos: El grupo cuenta con dos líneas principales de investigación: Productos Naturales Marinos y Química y Tecnología del Aroma de Frutas de Colombia. Sin embargo, en algunas secciones específicas de este perfil solo se tratarán los aspectos pertinentes a la línea de Productos Naturales Marinos.

El grupo de investigación empezó hacia el año de 1980 con la asociación de Carmenza Duque y Sven Zea. Esta asociación fructifica en esta década con la ayuda financiera de COLCIENCIAS para los proyectos de investigación: “Química y Bioquímica de Invertebrados Marinos Colombianos, Fase I” y “Actividad Biológica de Esponjas Marinas recolectadas en el Caribe Colombiano, Fase II”. Mediante estos proyectos se logró establecer la primera línea de investigación del grupo: “Productos Naturales Marinos”. Durante esta década también empezaron los primeros trabajos sobre la química del aroma de frutas y sobre la forma de preparar aromatizantes como productos con mayor valor agregado que el material fresco.

En la década del 90 las dos líneas de investigación del grupo se desarrollaron en forma paralela con el apoyo institucional del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia y con la ayuda financiera de entidades como COLCIENCIAS, la Unión Europea e IPICS (International Program in the Chemical Sciences, Uppsala University, Suecia). Aunque el grupo trabaja interdisciplinariamente (químicos, farmacéuticos, físicos y biólogos), éste tiene su centro en el Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, pero se encuentra estrechamente relacionado con los Departamentos de Física, Farmacia y Biología de la misma Universidad. Además vale la pena mencionar que en la línea de Productos Naturales Marinos, el grupo interactúa entre otros como, el INVEMAR, Biomar S. A., el Instituto de Tecnología de Tokio, el Instituto de Oceanografía de Scripps de la Universidad de California y la Universidad de la Coruña.

El grupo de investigación principalmente genera conocimiento en el campo del estudio y posible aprovechamiento de nuestros recursos naturales marinos (fauna y flora). El estudio de nuestra biodiversidad marina no está solamente ligado a la evaluación de la clase y abundancia de especies sino que va mucho más allá de la simple descripción química y biológica. Es por esta razón que las investigaciones que realizamos traspasando la frontera de lo biológico se centran en la química de la fauna y la flora, conocimiento que permite valorar el provecho económico que podría sacarse de nuestras especies por ejemplo, las esponjas marinas y gorgonáceos como fuentes de nuevos fármacos y compuestos de uso dermatológico y las frutas como fuentes de aromatizantes y colorantes. Adicionalmente, es importante no olvidar que la química *per se* que se hace en este grupo de investigación por descripción de la composición de cada especie, estudio de las rutas de formación de cada metabolito presente, estudio de la ecología química de las especies etc., son aportes significativos al conocimiento químico universal, lo cual interesa por igual a Colombia y a los demás países del mundo.

Resultados obtenidos: Algunos hitos importantes en el desarrollo del grupo, relacionados con la línea de Productos Naturales Marinos han sido:

- a) Producción de conocimiento en química de alto nivel: Publicación de 38 artículos científicos (27 en revistas internacionales y 11 en revistas nacionales). Publicación de un libro de la línea de Productos Naturales Marinos. Publicación de tres capítulos en libros. Participación en reuniones científicas con 44 ponencias.
- b) Establecimiento de la línea de maestría en productos naturales marinos. Se han graduado cuatro estudiantes hasta la fecha.
- c) Establecimiento de la línea doctoral en productos naturales marinos (1994). A la fecha se han graduado tres Doctores en Ciencias Químicas.
- d) Establecimiento de proyectos de investigación conjuntos con universidades europeas con el aval de la Unión Europea.
- e) Graduación del cuarto doctor en Ciencias Químicas en el país (1996), primero en el área de Productos Naturales Marinos, con tesis laureada por un jurado internacional.
- f) Ganador del concurso de COLCIENCIAS de Grupos de Excelencia en investigación 1996, 1998 y 2000.
- g) Tres miembros del grupo (C. Duque, S. Zea y A. Martínez) han sido galardonados en los concursos de estímulos a los Mejores Investigadores Colombianos.
- h) Se ha logrado después de un largo proceso, un acercamiento con la industria farmacéutica española (Biomar S.A.) para investigación conjunta de productos bioactivos extraídos de nuestra fauna marina.

Proyecciones: “Evaluación química del gorgonáceo *Pseudopterogorgia elisabethae* del Archipiélago de San Andrés y Providencia, para la producción de extractos orgánicos ricos en pseudopterósinas, potentes compuestos antiinflamatorios”. Proyecto a ocho meses financiado por COLCIENCIAS y por la Universidad Nacional de Colombia.

Las pseudopterósinas son diterpenos glicosidados aislados a partir del gorgonáceo *Pseudopterogorgia elisabethae*. Estos compuestos presentan excelente actividad antiinflamatoria y analgésica. Líneas cosméticas desarrolladas a partir de las pseudopterósinas han tenido un éxito arrollador debido a su eficacia en calmar inflamación, enrojecimiento y detener procesos de deterioración especialmente en la piel del rostro. La demanda de extractos purificados de *P. elisabethae* ricos en pseudopterósinas es muy alta. Sin embargo, el volumen de extracto disponible está limitado por la oferta de material animal que en la actualidad sólo proviene de las islas Bahamas. Por esta razón existe un especial interés en explorar el potencial de este recurso en otras localidades del Caribe.

Dado que *Pseudopterogorgia elisabethae* crece con cierta abundancia en áreas protegidas del Archipiélago de San Andrés y Providencia, esta propuesta pretende determinar la viabilidad de este recurso para su eventual extracción sustentable o cultivo en el área. Se pretende evaluar la abundancia de las poblaciones naturales de esta especie y su potencial en términos de contenido general de pseudopterósinas. Este proyecto es una contribución significativa a la evaluación de nuestra importante y abundante fauna marina en cuanto al establecimiento de su potencial químico aprovechable a nivel industrial. A nivel más específico pretendemos determinar composición química de la fracción polar de las poblaciones del gorgonáceo *Pseudopterogorgia elisabethae* del archipiélago de San Andrés y Providencia, con particular énfasis en la verificación de la existencia de pseudopterósinas o nuevos compuestos químicos.

1.2. ÁREA ANIMAL

1.2.1. Selección asistida por marcadores moleculares en bovinos

Institución: CORPOICA - CEISA

Grupo de investigación: Fernando Ariza Botero, Investigador principal y Luisa Fernanda Peña Cortes, Coinvestigadora

Ponente: Luisa Fernanda Peña

Contacto: luiferpe@latinmail.com

Objetivo: Selección de animales basada en la detección de genotipos de características cuantitativas para selección precoz y exacta.

Financiación: CORPOICA-CEISA. Corporación de investigación y producción animal.

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: Actualmente la estimación de los valores en programas de mejoramiento animal, es obtenida a partir de las mediciones fenotípicas de una población. El desarrollo de nuevas tecnologías como lo son los marcadores moleculares ha permitido la identificación de regiones específicas dentro del genoma en las cuales se localizan genes de importancia económica para las ganaderías, particularmente aquellos con efectos substanciales sobre las características cuantitativas (QTL) que son difíciles de medir y que poseen una baja heredabilidad.

Fases del estudio:

Primera fase: Establecer las familias

Segunda fase: Crear un mapa de ligamiento

Tercera fase: Detectar QTL

La selección de animales basada en la detección de genotipos de características cuantitativas permite una selección precoz y exacta, que puede incrementar en un 40% la respuesta a la selección a corto y mediano plazo y puede asistir en la determinación de genotipos específicos para diferentes medio ambientes de producción. Detección de QTL para características responsables de la calidad de carnes.

Proyecciones: Detección de QTL en calidad de carnes de canal en ganado Romosinuano
Detección de QTL para la resistencia de contra la fiebre aftosa en ganado BON.

1.2.2. Estudios moleculares en proteínas de uso industrial

Institución: HOLOS Sistemas Sostenibles de Colombia

Grupo de investigación: Cesar Mauricio Rojas Rojas, Néstor Guillermo Rojas, Iván Montoya, Rafael Camacho, Jazmín Ardila y Carlos Romero

Ponente: Cesar Mauricio Rojas Rojas

Contacto: cemar18@hotmail.com

Objetivo: Purificación y estabilización de principios activos proteicos de animales invertebrados con usos industriales enfocados a la producción animal y a la medicina

Financiación: Donación extranjera

Duración de la investigación: Once años y continúa

Logros obtenidos: En los primeros años se diseñó un equipo industrial de separación de proteínas el cual trabaja generando gradientes de pH y separando gradualmente los componentes con cargas de una solución. El proceso de estandarización llevó a purificar y concentrar las diferentes proteínas para determinar cuáles de ellas tenían una función estructural, enzimática o de protección de los puntos activos de dichas enzimas.

Durante todas las etapas del proceso se cuantificaba la cantidad de proteínas separadas y su actividad enzimática, la cual resultó ser más activa que los reportes que habíamos recibido de otros procesos de selección en Japón y Eslovaquia. Durante este proceso de estandarización hemos encontrado algunos marcadores que pueden inducir una mayor actividad enzimática. Dichos marcadores estimulan a las células productoras de enzimas a producir proteínas con una mayor actividad biológica. Los resultados han sido confirmados no sólo con muestras del país sino del exterior, donde hemos encontrado que en promedio la actividad de nuestras enzimas se incrementa unas 3,5 veces por mg.

Paralelamente se realizaron ensayos en campo introduciendo algunas enzimas en los concentrados de pollos de engorde para confirmar los resultados obtenidos en otros países, según los cuales en los lotes de ratones donde se introducían las enzimas los animales crecían más rápidamente y no se observaban efectos colaterales. Se realizó un ensayo en pollos broiler en Colombia donde se necesitaron menos días para llegar a un peso final propuesto (36 días a 1.720gr vs 42 días a 1.705gr el control), y el índice de conversión de alimento se redujo de 1,94 a 1,65.

Estos resultados se presentaron en el exterior donde propusieron financiar la siguiente fase del proyecto si se demostraban los resultados obtenidos en una empresa avícola. Se llevó el equipo configurado para extraer y purificar las enzimas y se produjo el aditivo alimenticio el cual fue entregado a una empresa que realizó su propio ensayo sin nuestra verificación. Los resultados fueron exactamente iguales a los obtenidos adicionando antibióticos como la furazolidona, (cuyo uso está prohibido por dejar residuos en la carne). La gran ventaja de este tipo de promotores de crecimiento es que no tienen efectos colaterales y presentan una excelente opción para conquistar mercados de pollo orgánico producido rentablemente. El proyecto de producción del producto ha

sido suspendido por los costos iniciales de la materia prima que son muy altos hasta que se ensamblen en una economía de escala.

Mediante una donación extranjera se pasó a la siguiente fase de investigación sobre alimentación en humanos. Se estandarizaron los perfiles enzimáticos de amilasas, proteasas, lipasas, celulasas y glucocinasas para poder emular diferentes resultados en la corrección de problemas metabólicos de humanos. La base para este proceso fue dada por empresas del exterior que nos facilitaron los datos de actividad enzimática para obtener resultados en pacientes con dislipidemias, diabetes, problemas de presión arterial, aterosclerosis y tromboflebitis. Se preparó una mezcla de las enzimas que tienen mayor actividad específica que la reportada en el exterior y se produjo un alimento líquido para humanos. Debido a los resultados anteriores que tuvimos en aves y a los datos de otras empresas recibimos el visto bueno de otros investigadores del exterior para regalar muestras gratis del alimento a personas voluntarias.

Actualmente tenemos un 80% de efectividad en la corrección de dislipidemias, más de un 90% de efectividad en pacientes diabéticos complicados (los cuales continúan con la terapia recomendada por el médico) y un 95% de efectividad para corregir los síntomas hipoglicémicos. Los pacientes diabéticos llegan a un estado de normoglicemia antes de cuatro meses y requieren vigilar su terapia de insulina o hipoglicemiantes orales ya que estas sustancias están induciendo episodios no deseados de hipoglicemia.

Los pacientes manifiestan que ha mejorado la perfusión vascular lo que corrobora los efectos de las enzimas trombolíticas para solucionar eventos de tromboflebitis. Los pacientes con niveles ligeramente altos de colesterol indican un leve aumento en los primeros meses de consumo del alimento; estos resultados concuerdan con los efectos de las enzimas trombolíticas similares a la plasmina en los procesos de remodelación vascular, benéficos para controlar los eventos ateroscleróticos. Los pacientes control no han sufrido alteraciones y al realizar controles de glicemia y perfil lipídico no presentan ninguna alteración salvo la reducción de triglicéridos y colesterol a rangos más seguros.

1.2.3. Estudio de dinámica poblacional y filogenia en poblaciones de peces de la cuenca del río Putumayo (propuesta de trabajo)

Institución: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). Área Biodiversidad, Programas: Ecosistemas Acuáticos y de Recursos Genéticos

Grupo de investigación: Edwin Agudelo Córdoba, Juan Carlos Alonso González, Claudia L. Sánchez Páez, Gladys Inés Cardona Vanegas y Marcela Nuñez Avellaneda

Contacto: www.sinchi.org.co

Objetivo: Ampliar el conocimiento de la diversidad biológica de las diferentes poblaciones de las especies de peces de la cuenca del río Putumayo, utilizando estrategias que determinen su adecuado manejo, conducente al aprovechamiento racional del recurso para el beneficio de las comunidades locales y del país y contribuir al desarrollo sostenible de la Amazonía.

Objetivos específicos: Colectar germoplasma (tejido animal) de las diferentes especies de peces, en las poblaciones naturales a lo largo de la cuenca del río Putumayo.

Determinar por AFLP los posibles marcadores moleculares que caractericen las poblaciones de peces muestreadas.

Efectuar los análisis correspondientes que determinen la variabilidad de la estructura poblacional de las poblaciones de peces muestreadas.

Financiación: BPIN

Duración de la investigación: 2002-2004

Logros obtenidos: De la experiencia ganada en múltiples investigaciones realizadas por el Instituto SINCHI, es permisible afirmar que de los procesos extractivos efectuados en la región amazónica, la pesca es considerada como una de las actividades más importantes. Su comercialización está integrada por lo menos por 96 especies diferentes de peces, 32 de las cuales se aprovechan como ornamentales, 51 para el consumo humano y 13 permiten la doble finalidad. Sin embargo, y a pesar de su importancia, no se cuenta aún con una identificación precisa de las especies y es poco lo que se conoce sobre la biología de la mayoría de ellas, puesto que las investigaciones sobre el recurso íctico han sido aisladas y dispares, cada una apuntando a intereses distintos, permitiendo únicamente esbozar de manera puntual algunos lineamientos para su manejo.

Además, el inadecuado manejo de los recursos pesqueros y la sobrepesca, tanto en aguas continentales como marítimas, han ocasionado que algunas especies presenten disminución en su “stock” pesquero con riesgo en algunas de ellas a la extinción. Se plantea entonces, la necesidad de establecer una ordenación pesquera que apunte hacia una pesca responsable, a la conservación de la biodiversidad, a la aplicación del principio precautelatorio y de los criterios de rendimiento máximo sostenible y rendimiento máximo económico, buscando integralmente que los recursos tengan vigencia biológica y sigan cumpliendo su papel como soporte del desarrollo socioeconómico.

Para tal fin se lleva a cabo el proyecto Manejo Integral de la Pesca de manera conjunta por las unidades técnicas de Colombia y Perú, el cual busca realizar estudios básicos e investigaciones sobre las principales especies de consumo y ornamental y sus medios de extracción para derivar en una propuesta de reglamentación para la administración conjunta de la pesca por parte de Colombia y Perú, que propenda por el desarrollo socioeconómico y la sostenibilidad ambiental de la población que habita en el área. Uno de los puntos a tratar en el objetivo general, busca generar alternativas de conservación del recurso pesquero en los ríos Amazonas, Putumayo y Caquetá y por lo tanto, llevar a cabo investigaciones sobre aspectos de bioecología de las especies nativas que soportan mayor presión extractiva o constituyen una alternativa de producción.

En la actualidad, el escaso conocimiento sobre la biodiversidad amazónica y específicamente, en la dinámica de las poblaciones de peces sometidas a explotación, hace necesario que se empleen metodologías de trabajo en diferentes áreas de la investigación para resolver este vacío de conocimiento. Para reforzar tal fin, se permite proponer una actividad de investigación conjunta entre dos programas del área de biodiversidad del Instituto SINCHI, ecosistemas acuáticos y

recursos genéticos con el fin de utilizar herramientas de biología molecular para la generación de información sobre la diversidad biológica, el desarrollo de modelos de conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos acuáticos de la Amazonía colombiana.

El empleo casi cotidiano para ello de las técnicas en biología molecular, ha permitido la apertura de múltiples posibilidades para la validación y el monitoreo de la biodiversidad. El empleo de algunas técnicas permite realizar la identificación de la variabilidad biológica en dos niveles: obtener diferencias entre especies y variabilidad intrapoblacional o intraespecífica.

1.2.4. Diagnóstico y taxonomía de babosas, plagas en cultivos de la región del oriente antioqueño

Institución: Universidad Católica de Oriente - Grupo de Investigación de Sanidad Vegetal

Ponente: José Rodrigo Moreno Suárez

Contacto: jmoreno@uco.edu.co

Objetivo: El proyecto pretende adelantar el estudio de babosas plagas en cultivos hortícolas, frutales, ornamentales, leguminosas y viveros de la región del oriente antioqueño, y está concebido para analizar y evaluar los daños causados por la plaga en los cultivos; se estudiará la distribución poblacional, el comportamiento y la biología de los grupos de babosas más representativos, se hará la respectiva identificación taxonómica y se establecerá una colección de referencia de las familias identificadas como plagas en los cultivos de interés. Se desarrollarán y evaluarán metodologías de control en laboratorio y posteriormente en campo, con el propósito de lograr un manejo biorracional de la plaga. Se conformará además un semillero de malacología con estudiantes de la UCO, coordinado por el grupo de investigación de sanidad vegetal

Financiación: Inicialmente el proyecto se financia con recursos del Sistema de Investigación y Desarrollo de la Universidad Católica de Oriente. Actualmente se buscan otras fuentes de financiación

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Las babosas son gastrópodos que pertenecen al Phylum Mollusca. La mayoría de los países en los que el sector agrícola es un renglón económico importante, reportan a estos invertebrados como plagas que inciden de forma significativa en los rendimientos de sus cultivos.

En la región del oriente antioqueño no se tienen registros taxonómicos ni estudios de la biología, comportamientos, hábitos y ciclos de vida de babosas-plagas en cultivos, ni se han emprendido estudios que determinen y evalúen los daños causados a los cultivos; tampoco se han investigado los comportamientos residuales en aguas y suelos por el uso de control químico sobre las babosas.

Dado que los cultivadores de la región tienen razones de orden económico y que los estudios científicos en Colombia relacionados con poblaciones de babosas como plagas son incipientes, por los aspectos de salud humana involucrados con la manipulación de algunas especies de babosas, como también por la incidencia ambiental causada por el uso de químicos, se hace necesario adelantar estudios relacionados con la taxonomía, ecología, ciclo de vida y daños en los cultivos de estos gastrópodos.

Durante este estudio se han obtenido los siguientes resultados:

- De acuerdo con las características fenotípicas externas de las babosas recolectadas en cultivos de flores, y apoyados en claves taxonómicas, se ha logrado agruparlas en 16 taxa, correspondientes probablemente a 16 especies.
- Se han hecho descripciones taxonómicas iniciales acorde con características externas; así mismo se han realizado disecciones en diferentes especies para llegar a aproximaciones de familia y género.
- Se ha observado que algunos taxa son altamente susceptibles al ataque de ácaros, bajo condiciones de laboratorio.
- Se ha observado un hongo infectando huevos, el cual se ha aislado para su identificación y posterior estudio de patogenicidad, que sería una herramienta en el control biológico de babosas.

Proyecciones:

1. Establecer metodologías biorracionales de control biológico para las babosas plagas de cultivos de flores, propuesta inicial.
2. Realizar el diagnóstico y taxonomía de babosas plagas en otros cultivos de interés económico de la región.
3. Patogenicidad y propagación del nemátodo Phasmarhabditae hermafrodita para el control biológico de babosas plagas.

1.2.5. Aspectos históricos, geográficos y sociológicos de un pez nativo: la sabaleta

Institución: Universidad de Antioquia - Facultad de Ciencias Agrarias

Grupo de investigación: Martha Olivera-Ángel, Camilo Prieto, Hermes Pineda, Lina María Carrillo, Diego Pareja y Felipe Montoya

Ponente: Martha Olivera-Ángel

Contacto: molivera@carios.udea.edu.co

Financiación: Grupo de Fisiología y Biotecnología de la Reproducción

Logros obtenidos: Una de las especies nativas de más importancia es la sabaleta (*Bricon henni*); es una especie reofilica, migratoria y endémica del río Cauca y sus afluentes como el Concepción, Nare, Anorí, Nechí, Guatapé, Caracolí, Nus y Porce (Zamora *et al.*, 2001). Pertenece a la familia Characidae, Bryconinae. Las características propias de esta especie como régimen alimentario

omnívoro, forma ahusada de su cuerpo, agilidad y velocidad le ha permitido adaptarse a cursos de agua donde otras especies no habitan: quebradas tributarias con cuencas hidrográficas altas, condiciones pulsantes y oferta de hábitat, alimento y de nicho deficientes (Zapata y Vanegas, 1993 y Empresas Públicas de Medellín, 1998).

La capacidad de subir a quebradas tributarias convierte a la sabaleta en una fuente importante de proteína para autoconsumo y consumo comercial para los habitantes de estas riveras, siendo también atractiva para la pesca deportiva.

La pesca artesanal de esta y otras especies genera empleo directo a cerca de 100.000 pescadores y beneficia indirectamente a sus familias calculado en 500.000 personas sin considerar a los comerciantes, acopiadores y recolectores de los productos de pesca (Arias, 1995).

Estudios recientes han evidenciado la disminución en el número, tamaño, longitud y proporción macho/hembra (2,9:1) en esta especie (Magallanes y Tabarez, 1999) lo que demuestra la importancia de realizar estudios para su conservación y promoción en nuestro país.

Arias, A. P. 1995. Mujer pescadora, su rol en la pesca y la acuicultura. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. Bogotá.

Empresas Públicas de Medellín. 1998. Dirección de Planeación. Unidad de Planeación de Recursos Naturales. Proyecto hidroeléctrico Ponce III. Estudio de complementación y actualización de la factibilidad técnica, económica y ambiental del proyecto hidroeléctrico Ponce III. Vol. 2. Bogotá.

Magallanes M. H., Tabarez, M. M. 1999. Informe final del estudio de los efectos del proyecto hidroeléctrico Ponce II, sobre la fauna íctica. Empresas Públicas de Medellín, gerencia generación de energía, división Ponce II, Departamento gestión ambiental. Medellín.

Zapata O. L., Vanegas P. R. 1993 Aspectos importantes sobre la reproducción inducida y el metabolismo de las gónadas de la sabaleta *Brycon henni*. Trabajo de grado para optar al título de Biólogo. Universidad de Antioquia, Medellín.

1.2.6. Caracterización molecular de peces continentales, caracterización de fauna bentica de ríos y lagos, diversidad del fitoplancton, perifiton y zooplancton, diversidad de anurofauna e historias de vida de peces de agua dulce

Institución: Universidad del Tolima

Ponente: Francisco Antonio Villa Navarro

Contacto: favilla@ut.edu.co

ESTUDIO BIOLÓGICO PESQUERO DE LA REPRESA DE PRADO, PARA LA DETERMINACIÓN DE ESPECIES PROMISORIAS EN ACUICULTURA

Grupo de investigación: Francisco Antonio Villa Navarro

Financiación: Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Secretaría de Desarrollo del Tolima, Comité Departamental de Cafeteros del Tolima.

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Información sobre la historia de vida de *Ageneiosus caucanus*, *Pimelodus grosskopfii*, *Rhamdia sebae*, *Petenia umbrifera*, *Oreochromis niloticus*, *Geophagus steindachneri*, *Potamotrygon magdalenae* y *Sternopygus macrurus*. Caracterización hematológica de *Ageneiosus caucanus* y *Pimelodus grosskopfii*. Escogencia de *Petenia umbrifera* como especie promisoría en acuicultura, inicio de trabajos conducentes a establecer su viabilidad técnica y económica por parte del INPA.

ESTUDIO DE LOS TRICOPTEROS DEL RÍO COMBEIMA, EN EL TRAYECTO COMPENDIDO ENTRE JUNTAS Y EL TOTUMO, MUNICIPIO DE IBAGUÉ

Grupo de investigación: Gladys Reinoso Flórez y Edward Rossler

Financiación: Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Caracterización de las distintas especies del grupo. Patrones de distribución asociados a factores físico-químicos.

ESTUDIO DEL PERIFITON DEL RÍO COMBEIMA

Grupo de investigación: Francisco Antonio Villa Navarro, Sergio Losada Prado y Martha Isabel Quintana

Financiación: Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima

Duración de la investigación: Año y medio

Logros obtenidos: Identificación de las distintas especies de microalgas que conforman el perifiton y su fauna acompañante. Correlación de la abundancia de *Cocconeis* sp. con la concentración de fósforo en la parte media del río Combeima.

ESTUDIO DE LA ANUROFAUNA DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ

Grupo de investigación: Manuel Hernando Bernal Bautista

Financiación: Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima.

Duración de la investigación: Año y medio

Logros obtenidos: Identificación de treinta y seis (36) especies de anuros. Patrones de distribución de acuerdo con factores altitudinales. Elaboración de un libro de campo sobre la anurofauna del municipio de Ibagué.

ESTUDIO LIMNOLÓGICO DEL EMBALSE DE PRADO (TOLIMA)

Grupo de investigación: Francisco Villa Navarro y Gladys Reinoso Flórez

Financiación: Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Caracterización del fitoplancton, perifiton, zooplancton y macrofauna bentónica del embalse de Prado. Correlación de la diversidad y riqueza con los distintos factores físicoquímicos del embalse de Prado.

CARACTERIZACIÓN DE LAS POBLACIONES DE *PIMELODUS CLARIAS* Y *P. GROSSKOPFII* (SILURIFORMES: PIMELODIDAE) EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA (COLOMBIA) CON MARCADORES MOLECULARES

Grupo de investigación: Francisco Villa Navarro, Gustavo Adolfo Vallejo, Fernando Zapata y Guillermo Barreto

Financiación: Comité de Investigaciones Universidad del Tolima, Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de La República y Universidad del Valle

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Poblaciones de *P. grosskopfii* en el medio y alto Cauca aisladas. Posible presencia de subpoblaciones de las dos especies en el río Magdalena.

1.2.7. Cría y manejo de abejas sin aguijón (hymenoptera: meliponini) en Colombia

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Biología - Sede Bogotá

Ponente: Guiomar Nates Parra

Contacto: gnates@ciencias.unal.edu.co

Logros obtenidos: Las abejas sin aguijón son un grupo típico de nuestra América Tropical y se consideran los principales polinizadores del 90% de la flora neotropical. Además, presentan una alternativa de explotación de un recurso subutilizado, especialmente por la población indígena y campesina de Colombia. El país no tiene una tradición de meliponicultura tan acentuada como

existe en otros países de Sur y Centroamérica, indígenas y campesinos mantienen meliponinos, pero muchas veces como simple curiosidad y con el objetivo de tener miel disponible para usos medicinales.

Se realizó un trabajo de evaluación sobre las especies de abejas sin aguijón utilizados por comunidades campesinas, especialmente en la región central de Colombia (Cundinamarca), los usos dados y los sistemas de manejo. Posteriormente se iniciaron proyectos de cría y manejo de las especies más usadas en algunas regiones de Cundinamarca.

Las especies que más se manejan en Colombia, para obtención de miel son *Trigona angustula* (angelita), *Melipona favosa* (rabipintada), *M. compressipes* (guare negra), *M. eburnea* (alá), *M. gr. fasciata* (sapa) entre otras. Las poblaciones de algunas especies del género *Melipona* se han reducido dramáticamente en algunas regiones del país debido a “caza” intensiva para obtención de miel. Se presentan resultados sobre el desarrollo de los proyectos establecidos.

1.2.8. Factibilidad para el desarrollo de un modelo de explotación sostenible de peces ornamentales

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Biología - Sede Bogotá

Grupo de investigación: Myrian Lugo R. y Gabriel Guillot, Departamento de Biología Universidad Nacional; Saulo Usma, INCIVA - Cali y Lucena Vásquez, Universidad Nacional sede Palmira

Ponente: Myrian Lugo Rugeles

Contacto: mylugorugeles@hotmail.com

Objetivo: Se plantea en este proyecto conocer las bases económicas, sociales, bioecológicas y de mercado actuales de la explotación de peces ornamentales en la zona de acopio del municipio de Puerto Gaitán (Meta) y promover la participación asociativa empresarial de los pescadores del municipio para el manejo sostenible de las especies. Como objetivos específicos: Actualizar y complementar la información socioeconómica de captura, acopio y mercadeo de la actividad de pesca ornamental; evaluar los hábitat lénticos y lóticos donde ocurren las capturas; evaluar la riqueza y abundancia de los peces ornamentales en los principales puntos de extracción del municipio de Puerto Gaitán durante dos ciclos hidrológicos del año; promover la concientización sobre la necesidad de la sostenibilidad del recurso y fomentar la asociación participativa; diseñar el modelo de sostenibilidad en conjunto con la comunidad y socializar los resultados.

Financiación: Por conseguir recursos. Se tramitará ante entidades como DINAIN, COLCIENCIAS y una ONG internacional. Se cuenta con el apoyo logístico en la zona del Grupo Fundación Federico Medem

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Los peces ornamentales o de acuario constituyen un negocio internacional que genera divisas a los países que los exportan. Colombia exporta cerca de 18 millones de peces ornamentales con más de 100 especies provenientes de todas las cuencas. Las zonas de captura corresponden a zonas altamente marginales como la Orinoquía y Amazonía y la pesca ornamental es para muchas comunidades la única alternativa de ingresos aceptable, que compite con las actividades ilícitas y la baja productividad de los suelos. La explotación es totalmente sustraída del medio natural, las técnicas de acopio, y transporte son empíricas y en la comercialización del producto el menos beneficiado es el pescador.

La mayor parte de las especies de peces ornamentales exportados no se han identificado taxonómicamente a nivel de especie y no se conocen las tallas mínimas de desove, ya que las tallas de exportación son las preferidas por los clientes en el extranjero, por lo que posiblemente muchas especies se exportan en estado alevino, afectando drásticamente la dinámica de las poblaciones.

La sostenibilidad del recurso sólo puede darse a la luz del conocimiento bioecológico, tecnológico y de mercado de las especies explotadas por lo que se necesita de acciones concretas concertadas con las comunidades que se benefician; donde se concilie el beneficio económico con la sostenibilidad ecológica y que permita una mejor participación económica del pescador.

1.2.9. Estructuración de una Unidad Académica en Ciencias Biológicas para la docencia, investigación y extensión de la Universidad Nacional de Colombia

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Bioterio Central - Sede Bogotá

Grupo de investigación: Jaime A. Umaña A.

Ponente: Jaime A. Umaña A.

Contacto: jumana46@hotmail.com

Financiación: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Logros obtenidos: La creación, fundación y establecimiento del Bioterio Central de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá en 1985 con sus unidades de producción (ratones, ratas, conejos, hámster, curies, entre otros), de experimentación (investigación biomédica en biomodelos animales) y de animales silvestres (recepción, rehabilitación biológica, médica y zootécnica, re inserción o repoblación en áreas naturales, etc.) ha logrado la estructuración de una Unidad Académica para las Ciencias Biológicas (Biología, Medicina Veterinaria, Zootecnia, Medicina, Psicología, Química, Farmacia, Enfermería, Odontología y profesiones afines) fundamentado en los lineamientos trazados por la misión de la Universidad, el PLAMEX y sus respectivas UDEX (Unidades de experimentación) en una forma transdisciplinaria, interfacultades e interinstitucional. Es por ello, que tal núcleo del quehacer universitario ha obtenido los siguientes logros:

DOCENCIA

1. Revisión, actualización y reformulación de las cátedras de Biología y Ecología para Medicina Veterinaria y Ecología y Fisiología Ambiental para Zootecnia.
2. Creación de las cátedras electivas y de profundización.
 - Electiva animales silvestres y de laboratorio en 1988. Han cursado y aprobado alrededor de 1.000 estudiantes de pregrado de las carreras de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Biología, Medicina, Psicología, Química, Farmacia, Ingenierías, Enfermería, entre otras.
 - Electiva etología animal en 1990. Igualmente han cursado cerca de 700 estudiantes de las carreras señaladas en el numeral anterior.
 - Línea de profundización animales silvestres y de laboratorio desde 1995. Han cursado un total de 100 estudiantes especialmente de las carreras de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Biología, Psicología. Se han graduado 50 alumnos y los restantes están adelantando los diferentes módulos de la línea, sus pasantías o el trabajo de grado. Es preciso destacar que la mayoría de estudiantes de la línea han desarrollado sus pasantías/prácticas o trabajo de grado o están realizando tales actividades en diferentes instituciones (Universidades públicas o privadas, institutos de investigación, zoológicos, zocriaderos, corporaciones, ONG, tanto nacionales como extranjeras). Más de una docena de estudiantes lo han hecho en otros países como: Brasil, Costa Rica, Ecuador, España, Panamá, Estados Unidos, Canadá.
3. Creación de grupos de estudio. Compuesto por un Profesor(a), un Coordinador(a) estudiante, un Secretario(a) estudiante, un Revisor(a) estudiante.
 - Zoocultura de 1993 a 1998.
 - GEAS (Grupo de estudio en Animales Silvestres) desde 1998.
 - BIOFAUNA (Grupo de estudio en Fauna Silvestre) desde 1999.
 - GEBEA (Grupo de estudio Bioterios y experimentación animal) desde 2001.

Siempre ha existido el soporte científico-académico de expertos permanentes o temporales en salud o producción animal, biología; psicología o de técnicos capacitados e idóneos.

INVESTIGACIÓN

En los 17 años de vigencia de la Unidad Académica en mención, se han desarrollado un buen número de proyectos de investigación con el auspicio de diversos organismos nacionales e internacionales, como: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Nacional de Salud de Colombia, COLCIENCIAS, Instituto de Inmunología de la Universidad del Valle, JICA/JAPÓN, OPS/OMS, BID, ICFES etc.

EXTENSIÓN

1. Eventos académico-científicos nacionales e internacionales con una participación activa en calidad de organizador o conferencista en un número aproximado de 50 eventos.
2. Cursos de educación continuada, asesorías o consultorías. En total 30 cursos en la temáticas: Técnicas de restricción, captura, transporte, toma y envío de muestras para laboratorios, cría en cautiverio, rehabilitación, reinserción o repoblamiento, etología, necropsia, nutrición, salud etc.
3. Capacitación. Permanentemente se han ofrecido cursos de capacitación a personas interesadas con diferentes niveles de formación académica (profesionales, estudiantes, técnicos y auxiliares) tanto al interior de la Universidad Nacional como a otras instituciones de educación secundaria, superior, de investigación pública y privada y empresa privada en las temáticas de su interés. Existen los archivos correspondientes, con los análisis estadísticos retrospectivos o prospectivos pertinentes.

Proyecciones: Continuidad y mejoramiento de las tareas de la misión de la Universidad Nacional de Colombia en cuanto a docencia, investigación y extensión que le compete a la infraestructura de la Unidad Académica en referencia.

Gestión para la búsqueda de recursos financieros para el desarrollo de proyectos de investigación en animales silvestres y de laboratorio.

Fortalecimiento de la red de comunicaciones y el centro de documentación interinstitucional y transdisciplinario.

1.2.10. Cosecha de huevos de babilla (*Caiman crocodilus crocodilus*) en vida silvestre e incubación *ex situ* bajo invernadero

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Centro de Investigación Estación de Biología Tropical Roberto Franco. Programa Diversidad Genética y Gestión Sostenible de Fauna

Ponente: Jaime Ramírez Perilla

Contacto: ebtrf@col1.telecom.com.co

Objetivo: Cosechar huevos en vida silvestre aprovechando la viabilidad tecnológica de incubación en invernadero con sustrato de compost

Financiación: Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria PRONATTA y Universidad Nacional de Colombia (Estación de Biología Tropical Roberto Franco)

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: Los productos derivados de cocodrilos representan el 61% del total exportado de derivados de fauna silvestre en Colombia desde 1916 hasta 1994. A la fecha se exportan anualmente 600.000 pieles de *Caiman crocodilus fuscus* (subespecie de la región Caribe y valles interandinos colombianos) con un total acumulado de 3.785.031 pieles entre 1988 y 1998 producidas en zocriaderos industriales legalmente establecidos.

Entre 1988 y 1996, en Colombia se hicieron inversiones hasta por dos mil millones de pesos por zocriadero, con autorizaciones para establecer desde 800 hasta 6.000 reproductores en cautividad por cada unidad productiva, muchas de las cuales (zocriaderos) han tenido que cerrar debido a los altos costos de producción y a la disminución de los precios en el mercado internacional por sobreoferta de los países tropicales.

Dentro del mercado de pieles de 1,2 m no existirán posibilidades de participación por parte de las comunidades rurales que viven en áreas silvestres donde es factible aprovechar excedentes de producción cosechables sosteniblemente. El área de distribución geográfica y cosecha potencial de *Caiman crocodilus* en Colombia es de 870.481 km², es decir, el 64% del territorio nacional continental.

Existe un nicho de mercado de pieles de babillas de 60 cm de longitud total que sería posible satisfacer a partir de cosecha de huevos en vida silvestre, incubados artesanalmente para la obtención de crías que deberían ser vendidos a zocriaderos pequeños con licencia comercial. La limitante es la carencia de información acerca del potencial de cosecha sostenible y falta de tecnología de incubación confiable, aplicable en los fundos.

Mientras que el costo de producir un neonato (recién nacido) de babilla es de US\$4 a US\$5.5 en zocriaderos, en sistemas de cosecha a partir de vida silvestre valdrían tan sólo 10 a 50 centavos de dólar (US\$0.1 a US\$0.5). Los zocriaderos industriales deben producir animales de 1.2 m. de longitud cuya piel tiene un precio en el mercado de US\$27; pieles obtenidas de animales de 60 cm valen US\$8.

Algunas comunidades rurales en Colombia como las de las sabanas inundables de la Orinoquía podrían beneficiarse de la factibilidad ecológica de cosechar huevos en vida silvestre aprovechando la viabilidad tecnológica de incubación en invernadero con sustrato de compost, desarrollado a través de este proyecto financiado por el Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria, PRONATTA, y la Universidad Nacional de Colombia (Estación de Biología Tropical Roberto Franco) y cuyos resultados se sintetizan a continuación.

La temporada de postura de *Caiman crocodilus crocodilus* en Villavicencio fue en 1998 desde el 7 de junio hasta el 14 de septiembre, es decir, durante 978 días; comparativamente, en el año 2000, la postura se inició el 19 de julio y finalizó la primera quincena de septiembre; temporada de 51 días. En los dos años, el porcentaje acumulado de posturas cada quince días, obedece a una tendencia de regresión lineal que se explica mediante la ecuación $Y = 0.0109X$ ($R^2 = 0.9778$), donde Y es porcentaje de postura y X es día después de iniciada la temporada de postura.

Fue hecho el seguimiento diurno y nocturno de los cambios de temperatura, cada tres horas, hasta por 24 horas, dentro de nidos con huevos bajo invernadero de plástico y polisombra y un nido en el bosque, durante cinco semanas, con tres repeticiones cada semana, y se comparan con las mismas fluctuaciones del invernadero a la misma hora y fecha, igual que bajo la cubierta del bosque y en cielo abierto con determinación y comparación de sus rangos circadianos. La temperatura promedio del nido en el bosque fue de 28,4°C (máx. 30,6 °C y mín. 24,4 °C) y la de los nidos bajo invernadero fue de 30,5 °C (máx. 32,9 °C y mín. 25,6 °C) mientras que la temperatura promedio en el bosque fue de 24 °C (máx. 35,1 °C y mín. 19°C).

Existen diferencias estadísticas significativas (p -valor = 0.0001) entre los promedios de temperatura de los nidos bajo invernadero y el nido en el bosque, y de estos comparados con las del invernadero o las del medio ambiente y del bosque (estas últimas no difieren entre sí); sin embargo, cuando se comparan las diferencias entre los rangos de temperatura diurna y nocturna se hace evidente que el rango es mayor en el invernadero (14,4°C) y difiere estadísticamente de los rangos promedios del medio ambiente (9,97°C) y bosque (8,2°C) o de los nidos bajo el invernadero (1,2°C) o *in situ* (1,14°C). Los nidos no difieren entre sí; tampoco los rangos promedios diurnos y nocturnos entre cielo abierto y bosque; pero sí entre estos y aquellos.

El hecho de que un buen porcentaje de los huevos nacieron tanto en el nido del bosque como en los que se incubaron bajo invernadero, significa que la temperatura de incubación y sus rangos de variación (mínimo absoluto de 24,4°C en el bosque y máximo absoluto de 32,9°C en uno de los nidos bajo invernadero) fueron fisiológicamente adecuados para el desarrollo del embrión. Sin

embargo, una temperatura constante de 24°C causa el 100% de mortalidad como lo comprobamos en incubadoras artificiales.

La concentración de CO₂ bajo el dosel del bosque y cielo abierto (398,91 ± 80,94 p.p.m. y 357,39 ± 41,93 p.p.m., respectivamente) son estadísticamente iguales pero diferentes de la concentración dentro de la cámara de incubación de los nidos que en promedio es 10 veces superior (3.760,08 ± 247,13 p.p.m. de CO₂, p-valor= 0.0001). No existen diferencias estadísticas significativas en la concentración de oxígeno dentro de los nidos (p-valor=0,5078) que es excelente (19,74 ± 1,19% de O₂) aunque sí entre lugares (bosque, cielo abierto e invernadero, p-valor 0,0033). La H.R. (%) dentro de los nidos fue superior al 96%, mientras que la del bosque fluctúa entre 69,5% y 78,03%; cielo abierto de 66,65% a 70,14% de H.R.

1.2.11. Antecedentes, estado actual y proyecciones del control biológico de plagas agrícolas en Colombia, con énfasis en artrópodos y entomopatógenos

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira

Ponente: José Iván Zuluaga C.

Contacto: (2) 271 7000 ext. 5265

Objetivo: Control de problemas fitosanitarios propios de la producción agrícola nacional, relacionados con artrópodos plaga (insectos y ácaros) y propuesta de solución, el control biológico propiamente dicho (con base en entomófagos) y el control microbial, que recurre a los microorganismos patogénicos a las plagas.

Logros obtenidos: El control biológico es una forma particular del control natural ejercido en los ecosistemas por factores bióticos y abióticos. Se reconoce, entonces, la existencia de un control biológico natural que regula permanentemente las poblaciones (animales y vegetales) y favorece la condición de balance o equilibrio en la naturaleza. De otra parte, el denominado control biológico inducido ocurre cuando el hombre interviene y manipula los agentes de regulación, especialmente en los agroecosistemas, con el fin de protegerlos de las plagas que afectan significativamente el proceso productivo.

Se considera que los principales agentes de control biológico de plagas agrícolas (insectos, ácaros, microorganismos dañinos) son de dos categorías: los entomófagos, que incluyen, según su forma de acción, a los parasitoides y a los depredadores o predadores; y los entomopatógenos, microorganismos (hongos, bacterias, virus, etc.) que causan enfermedades a las plagas en sus distintos estados de desarrollo.

Este aporte se refiere, como área de trabajo, fundamentalmente a los problemas fitosanitarios propios de la producción agrícola nacional, relacionados con artrópodos plaga (insectos y ácaros) y a una de las alternativas más importantes y promisorias para su solución, como lo es el control biológico propiamente dicho (con base en entomófagos) y el control microbial, que recurre a los microorganismos patogénicos a las plagas.

Al respecto se reconoce la existencia y uso de las alternativas de control convencionales (control cultural, químico y mecánico) y de las alternativas avanzadas y más racionales (control biológico, microbial y etológico, resistencia varietal, etc.), las cuales pueden ser mutuamente excluyentes o bien complementarias, desde el punto de vista práctico.

1.3. ÁREA DE MICROBIOLOGÍA

1.3.1. Investigaciones del Centro de Investigaciones Microbiológicas - CIMIC

Institución: Centro de Investigaciones Microbiológicas - CIMIC

Ponente: Jenny Dussán

Contacto: jdussan@uniandes.edu.co

El Centro de Investigaciones Microbiológicas – CIMIC tiene como misión la investigación en microbiología aplicada basada en tres áreas de investigación: Microbiología Ambiental, Microbiología Agrícola y Microbiología Industrial, que se encuentran altamente complementadas con el estudio en el ámbito molecular de los microorganismos de importancia en dichas áreas.

Investigaciones en curso

➤ **MICROBIOLOGÍA AGRÍCOLA**

HONGOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO Y SU EFECTO EN LA RIZOSFERA

Grupo de investigación: Catalina Botero, Alexander Pérez y Alejandro Acosta

Financiación: CIMIC

Duración de la investigación: Dos años.

El objetivo de este trabajo es determinar las interacciones existentes entre hongos solubilizadores de fósforo y las micorrizas arbusculares permitiendo una mayor eficiencia en la absorción de minerales por la planta en suelos de bajos niveles de nutrientes.

COMPOSICIÓN DE MICORRIZAS ASOCIADAS A BOSQUES DE DIFERENTES EDADES EN EL SANTUARIO DE FLORA Y FAUNA DE IGUAQUE, BOYACÁ

Grupo de investigación: Catalina Botero, Alejandro Acosta y Jaime Estévez

Financiación: Programa Jóvenes Investigadores Instituto Alexander von Humboldt y COLCIENCIAS.

Duración de la investigación: Dos años.

La riqueza y porcentaje de colonización de las micorrizas asociadas a las plantas depende de las características del suelo del bosque y de las condiciones ambientales presentes en el lugar. En este trabajo se pretende caracterizar la riqueza de endomicorrizas y ectomicorrizas asociadas a las

especies vegetales de mayor importancia presentes en diferentes estadios sucesionales de bosques altoandino del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque. La importancia del trabajo es el aporte al conocimiento de los microorganismos presentes en los suelos de nuestro país y sus posibles aplicaciones, un área poco investigada hasta el momento.

EFICIENCIA DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES (M.A) EN LA PRODUCCIÓN DE FOLLAJE EN LA ESPECIE DE PASTO COLOSUANA EN EL MUNICIPIO DE COROZAL, SUCRE

Grupo de investigación: Catalina Botero y Alexander Pérez

Financiación: Universidad de Sucre

Duración de la investigación: Dos años

Se determinará la eficiencia de los hongos formadores de micorriza arbuscular en la producción de follaje de *Colosuana* mediante un ensayo de tres etapas: La fase de campo, en la que se coleccionarán las muestras; la fase de laboratorio, en la cual se identificarán las micorrizas y la capacidad de colonización y el ensayo de invernadero, donde se determinará la eficiencia de las micorrizas aisladas sobre la replicación del pasto *Colosuana*.

DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE CEPAS MICOTOXIGÉNICAS EN MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN ALIMENTACIÓN DE ANIMALES MONOGÁSTRICOS EN COLOMBIA

Grupo de investigación: Gonzalo Díaz, Alexandra Acuña y María Caridad Cepero de García

Financiación: Universidad Nacional de Colombia

Duración de la investigación: Un año

Se determinará el potencial toxigénico de cepas nativas de hongos del género *Fusarium* y *Aspergillus* con el fin de producir y purificar tricotocenos tipo-A como DAS (Diacetoxiscirpenol), toxina T-2, zeralenona, fumonicinas y aflatoxinas. Se comprobarán los efectos en aves de postura y engorde, porcinos y ratas.

➤ MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL

IDENTIFICACIÓN DE PSEUDOMONAS PUTIDA, BURKHORDELIA CEPACIA, RHODOCOCCUS RUBER MEDIANTE PCR

Grupo de investigación: Martha Vives y Liz Patricia Suárez

Financiación: Comité de Investigaciones de la Facultad de Ciencias - UNIANDÉS

Duración de la investigación: Un año

El objetivo de este trabajo es optimizar una metodología tanto de extracción, purificación y PCR para la detección en suelo de bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Rhodococcus* y *Burkholderia* degradadoras de contaminantes ambientales. Dichos aislamientos pueden ser utilizados en procesos de bioaumentación o inoculación en ecosistemas contaminados y procesos de biorremediación.

VARIACIÓN GEOGRÁFICA EN LA RESISTENCIA A MICROORGANISMOS EN PIELES DE *HYLA LABIALIS* (ANURA)

Grupo de investigación: Adolfo Amezcuita, Jenny Dussán y Alexandra Delgadillo

Financiación: CIMIC y GECOH

Duración de la investigación: Un año

Se determinará el efecto antimicrobiano de la piel de *Hyla labialis* sobre bacterias presentes en su hábitat natural y la posible variación geográfica que se puede presentar en la resistencia a bacterias debido a procesos locales de adaptación.

SELECCIÓN DE UN CONSORCIO BACTERIANO DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA CON CAPACIDAD DEGRADADORA DEL PLAGUICIDA ORGANOCLORADO ALDRIN

Grupo de investigación: Jenny Dussán y Martha Liliana Gómez García

Financiación: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR

Duración de la investigación: Un año

El objetivo de este trabajo es la selección de un consorcio bacteriano de la CGSM de la época climática lluviosa y seca con capacidad degradadora del Aldrin. Se establecerá la densidad fenotípica de poblaciones de *Pseudomonas*, enterobacterias y otros heterótrofos a partir de muestras de sedimentos. Se realizará el ensayo de degradación del Aldrin con los diferentes microorganismos aislados.

> MICROBIOLOGÍA GENÉTICA Y MOLECULAR

DIVERSIDAD BIOQUÍMICA Y MOLECULAR DE CEPAS DE *BACILLUS SPHAERICUS* AISLADAS DE DIFERENTES HÁBITAT Y REGIONES GEOGRÁFICAS

Grupo de investigación: Jenny Dussán y Juan Ayala

Financiación: Programa ALFA - Unión Europea

Duración de la investigación: Cinco años

La diversidad de cepas nativas de *Bacillus sphaericus* aisladas de diferentes hábitat y regiones geográficas de Colombia y de España se determinó por análisis de HPLC del peptidoglicano, por patrones de proteínas periplasmáticas, citoplasmáticas y de membrana en los diferentes estados de crecimiento comparado con la espora madura, así como evaluando la diversidad a nivel molecular del ADN cromosomal por RAPD, secuenciación de 16S y RFLP.

COMPARACION GENÓMICA DE CEPAS CLÍNICAS Y AMBIENTALES DE PSEUDOMONAS AERUGINOSA

Grupo de investigación: Martha Vives y Roberto Kolter

Financiación: Fondo Harvard – Los Andes, Universidad de Harvard

Duración de la investigación: Un año

Usando microarreglos de DNA de *P. aeruginosa* PA01, se busca comparar los genomas completos de aislamientos ambientales de la bacteria y de aislamientos clínicos de la misma, buscando diferencias predictivas de la seguridad o capacidad patogénica de dichos aislamientos.

DISEÑO PRELIMINAR DE UN BIOSENSOR MOLECULAR PARA LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES TIPO TOLUENO

Grupo de investigación: Jenny Dussán, Diana Serrano y Gina Gutiérrez

Financiación: CIMIC

Duración de la investigación: Dos años

El uso de la proteína verde fluorescente y genes reporteros fusionados con el plásmido TOL de una cepa de *Pseudomonas* sp. será implementado para la posible detección de tolueno en ensayo piloto.

IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS DE INTERÉS AMBIENTAL MEDIANTE PCR

Grupo de investigación: Jenny Dussán, Diana Andrade, Lucía Lozano, Laura de Zubiría, Paola Bautista e Ingrid Torres

Financiación: CIMIC

Duración de la investigación: Dos años

Mediante revisión bibliográfica, la consulta de las bases de datos de programas de investigación de los genomas bacterianos publicados en Internet y los programas de la web para diseño de primers, se pretende estandarizar un PCR específico para identificar géneros y especies bacterianas de interés.

IDENTIFICACIÓN DE HONGOS DE INTERÉS AMBIENTAL MEDIANTE PCR

Grupo de investigación: Martha Cárdenas, Mildreth Mancera y Alejandro Reyes

Financiación: CIMIC

Duración de la investigación: Dos años

Mediante revisión bibliográfica, la consulta de las bases de datos de programas de investigación de los genomas de hongos publicados en Internet y los programas de la web para diseño de primers, se pretende estandarizar un PCR específico para identificar géneros y especies de hongos de interés.

Investigaciones terminadas

➤ MICROBIOLOGÍA AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN DEL SÍNDROME DEL MARCHITAMIENTO DEL COGOLLO DEL FRAILEJÓN (*ESPELETIA GRANDIFLORA*)

Grupo de investigación: María Caridad Cepero de García, Sandra Pardo y Santiago Madriñán

Financiación: Comité de investigaciones – Universidad de los Andes

Duración de la investigación: Dos años

Este proyecto semilla tiene como objetivo general estudiar los factores ambientales de la zona de los páramos de Cruz Verde, Sumapaz y Chingaza y la flora fúngica asociada a *Espeletia grandiflora* y relacionar estos aspectos con la patología que en estas zonas se está presentando.

➤ MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL

RECUPERACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS DEL POZO TAME - 2 JURISDICCIÓN POZO DE EXPLORACIÓN CAPACHOS 1

Grupo de investigación: Jenny Dussán y Alejandro Acosta

Financiación: REPSOL S. A.

Duración de la investigación: Un año

El problema de la contaminación ambiental causado por la industria petrolera ha estimulado la aplicación de tecnologías limpias y procesos de descontaminación tendientes a disminuir el impacto ecológico y social sobre las comunidades y el ecosistema. En el presente trabajo se pretendió disminuir la concentración de contaminantes resultantes de la perforación del Pozo TAME - 2 (Arauca, Colombia) mediante la selección y bioaumentación de un pool de microorganismos con la implementación del proceso *in situ* de *Land Farming*. Dichos contaminantes se habían recogido y depositado en cuatro eras adyacentes al pozo. La fase I

consistió en el aislamiento y selección de bacterias nativas que conformarían el pool de microorganismos en el proceso de biorremediación. Se procesaron muestras de tierra de las cuatro eras a tres profundidades diferentes obteniendo 11 morfotipos diferentes en cajas con medio SPC, cinco en medio MacCONKEY y tres en medio Cetrimide, principalmente correspondientes a bacilos cortos Gram (-). El promedio del recuento inicial de las poblaciones de las eras fue 2×10^4 ufc/g.

Las bacterias seleccionadas son usualmente conocidas como degradadoras de hidrocarburos: *Pseudomonas aureginosa*, *Pseudomonas putida* y *Bacillus* spp. En la fase II se procedió a bioaumentar las poblaciones microbianas en el laboratorio mediante la siembra masiva en SPC y en medio líquido enriquecido con melaza. El pool era dispersado semanalmente en las eras, teniendo cuidado de que éstas fueran constantemente removidas y mantuvieron una adecuada humedad. La fase III consistió en el monitoreo de las poblaciones microbianas que determinó que el título inicial había aumentado en promedio hasta 8×10^6 ufc/g y que de los 21 morfotipos aislados inicialmente sólo 8 persistieron a través de todo el proceso (dos de Cetrimide, dos de McK y cuatro de SPC). Los morfotipos de las poblaciones encontradas fueron los mismos para todas las eras, aunque su recuento total y diferencial varió significativamente. Los TPH (Hidrocarburos Totales Presentes) iniciales estaban en 61.950 mg/kg y al cabo de cuatro meses, en el proceso final de la biorremediación, fueron reducidos aproximadamente 20 veces. Este resultado comprueba la eficiencia del consorcio microbiano utilizado durante el proceso de *Land Farming*. De la misma forma permite contribuir a solucionar la crítica situación causada por las actividades de las compañías petroleras en el ámbito social y ambiental.

PRODUCCIÓN, PURIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN PARCIAL DE LA ENDOPOLIGALACTURONASA DE *Cryptococcus* sp. S-2

Grupo de investigación: Jenny Dussán y Sandra Córdoba

Financiación: Japan International Cooperation Agency

Duración de la investigación: Tres años

La levadura *Cryptococcus* sp. S-2, aislada a partir de aire, fue seleccionada entre diversas levaduras por su capacidad para producir amilasas, xilanasas y pectinasas, actividades enzimáticas deseables para el mejoramiento de un sistema biológico que emplea levaduras, el cual es deficiente en el tratamiento de aguas residuales con un alto contenido de hemicelulosa y almidón crudo.

Como parte de una serie de investigaciones encaminadas a entender cada una de estas actividades enzimáticas y determinar su aplicación a nivel industrial. Este trabajo describe la producción, purificación y caracterización de la endopoligalacturonasa de *Cryptococcus* sp. S-2. Para evaluar su capacidad pectinolítica se emplearon diferentes sustratos pécticos y no pécticos, observándose inducción de la producción enzimática en presencia de pectina y ácido galacturónico.

El efecto inductor fue evidente sólo a pH 2, 3 y 4, y óptimo a pH 3. Su pH y temperatura óptimos fueron 4,2 y 40°C. Se mantuvo estable durante seis horas entre los pH 2 a 10 y fue inhibida por Hg²⁺ y Ag²⁺. Su punto isoeléctrico y peso molecular fueron 5,5 y 39 Kdal y su modo de acción permitió caracterizarla como una hidrolasa de tipo endo-.

CARACTERIZACIÓN DE *PSEUDOMONAS* SPP. AMBIENTALES Y DETERMINACIÓN DE SU RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS DE USO CLÍNICO

Grupo de investigación: Martha Vives y Tatiana Espitia

Financiación: Comité de Investigaciones Universidad de los Andes

Duración de la investigación: Dos años

Se aislaron 13 cepas clínicas de *Pseudomonas aeruginosa*. Las cepas ambientales fueron aisladas de aguas de producción del campo petrolero Caño Limón en un proyecto anterior. De las 12 cepas ambientales, cuatro correspondían a *P. aeruginosa*, tres a *Pseudomonas* spp., una a *P. testosteroni*, una a *P. putida* y tres arrojaron datos dudosos. La resistencia a antibióticos se determinó con el ensayo de sensibilidad impregnados con cada agente antimicrobiano y se determinó el índice MAR (resistencia múltiple a antibióticos) para cada cepa aislada de fuente clínica y fuente ambiental. Contrario a lo esperado, los promedios MAR no fueron significativamente diferentes (prueba Mann-Whitney; $U = 1141$, $N = 104$, $P = 0.128$) entre las cepas clínicas (promedio índice MAR: 0.34) y las ambientales (promedio índice MAR: 0.19). En cambio, se observó diferencia significativa entre las varianzas de cada grupo de aislamientos (prueba Kruskal-Wallis; Chi-square = 25.31, D.F. = 3, $P < 0.0001$), siendo los índices MAR de las cepas clínicas más variables (varianza: 0.07) que en las cepas ambientales (varianza: 0.006). Se realizó extracción de ADN plasmídico de acuerdo con el protocolo de lisis alcalina, pero no se obtuvieron resultados satisfactorios que permitieran atribuir las resistencias a la presencia de plásmidos.

ESTUDIO PRELIMINAR PARA EL DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE MONITOREO DE ECOSISTEMAS USANDO MICROFLORA BACTERIANA COMO INDICADOR

Grupo de investigación: Jenny Dussán, Martha Vives Lucía Lozano y Kattia Lozada

Financiación: Fondo FEN Colombia

Duración de la investigación: Dos años

Se aislaron 663 cepas diferentes de *Bacillus* spp. de las cuales la mayor densidad se encontró en el bosque heterogéneo, pero en diversidad ambos tipos de vegetación presentaron un número similar de cepas diferentes. El análisis fenotípico mostró un patrón puntual de 31 cepas relacionadas con un 100% de similitud con *B. sphaericus* en el bosque de vegetación homogénea.

El análisis de RAPD mostró que entre el 40,45% y el 54,05% se encuentran en un *cluster* dominante con un 100% de similitud. Por lo tanto, la diversidad fenotípica y genotípica para el biotipo II está altamente relacionada. Estos resultados estarían indicando que la especie de *Bacillus sphaericus* podría ser un indicador de monitoreo en bosques homogéneos, sin embargo, no es posible afirmar si es de bosque donde predomine el *Quercus humboldtii* o si su establecimiento como especie es en suelos que soportan una vegetación de características de alta estabilidad y baja diversidad.

ESTUDIO DE BIOSEGURIDAD DE LAS BACTERIAS COMPONENTES DEL POOL BIODEGRADADOR DE FENOLES

Grupo de investigación: Jenny Dussán, Lucía Lozano y Diana Andrade

Financiación: ECOPETROL – Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)

Duración de la investigación: Dos años

Los tratamientos biológicos efectuados con microorganismos o *poles* de microorganismos han representado una excelente alternativa con respecto al uso de sustancias químicas en tratamientos de aguas de procesos industriales. No obstante las grandes ventajas de los tratamientos biológicos, estos deben cumplir con normas de bioseguridad con respecto al ambiente donde van a ser utilizados. Por lo tanto, el objetivo fundamental del estudio de bioseguridad de las bacterias componentes del *pool* biodegradador de fenoles, fue determinar en animales de experimentación, es decir, blancos de laboratorio como conejos, ratones y en especies representativas de flora y fauna de la región, peces de la estación piscícola de San Silvestre, así como en las personas vinculadas y no vinculadas al proceso y las aguas asociadas y no asociadas al proceso, el efecto de cada una de las bacterias componentes del *pool* y del *pool* como unidad producido en el biorreactor en el complejo industrial de Barrancabermeja.

BIOPROSPECCIÓN PARA LA PERFORACIÓN DE YACIMIENTOS DE PETRÓLEO POR MONITOREO DE BACTERIAS INDICADORAS DE FUGAS DE GASES

Grupo de investigación: Jenny Dussán y Tatiana Espitia

Financiación: Petrocol de Colombia

Duración de la investigación: Cuatro años

La utilización de bacterias, para el monitoreo de fugas de gases, como indicadoras de prospección para la perforación de yacimientos de petróleo es evaluada en posibles campos productores de la región sur colombiana. La población microbiana crecida en medio mínimo de sales con hexano como única fuente de carbono mostró una concentración superior a 10.000 u.f.c./g, en determinados trayectos, los cuales superpuestos con el análisis sismográfico presentaron resultados positivos.

➤ MICROBIOLOGIA GENÉTICA Y MOLECULAR

ARMONIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA Y LA INVESTIGACIÓN ENTRE IBEROAMERICA Y EUROPA EN LAS ÁREAS DE LA PARED CELULAR, DIVISION CELULAR Y ANTIBIÓTICOS

Grupo de investigación: Juan Ayala, Jenny Dussán y Sandra Vanegas

Financiación: Programa ALFA – Unión Europea

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: Tesis de doctorado: “Diversidad molecular de *Bacillus sphaericus* de diversos hábitat y diferente localización geográfica. Asociación con roble de tierra fría *Quercus humboldtii*”. Tesis de maestría: “Caracterización molecular del cristal parasporal de cepas nativas de *Bacillus sphaericus* patógenos para larvas de mosquitos”.

1.3.2. La bioprospección en los suelos cafeteros colombianos

Institución: Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFÉ

Grupo de investigación: Carlos A. Rivillas O., Jairo E. Leguizamón C., Alvaro Gaitán B. y Bertha L. Castro T

Ponente: Carlos A. Rivillas O

Contacto: carlos.rivillas@cafedecolombia.com

Financiación: CENICAFÉ y Comunidad Económica Europea

Logros obtenidos: Los suelos sobre los cuales se cultiva actualmente el café son en una alta proporción de naturaleza alofánica, caracterizados por unas condiciones físicas adecuadas para el cultivo pero con suministros importantes de fertilizantes químicos, lo cual permite mantener altos los niveles de producción de café. En la actualidad, se busca desarrollar una caficultura que utilice sistemas de producción más sostenibles y menos contaminantes. De este modo surge el interés de la producción de café bajo el esquema de una caficultura biológica, la cual incorpora la comprensión del papel que desempeñan los microorganismos nativos o introducidos en el ciclo de los nutrientes minerales y en las cadenas tróficas del suelo.

Dentro de la biota del suelo, se observan diferentes tipos de micorrizas en la naturaleza; uno es encontrado sobre una vasta población de las plantas cultivadas el cual corresponde a la Micorriza Arbuscular (MA), que vive en asociación con aproximadamente el 85% de las plantas arbóreas, lo cual significa que en el mundo de las plantas, la simbiosis con este tipo de microorganismos es la regla antes que la excepción. En la actualidad la MA es encontrada bajo todos los climas y en todos los ecosistemas sin reparos del tipo de suelo, vegetación o condiciones de crecimiento de las plantas. Conociendo que la mayoría de las plantas cultivadas que se utilizan para la alimentación de los humanos o animales son colonizadas por las MA, se debe estimular este tipo de simbiosis para el beneficio de la agricultura y en particular del cultivo del café, seleccionando las mejores combinaciones de estos hongos solos o asociados con otros microorganismos para promover sistemas de producción de cultivos sanos, vigorosos que requieran cada vez de una menor aplicación de productos químicos y que propendan permanentemente por la calidad ambiental.

En Colombia se han obtenido importantes logros en café y en otros cultivos con las MA, determinándose la alta dependencia micorrízica que tiene el café a la asociación con estos hongos. *Entrophospora colombiana*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora tuberculata*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora*

denticulata, *Acaulospora myriocarpa*, *Acaulospora pellucida*, *Sclerocystis* spp. fueron aisladas e identificadas en suelos de CENICAFÉ (Plan Alto). Igualmente 19 especies nativas de MA fueron aisladas e identificadas en 28 lotes de café en producción en 10 subestaciones de CENICAFÉ ubicadas en diferentes zonas productoras en Colombia. Los niveles de colonización radical en las raíces de las plantas evaluadas, estuvieron entre 14 y 92%. El número de esporas por gramo de suelo estuvo entre 11 y 52%. También en pulpa de café, gallinaza, cenichaza y en lombricomposteo se determinó la presencia de especies nativas de MA. La mayor cantidad de esporas se encontró en el lombricomposteo y la menor en la cenichaza.

En seis departamentos productores de plátano y banano en Colombia se realizaron muestreos con el fin de aislar e identificar especies nativas de MA, encontrándose un nivel promedio de colonización en las raíces de estos cultivos de 67%. Este valor que se considera alto al ser producido por especies nativas, no sólo está generando beneficios en estos cultivos, sino que está permitiendo que se reproduzcan las especies y establezcan interacciones con otros microorganismos del suelo. Se encontró una alta diversidad de especies nativas de Micorrizas Arbusculares asociadas a estos cultivos.

Estudios realizados por CENICAFÉ evidencian el control de hongos patógenos de raíces de plantas de café como también de nemátodos utilizando la gran diversidad biológica de los suelos cafeteros con microorganismos nativos que actúan como agentes biocontroladores. *Trichoderma harzianum* es un hongo eficaz en el control del patógeno *Rhizoctonia solani*, así como también *Trichoderma koningii* lo es de *Rosellinia bunodes*. Este hongo, uno de los patógenos radicales de mayor presencia e impacto en el cultivo de café, es igualmente controlado empleando la MA *G. manihotis* sola o interactuando con *E. colombiana* y la bacteria *Burkholderia cepacia*.

El manejo del nemátodo del nudo radical *Meloidogyne* spp., se alcanzó empleando cepas nativas de *Paecilomyces lilacinus*, *Verticillium chlamyosporium*, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, las cuales actúan sobre estadios del nematodo, incluidos sus huevos. También con algunas especies de la MA *Glomus* spp. disminuye el grado de ataque de este nemátodo.

En la identificación y caracterización de las especies encontradas tiene gran aplicación el uso de los marcadores moleculares, los cuales han demostrado ser muy útiles en los estudios de variabilidad genética dentro de los aislamientos de una misma especie, tanto de microorganismos benéficos como patogénicos. En Colombia su uso no ha sido muy utilizado en el estudio de aislamientos de Micorrizas Arbusculares, pero se conoce de su importancia en el estudio de algunos patógenos radicales o foliares en el cultivo de café. El estudio de la variabilidad de 11 aislamientos de *Cercospora coffeicola* Berk y Cooke por medio de técnicas moleculares (RAPD) mostró diferencias entre aislamientos en cuanto al crecimiento del micelio y a la patogenicidad en plántulas. Igualmente las especies de nemátodos *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica* y *M. hapla* fueron claramente distinguidas al desarrollar marcadores taxonómicos (PCR, RAPD) basados en el DNA. El estudio de 50 aislamientos de *Ceratocystis fimbriata* Ellis y Halst mostró una gran variabilidad entre estos aislamientos destacándose la presencia de dos grandes grupos genéticos del hongo de acuerdo con los análisis obtenidos mediante el empleo de las técnicas PCR-RFLP de regiones ITS y RAPD.

Estos resultados, producto de un proceso investigativo que apenas se inicia, demuestran la diversidad y el potencial de los microorganismos de la zona cafetera con fines prácticos para el aprovechamiento de los ecosistemas agrícolas. Esta diversidad de microorganismos nativos como

agentes biocontroladores de patógenos radicales está indicando que a través de la bioprospección se deben crear mecanismos que permitan la conservación, recuperación y el adecuado mantenimiento de estos insumos biológicos de manera que la comunidad científica nacional, internacional o los interesados en formular comercialmente estas especies conozcan de unas normas que favorezcan o limiten el uso de estos microorganismos en un ecosistema determinado. Sólo con el desarrollo de la investigación en bioprospección y a través de los esfuerzos interinstitucionales se podrá generar este tipo de información.

1.3.3. Selección de cepas nativas *Metarhizium anisopliae* (Metch) Sorokin sobre plagas rizofagas (coleóptera: melolonthidae) presentes en el cultivo de la arracacha (*Arracacia xanthorriza*)

Institución: CORPOICA

Grupo de investigación: María Denis Lozano Tovar, Norma Constanza Vásquez A. y Guillermo Sánchez Gutiérrez

Ponente: María Denis Lozano Tovar

Contacto: maria.lozano@javeriana.edu.co

Financiación: CORPOICA - PRONATTA

Logros obtenidos: En el sistema de producción de arracacha en el municipio de Cajamarca, (Tolima- Colombia) se presenta como principal limitante de la producción el ataque de plagas del suelo, Coleópteros de la familia Melolonthidae, denominados por los agricultores chisas, los cuales ocasionan pérdidas del orden de 15.000 toneladas/año. Con el fin de aportar a la solución de este problema CORPOICA – PRONATTA desarrollaron trabajos tendientes a manejar las poblaciones a través de métodos microbiológicos aprovechando algunas características del comportamiento y ecología de las especies presentes.

El estudio hizo parte del desarrollo de un biocontrolador con base en *Metarhizium anisopliae* para el control de larvas dirigido al suelo. Mediante las pruebas microbiológicas: porcentaje de germinación, concentración de esporas y pruebas de patogenicidad (Tiempo Letal Medio TL-50 y Dosis Letal Media DL-50), sobre los géneros *Serica*, *Cyclocephala*, *Macroductylus*, *Anomala*, *Phyllophaga* y *Plectris*, se determinó la actividad biológica de siete cepas nativas (*Serica*, *Macroductylus*, *Cyclocephala*, *Plectris*, *Anomala*, *Ancognata* y *Cetoninos*). La obtención de cepas nativas se logró mediante la recolección en campo de larvas enfermas, que fueron puestas en cuarentena en laboratorio; las larvas muertas se colocaron en cámara húmeda, cuando esporularon se procedió a aislar el hongo. En laboratorio las chisas fueron clasificadas por género y puestas en cuarentena por 30 días en cajas plásticas con suelo estéril de la zona de Cajamarca; las larvas fueron alimentadas con arracacha, zanahoria y papa criolla. Se seleccionaron tres cepas altamente virulentas, que fueron aisladas de larvas de los géneros *Serica*, *Cyclocephala* y *Macroductylus*, las cuales presentaron los menores tiempos letales (8, 11 y 55 días respectivamente).

Todas las cepas evaluadas mostraron porcentajes de germinación por encima del 90% y concentraciones en sustrato arroz superior a 1×10^8 conidias por gramo. Se observó una marcada tendencia de las cepas hacia la especificidad, siendo más patogénicas sobre el género de donde fueron aisladas.

1.3.4. Prospección de biodiversidad microbiana con el propósito de desarrollar productos para el sector agropecuario

Institución: CORPOICA

Grupo de investigación: Alba Marina Cotes, Olga Yanet Pérez, Margarita Ramírez, Tito Efraín Díaz, Esperanza Cortés, Efraín Benavides, Gloria Amparo Corredor, Patricia Urdaneta, Lissete Torres Torres, Alejandro Paris, Dora Amparo Chávez, Elizabeth Martín Martínez, Ligia Denise Torres y Vania Paulina Ronderos

Contacto: olga.perez@corpoica.org.co

Logros obtenidos: La biodiversidad microbiológica de Colombia es prácticamente desconocida, posiblemente porque en el pasado no se contaba con metodologías apropiadas para el aislamiento, purificación, clasificación y caracterización de los microorganismos, teniendo en cuenta los avances logrados en los últimos tiempos en estos temas principales objetivos en el conocimiento de la microbiota incluyen la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y su integración en procesos productivos.

Actualmente CORPOICA mediante un convenio tripartito suscrito con el Ministerio de Agricultura y con el ICA, administra el Banco de Germoplasma de Microorganismos con Interés Agropecuario, el cual posee cerca de 4.500 accesiones; este banco constituye uno de los mayores reservorios de diversidad de germoplasma microbiano nativo a nivel nacional. En este están incluidos microorganismos con interés en fitoprotección, biofertilización, nutrición y salud animal.

En el área de fitoprotección, el Laboratorio de Control biológico del Programa MIP ha encaminado sus esfuerzos hacia la selección de microorganismos con alta actividad biocontroladora de las principales plagas que afectan al sector agropecuario del país. Como resultados se han tenido productos a base de microorganismos como *Metarhizium anisopliae* para el control de la langosta llanera; *Beauveria bassiana* para el control del gusano blanco de la papa; *Verticillium lecanii* para el control de la mosca blanca de los invernaderos, también está en proceso de desarrollo un bioplaguicida a base de *Nomurea rileyii* para el control de *Spodoptera frugiperde*. Para el control de fitopatógenos también se están desarrollando productos a base de *Trichoderma koningii* para el control de hongos del suelo, y a base de la levadura *Pichia onychis* para el control de fitopatógenos en poscosecha.

En cuanto a biofertilizantes, el trabajo se ha enfocado especialmente hacia algunas bacterias del suelo (*Rhizobium* y *Bradyrhizobium*) que realizan fijación biológica de nitrógeno y que lo hacen disponible para el desarrollo de plantas leguminosas, jugando un papel importante en la

recuperación de suelos. Así mismo, se ha trabajado con micorrizas de tipo vesículo - arbuscular, que intervienen en procesos de formación y recuperación de suelos mediante la creación de unidades estructurales estables resistentes a la erosión y al agua, que le brindan a la planta condiciones de tolerancia a la sequía y contribuyen a la nutrición de los cultivos mediante el ciclaje de elementos esenciales como el fósforo y el nitrógeno.

En cuanto a nutrición animal, los esfuerzos de CORPOICA se han orientado a la caracterización de cepas nativas de bacterias y hongos ruminales aisladas de bovinos en pastoreo, en relación con la evaluación de su capacidad para degradar carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa), los cuales constituyen la principal fuente de energía para los bovinos alimentados con pastos tropicales. El objetivo es formular inóculos microbianos (mezclas) que al ser suministrados al ganado en pastoreo, mejoren la digestibilidad de la pared celular de los forrajes, el consumo voluntario de materia seca y por lo tanto, los índices de crecimiento o de producción de carne o leche.

En el área de salud animal se hace énfasis en la conservación y caracterización de virus y bacterias, patógenos de aves, bovinos y porcinos. Esta selección también cuenta con hemoparásitos y ectoparásitos de importancia a nivel nacional. El fin principal de esta colección es el desarrollo de vacunas y kits de diagnóstico para las principales enfermedades del sector pecuario colombiano.

1.3.5. Identificación de microorganismos con actividad antifúngica

Institución: Corporación CORPOGEN

Grupo de investigación: María Mercedes Zambrano, Victoria Suescún y Mauricio Dimaté

Ponente: María Mercedes Zambrano

Contacto: corpogen@colomsat.net.co

Financiación: Corporación CORPOGEN

Duración de la investigación: Cuatro meses

Logros obtenidos: Este trabajo busca identificar y estudiar microorganismos que interactúan con otros microorganismos. En particular se busca aprender acerca de interacciones que puedan estar ocurriendo entre bacterias y eucariotes. Para ello hemos comenzado a analizar la actividad antifúngica de una colección de microorganismos ambientales. Estos microorganismos (en su mayoría bacterias) fueron confrontados con hongos fitopatógenos (*Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* y *Alternaria* spp.) y con la levadura *Candida*. Hasta el momento se han identificado al menos cuatro microorganismos del género *Bacillus*, que aparentemente afectan la capacidad de crecimiento de estos organismos eucariotes. Los diferentes aislados bacterianos afectan de diferentes maneras a los hongos estudiados. Algunos afectan crecimiento solamente cuando ambos microorganismos crecen juntos, otros pueden afectar este crecimiento aparentemente mediante la producción de algún metabolito o compuesto extracelular. El propósito a largo plazo

de este estudio es investigar más a fondo estas interacciones para poder aprender acerca de 1) el tipo de interacciones que ocurren entre microorganismos en la naturaleza y 2) la producción de posibles compuestos antifúngicos que puedan utilizarse para contrarrestar el efecto adverso de algunos hongos fitopatógenos.

Entre los proyectos futuros se contempla continuar con estos estudios que apenas están en su etapa inicial. Específicamente, se buscará estudiar más a fondo la naturaleza de los efectos antagónicos observados sobre los diferentes hongos estudiados. Además, se planea ampliar el estudio para buscar antagonistas contra otros fitopatógenos no estudiados hasta el momento en nuestro laboratorio. Finalmente, se iniciará un proyecto orientado hacia el análisis de la diversidad microbiológica en el río Bogotá utilizando métodos moleculares (financiado por COLCIENCIAS). Esto se hace principalmente con el objetivo de estandarizar y utilizar técnicas moleculares, de rutina para el estudio de diversidad microbiana, útiles no sólo para sondear la diversidad de un lugar sino también para aprender acerca de los tipos de microorganismos que puedan existir en diferentes hábitat, que puedan servir como sensores de un ambiente o que puedan servir en procesos de biorremediación.

1.3.6. Bioprocesos y valoración de recursos genéticos

Institución: Instituto de Biotecnología - Universidad Nacional de Colombia - IBUN

Grupo de investigación: Sonia Ospina, Jairo Cerón, Gustavo Buitrago, Consuelo Díaz, María Teresa Reguero, Nubia Moreno, Hernando Valencia, Fabio Aristizábal y Dolly Montoya

Ponente: Fabio Aristizábal

Contacto: fabioaris@ibun.unal.edu.co

Financiación: Universidad Nacional, OEA, COLCIENCIAS, ONUDI, CIID, Fundación Banco de la República entre otras entidades y en algunos casos también se ha contado con apoyo de empresas.

Duración de la investigación: Quince años.

Logros obtenidos: En las primeras etapas de formación del grupo se fortalecieron habilidades en el campo del diseño de equipos de fermentación y en el manejo de los diferentes sistemas de fermentación. Posteriormente, mediante convenios internacionales, se ganó experiencia en tecnología de enzimas y producción de biocatalizadores con enzimas inmovilizadas. Asimismo, en la parte microbiológica, se establecieron ceparios; en una primera etapa se establecieron todos los ensayos microbiológicos y bioquímicos necesarios para la caracterización de las accesiones. Igualmente se desarrollaron métodos valoración y de conservación de los mismos, dirigidos específicamente a control de plagas, producción de biopolímeros (PHA, Levanas, Fructooligosacáridos), biofertilización de suelos, descontaminación y degradación de productos recalcitrantes. En lo referente al manejo de reactores, se ha avanzado en el manejo de reactores

anaeróbicas; no sólo desde el punto de vista fermentativo, sino en el análisis microbiológico al interior de ellos.

El área de biología molecular ha desarrollado convenios con la Universidad Técnica de Munich y la Universidad de Boston desde hace más de cuatro años. A través del desarrollo de los proyectos se han establecido las metodologías para la caracterización molecular de microorganismos y para la transformación de los mismos para obtener cepas con mejor capacidad de degradación de residuos celulósicos. Gracias al proceso de desarrollo el grupo actualmente cuenta con la capacidad técnica y científica para abordar programas de bioprospección que cubran desde el aislamiento de conservación y estudio microbiológico hasta el diseño y escalamiento de reactores.

Por otro lado mediante el desarrollo de proyectos nacionales e internacionales se ha dotado los laboratorios de microbiología, biología, fermentaciones, microbiología de anaerobios en asocio con el Departamento Farmacia de la Universidad Nacional. Se dispone de conocimiento acumulado, que permite pensar en el desarrollo colectivo de procesos en tecnología de enzimas uso y degradación de residuos y valorización de nuestra biodiversidad.

Resultados obtenidos: Fuera de los productos típicos que son formación de personal al nivel de pregrados y posgrados en múltiples áreas, publicaciones nacionales e internacionales, en estos momentos el IBUN está cristalizando el primer caso, en el país, de acceso a recurso genético, específicamente con un biopolímero (levana). Además se está en etapa de escalamiento en la producción de algunos biofertilizantes, biopesticidas y vacunas en asociación con diferentes empresas.

Igualmente los trabajos de investigación realizados han permitido dotar laboratorios con infraestructura amplia dándole al IBUN capacidad en investigación y desarrollo a alto nivel, permitiendo el establecimiento de proyectos sustentados en el uso sostenible de nuestra biodiversidad y en la protección del medio ambiente

Proyectos a futuro: Lo primero que pretendemos es lograr culminar con éxito los procesos de transferencia de los resultados logrados en el laboratorio a la industria, situaciones que deberán redundar en un mayor impulso a todas las otras actividades de investigación que se planteen. En la parte de investigación nos interesa continuar con la búsqueda de microorganismos que produzcan actividades de interés para alguna clase de industria.

Otro aspecto que consideramos importante explorar es el tratar de generar más proyectos de tipo interinstitucional, con miras a desarrollar estrategias de variación de los diferentes ceparios de microorganismos que poseen las instituciones colombianas, para lo cual consideramos que es importante buscar generar algún tipo de organización, que establezca los acuerdos mínimos entre grupos e instituciones interesadas, para poder implementar un proyecto colectivo de impacto, en el cual todos partamos de la premisa de que cada cual tiene mucho que aportar.

1.3.7. Estudio de poblaciones de microorganismos edáficos en la Amazonía colombiana y su aplicación en el mantenimiento de la fertilidad y la recuperación de suelos

Institución: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI

Grupo de investigación: Carlos Hernando Rodríguez, Clara Patricia Peña Venegas, Gladys Inés Cardona Vanegas y Adriana Lucía Arcos Dorado

Contacto: www.sinchi.gov.co

Objetivo: Mantenimiento de la fertilidad, recuperación de suelos, micorrizas arbusculares, fijación biológica de nitrógeno, solubilizadores de fosfato

Financiación: BPIN

Duración de la investigación: 1996-2003

Logros obtenidos: El Instituto SINCHI a través de su proyecto "Mantenimiento de la fertilidad del suelo y generación de tecnologías para la recuperación de áreas degradadas en la Amazonía colombiana" ha venido realizando una aproximación al conocimiento del componente biótico del suelo como fuente de recursos genéticos, indicador de diversidad y actividad biológica, y elemento regulador de la fertilidad. A partir del uso de técnicas moleculares se viene adelantando la evaluación de la composición microbiológica del suelo y la ubicación espacial de la actividad biológica en los mismos. La mayor actividad biológica ocurre en los primeros 20 cm del suelo disminuyendo en forma drástica a mayor profundidad. Es así como a 30 cm la actividad biológica se reduce en un 60%.

Los suelos de la Amazonía colombiana por su alta acidez natural presentan una fuerte saturación de aluminio que limita la fijación de elementos importantes en la nutrición vegetal como el fósforo y el nitrógeno. Los estudios realizados han abordado la evaluación de tres grupos microbianos que en forma directa determinan la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo.

Para el caso del fósforo, cuya principal fuente es la materia orgánica, el estudio de las poblaciones solubilizadoras de fosfatos y la asociación simbiótica micorriza arbuscular permite evaluar y entender la dinámica del fósforo en el suelo y su movilización hacia la planta. A diferencia del fósforo, las reservas de nitrógeno en el suelo no solo dependen de la transformación de la materia orgánica presente, sino que puede incrementarse por la fijación biológica de nitrógeno atmosférico.

La fijación biológica es realizada por poblaciones microbianas en forma simbiótica con plantas o en vida libre. Existe interés por establecer la importancia de la fijación biológica como fuente alterna de nitrógeno al suelo, en especial, el estudio de la simbiosis leguminosa-rizobio dado que este grupo de plantas ocupa el cuarto lugar en importancia de aparición en la Amazonía colombiana.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican que la alta acidez es la condición natural para el buen funcionamiento de las poblaciones de microorganismos relacionados con el

mantenimiento de la fertilidad del suelo. Bajo estas condiciones, las poblaciones bacterianas y micóticas solubilizadoras de fosfatos de calcio corresponden al 5% y 3% de las poblaciones totales correspondientes. En condiciones de alta acidez, el fósforo presente en el suelo está principalmente ligado al hierro, por lo que aún falta evaluar la capacidad biológica de degradar estos fosfatos.

La obtención de fósforo que la planta requiere es mediada principalmente por la simbiosis micorriza arbuscular. Su efectividad depende la calidad del suelo y del estado de las poblaciones nativas, más que de una relación específica entre la planta huésped y la especie de micorriza asociada. La simbiosis es efectiva a concentraciones de fósforo por debajo de 10 ppm y un pH entre 3,5 y 4,5, condiciones comunes de los suelos de la Amazonía colombiana.

La fijación biológica realizada a través de la simbiosis leguminosa-rizobio ocurre tan solo en un 50% del total de leguminosas existentes en el suelo. Las leguminosas foráneas tienden a no presentar la simbiosis dada la imposibilidad de encontrar su simbiote en estas condiciones edáficas. Otras leguminosas nativas con capacidad de establecer la simbiosis no la presentan, dada la pérdida de su simbiote por intervención humana del suelo o por la baja presencia de hongos formadores de micorrizas arbusculares que transfieran el fósforo suficiente requerido para la fijación de nitrógeno, dada la gran cantidad de ATP que se consume.

Por lo anterior, se hace necesario explorar otros grupos microbianos con capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y que en condiciones de la Amazonía colombiana puedan tener importancia.

Proyecciones: Para el año 2002 contempla la evaluación de poblaciones microbianas solubilizadoras de fosfatos de hierro y la cofinanciación del proyecto: "Estimación de la presencia de poblaciones de microorganismos fijadores libres y simbióticos de nitrógeno en suelos de la Amazonía colombiana y su importancia en el aporte de nitrógeno al suelo".

1.3.8. Agricultura sostenible y equilibrio natural

Institución: Live Systems Technology S. A.

Ponente: Raúl Ruiz

Contacto: lstsa@cable.net.co

Objetivo: Selección de animales basada en la detección de genotipos de características cuantitativas para selección precoz y exacta

Financiación: Live Systems Technology y COLCIENCIAS

Duración de la investigación: Quince años

Logros obtenidos: Live Systems Technology S.A. es una compañía colombiana, creada por un grupo multidisciplinario científico y técnico con más de una década de experiencia en los diversos campos de la biología, la ingeniería y la agronomía y en el desarrollo de productos microbiológicos y su uso en programas de manejo integrado de plagas y cultivos agrícolas (MIP – MIC) y en agricultura orgánica. La capacidad de LST S.A. para desarrollar productos biológicos de alta calidad está basada en la actividad científica propia y en acuerdos de investigación y desarrollo con otras compañías y centros de investigación colombianos y externos.

LST S.A. es una compañía originada en la División de Agrobiológicos de la empresa Transnacional Alemana AgrEvo. Fue constituida como empresa independiente en abril de 1999 bajo las leyes de Colombia, con sede en Bogotá, D.C.

El equipo científico de LST S.A. ha sido merecedor de los premios “Mejor Inventor del Año” otorgado por Brigard & Castro en 1991 y “Premio Nacional Ambiental”, Modalidad empresarial otorgado por el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, en 1998, por sus éxitos en la investigación y desarrollo tecnológico en el área de control biológico. Ha sido además inventor de varias patentes internacionales a cepas, formulaciones, procesos y al uso de nuestros productos.

LST S.A. tiene como filosofía un profundo respeto por la vida y compromiso con la naturaleza. Enfoca sus esfuerzos a lograr soluciones para una producción agrícola sostenible en el marco de la calidad total y la responsabilidad social. La empresa cuenta con un banco de más de 3.500 cepas de microorganismos naturales, con clasificación taxonómica y caracterización morfológica, bioquímica, fisiológica y genética y una base de datos con los registros correspondientes. Con base en esta colección de cepas, LST S.A. tiene un alto potencial para el desarrollo de nuevos productos y una base firme para la realización de proyectos de investigación en mejoramiento genético y proteómica, los cuales pueden llevarse a cabo en el marco de cooperación o alianzas estratégicas entre empresas ó con entidades de investigación.

LST S.A. cuenta con una infraestructura moderna para investigación y desarrollo de productos biológicos, tanto en laboratorio como en condiciones semicontroladas y de campo.

Además del servicio asociado a nuestros productos LST S.A., ofrece servicios en investigación, desarrollo y control de calidad de productos microbiológicos en diversas áreas.

El portafolio actual de productos de LST S.A. es el resultado de más de 15 años de trabajo científico de los fundadores de la empresa. Los productos biológicos de LST S.A. son derivados de cepas de microorganismos de ocurrencia natural en el suelo, que tienen la habilidad de controlar insectos y otros microorganismos plaga en la producción agrícola.

El portafolio de productos para el agro está conformado por: BioExpert[®] AgroNova[®], Successor[®], DeepGreen[®] y AgroGuard[®], orientados al control de trips, moscas blancas, broca, picudos, pulgillas, gusanos, acaros, afidos, escarabeidos, chinches y hongos fitopatógenos de suelo y follaje.

Actualmente se adelantan proyectos de investigación en cooperación con centros de investigación extranjeros, en las áreas de genómica y proteómica de microorganismos.

1.3.9. Aislamiento e identificación de bacterias nativas productoras de polihidroxicanoatos

Institución: Pontificia Universidad Javeriana - Departamento de Microbiología - Laboratorio de Biotecnología Aplicada

Grupo de investigación: Muñoz, G., Rincón, A., Gómez, D., Poutou, R., Delgado, J. M.

Ponente: David Gómez

Contacto: luis.gomez@javeriana.edu.co

Objetivos: Aislar y caracterizar bacterias colombianas productoras de Polihidroxicanoatos. Demostrar la presencia de estos biopolímeros mediante tinciones específicas cuando son sometidos estos microorganismos a condiciones especiales de crecimiento.

Financiación: Universidad Javeriana – Vicerrectoría Académica

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Se evaluaron sesenta y nueve (69) cepas bacterianas a partir de diluciones de suelo arcilloso de cultivos de caña de azúcar del Valle del Cauca, Amazonas y del Parque Natural Chicaque, para la producción de polihidroxicanoatos (PHA).

En los ensayos realizados mediante la técnica de microscopia de fluorescencia, utilizando azul de nilo y rojo de nilo como colorante específico, veinticinco cepas (25) fueron positivas para la producción de PHA, de las cuales un 60% correspondieron a bacilos Gram negativos.

Para la generación de biomasa y posterior producción de PHA se utilizó medio YP 1%, incubado a 30°C, 48 h, 110 rpm y medio sales de Winogradsky 24 horas, bajo las mismas condiciones, respectivamente.

La determinación y cuantificación de PHA se comprobó mediante cromatografía de gases. Cinco (5) cepas mostraron cantidades traza de PHA a partir de fuentes carbonadas sencillas (entre 0.8, 7 y 36 mg/L).

Estas bacterias fueron identificadas bioquímicamente con la técnica identificación rápida de API (BioMerieux) siendo el principal género *Pseudomonas* sp. Como control del proceso se utilizó la cepa recombinante *Escherichia coli* XL-1 blue con el plásmido pJM9131 con los genes productores de PHA de *Alcaligenes eutrophus*.

Resultados obtenidos: Los géneros bacterianos evaluados hasta el momento presentan concentraciones muy bajas (trazas) en la producción de PHA de cadena media (mcl-PHA).

Mediante la técnica de Southern Blot se confirmó la presencia de genes que codifican las enzimas para la síntesis de PHA de cadena sencilla (scl-PHA).

Proyecciones: Aislamiento e identificación de Actinomicetes productores de PHA.

Producción de PHA con bacterias nativas bajo fermentación Batch utilizando como substratos desechos agroindustriales.

Identificación molecular de los genes involucrados en la síntesis de PHA.

Evaluación de más suelos colombianos en busca de estas bacterias productoras.

1.3.10. Diversidad microbiana de reactores anaerobios para tratamiento de aguas residuales, industriales y diversidad microbiana de yacimientos termales minerales en Paipa (Boyacá)

Institución: Pontificia Universidad Javeriana - Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental

Ponente: Sandra Baena

Contacto: baena@javeriana.edu.co

Financiación: COLCIENCIAS, Banco de la República, IFS (International Foundation for Sciences) y Programa Ecosnord – Embajada de Francia

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: Colombia es considerado uno de los países más ricos en biodiversidad, sin embargo, los estudios sobre la biodiversidad en el país se han centrado en biodiversidad vegetal y animal, dejando de lado nuestra gran riqueza en el ámbito microbiano, la cual puede ser igualmente útil dado su alto potencial biotecnológico. Durante la última década, la exploración de la diversidad de la flora microbiana ha tomado un gran auge. En efecto, solo un porcentaje muy bajo de microorganismos (1-10 %) se ha aislado hasta el presente, sin embargo son numerosas las aplicaciones que estos ofrecen (Breton, 1999).

La Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana desarrolló un estudio en cooperación con el Laboratorio de Microbiología Anaerobia del IRD (Francia) sobre ecología microbiana de un sistema anaerobio mesofílico de tratamiento de desechos orgánicos ricos en proteínas en Colombia, centrándose en la diversidad de microorganismos proteolíticos no sacarolíticos y aminoacidolíticos. Como resultado de este estudio se obtuvo el aislamiento y caracterización de dos nuevos géneros y dos nuevas especies de bacterias anaerobias aminoacidolíticas sintróficas: *Aminobacterium colombiense* (Baena *et al.*, 1998a), *Desulfovibrio aminophilus* (Baena *et al.*, 1998b), *Aminomonas paucivorans* (Baena *et al.*, 1999) y *Aminobacterium mobile* (Baena *et al.*, 2000). De este estudio se puede predecir que existe una amplia diversidad de microorganismos aún no explorados y que están a la espera de ser identificados.

De otra parte, en años recientes se ha desarrollado un gran interés en el estudio de microorganismos extremófilos, especialmente hipertermófilos, termoacidófilos anaerobios de los dominios Archaea y Bacteria. La necesidad de comprensión de los mecanismos bioquímicos involucrados en estas condiciones extremas ha contribuido a este interés además de los usos

biotecnológicos potenciales de enzimas y moléculas aisladas de estos microorganismos (Ollivier *et al.*, 1994; Ollivier *et al.*, 2000).

Dados los resultados obtenidos en nuestros estudios previos, se formuló un programa de investigaciones en Diversidad microbiana anaerobia en Colombia, que será desarrollado en su primera fase en los próximos cinco años. Este programa está enfocado sobre dos sistemas anaerobios particulares como son: Reactores anaerobios para tratamiento de aguas residuales industriales y yacimientos termales minerales en Boyacá (Colombia).

ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MICROBIANA EN REACTORES ANAEROBIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

En Colombia, los trabajos en el área de tratamiento anaerobio se han centrado principalmente en diseño y operación de reactores, pero son pocos los trabajos en el ámbito microbiológico que se han realizado, a pesar de ser ésta la base del funcionamiento de un sistema biológico de tratamiento de desechos.

En la Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental se han realizado estudios microbiológicos en sistemas anaerobios de tratamiento de las aguas residuales de una industria láctea en Colombia, centrándose en la diversidad de microorganismos asacarolíticos aminoacidolíticos. Como resultado se ha obtenido el aislamiento y caracterización bioquímica y genética de dos nuevos géneros y dos nuevas especies de bacterias anaerobias aminoacidolíticas sintróficas. Estos estudios permitieron determinar que estas bacterias deben establecer asociaciones sintróficas con organismos hidrogenotróficos como son las Metanoarchaea para degradar substratos proteínicos (péptidos y aminoácidos).

De los estudios se deduce que aún existe una importante población microbiana péptido y aminoacidolítica sintrófica no identificada. Esta biodiversidad es la base de la alta capacidad de degradación de materia orgánica en los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales. Las técnicas de aislamiento de microorganismos utilizadas en el estudio realizado permiten suponer que estos microorganismos se encuentran en alto número en los ecosistemas de origen y así mismo que deben jugar un papel clave en la degradación de aminoácidos en presencia de organismos hidrogenotrofos como las Methanoarchaea. Sin embargo, no existen reportes de recuento de estas poblaciones en los ecosistemas estudiados.

El objetivo principal de este proyecto de investigación es determinar la abundancia relativa de las poblaciones anaerobias asacarolíticas peptidolíticas sintróficas de un sistema anaerobio para el tratamiento de aguas residuales de una industria cervecera y asimismo aislar e identificar que tipo de microorganismos prevalecen en estas condiciones. El efluente que genera esta industria cervecera puede presentar una concentración significativa en proteínas que son degradadas vía anaerobia, reuniendo las condiciones ideales para la realización del presente estudio. Se espera obtener una visión más completa de los microorganismos asacarolíticos peptidolíticos involucrados en la degradación de la materia orgánica en este reactor anaerobio. Esta información podrá ser utilizada posteriormente para la optimización del proceso microbiológico implicado en la degradación de estos substratos, y por ende en la operación de reactores anaerobios para el control de la contaminación acuática.

ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MICROBIANA ANAEROBIA DE YACIMIENTOS TERMALES MINERALES EN BOYACÁ (COLOMBIA)

En Colombia existen diferentes ecosistemas extremófilos, como son las aguas termominerales distribuidas en las regiones Andina y Atlántica, las cuales están asociados a la falla del Pacífico. Estas aguas minerales termales están generalmente constituidas por aguas ricas en sulfatos o en bicarbonato de sodio. Los yacimientos ricos en sulfatos son de gran importancia en la economía local debido a su uso turístico.

Debido a las características físicas y a los gradientes químicos presentes, estos ecosistemas ofrecen una variedad de hábitat y micronichos los cuales pueden potencialmente ser habitados por microorganismos metabólicamente diversos. Es muy poco lo que se conoce acerca de la distribución espacial de las poblaciones presentes en estos ecosistemas y los cambios que ocurren en la estructura de estas comunidades a lo largo de estos gradientes químicos. El objetivo principal de este proyecto es estudiar la estructura de la comunidad microbiana de yacimientos termominerales situados a 2.500 m.s.n.m. en el Departamento de Boyacá (Región Andina) y se enfoca sobre los grupos más relevantes de microorganismos termófilos (Archaea y Bacteria) que habitan estos ecosistemas. Este proyecto ha sido estructurado sobre tres grupos microbianos principales: (1) bacterias sulfato-reductoras y tiosulfato reductoras no sulfato-reductoras, (2) bacterias azufre-reductoras y (3) bacterias autotróficas oxidadoras de azufre. El estudio se ha subdividido en tres componentes: (1) Enriquecimiento y aislamiento microbiológico y caracterización fisicoquímica de la zona de muestreo (2); Estudios fisiológicos y bioquímicos de los microorganismos aislados; y (3) Estudios de sistemática molecular, análisis de secuencias de rRNA para determinar la estructura total de la comunidad microbiana utilizando métodos independientes del cultivo tradicional.

Baena S., M.-L. Fardeau, M. Labat, B. Ollivier, P. Thomas y B. K. C. Patel. 1998a. *Aminobacterium colombiense* gen. nov., sp. nov., an amino acid-degrading anaerobe isolated from anaerobic sludge. *Anaerobe* 4:241-250.

Baena S., M.-L. Fardeau, M. Labat, B. Ollivier, J.-L. Garcia y B. K. C. Patel. 1998b. *Desulfovibrio aminophilus* sp. nov., a novel amino acid degrading and sulfate-reducing bacterium from an anaerobic dairy wastewater lagoon. *Syst. Appl. Microbiol.* 21: 498-504.

Baena S., M.-L. Fardeau, M. Labat, B. Ollivier, P. Thomas y B. K. C. Patel. 1999. *Aminomonas paucivorans* gen. nov., sp. nov., a mesophilic, anaerobic, amino-acid utilizing bacterium. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 49: 975-982.

Baena S., M.-L. Fardeau, M. Labat, B. Ollivier, y B. K. C. Patel. 2000. *Aminobacterium mobile* sp. nov., a new anaerobic amino acid degrading bacterium. *Int. J. Syst. Evolut. Microbiol.* . 50: 259-264.

Breton, Françoise. 1999. Investir la biodiversité. *Biofutur.* 194: 82-83.

Ollivier, B. , P. Caumette, J-L. Garcia, R. A. Mah. 1994. Anaerobic bacteria from hypersaline environments. *Microbiol. Rev.* 58: 27-38.

Ollivier, B.; BKC Patel; J.-L. Garcia. 2000. Anaerobes from Extreme Environments. En: *Journey to Diverse Microbial Worlds.* J.Seckbach (ed.). Pp: 73-90.

1.3.11. Prospección ecológica, una nueva visión de los microorganismos

Institución: Universidad de Antioquia - Facultad de Ciencias Agrarias

Grupo de investigación: Caracterización de la Biodiversidad – GEMPA y grupo CHHES-BIOGENESIS (como Hacemos lo que Hacemos en Educación Superior)

Ponente: Martha Cecilia Suárez Alfonso

Contacto: mcesuarez@agronica.udea.edu.co

Financiación: Universidad de Antioquia

Logros obtenidos: El curso de Microbiología para Zootecnia, en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, ha sido orientado tradicionalmente, por el grupo de profesores de Microbiología Veterinaria y consecuentemente, la orientación ha sido hacia la enfermedad, pero con una intensidad horaria menor y por lo tanto con un nivel más superficial. Durante el primer semestre de 2001, nos propusimos introducir cambios que hicieran el curso más apropiado para la carrera y más cercano a los intereses de cada uno de los estudiantes. Para determinar los contenidos pertinentes para el curso, se invitó a una reunión de estudiantes con profesionales tanto de Zootecnia como de Medicina Veterinaria y de Agronomía, que de una u otra manera hubieran liderado diferentes procesos relacionados con el área de Microbiología, a quienes se les pidió proponer y justificar los temas más importantes de la Microbiología para Zootecnia. Algunos de los temas enunciados fueron Ecofisiología microbiana, microbiología del suelo, contexto suelo-planta-animal, microbios y nutrición, ecosistema ruminal, microbiología de la leche, control y aseguramiento de la calidad, gestión de inocuidad, biotecnología, salud y ética ambiental. Con base en los temas sugeridos se inició el proceso de adecuación del curso, con estos énfasis. Un año después una vez evaluado, el programa del curso fue presentado al Consejo de Facultad, para su aprobación.

El primer resultado extraordinario de esta experiencia fue el cambio de visión de la docente coordinadora del curso. Lo que inicialmente se constituyó en una propuesta de adecuación de un curso de pregrado, nos dio luces para adquirir una visión más amplia de la microbiología, posibilitó un acercamiento al contexto del ecosistema (del rumen, del intestino, del suelo, de la glándula mamaria, etc.), nos acercamos más a la naturaleza, al verdadero papel de los microorganismos en la vida, conocimiento esencial para la Zootecnia, para el manejo del recurso natural. Se adquirió una mirada más sistémica, desde la prospección ecológica, se conservó el interés de la enfermedad en la producción, pero se perdió de vista el imaginario de la microbiología solamente para el estudio de los microorganismos patógenos. En esta dirección también han cambiado nuestros intereses de investigación, si bien el estudio de los patógenos seguirá siendo esencial para garantizar la salud de poblaciones humanas y animales, también la conservación de los ecosistemas microbianos es indispensable para una producción animal limpia y eficiente y la intervención inapropiada de estos es un factor determinante para la presentación de la enfermedad.

1.3.12. Respuesta de controladores biológicos en patógenos causantes de enfermedades en flores de exportación

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Biología - Sede Bogotá

Ponente: Emira Garcés de Granada

Contacto: egarces@ciencias.unal.edu.co

Logros obtenidos: La posibilidad de utilizar microorganismos que se encuentran en la naturaleza para controlar enfermedades de las plantas, sigue siendo un método atractivo y seguro para el ambiente. Por tanto, el entendimiento completo de los mecanismos de antagonismo microbiano, puede eventualmente conducir a la utilización efectiva de los microorganismos benéficos para el control, si tenemos en cuenta los trabajos realizados por muchos investigadores.

La capacidad antagónica de diversas especies y aislamientos de *Trichoderma* en el control de los hongos como *Fusarium oxysporum* y *Botrytis cinerea* varía de especie a especie, demostrando mayor efectividad *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma hamatum*, debido a la gran potencialidad de los suelos colombianos para albergar diversas especies de hongos controladores. En un estudio para analizar el potencial de estas especies se realizaron setenta aislamientos de *Trichoderma* spp. y quince de *Gliocladium* spp. de suelos colombianos, con el propósito de evaluar su actividad como agentes de biocontrol de *F. oxysporum* f. sp. *dianthi* en clavel y *Phoma chrysanthemicola* en pompón (Garcés de Granada *et al.*, 1999).

También fue de gran importancia encontrar que las pérdidas de *Statice* (*Limonium sinuatum*) causadas por *Botrytis cinerea* Pers., son reducidas al combinar el uso de fungicidas como Ronilan, Rovral, Folicur, con *Trichoderma hamatum*, además de un manejo cultural como método integrado de control (Díaz *et al.*, 1999).

Recientemente se han evaluado aislamientos de *Trichoderma hamatum*, *Trichoderma harzianum* y un producto comercial Fitotripen (multiceps de *Dendrathera grandiflora*), variedades Polaris, Vero, Calvex y Revert, Encontrándose una gran eficiencia en el control de la enfermedad Pudrición basal de raíz y tallo (Díaz, *et al.*, 2002).

Diferentes aislamientos de *Trichoderma* sp. (T13 Agronomía, T41, T23, T4, T52, T26, T31, T18, T2 y T32 del Departamento de Biología de la Universidad Nacional, redujeron la incidencia de enfermedades causadas por los patógenos *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii* en crisantemo variedades Vero, Polaris y Focus.

Prieto, L. M., Ochoa, G. R., Valcarcel y E. Garcés de Granada. 1999. Susceptibility of five *Dendrathera grandiflora* cultivars to *Phoma* sp. and evaluation of biocontroller. *Revista Acta de Horticulturae* 482: 219-222.

Garcés de Granada, E., Orozco de Amezquita, M. y A. C. Zapata. Fitopatología en flores. *Acta Biológica Colombiana* 4: 5-26.

Garcés de Granada, E., E Orozco de Amezquita, M., Arbelaez, G., Carvajal, L. M., Salamanca, M. y R. Lee. 1999. Evaluación of the hability of native isolates of *Trichoderma* spp. and *Gliocladium* spp. To control *Fusarium oxysporum* f sp. *dianthi* in carnation and *Phoma chrysanthemicola* in chrysanthemum. *Resvista Acta Horticulturae* 482: 163-168.

1.3.13. Microbiología del suelo

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Biología - Sede Bogotá

Grupo de investigación: Hernando Valencia Z. y estudiantes Universidad Nacional. de Colombia

Ponente: Hernando Valencia Z

Contacto: hvalencia@ciencias.unal.edu.co

Financiación: Universidad de Kassel – Alemania y Universidad Nacional de Colombia

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: En el área de Microbiología del suelo se ha realizado investigaciones en ecología microbiana en ecosistemas naturales y en suelos de cultivo, con estudios sobre comunidades de microhongos saprofitos y simbióticos en páramos y cultivos. Efecto rizosférico de criptógamas y solanaceas sobre actinomycetes. Bacterias fijadoras biológicas de nitrógeno - rizosféricas y endofitas - asociadas a cultivos de caña de azúcar panelera. Hongos solubilizadores de fosfatos en suelos de páramo y de sabanas.

Las investigaciones anteriores tienen interés para aplicaciones en agricultura ecológica y han durado en promedio de uno a dos años. Entre los servicios ecosistémicos de los microorganismos en cuestión están: descomponedores de la materia orgánica y ciclaje de nutrientes. Biofertilizadores (incrementan la cantidad de un nutriente presente en el suelo). Fitoestimuladores (producen sustancias promotoras de crecimiento, tales como hormonas, aa, vitaminas). Bioestimuladores, como las rizobacterias promotoras del crecimiento de plantas (*plant growth promoting rhizobacteria*), que pueden pertenecer a uno o más grupos funcionales (fijador biológico de N₂ y productor de sustancias bioestimuladoras).

Resultados obtenidos: En comunidades microfúngicas del páramo de Chisacá se determinaron 62 especies de hongos de pastizal – frailejónal y de vegetación arbustiva, con predominio de especies de *Mortierella*, (*M. gamsii*, *M. humilis*, *M. minutissima*), *Trichoderma* (*T. hamatum*, *T. koningii*, *T. viride*) y *Fusarium*, (*F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*) entre otros. Con relación a fijadores biológicos de nitrógeno se aislaron bacterias diazotróficas asociadas a la rizosfera y a la parte interna de raíz y tallo de plantas (endófitos) provenientes de cultivos de caña de azúcar panelera (variedad POJ 2878). Se identificaron bacterias nativas pertenecientes a los géneros *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* y *Herbaspirillum*. Algunas especies (*Acetobacter diazotrophicus*) son registradas por primera vez en Colombia. Varios aislamientos presentaron alta actividad de nitrogenasa (>100 nmoles de etileno hora⁻¹) representando así organismos promisorios como biofertilizantes para el mejoramiento de los cultivos de caña de azúcar, dado su potencial como fijadores de nitrógeno.

En cuanto a microorganismos simbióticos mutualistas tipo micorriza arbuscular (MA) en cítricos y mango en la región de la Mesa (Cundinamarca) en cultivos libres de agroquímicos se encontraron las siguientes especies en mango: *Glomus globiferum*, *G. fecundisporum*, *G. constrictum*, *G. tenerum*, *G. fulvum*, *G. gedermannii*, *G. versiforme*, *G. boreale*, *G. microagregatum*, *G. magnicaule*, *G. albidum*, *Glomus* sp. 1, *Acaulospora foveata*, *Entrophospora* sp. y *Sclerocystis* sp. En naranja y mandarina: *Glomus globiferum*, *G. fecundisporum*, *G. constrictum*, *G. tenerum*, *G. fulvum*, *G. gedermannii*, *G. versiforme*, *G. boreale*, *G. microagregatum*, *G. magnicaule*, *G. albidum*, y *Acaulospora foveata*.

Según los análisis de regresión tanto para infección total como para la concentración de esporas en el suelo se comprobó una relación inversa con la concentración de fósforo disponible. Hongos solubilizadores de fosfatos de rizosfera de *Eugenia stipitata* (arazá) en Guaviare, se obtuvo

aislamientos de *Gongronella*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Fusarium* y *Trichoderma*; y de alta montaña, en rizosfera de *Espeletia grandiflora*: especies de *Penicillium*, *Cladosporium*, *Zygorrhynchus* y *Epicoccum*.

1.3.14. Bioprospección y micorrizas

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Biología - Sede Bogotá

Ponente: Marina Correa de Restrepo

Logros obtenidos: En el área de microbiología de suelo se ha llevado a cabo un trabajo integral con los hongos denominados micorrizas vesiculo-arbusculares.

El conocimiento ecológico integral de los ecosistemas, desde una perspectiva holística, requiere de una investigación que este orientada básicamente al estudio de estructura, representada por sus componentes y de su función, representada entre otros aspectos, por los ciclos de nutrientes y por su productividad.

Los hongos micorrícicos son biotrofos obligados de las plantas verdes, obteniendo en el proceso de simbiosis fotosintatos y a su vez entregando a sus hospederos nutrientes minerales y agua que obtienen del suelo, a través de la actividad de miles de millones de micelios de los suelos y que mediante mecanismos altamente especializados pueden llevar hasta las raíces que ellos colonizan.

Desde esta visión, las micorrizas se constituyen en elementos fundamentales en los ecosistemas terrestres y en un recurso biológico que fue estudiado *in situ* en ecosistemas naturales en 11 localidades del departamento de Caquetá (Amazonía colombiana) donde se encontraron en suelos y raíces de especies de familias botánicas. Se cuantifico la infección y se interrelacionaron datos de textura, pH, aluminio, fósforo, geomorfología y clase de los suelos estudiados; a partir de esta información, se determino la actividad y la efectividad de algunos de estos inóculos en condiciones de Caquetá, evaluando capacidad de colonización de raíces, crecimiento vegetativo y rendimiento de biomasa en *Brachiaria dictioneura* y *Centrosema acutifolium* con resultados altamente promisorios. Un segundo ensayo se llevó a cabo en condiciones de la sabana de Bogotá, utilizando inóculos caqueteños en *Pennisetum clandestinum* con variables como condiciones de mantenimiento de inóculo, temperatura ambiente y nevera, se obtuvo alta producción de materia seca del área foliar con inóculos provenientes de áreas quemadas.

En la vereda de Alto Charco, municipio de Sibaté, departamento de Cundinamarca, se llevó a cabo el estudio donde se busco correlacionar cualitativa y cuantitativamente la micorriza con la pluviometría y la evapotranspiración mensual en dos épocas del año: seca y lluviosa. Se encontró que en la época seca el número de esporas fue mayor pero la diversidad fue menor, mientras que en la época de lluvia la cantidad de MVA disminuyó pero la diversidad fue mayor. Se encontraron 35 tipos morfológicos de esporas que corresponden a igual número de especies de los géneros: *Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entropospora*, *Scutellospora*.

En la Amazonía los estudios se dirigieron al reconocimiento y cuantificación de la micorriza en áreas con diferentes grados de intervención antrópica. Se encontró que en el área mas intervenida muestreada en época seca la MVA fue abundante en suelo rizosférico y menor en las raíces de las plantas hospederas. En el área cultivada con *Erythroxylum coca* y en el área quemada se encontraron los mayores valores de micorrización en raíces y el mayor número de esporas en suelo rizosférico.

1.3.15. Los hongos que forman micorriza, reducto de diversidad biológica

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira

Grupo de investigación: Marina Sánchez de Prager

Ponente: Marina Sánchez de Prager

Contacto: praguersa@andinet.com

Financiación: Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira

Duración de la investigación: Nueve años

Logros obtenidos: En el estudio de los hongos que forman endomicorriza, principalmente de tipo arbuscular (HMA) la Universidad Nacional – Palmira ha estado comprometida desde el año 1983 y en 1984, se organizó en esta Sede el Primer Curso Nacional sobre Micorrizas, evento en que coincidieron algunos de los investigadores que hoy confluyen en esta área de investigación.

Las necesidades regionales llevaron a que los estudios se enfocaran hacia el conocimiento de HMA en agroecosistemas de importancia estratégica como es el caso del café, yuca, gramíneas, hortalizas y frutales, indagando en primera instancia sobre especies nativas y también sobre respuestas a inoculaciones con estos hongos. Se logró conocer que los HMA como reducto de diversidad biológica, aunada a las funciones que desempeñan en el suelo debían ser objeto de estudio y de planes de conservación y manejo.

El comprender que este recurso microbiológico era fundamental para el equilibrio de los ecosistemas y agroecosistemas nos llevó a interrogantes acerca de qué prácticas agronómicas los afectaban y cómo podían protegerse y estimular su actividad en el suelo. El libro “Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos” publicado por la suscrita en 1999 recoge los resultados de esta etapa.

En la sede existe como programa de investigación el estudio de endomicorrizas en agroecosistemas y ecosistemas, con varias líneas de trabajo; sin embargo, el trabajo en el campo ha mostrado que los HMA son un componente del sistema y que sólo en la medida que se integra su manejo a los otros componentes, es posible hacer un uso de sus potencialidades.

1.3.16. Uredinales

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira

Grupo de investigación: Pablo Buriticá, Victor, Pardo-Cardona, Mauricio Salazar Y. y estudiantes ocasionales

Ponente: Pablo Buriticá

Contacto: gsvunal@perseus.unal.med.edu.co

Financiación: Universidad Nacional de Colombia y CENICAFÉ

Duración de la investigación: Treinta y cinco años

Logros obtenidos: Se ha encontrado que la micota colombiana de Uredinales estaba pobremente conocida y que es mucho más grande y diversa de lo originalmente establecido. Se han encontrado nuevas familias, géneros, especies y hospedantes. Se han establecido distribuciones geográficas y se han postulado conexiones en los ciclos de vida.

Se ha establecido una población única en los páramos y otros nichos ecológicos. Se ha conformado y preservado una colección de referencia. Para la fitopatología se han esclarecido especies presentes en Colombia y se han actualizado hospedantes, nombres y listas de fitopatógenos. Se han estudiado taxonómicamente especies con potencial en el biocontrol de plantas indeseables. Para la ciencia universal se han elaborado hipótesis para interpretar fenómenos presentes en el trópico y especialmente en la zona andina. Se han publicado en distintos medios nacionales y extranjeros más de 20 artículos científicos especializados o técnicos.

Proyecciones: Micota Uredinológica colombiana.

Largo Plazo: Presentar todos los hallazgos en forma de inventario nacional, con descripciones, detalles para su fácil identificación e información en los campos de interés de estos organismos.

Corto Plazo: Colectar y estudiar la micota Uredinológica en zonas nunca visitadas por investigadores nacionales o extranjeros, especialmente el Pacífico, la Amazonía, la Orinoquía, las montañas del Caribe (Sierra Nevada y Serranía del Perijá) y la parte insular (Atlántico y Pacífico).

Elaborar listas de Uredinales de importancia fitopatológica, cuarentenaria y de potencial para el control microbiológico de plantas indeseables.

1.4. ÁREA DE PLANTAS

1.4.1. CENIPALMA: ciencia, tecnología y progreso

Institución: Centro de Investigación en Palma de Aceite - CENIPALMA

Ponente: Cristina Mendoza

Contacto: dir.ejecutiva@cenipalma.org; [http:// www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)

Logros obtenidos: El Centro de Investigación en Palma de Aceite, CENIPALMA, es una corporación privada sin ánimo de lucro constituida por los afiliados de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, FEDEPALMA, como entidad especializada en generar, adaptar y transferir tecnología relacionada con el cultivo, el procesamiento de su fruto y el consumo de los productos derivados del mismo, en la búsqueda de la mayor productividad y eficiencia de la agroindustria palmera.

Para la solución de los problemas tecnológicos más sentidos de la agroindustria palmera en Colombia, CENIPALMA ha diseñado proyectos en investigación básica, aplicada y adaptativa agrupados siguientes cinco áreas.

Área 1. Manejo integrado de problemas fitosanitarios: Investiga las principales enfermedades de la palma de aceite (complejo de pudrición del cogollo, marchitez sorpresiva, manejo de nemátodos – anillo rojo, pudrición de estipe, mancha anular) y adelanta actividades para el manejo integrado de plagas a través del diseño de sistemas de monitoreo y control biológico, reduciendo el uso de agroquímicos para generar un impacto ecológico favorable.

Área 2. Manejo integrado de suelos y aguas: Las investigaciones en esta área han promovido el manejo integrado de suelos y aguas revolucionando las prácticas de fertilización, sustentadas hoy en los análisis foliares y en la evaluación de la calidad del suelo, y han establecido los parámetros necesarios para el manejo eficiente y sostenible del riego y drenaje.

Área 3. Manejo Agronómico, Fisiología: En esta área se investiga sobre el conocimiento de la fisiología de la palma de aceite y de sus procesos, en cada una de las zonas productoras del país, investigaciones que han tenido un peso innegable en el mejoramiento de las prácticas agronómicas de acuerdo con los requerimientos de las palmas, y en el incremento de la producción.

Área 4. Fitomejoramiento genético: Esta área desarrolla investigación para el mejoramiento genético y la producción de variedades de palma de aceite adaptadas a las condiciones agroecológicas colombianas. El laboratorio de marcadores moleculares de CENIPALMA proporciona los medios para identificar de manera ágil las características genéticas de las palmas y acelerar el proceso de selección, con miras a producir variedades adaptadas a las diferentes zonas productoras del país.

Área 5. Procesos y usos del aceite de palma: Esta área concentra su investigación en la problemática tecnológica de las palmas extractoras de aceite de palma para hacer más eficiente en el procesamiento de productos primarios: aceite de palma crudo y aceite y torta de palmiste. Así mismo al cobrar mayor importancia cada día el aspecto ambiental, las investigaciones de CENIPALMA sustentan la posibilidad de propender por la producción limpia de la agroindustria y contribuyen de manera eficaz al mantenimiento del ecosistema. Por último en esta área se adelantan programas de salud y nutrición humana.

1.4.2. Bioprospección en café

Institución: Centro Nacional de Investigaciones del Café - CENICAFÉ

Grupo de investigación: Ricardo Acuña, Pilar Moncada, Diana Molina, Carmenza Góngora, Alvaro Gaitán, Marco Cristancho, Huver Posada, Hernando Cortina Gabriel Alvarado, Alex Bustillo

Ponente: Ricardo Acuña

Contacto: Ricardo.Acuna@cafedecolombia.com

Financiación: CENICAFÉ, Purdue University; Cornell University; University of Maryland

Logros obtenidos: Evaluación colección de germoplasma: El café no es nativo, por lo que toda la diversidad que se encuentra en Colombia está en el Banco de Germoplasma de CENICAFÉ. De este banco, se seleccionó la Variedad Caturra, con la cual el cultivo de café intensivo, aumentó notablemente la producción. Posteriormente a partir de Caturra y el Híbrido de Timor, se desarrolló la Variedad Colombia, resistente a la roya, de gran impacto en la preservación del ambiente libre de fungicida. Adicional a la evaluación de características fenotípicas, se han realizado estudios parciales de diversidad genética utilizando marcadores RAPD y microsatélites. Con la ayuda de los microsatélites se seleccionaron los progenitores para crear las poblaciones que servirán en la construcción de un mapa genético del café.

Genes del café: Se identificaron y caracterizaron: el gen de la principal proteína de reserva del grano de café, importante como precursor del aroma; el promotor que regula la expresión del gen en el grano; también, las secuencias promotoras de otros dos genes del café, alfa-tubulina y fenilalanina amonio-liasa. Usando una genoteca de cDNA de hojas fueron secuenciados y analizados 750 EST. El 42% exhibieron similitud con genes conocidos de plantas u otros organismos, 19% con secuencias de proteínas con función desconocida y 39% representan nuevas secuencias.

Genes de otros organismos: Se cuenta con dos proteínas quitinolíticas, aisladas de *Streptomyces albidoflavus*, que en dietas artificiales han demostrado actividad letal contra la broca del café. Cuando los genes de estas proteínas fueron introducidos al tomate, las plantas transgénicas obtenidas, además de mostrar actividad biológica contra insectos plaga, aceleraron la floración y producción de frutos, incrementando su número. Adicionalmente, se han identificado inhibidores

de proteinasas y amilasas que inhiben enzimas digestivas de la broca. También se cuenta con proteasas y esterases, asiladas de *Metarhizium anisoplae*, involucrados en la patogenicidad de este hongo contra insectos. Estos resultados junto con otras investigaciones que se realizan en CENICAFÉ han permitido y permitirán obtener variedades de café con resistencia a las principales enfermedades, mayor productividad y mejor calidad en un contexto amigable con el medio ambiente.

Control biológico de la broca: CENICAFÉ ha desarrollado un programa de manejo integrado para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* basado en el desarrollo de agentes de control biológico, especialmente hongos e insectos parasitoides. También existen colecciones de referencia de la fauna insectil que es una muestra de la gran biodiversidad de la zona cafetera colombiana.

1.4.3. Caracterización etnobotánica, taxonómica, toxicológica, fitoquímica y clínica del amansatoros (*Justicia polygonoides* H.B.K.) para el desarrollo de productos fitoterapéuticos

Institución: Escuela de Medicina Juan N. Corpas - Laboratorio de Ciencias Básicas

Grupo de investigación: Nancy Herreño, Oscar López, Antonio Luis Mejía, Luis Miguel Pombo, Gabriel Sáenz y Braulio Suárez

Ponente: Oscar Javier López

Contacto: ojlopez@yahoo.es

Objetivo: Establecer la caracterización etnobotánica, taxonómica, toxicológica, fitoquímica y clínica de la planta amansatoros (*Justicia polygonoides* H.B.K.), para su industrialización y utilización en el área médica en trastornos de ansiedad

Duración de la investigación: Catorce meses

Logros obtenidos: Este estudio fue realizado en el Laboratorio de Ciencias Básicas de la Escuela de Medicina Juan N. Corpas, centro de investigación en el área de las plantas medicinales y las terapias no farmacológicas.

Esta planta propia de climas cálidos y medios se encuentra en Colombia en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca y el Pacífico colombiano, en alturas que van desde los 350 y hasta los 1.040 m.s.n.m. En la región norte del Cauca, está reportada a 1650 m.s.n.m.

Los miembros de esta familia son hierbas y subarbustos con flores conspicuamente bilabiadas. Vegetativamente caracterizados por poseer hojas uniformemente opuestas, usualmente enteras o con márgenes dentado – espinosos. El género *Justicia* tiene cerca de 500 especies en todo el mundo; siendo este el género principal de la familia Acanthaceae.

El amansatoros es una hierba de 0.15-0.40 m de altura; crece en grupos densos y en lugares húmedos. Caracterizada típicamente por la coloración morada en el envés de sus hojas y la presencia de espigas terminales con flores de color lila muy vistosas.

Se encuentra sembrada en algunos jardines caseros en cercanías del río Anchicayá, en el Chocó Biogeográfico, donde sus hojas son empleadas popularmente para controlar las hemorragias; existe un registro de la planta en la Amazonía ecuatoriana (provincia de Napo) de donde se cree es originaria. Es también empleada en la región norte del Cauca por el médico tradicional o chamán como tranquilizante o ansiolítico menor.

Se escogió esta especie por su importancia en el ámbito socioeconómico, ya que pertenece a un programa de salud y desarrollo comunitario con base al empleo de plantas medicinales de la región norte del Cauca, apoyado por la Escuela de Medicina Juan N. Corpas y realizado por la Asociación Solidaria de Salud y Productos Naturales (CISEC).

Para su caracterización fitoquímica se utilizaron los procedimientos de marcha fitoquímica y cromatografía en capa delgada. Los desarrollos cromatográficos se realizaron basados en los procedimientos descritos por H. Wagner y S. Bladt, en su atlas de cromatografía *Plant Drug Analysis*. Se analizó el contenido de Alcaloides, Antraquinonas, Cumarinas, Monoterpenos y Triterpenos. En la evaluación toxicológica se determinó la toxicidad aguda (DL50), subcrónica (tres meses) y crónica (seis meses), evidenciándose su bajo riesgo al ser utilizada.

El estudio clínico se realizó con una muestra de 55 pacientes de diferentes edades y ambos sexos. El tratamiento tuvo una duración de 12 semanas. El extracto utilizado fue preparado a una concentración de 1 g/ml (1:1). La ansiedad fue evaluada cuantitativamente al inicio del tratamiento, y mensualmente durante los tres meses de estudio, utilizando el test de Goldberg. El análisis estadístico mostró la eficacia del amansatoros en dicho trastorno para una $p < 0.05$.

1.4.4. *Cattleya labiata* var *trianae*: flor nacional de Colombia

Institución: Fundación Bertha Hernández de Ospina

Ponente: Rubén Vázquez Ávila

Financiación: Fundación Bertha Hernández de Ospina

Duración de la investigación: Diez años

Logros obtenidos: Presento algunos aspectos taxonómicos geográficos y ecológicos de la *Cattleya labiata* var. *trianae*, flor nacional de Colombia y una de las *Cattleyas* unifoliadas más importantes por su aporte genético a la orquideología moderna.

Descripción *Cattleya labiata*: *Pseudobulbis fusiformi clavati varie sulcatis monophyllis, spatha spathisue varie evolutis, pedúnculo uni-trifloro, flore máximo expanso membranaceo, sepalis lingulatis acutis, tepalis oblongis*

obtusiusculis varie crispis, labello máximo oblongo varie tribolo, varie crispo, columna recta clavata, androclinii apiculo mediano postico lingulato retuso supra anteram flexo (Lindley, 1824).

La *Cattleya labiata* var. *trianae* esta dedicada al ilustre científico y botánico Colombiano Dr. José Jerónimo Triana.

Affinis Cattleya labiatae (Sic): Labello ovato rhombeo apice bilobulo, antrorsum crispulo. Sépala oblongo-lanceolata acuta. Tépalas rhombeo-ovato retusa, antrorsum minute crispula. Columna clavata apice bifalcis lamina lineari postice supra antheram. Perigonium albo roseum. Labellum ejusdem coloris, apice atropurpureo-violaceum, disco aurantiaco biloso. (Linden & Reichembach, f., Bot. Zeitung, 1860).

Varietad Cattleya trianae: Var. trianaei (Sic): Flore aperto, sepalis alte rhombeis, labello subrhombeo, retusiusculo, florens vere nostro (Journal. soc imperial d'hart, 1860).

Distribución Geográfica: El Huila es el centro de dispersión de la especie; la *C. trianae* se encuentra desde San Marcos en Acevedo (Huila) y a la altura del municipio de Altamira inicia su recorrido por la cordillera Oriental y Central hasta altura de Yacopí en (Cundinamarca) donde se encuentra con la *Cattleya Warscewiczii* donde posiblemente existen híbridos naturales, como ocurre con *C. quadricolor*.

Coordenadas: Entre 74 y 76 de longitud oeste y 1,7 y 5,5 latitud norte

Altura s.n.m: 750 a 1.400 m

Precipitación anual: 900 - 1.400 mm

Temperatura media: 23,5 a 28 C

Humedad relativa anual: 60 a 80%

Zona de vida: Bosque húmedo premontano y bosque seco tropical

Formas de *Cattleya trianae*: En cualquier población de organismos autorreproductores, habrá variaciones tanto en material genético como en el comportamiento de los diferentes individuos. Estas diferencias supondrán que algunos individuos sean más capaces que otros, lo que les da más capacidades de sobrevivir y reproducirse.

La *Cattleya trianae* es la más abundante y con mayores variantes en color dentro de las catleas colombianas. En la obra FLORA BRASILIENSIS, 1898, Alfred Cogniaux enumera once variedades naturales de *Cattleya labiata*, y las divide en subvariedades y formas hortícolas. Dentro de estas está la *Cattleya trianaei* Duchtr., con ciento veinte formas. La colección Burrage en Massachusetts, U.S.A., posee desde 1920 más de 2.800 plantas de esta subespecie.

Resultados obtenidos: Identificación de la distribución geográfica de *Cattleya labiata* var. *trianae*

Taxonomía de *Cattleya labiata* var. *trianae*

Identificación de variaciones genotípicas y fenotípicas de *Cattleya labiata* var. *trianae*

Proyecciones: Identificación de secuencias de ADN en *Cattleya labiata* var. *trianae*

1.4.5. Comercio justo y mercados verdes

Institución: Fundación Colombiana Pro Comercio Justo y Mercados Verdes - PROCOMVERDE

Ponente: Angela Duque Villegas

Contacto: comerciojusto@cable.net.co

Objetivo: La Fundación Colombiana Pro Comercio Justo y Mercados Verdes – PROCOMVERDE - tiene como finalidad fortalecer el desarrollo empresarial y social, con criterios de sostenibilidad, de todos los actores involucrados en la producción, transformación y comercialización de productos derivados de la biodiversidad y, específicamente, las plantas medicinales y aromáticas.

PROCOMVERDE surge como respuesta a esta necesidad de fortalecimiento y pretende, a través de programas integrales, promover actividades de investigación y desarrollo tecnológico, establecimiento de programas de capacitación y divulgación e implementación de políticas.

PROCOMVERDE busca el desarrollo local, regional, nacional e internacional del comercio justo de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias, como productos de la biodiversidad, incluyendo en su marco de acción a las instituciones responsables de implementar proyectos, programas y políticas relacionadas con la bioprospección, tanto en los sectores industrial, comercial, investigativo y financiero como en la comunidad.

PROCOMVERDE es una persona jurídica de derecho civil, de carácter privado, sin ánimo de lucro, con patrimonio propio y autónomo, independiente en sus actuaciones, que inició actividades en 2001.

La misión de PROCOMVERDE es fomentar, promover y patrocinar el uso y manejo sostenible de los productos provenientes de la biodiversidad, en especial las plantas medicinales y aromáticas, así como sus productos derivados en el marco de la promoción de mercados verdes que permitan un buen uso y conservación de la biodiversidad, así como la responsabilidad ambiental entre los distintos actores.

Las acciones de promoción, fortalecimiento, desarrollo e implementación de PROCOMVERDE incluyen las siguientes áreas de trabajo:

- Coordinación y orientación de proyectos de investigación en el área de la producción, transformación y comercialización de plantas medicinales y aromáticas y mercados verdes
- Desarrollo de actividades de capacitación, por sí solo o en convenios con universidades del país y del exterior, en áreas relacionadas con el objeto social de la fundación
- Apoyo a mecanismos de integración con la comunidad iberoamericana en el ámbito del comercio justo y mercados verdes
- Promoción de campañas publicitarias y educativas en el marco de actividades tales como eventos, congresos, seminarios y en general todas las actividades que propendan por el intercambio de conocimientos en el área objeto social de la fundación

- Implementación de una base de datos que permita contar con información actualizada del mercado internacional de plantas medicinales y sus derivados así como de su potencial económico, ecológico y social.
- Diseño e implementación de programas que involucren a los distintos sectores sociales vinculados con las plantas medicinales y sus derivados, en la constitución de redes locales que promuevan el comercio justo, los mercados verdes, la certificación, el control de calidad, la industrialización, el cultivo orgánico y la conservación ecológica de los recursos fitoterapéuticos en los países iberoamericanos.
- Apoyo y asesoría en la promoción de estudios de mercado y otro tipo de investigaciones prioritarias, que permitan desarrollar alternativas socioeconómicas a los productores locales de plantas medicinales y sus derivados.
- Diseño e implementación de programas que permitan abordar multisectorialmente la situación actual de la bioprospección en Colombia con énfasis en plantas medicinales: biopiratería, derechos de propiedad de los pueblos indígenas, patentes, registro de productos y servicios, etc.

Público objetivo:

- Sector público: ministerios, corporaciones autónomas regionales, institutos de investigación, centros de formación, entidades territoriales y asociaciones públicas, entre otros.
- Sector productivo: laboratorios naturistas, gremios y asociaciones empresariales y empresas comercializadoras, entre otras.
- Sector académico: universidades, institutos de investigación, entidades de capacitación y fomento, entre otros.
- Entidades multilaterales y de fomento: Banco Mundial, BID, CYTED, UNEP, ONUDI, OEA, Unión Europea, TRAFFIC, COLCIENCIAS y PROEXPORT, entre otros.
- Comunidades: ONG y comunidades en general, involucradas en procesos de cultivo, producción, transformación y comercialización de productos provenientes de la biodiversidad, en especial, las plantas medicinales y aromáticas.

Redes de apoyo:

PROCOMVERDE ha establecido relaciones de colaboración y apoyo con organismos internacionales, organismos no gubernamentales y, en general, instituciones relacionadas con el tema. Es así como PROCOMVERDE es miembro oficial de la Red Iberoamericana de Comercio Justo de Plantas Medicinales – RICOPLAM – con coordinación en México y de la Red Iberoamericana de Productos Fitoterapéuticos – RIPROFITO – con coordinación en Guatemala.

La Red Iberoamericana de Productos Fitofarmacéuticos (RIPROFITO) tiene como objetivo propiciar la cooperación internacional entre los sectores académico, empresarial y de gobierno para estimular la industrialización de las plantas medicinales con el fin de aprovechar al máximo los recursos vegetales autóctonos en el cuidado de la salud de Iberoamérica. Su tema central gira en torno al uso de la diversidad genética y cultural de la región como base para equiparar la fitoterapia como una opción terapéutica en los sistemas de salud.

La Red Iberoamericana de Comercio Justo de Plantas Medicinales y Aromáticas (RICOPLAM) está integrada por empresas, organizaciones civiles, laboratorios, productores, cámaras de comercio, investigadores y demás sectores que desarrollan actividades que promuevan la

conservación ecológica, el manejo sostenible, el control de calidad, la certificación y el comercio justo de la flora medicinal y sus derivados.

Proyecciones: Entre las principales actividades de RICOPLAM programadas para este año se destaca la realización del “Primer Seminario Iberoamericano de Comercialización de Plantas Medicinales y Aromáticas”. Para su ejecución se ofrecieron México, Ecuador, Colombia y Perú. Finalmente se logró tomar el liderazgo por parte de la Fundación Colombiana pro Comercio Justo y Mercados Verdes.

La Fundación PROCOMVERDE ha participado activamente en el desarrollo del Convenio de Competitividad Exportadora para la Cadena de Productos Naturales de origen vegetal para fines fitoterapéuticos, cosméticos, nutracéuticos, aromáticos, condimentarios y para control biológico.

Formamos parte del Comité de Apertura de Mercados, cuyas actividades principales son consolidar la oferta exportable de productos de la cadena y participar en el equipo negociador del Ministerio de Comercio Exterior en el tema ambiental.

Formulamos proyectos de investigación en cultivo, transformación y comercialización de plantas medicinales y aromáticas y buscamos apoyo financiero para su ejecución.

Desarrollamos la Base de Datos del Sector Naturista, que está en proceso de consolidación y verificación.

Pretendemos ser en el futuro próximo el ente que articule los procesos de comercialización de plantas medicinales y aromáticas tanto a nivel nacional como internacional.

1.4.6. Avances en la investigación: “Manejo biológico de la pudrición del fruto (*Botrytis cinerea* pers. ex. fr.) en la mora (*Rubus glaucus* benth) mediante la utilización de plantas medicinales”

Institución: Grupo Asociado de Investigación Participativa para el Desarrollo Comunitario - GIPA

Grupo de investigación: Velosa M., Ramírez S., Miño J., Uricoechea J., Ramírez J., González C., Gutiérrez J., Agudelo C., Amaya J., Pérez J. y Jiménez G.

Ponente: Sandra Ramírez

Logros obtenidos: El hongo *B. cinerea*, agente causal del “moho gris” o “pudrición blanda” en el fruto de la mora, ocasiona grandes pérdidas a sus cultivadores cercanas al 50% y tanto a nivel nacional como del departamento de Boyacá. En la actualidad el control de esta enfermedad se realiza en forma convencional mediante el uso exclusivo de productos de síntesis química afectando de paso la salud humana y la del medio ambiente. El uso de plantas medicinales se investiga como una promisoriosa alternativa de control biológico dentro de un programa de manejo integrado para enfrentar problemas fitosanitarios como el aludido. Para contribuir a la solución de

tan delicado problema la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC, planteó el Proyecto de investigación “Manejo de la pudrición del fruto (*Botrytis cinerea*) Pers. Ex. Fr. en el cultivo de la mora (*Rubus glaucus*), en municipios productores del departamento de Boyacá”; a PRONATTA, con el objetivo general de lograr un manejo biológico del “moho gris”, al alcance de los agricultores, empleando tanto métodos de extracción como insumos accesibles a los productores rurales, como las plantas medicinales. Los objetivos específicos referidos a: probar siete plantas: uchuva (*Physalis peruviana*), malva (*Malva sylvestris*), ruda (*Ruta graveolens*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ajo (*Allium sativum*), repollo (*Brassica oleraceae*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*), mediante seis formas de extracción farmacológica (hidrolato, purin, presurizado, decocción, infusión y licuado) en condiciones de laboratorio e identificar los promisorios para el control de *B. cinerea*; probar *in vitro* cuatro dosis de los extractos que muestren más eficiencia en el control del “moho gris”; evaluar en campo, extractos y dosis seleccionados por eficiencia, así como dos adherentes; ensayar dos frecuencias de aplicación de extractos y de adherentes que resultaran más efectivos en el control de *B. cinerea*.

Resultados obtenidos: En la fase 1 de laboratorio, se probaron siete plantas medicinales de potencial poder fungicida en seis formas de preparación, estableciendo dosis y formas eficaces para el control de *B. cinerea*, en cuanto a crecimiento, número de conidias y formación de esclerocios, del patógeno. Con los extractos de las siete plantas se procedió a elaborar medios de cultivo empleando concentraciones del 50% y luego efectuando la siembra del hongo en las respectivas cajas Petri. El diseño experimental empleado fue bloques al azar, con tres testigos: absoluto (PDA), químico (i.a. Captan), alcohol (relación 10:1; agua: alcohol).

Las variables evaluadas: crecimiento micelial; número de conidias/ml y número de esclerocios formados. Inhibieron “crecimiento micelial” en mayor grado: ajo en hidrolato, seguido de repollo en hidrolato, así como de los correspondientes purines. Los correspondientes análisis estadísticos muestran diferencias altamente significativas de los tratamientos respecto de los testigos. Para la variable “número de conidias/ml los extractos de repollo por presurización, ajo y repollo en hidrolato y sus purines, afectaron negativamente esta variable exhibiendo los valores más bajos y con diferencias altamente significativas respecto del testigo absoluto. Las seis opciones de extracción de eucalipto, y los hidrolatos y purines de ajo y repollo, no permitieron la formación de esclerocios, reportándose diferencias altamente significativas en relación con el testigo absoluto. Las alternativas de empleo de plantas mediante extractos que mejor controlaron esas tres variables fueron: los hidrolatos y purines de ajo y repollo cuando se les usaba a concentraciones de 40%, 30%, 20%, 10%. La respectiva investigación de laboratorio permitió mostrar que el hidrolato de ajo en concentraciones mayores al 20%, anulan crecimiento micelial y producción de conidias y esclerocios de *B. cinerea*.

El hidrolato de repollo tiene un comportamiento peculiar, actúa como estimulante o limitante en la formación de esclerocios, dependiendo de la concentración utilizada. Los purines de ajo y repollo en concentraciones inferiores al 50%, no controlan el crecimiento del hongo, pero la producción de sus conidias y de esclerocios se disminuyen considerablemente cuando se emplean concentraciones superiores al 20% de purin de ajo o del 30% de purin de repollo. Otras investigaciones relacionadas con los efectos de extractos de plantas de uchuva, malva y ruda, en concentraciones del 50%, se evidencia que los hidrolatos actuaron con cierta acción de control sobre el crecimiento y desarrollo del moho gris. Las respectivas evaluaciones permitieron corroborar que a concentraciones inferiores al 40%, el efecto inhibitorio de dichos hidrolatos pudo ser ejercido por acción del alcohol presente en ellos, más no por los metabolitos extraídos

de las plantas. Para el caso concreto de la canela, se detectó que a una concentración del 50% y empleando formas de extracción como hidrolato, presurización y purin, se logra reducir significativamente el crecimiento micelial, la producción de conidias y la formación de esclerocios de *B. cinerea*. Igualmente, se logró concluir que el presurizado al 40%, purin al 50% e hidrolato al 10%, pueden ser las concentraciones mínimas que afectarían detrimentalmente el crecimiento y desarrollo del patógeno. De esta primera fase se concluye que ciertos niveles de concentración de extractos de plantas como los hidrolatos de ajo al 20%, canela al 10%, así como los purines de canela, ajo y repollo al 50% y el presurizado de canela del 40%, constituyen opciones promisorias para el control biológico de *Botrytis cinerea*.

Para avanzar al desarrollo de la segunda fase se adelantaron ensayos en las localidades de Gachantivá, Monquirá, Arcabuco, Zetaquirá y Buenavista, el respectivo trabajo investigativo consistente en: probar los seis extractos propuestos y cada uno con dos tipos de adherentes: jabón (“coco varela”) y un aceite mineral (carrier). Las respectivas evaluaciones en términos de producción, calidad comercial y porcentaje de frutos enfermos. Como resultados parciales de esta segunda fase es posible detectar que aparentemente no se presenta un comportamiento homogéneo por parte de algunos de los productos vegetales ensayados en las cinco localidades estudiadas. También se evidencia un comportamiento diferencial del patógeno para cada una de las condiciones ambientales propias de las diferentes. Se evidencian alternativas de protección al cultivo de la mora destinadas a controlar *B. cinerea*, utilizando extractos de plantas.

1.4.7. Programa de investigación sobre el manejo y transformación de frutales nativos de la región amazónica colombiana

Institución: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI

Grupo de investigación: María Soledad Hernández y Jaime Alberto Barrera G.

Ponente: Jaime Barrera

Contacto: aguirai@hotmail.com

Financiación: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Politécnica de Cartagena – Murcia España y Universidad de la Amazonía.

Logros obtenidos: La biota amazónica cuenta con unas 60.000 especies vegetales superiores, varias de ellas con gran potencial económico y con posibilidades de explotación como materia prima utilizable por la humanidad (PNUD, 1994). Con el objeto de impulsar el desarrollo regional basado en este potencial desde 1991 el programa de investigación en frutales nativos ha consolidado como objetivo general contribuir con el desarrollo del sector alimenticio e industrial mediante el diseño de tecnologías apropiadas para el manejo, conservación y procesamiento de materias primas promisorias del bosque tropical amazónico. Este programa hace parte del área de investigación en Sistemas de Producción y mediante un enfoque metodológico basado en seis líneas de investigación; caracterización, crecimiento y desarrollo reproductivo, fisiología de la

posrecolección, tecnología de aprovechamiento integral, diseño de estrategia de promoción y mercadeo y transferencia de tecnología, ha podido generar las tecnologías apropiadas para la conservación, uso manejo y comercialización eficiente de especies nativas del bosque y que se constituyen en una alternativa productiva regional en la medida que logran articularse a las cadenas agroproductivas regionales.

Los resultados más importantes se resumen en varios aspectos: Caracterización de atributos valoración nutricional de las especies promisorias de la región priorizadas; determinación de los cambios físicos, químicos y fisiológicos durante el desarrollo de los frutos y establecimiento de las dinámicas de crecimiento; determinación de períodos críticos de desarrollo y establecimiento de los indicadores de recolección más adecuados para los frutos; establecimiento de los patrones respiratorios de los frutos, las temperaturas críticas de almacenamiento; identificación de la respuesta de los frutos, a las bajas temperaturas y síntomas de daño por frío; establecimiento de ciclos fenológicos de floración y dinámica del desarrollo vegetativo, aprovechamiento integral de los frutos, escalamiento de proceso y determinación de puntos críticos de proceso para la obtención de subproductos; evaluación y estandarización de técnicas de precondicionamiento para la maduración y posterior transformación de frutos; parametrización preliminar de subproductos agroindustriales; diseño y formas de empaque para productos; estudio básico de producción, mercadeo y comercialización de frutas, Adecuación de la tecnología mediante el diseño de equipos para procesamiento local; estudios de factibilidad y generación de indicadores económicos para la transformación local de las especies promisorias, transferencia de tecnología validada y acompañamiento a iniciativas regionales relacionadas.

Las especies de flora involucradas en el programa son: arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), copoazú (*Theobroma grandiflorum* Will ex Spreng Shum), maraco (*T. bicolor* HBK), cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal), carambolo (*Averrhoa carambola* L), canangucha (*Mauritia flexuosa* M.), piña nativa (*Ananas comosus* L.), borojó (*Borojoa patinoi*), anón amazónico (*Rollinia mucosa*), guanábana ácida (*Annona* sp.), inchi (*Caryodendron orinocense*), chontaduro (*Bactris gasipaes*), marañón (*Anacardium occidentale*) y pomarroso brasileiro (*Syzigium malaccense*).

1.4.8. Programa de Flora del Herbario Amazónico Colombiano - COAH

Institución: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI - Programa de Flora

Grupo de investigación: Dairo Cárdenas López, René López Camacho, César Augusto Marín Corba, Juan Carlos Arias García, Juan Guillermo Ramírez, Luz Stella Suárez, Olga Chols, Catalina Daza, Marcela Cabrera, Jairo Andrés Montes, Marcela Celis, Sonia Súa, Nelly Rodríguez, Rubén Darío Mateus, Javier Otero, Cecilia Guerrero, Alberto Posada y Diego Giraldo

Ponente: Cesar Augusto Marín Corba

Contacto: www.sinchi.gov.co

Objetivo: Realización y divulgación de estudios e investigaciones científicas de alto nivel relacionadas con la realidad biológica social y ecológica de la región amazónica.

Logros obtenidos: El Programa de Flora del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI, en desarrollo de la misión encomendada por la Ley 99 de 1.993, la cual establece “la realización y divulgación de estudios e investigaciones científicas de alto nivel relacionadas con la realidad biológica social y ecológica de la región amazónica”, planteó como objetivo estratégico del Programa de Flora “Elaborar el inventario de ecosistemas estratégicos, identificando recursos genéticos, usos actuales y potenciales, para valorar y conservar la biodiversidad”.

Para el desarrollo de este objetivo, se han desarrollado varias líneas de investigación, con sus respectivas acciones:

1. INVENTARIOS FLORÍSTICOS.

1.1. Establecimiento y sistematización de colecciones botánicas: El establecimiento de colecciones botánicas para la correcta identificación de las especies, es un paso importante en todas las labores de bioprospección. Para ello el Herbario Amazónico Colombiano COAH cuenta con una colección de 46.300 ejemplares botánicos. De los registros existentes, 37.000 ejemplares (80%) están determinados a especie, lo que representa 5.380 especies plenamente identificadas; existen 1.120 morfotipos que se encuentran en proceso de determinación taxonómica, por lo cual se estima un total de 6.500 especies registradas para la Amazonía colombiana.

El número de familias botánicas registradas es de 203 de acuerdo con lo establecido en el sistema de clasificación de Cronquist (1981). De estas, 24 corresponden a Pteridófitos, cuatro a Gimnospermas y 175 a Angiospermas, las cuales se dividen en 33 familias de monocotiledóneas y 142 de dicotiledóneas. La información se encuentra totalmente sistematizada y georreferenciada y puede ser consultada a través de 20 campos diferentes.

1.2. Inventario florístico en áreas estratégicas de la Amazonía colombiana: El objetivo general del proyecto es el de contribuir al conocimiento de la Flora Colombiana mediante la identificación de la riqueza florística de la Amazonía, sus potencialidades y la valoración de los recursos. El proyecto desarrolla su fase de campo en las áreas estratégicas de la Amazonía colombiana, definidas en la ficha del Banco de Proyectos de Inversión Nacional (BPIN) y la fase de procesamiento de información y materiales botánicos se realiza en Bogotá en el Herbario Amazónico Colombiano COAH. La institución cofinanciadora es Planeación Nacional. En desarrollo del proyecto, se tiene un inventario de 6.500 especies, de los cuales 6.180 corresponden a plantas vasculares y 320 a plantas no vasculares (musgos, líquenes y hepáticas). Actualmente se han identificado 624 especies útiles en diferentes categorías, muchas de las cuales se registran en la publicación, “Plantas útiles de la Amazonía colombiana”. Se identificaron 62 especies de leguminosas nativas, con potencial forrajero, en el departamento del Guaviare, para el posterior análisis bromatológico.

2. PLANTAS ÚTILES

2.1. Identificación y selección de especies promisorias: Para el desarrollo de esta acción se planteó el proyecto de Plantas Útiles en dos comunidades del departamento de Putumayo, el cual se desarrolla en dos áreas contrastantes del departamento de Putumayo: zona del piedemonte (serranía del Churumbelo, municipio de Mocoa), y zona de la planicie amazónica, resguardo de Lagarto Cocha (municipio de Puerto Leguízamo). La cofinanciación es de COLCIENCIAS. En la actualidad se han identificado en piedemonte 359 especies de 90 familias botánicas y en Puerto Leguízamo, 253 especies de 87 familias. El total de especies útiles registradas para ambas zonas fue de 504, agrupadas en 108 familias botánicas. Se realizó el análisis bromatológico de *Macoubea*

guianensis, especie frutal considerada promisorio en Puerto Leguizamo. Para cada una de las 504 especies, se tiene el registro de la forma de uso en la zona, la parte utilizada y el proceso para su uso.

Por otra parte se está iniciando el proyecto “Plantas Útiles de la Serranía de La Macarena”, financiado por SINCHI, Cormacarena y el Ministerio del Medio Ambiente, el cual tiene como objetivo “Realizar el inventario de las plantas útiles en tres áreas muestra de la Serranía de La Macarena mediante procesos de participación comunitaria, para seleccionar especies promisorias adecuadas para el desarrollo de planes de manejo social, económica y ecológicamente viables”.

2.2. Estudios etnobotánicos: Dentro del proyecto mencionado, se pretenden evaluar los valores de uso de especies útiles, utilizando métodos de etnobotánica cuantitativa. De esta forma se podrán priorizar especies para aprovechamiento y manejo sostenible. Como resultado, se han obtenido los valores de uso de 504 especies en el departamento de Putumayo.

2.3. Estudios de prospección en recursos biológicos: En la actualidad se están adelantando estudios fitoquímicos o bromatológicos de especies promisorias seleccionadas con la comunidad en el departamento del Putumayo, con el fin de priorizar especies con potencial de aprovechamiento sostenible en el área de productos no maderables.

3. ORDENACIÓN DE BOSQUES

El proceso de ordenación de bosques desarrolla las siguientes acciones:

3.1. Caracterización de la vegetación

3.2. Definición de oferta ambiental

3.3. Planes de aprovechamiento

Para ello se realizó una Experiencia Piloto de Zonificación Forestal en el Corregimiento de Tarapacá (Amazonas) que brindó las pautas necesarias para utilizar la zonificación forestal, como instrumento de ordenamiento y planificación de áreas de bosques naturales. Como resultado se tiene el ordenamiento de 1.000 km² de bosques amazónicos para su aprovechamiento sostenible, con una caracterización detallada de la vegetación, estructura, cuantificación del recurso aprovechable y la elaboración de un Plan de Manejo para estas áreas de bosque. La cofinanciación fue del Ministerio del Medio Ambiente y Corpoamazonía.

4. CONSERVACIÓN DE ESPECIES VEGETALES

Para la conservación de especies vegetales se tienen previstas las siguientes acciones:

4.1. Identificación de plantas amenazadas: Para la región amazónica se registran 196 especies correspondientes a 55 familias botánicas con algún grado de amenaza. La familia con mayor número de especies amenazadas es Sapotaceae con 19 especies, seguida por Cyatheaceae (helechos arbóreos) con 15, Araceae (11) y Arecaceae (9).

En el proceso liderado por el Instituto Humboldt y dentro del cual ha participado el Instituto SINCHI a través del Programa de Flora, se ha logrado la identificación de algunas especies maderables, ornamentales o artesanales que se encuentran amenazadas por sobreexplotación del recurso, o bien por tener un hábitat reducido o por ser éste altamente susceptible a la intervención. De estas 196 especies, el Programa de Flora del Instituto SINCHI, ha propuesto 59 especies que podrían ser incorporadas a la lista roja actualmente en preparación. Para ello se requiere de una evaluación teniendo en cuenta los criterios establecidos por la UICN, para determinar las categorías de riesgo de cada especie.

4.2. Estudio poblacional de plantas amenazadas: Se tiene planteada la realización de un Estudio Ecológico y Socioeconómico de *Cedrela odorata* (cedro) en la Amazonía colombiana. El proyecto está en revisión para financiación por parte de Traffic International, entidad encargada de regular el comercio de especies silvestres.

4.3. Protocolos para manejo y conservación de especies forestales amenazadas: Actualmente se encuentra en elaboración un Manual de Identificación de Especies Amenazadas, financiado con recursos del Ministerio del Medio Ambiente.

5. MONITOREO DE ECOSISTEMAS / CAMBIO CLIMÁTICO

5.1. Establecimiento de parcelas permanentes

5.2. Estimación de biomasa en parcelas permanentes

5.3. Estimación de reservorios de CO₂.

Para el monitoreo de ecosistemas se está iniciando el montaje de una parcela permanente de 25 ha en el área del trapecio amazónico, financiada en su fase inicial con recursos de Planeación Nacional. Adicionalmente se planea completar cinco parcelas permanentes de una hectárea, de las cuales ya existen dos en el departamento del Putumayo. En estas parcelas se realizarán estudios de biomasa, estimación de capacidad de captura de CO₂ y estudios de dinámica de bosques amazónicos.

1.4.9. Programa de investigación en recursos genéticos de la Amazonía colombiana

Institución: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI.

Ponente: María Soledad Hernández y Luz Marina Melgarejo

Contacto: cocona@colomsat.net.co

Logros obtenidos: Esta línea de investigación en el Instituto permite una aproximación al conocimiento de la diversidad biológica de la Amazonía a través de la realización de inventarios de los componentes de los ecosistemas, caracterizaciones morfológicas, bioquímicas y moleculares de poblaciones y especies, para determinar con claridad el valor y uso prospectivo de dicha diversidad. Con las investigaciones ecológicas y las herramientas biotecnológicas se sustentará la toma de decisiones sobre el uso, manejo y conservación de los recursos de los diferentes ecosistemas que comprenden la región.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, BIOQUÍMICA Y MOLECULAR DE ESPECIES PROMISORIAS DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA PERTENECIENTES AL GÉNERO *CAPSICUM* PARA SU CONSERVACIÓN Y USO” (SINCHI - COLCIENCIAS)

Grupo de investigación: Luz Marina Melgarejo, Fernando Rodríguez, Martha Cecilia Giraldo, Gladys Inés Cardona, Marcela Celis y Juan Carlos Arias

Duración del proyecto: Tres años

Fuente de financiación: COLCIENCIAS – SINCHI

El estudio de este género en el Instituto ha sido tomado como un modelo que se podría utilizar para el conocimiento de otras especies promisorias de la Amazonía colombiana.

Resultados obtenidos: La ejecución de éste proyecto contribuyó al conocimiento de la diversidad del género *Capsicum* amazónico mediante el empleo de técnicas bioquímicas y moleculares, que además de apoyar los trabajos de taxonomía y morfoagronomía, permitieron definir criterios para su conservación y uso.

Se colectaron las semillas de 459 accesiones, se recuperaron 382 (88.4%) las cuales se conservan en banco de germoplasma bajo condiciones de refrigeración. Se determinaron taxonómicamente un total de 377 accesiones pertenecientes a cinco especies: *Capsicum annum* (132), *C. baccatum* (3), *C. chinense* (116), *C. frutescens* (104) y *C. pubescens* (5).

Los resultados de la caracterización bioquímica y molecular indicaron gran heterogeneidad y diversidad en la colección, ningún material fue idéntico a otro. Se lograron identificar individuos interesantes genéticamente al interior de la colección de *Capsicum*, que podrían ser utilizados en programas de mejoramiento. Se evaluaron muestras de raíces y suelo rizosférico asociado a las accesiones de *Capsicum*.

Se cuenta con una base de datos alfanumérica en ACCESS 97 y Geográfica en ILWIS 2.3 que incluye la información de la caracterización morfológica, bioquímica y molecular, así como información etnobotánica y aspectos ambientales asociados al género *Capsicum*.

Se han realizado publicaciones tanto nacional como internacional de los resultados obtenidos y siete trabajos de grado con estudiantes de diferentes universidades del país.

CONSERVACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y COLECTA DE RECURSOS GENÉTICOS AMAZÓNICOS (BPIN)

Grupo de investigación: María Soledad Hernández, Luz Marina Melgarejo, Guillermo Vargas, Bernardo Giraldo, Jorge Arguelles y Lorena Quintero B.

Duración del proyecto: Diez años.

Objetivo: En este proyecto, a partir de diversas etapas que incluyen desde la recolección, clasificación y caracterización de varias especies vegetales promisorias para la Amazonía, se pretende lograr un adecuado manejo técnico, que conlleve a aprovechar su potencial

Fuente de financiación: Recursos de la nación

Resultados obtenidos: Los descriptores para *Theobroma cacao* se han ajustado para *T. bicolor* (maraco) y *T. grandiflorum* (copoazú) Para el género *Caryodendron* (inchi) se están ajustando e implementando el listado de descriptores propuestos por Durán (1988).

Para la caracterización bioquímica de los géneros *Theobroma* y *Caryodendron*, se han evaluado 13 sistemas isoenzimáticos, para la caracterización molecular del género *Caryodendron* se estandarizó el protocolo de extracción de ADN.

Se han establecido bancos de germoplasma *in vivo* en condiciones *ex situ*, para los géneros *Caryodendron* spp., *Borojoa* spp. (borojó), se tienen colecciones en condiciones *ex situ* de los géneros *Hevea* (caucho), *Theobroma* (cacao), *Eugenia stipitata* (arazá), *Bactris gasipaes* (chontaduro), para especies forestales se tienen colecciones de 10 especies entre las cuales se destacan abarco (*Cariniana pyriformis*), milpo (*Erismia uncinatum*), acacio (*Acacia auriculiformis*) y macano (*Terminalia amazonica*), etc.

Proyecciones: En la actualidad se realiza el proyecto interdisciplinario “Caracterización fisiológica y de uso potencial de Accesiones Promisorias de Aji Amazónico con Miras a su Introducción en las Cadenas Agroproductivas Regionales” entre los programas de Manejo y Transformación de Frutales Amazónicos (Área de Sistemas de Producción) y Recursos Genéticos (Área de Biodiversidad) del Instituto SINCHI junto con el Departamento de Biología de la Universidad Nacional y la Sociedad de Productores Agropecuarios de Leticia; propuesta que se realiza con el fin de articular los resultados a la comunidad de la región.

Duración del proyecto: Dos años

Fuente de financiación: COLCIENCIAS – SINCHI

Grupo de investigación: María Soledad Hernández, Jaime Alberto Barrera y Luz Marina Melgarejo Muñoz

Se continuará con investigaciones como las mencionadas tratando de abarcar un mayor número de especies promisorias, con el fin de presentar alternativas productivas y de conservación a las entidades y habitantes de la región amazónica colombiana.

1.4.10. Genómica en CIAT

Institución: CIAT

Grupo de investigación: Steve Beebe, Matt Blair, Hernán Ceballos, Daniel Debouck, Myriam Duque, Martin Fregene, Cesar Martinez, Chike Mba, John Miles, Idupulapati Rao, Silvia Restrepo y Joe Tohme

Ponente: Gerardo Gallego

Contacto: g.gallego@cgjar.org

Logros obtenidos: El trabajo de genómica en CIAT esta concentrado en fríjol, yuca, arroz y forrajes como braquiaria y esta integrado con mejoramiento y caracterización de germoplasma. Tradicionalmente, CIAT se ha enfocado en el mejoramiento para resistencia a estrés biótico,

especialmente para enfermedades e insectos. Un nuevo énfasis se ha dado al mejoramiento de variedades para alta nutrición en estrés abiótico. Varios proyectos actualmente están siendo ejecutados. En estos proyectos se trata de desarrollar e implementar las herramientas genómicas para incorporarlas con las actividades de mejoramiento. Igualmente, estas nuevas herramientas están siendo colocadas a punto para el desarrollo de proyectos que involucran aspectos de conservación de los recursos naturales de una manera estratégica y dirigida.

Desarrollo de marcadores: Una prioridad de los esfuerzos en genómica en CIAT ha sido el uso de fuentes de marcadores existentes para desarrollar nuevos marcadores basados en PCR para frijol, yuca y braquiaria. Principalmente, dos tipos de marcadores han sido desarrollados en CIAT “sequence characterized amplified region (SCAR) markers and microsatellites or simple sequence repeats (SSR)”. Los microsatélites fueron desarrollados en CIAT para frijol, yuca y braquiaria. Otros sistemas de marcadores, tales como AFLP y RAPD han sido usados para mapeamiento fino, incrementar la saturación del mapa de frijol, yuca y braquiaria y para estudios de diversidad genética en frijol y yuca. También se han desarrollado en conjunto con la Universidad del Valle y el Instituto Humboldt marcadores moleculares tipo microsatelites para estudios de variabilidad genética en poblaciones de manglares y palmas.

Mapeamiento genético: Frijol: Cerca de 500 marcadores han sido mapeados en una población de interés para CIAT. Un juego de microsatélites ha comenzado a ser usado para mapear eficientemente otras poblaciones. Marcadores ligados a Virus del Mosaico Dorado, Antracnosis, Añublo Bacteriano y Mancha Angular de la Hoja han sido identificados y usados en programas de Selección Asistida por Marcadores (del Inglés MAS). Otras poblaciones mapeantes han sido desarrolladas para identificación de QTL a estrés abiótico y tolerancia (bajo fósforo, toxicidad al aluminio), contenido de micronutrientes (hierro y zinc), como también resistencia a insectos y enfermedades. Varias de estas poblaciones de CIAT han comenzado a ser analizadas por otros grupos en Brasil, Bélgica, Francia, Alemania, México y Estados Unidos.

Yuca: Un mapa de ligamiento genético fue construido usando una F1 de un cruce intraespecífico. Un mapa molecular fue construido con 150 marcadores tipo RFLP, 30 RAPD, 110 microsatélites y tres isoenzimas. Adicionalmente, 80 marcadores microsatélites han comenzado a ser mapeados. Se identificaron marcadores ligados a enfermedades del Mosaico Africano de la yuca, la más importante enfermedad de yuca en África y una potencial amenaza para el cultivo en Latino América. De otra parte, se está trabajando en la clonación del gen responsable de la resistencia al Añublo Bacteriano, causado por *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis* (Xam), la más importante enfermedad de la yuca en el mundo.

Arroz: Tres proyectos de mapeamiento en curso: 1) Mapeamiento fino y clonación de genes Pi para resistencia al añublo del arroz; 2) Virus hoja blanca; y 3) Mapeamiento en poblaciones provenientes de retrocruces avanzados entre genotipos elite de arroz y *O. rufipogon*, *O. barthii* y *O. glaberrima*. En los retrocruces avanzados se trabaja en la identificación de QTL para características de interés agronómico. Un procedimiento selección asistida por marcadores para el añublo del arroz ha sido implementado.

Braquiaria: Marcadores microsatelites desarrollados en CIAT, marcadores AFLP y RFLP de arroz, fueron mapeados en poblaciones desarrolladas en CIAT para resistencia a insectos (Salivazo), apomixis y resistencia a aluminio.

Librerías genómicas: Como parte del proceso para desarrollar microsatélites adicionales y marcadores SCAR, la Unidad de Biotecnología ha tenido experiencia haciendo varios tipos de librerías genómicas incluyendo librerías enriquecidas para microsatelites y librerías genómicas totales no enriquecidas.

Librerías de cDNA , EST y librerías de expresión:

Frijol: Librerías de cDNA a partir de tejido foliar han sido hechas para frijol común de un genotipo tolerante a suelos de bajos niveles de fósforo, resistencia a varias enfermedades incluyendo Antracnosis y Mancha angular. Más de 140.000 clones han sido ubicados en placas de 384 pozos. Las librerías de cDNA de raíz han sido hechas para raíces adventicias y básales crecidas en estrés de bajas condiciones de fósforo. Cerca de 4.000 clones de librerías han sido secuenciados. Muchos de estos EST son homólogos en la base de datos para soya.

Yuca: Un proyecto de EST en colaboración con IRD y CNRS, Francia, esta desarrollándose para generar EST de cuatro librerías de cDNA construidas a partir de mRNA de un genotipo resistente a CBB y un genotipo con alto contenido de almidón. Un segundo proyecto sobre SAGE para CMD es desarrollado en colaboración con Iwate Biotech research center, Japón; más de 4.000 EST han sido desarrollados y anotados usando SAGE.

Braquiaria: Librerías de cDNA a partir de raíz han sido desarrolladas de parentales resistentes y susceptibles para monitorear patrones de expresión de genes en ápices de raíz y para identificar genes candidatos para resistencia a aluminio.

Genes Análogos de Resistencia: CIAT ha generado y analizado genes análogos de resistencia usando cebadores degenerados para regiones NBS-LRR, TIR and P-loop en frijol, arroz, yuca y braquiaria.

Bioinformática y bases de datos: CIAT hace parte de un consorcio de centros para desarrollar herramientas de bioinformática para mapeamiento, análisis de QTL y evaluación de germoplasma. Se hace énfasis en la creación de bases de datos para manejo de genotipos, información de mapeo genético y almacenamiento de secuencias. Datos de marcadores moleculares están siendo actualizados en el CIAT para bases de datos de frijol y yuca. Un sistema LIMS sería el objetivo final ha desarrollar.

Microarray, SNP y expresión de genes: CIAT estableció a mitad del 2001 la técnica de Microarreglos (Microarray) la cual podría desarrollar un nuevo sistema de marcador genético basado en el sistema de diversidad usando microarreglos desarrollado en CAMBIA y generar chips de DNA de genes expresados para estrés bióticos y abióticos para frijol, yuca y braquiaria. SNP han sido desarrollados para frijol.

Perspectivas de inversión en investigación; Productos orientados ha obtener un eficiente desarrollo de variedades y mejor conservación del banco de germoplasma usando plataformas genómicas y desarrollo de herramientas genómicas particularmente para los cultivos de frijol y yuca, los cuales están recibiendo menos atención que otros cultivos comerciales.

Proyecciones: 1) La implementación del uso de marcadores a gran escala (*High through put*) y en forma automatizada para mejoramiento y caracterización de germoplasma, 2) clonación de genes marcados en arroz, 3) Desarrollo y uso de chips de expresión de genes para estrés biótico y

abiótico, 4) desarrollo de chips para Euphorbiaceae, 5) participar en el desarrollo de chips para leguminosas, 6) fortalecer el componente bioinformático, 7) contribuir a la investigación microbiana de suelos en los programas de CIAT, 8) entrenamiento para programas nacionales.

Colaboración con otras instituciones: El CIAT tiene estrecha colaboración con instituciones como el Instituto Alexander von Humboldt participando en la asesoría en herramientas de tipo molecular en los diferentes proyectos que se desarrollan en el Laboratorio de Biología Molecular del Humboldt el cual tiene su base en el CIAT al igual que el Banco de Tejidos. Igualmente, CORPOICA usa las instalaciones e infraestructura del CIAT en el desarrollo de sus proyectos de investigación encaminados al estudio y evaluación de los recursos genéticos.

1.4.11. **Inventario de especies vegetales promisorias pertenecientes a la familia Annonaceae**

Institución: Universidad de Córdoba - Departamento de Química

Grupo de investigación: Química de Productos Naturales

Ponente: Alberto Angulo Ortíz

Contacto: aanguloo@col3.telecom.com.co

Objetivo: Contribuir al conocimiento químico de las especies naturales de la región cordobesa, que puedan ofrecer metabolitos secundarios con actividad biológica promisoriosa y aprovechar sus potencialidades de uso.

Financiación: Universidad de Córdoba, Universidad de Antioquia y Universidad Nacional de Colombia.

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: En estos momentos la línea de investigación que más se ha desarrollado es la de productos naturales vegetales, en la cual se ha trabajado con especies de Annonaceae y Rutaceae del departamento de Córdoba. El trabajo con annonaceas se ha venido desarrollando desde hace cuatro años, conjuntamente con el grupo de Química de Plantas Colombianas de la Universidad de Antioquia. En este lapso de tiempo hemos podido recolectar material botánico de cerca de 16 especies, pertenecientes a los géneros *Annona*, *Rollinia*, *Duguetia*, *Oxandra*, *Pseudoxandra*, *Raimondia* y *Xylopia*. De algunas de estas especies ya han sido aislados metabolitos secundarios (terpenos, pironas, acetogeninas, alcaloides), otras son objeto actual de investigación con estudiantes de pregrado y posgrado de la Universidad de Antioquia.

Se desarrollaron también dos trabajos con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y la Universidad de Córdoba, con dos especies de la familia Rutaceae, *Zanthoxylum setulosum* y *Esenbeckia litoralis*, evaluándose actividad antimicrobiana, antimalárica y anticancer con algunas sustancias puras y extractos crudos. Actualmente se está ejecutando el proyecto de

investigación “Inventario de especies vegetales promisorias pertenecientes a la familia Annonaceae, presentes en la cuenca del río Sinú”, el cual tiene total financiación de la Universidad de Córdoba y con el cual se pretende monitorear la presencia de alcaloides y acetogeninas en las especies colectadas. Este proyecto tiene una duración de un año y ya se encuentra en la fase final.

En la línea de investigación con hongos, se han desarrollado dos trabajos con los hongos *Trametes menziezii* y *Ganoderma lucidum* del departamento de Córdoba, de los cuales se aislaron principalmente esteroides, reportándose algunos de ellos como nuevos productos naturales. Estos trabajos tuvieron el apoyo de la Universidad de Córdoba y la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

En lo que respecta a la línea de investigación en productos naturales marinos, se está tratando de crear, para lo cual ya se ha sometido a evaluación, con miras a financiación por parte de la Universidad de Córdoba, un proyecto de investigación con el cual se pretende realizar un monitoreo de especies marinas promisorias, en las costas del golfo de Morrosquillo.

Igualmente está en evaluación en espera de financiación, un proyecto con el cual se busca realizar el estudio químico y de actividad biológica de dos especies del género *Oxandra* presentes en el departamento de Córdoba.

1.4.12. Investigación en cadenas productivas de frutas y vegetales tropicales

Institución: Universidad del Magdalena

Grupo de investigación: Rafael García, Armando Lacera R, Alberto García C, Marta Villada B, Alberto A. Ruiz. Mier y Adalberto Joli Orozco

Ponente: Rafael García

Contacto: rgarcia@atgc.net.co

Logros obtenidos: La mayoría de las universidades colombianas está en mora de proponer y aplicar políticas de investigación acordes con el avance científico y tecnológico en el país y el mundo. La Universidad del Magdalena no escapa a esta situación, y por ello, dentro del plan de Desarrollo 2000-2009, crea y pone en funcionamiento, el Instituto de Investigaciones Tropicales (INTROPIC). Este instituto, es el ente administrador y ejecutor de los proyectos de investigación Básica y Aplicada, teniendo como eje central el Medio Ambiente Tropical de la Región Caribe colombiana. En la actualidad, tiene los programas de Ambiente, Biodiversidad, Producción y Salud. El programa de Producción, se orienta principalmente a la investigación en Acuicultura, Alimentos de origen animal, Biotecnología y Cadenas productivas de Frutas y Vegetales Tropicales.

Área de Investigación en Cadenas Productivas de Frutas y Vegetales Tropicales: La investigación en cadenas productivas de frutas y vegetales, involucra las etapas de precosecha y poscosecha para

el avance del conocimiento universal, acorde a las necesidades del sector y de la región Caribe, conservando el medio ambiente y el desarrollo agroindustrial.

La etapa de pre cosecha involucra los aspectos más relevantes de las materias primas, productos, materiales de siembra, prácticas culturales, plagas y enfermedades, tratamientos, costos de producción y requerimientos ambientales, entre otros. En la etapa de cosecha, los índices y sistemas de recolección, principalmente.

La etapa de poscosecha involucra el manejo integral, destacando la selección, los tratamientos, los empaques, sistemas de transporte y almacenamiento en refrigeración. Involucra también, el agroprocesamiento y los aspectos del mercadeo.

Según FAO (1996), existen interacciones entre el uso de los recursos naturales (tierra y agua, recursos genéticos vegetales y animales) para la producción alimentaria. Recomienda que los gobiernos junto con las entidades de investigación en estas áreas, deben formular opciones técnicas para reducir los impactos ambientales negativos ya que las formas en que se utilizan los recursos naturales para producir alimentos dependen mucho de factores humanos, económicos, culturales y sociales. En el mismo documento, se resalta la importancia del papel de los gobiernos para elevar la cantidad y la calidad de los alimentos de la siguiente manera:

Apoyando prácticas ecológicas en el uso eficiente de los insumos y la concientización sobre el medio ambiente, mediante la educación y capacitación.

Adoptando políticas favorables a las prácticas del buen uso de la tierra y la distribución equitativa de los recursos.

Ayudando a la transformación de empresas competitivas en la producción de alimentos como la agroindustria, energía biológica y la acuicultura.

Evaluando el potencial de producción de alimentos en las zonas rurales y en otras cercanas a los centros de consumo.

Apoyando la investigación y capacitación en los centros académicos.

En el departamento del Magdalena y resto de la región de la costa Caribe de Colombia, los niveles de desarrollo tecnológico en el sector agroindustrial (producción agropecuaria, comercialización y transformación), presentan bajos índices de productividad atribuidos a factores tales como: escasa investigación básica y de innovación tecnológica, baja calidad de transferencia de tecnología y el manejo irracional de los recursos naturales. En el caso de las frutas tropicales (Restrepo, 1999), se recomienda trabajar en banano, cítricos, mango, papaya, aguacate, guayaba, níspero, zapote y otros exóticos. En cada cultivo debe ser prioritario las siguientes áreas de estudio e investigación: Bancos de germoplasma, mejoramiento genético, manejo de cultivos, manejos integrados de suelos y aguas, y de plagas y enfermedades, manejos de cosecha y poscosecha y procesos agroindustriales.

Líneas de investigación: Producción de frutas y vegetales tropicales.

Fisiología y tecnología poscosecha de frutas y vegetales tropicales.

Aprovechamiento de productos y subproductos agroindustriales.

Proyecciones: Estudio sobre el comportamiento del ácido ascórbico y de la enzima dehidroascorbato reductasa, en banano comercial y orgánico en almacenamiento refrigerado.

Desarrollo de tecnología para la obtención de productos de banano, mango, papaya y plátano del departamento del Magdalena.

Estudio sobre comportamiento fisiológico y desarrollo de la tecnología para la obtención de productos del banano (manzano), corozo, mango (de azúcar), níspero, tamarindo y zapote.

Desarrollo de la tecnología para la obtención y utilización del edulcorante de *stevia rebaudiana*, de la región Caribe colombiana.

Obtención y caracterización bromatológica de trupillina (miel), a partir del fruto del trupillo (*Prosopis juliflora*), para consumo humano.

FAO, 1996. Cumbre Mundial de la Alimentación. Noviembre 13-17. Roma (Italia).

RESTREPO, T. L. 1999. Reflexiones desde la Costa Caribe sobre las Propuestas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para la optimización del Sistema y la Formulación de la Política de Ciencia y Tecnología Agroindustrial. Primera Versión. Unidad coordinadora PRONATTA-MADR.

1.4.13. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas de frutales nativos de la Amazonía colombiana con potencial agroindustrial

Institución: Universidad de La Amazonía

Grupo de investigación: María Soledad Hernández, Jaime Alberto Barrera, Daniel Páez Bohórquez y Eliceo Oviedo Ardila

Ponente: Daniel Páez Bohórquez

Financiación: Universidad de La Amazonía e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI

Duración de la investigación: Seis años

Logros obtenidos: De las muchas de especies vegetales nativas de la región amazónica que prometen grandes potencialidades, han sido detectadas algunas que pueden ser muy útiles para el desarrollo agroindustrial de la región proporcionando materia prima básica para implementar procesos de transformación, industrialización e implementación de tecnologías agrícolas encaminada a mejorar la calidad alimentaria de la población en el ámbito regional, nacional e internacional y que en suma, son alternativas para sustitución de cultivos ilícitos. Se requiere por tanto, conocer la calidad de la materia prima en lo referente a las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas (Bromatología: Ciencia de los alimentos) con el fin de realizar sobre esta base las formulaciones de los procesos industriales hacia los productos enviados al mercado que posean óptimos estándares de calidad nutricional.

Esta línea de investigación que se deriva del “Programa de Investigación sobre el Manejo y Transformación de Frutales Nativos de la Región Amazónica Colombiana” tiene por objeto de estudio la caracterización de las condiciones del material biológico usado como materia prima en la industrialización, desde el crecimiento de la fruta, momento óptimo de cosecha hasta la conservación del fruto entero sus pulpas y extractos en diferentes condiciones medioambientales para detener procesos maduración excesiva o de descomposición natural. Con base en este conocimiento fundamental se estandarizan y adecuan las técnicas usadas en los procesos industriales donde la fruta o parte de la fruta se usa como materia prima.

La metodología usada está dirigida a caracterizar los parámetros fisicoquímicos y organolépticos: color, olor, peso, longitud, diámetro, densidad, dureza, gravedad específica, acidez total titulable, pH, tanto del fruto entero como de su pulpa, cáscara, semilla (mesocarpo, exocarpo, endocarpo) y los índices de respiración del fruto por cuantificación del CO₂ caracterizándolo desde el fruto cuajado, su desarrollo y los procesos durante su almacenamiento. De igual forma, se han determinado en la caracterización de los parámetros bromatológicos como son los constituyentes nutricionales mayores: agua y materia seca, cenizas, glúcidos (almidones azúcares totales, reductores a-Brix, pectinas), fibra cruda, grasas (extracto etéreo), proteínas; y constituyentes nutricionales menores que son: ácidos orgánicos, pigmentos, vitaminas, enzimas, moléculas aromáticas y del sabor, minerales como macro elementos y microelementos.

El valor del conocimiento agregado se ha corrido el límite en los aspectos relacionados con la caracterización de la calidad nutricional del material biológico tanto en los aspectos fisicoquímicos como en los bromatológicos de las especies vegetales que se tienen como promisorias en el orden de prioridad regional; se caracterizan desde fruto cuajado, su desarrollo, las condiciones del fruto en momento óptimo de cosecha detectando la cualidad de frutos climatéricos y no climatéricos; es decir, los puntos críticos en el desarrollo del fruto. Se evidencian los indicadores de recolección, maduración, almacenamiento, adecuación de tecnologías de transporte en fresco o en derivados, se establecen las técnicas de transformación industrial en beneficio de la población.

Las especies que se han estudiado en agrupaciones de acuerdo con los paquetes de prioridades como son: nueces como inchi (*Caryodendron orinocense*), frutas de baya como cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal), carambolo (*Averroa carambola* L), borojó (*Borojoa patinoi*) y arazá (*Eugenia stipitata*, Mc Vaugh); palmas como canaguacha (*Mauritia flexuosa* M.) chontaduro (*Bactris gasipaes*); agregados como piña nativa (*Ananas comosus* L.) anón amazónico (*Rollinia mucosa*) y pomarroso (*Syzigium malcásense*); theobromas (cacaos) como copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willex Spreng Shum) y maraco (*Theobroma bicolor* HBK).

Se espera continuar el proceso investigativo sobre nuevas especies de frutales nativos de la Amazonía y que son igualmente prioritarias en su estudio tanto en los parámetros fisicoquímicos, como en los bromatológicos, agregando a estos el análisis orgánico con enfoques fotoquímico y adicionando el uso de técnicas de cromatografía (cromatografía de capa, C. líquida, C. Gases Q-masas) con el fin de determinar potencialidades energéticas, medicinales, antibióticas insecticidas, antiparasitarias y demás que sean posibles en las estas frutas nativas de la región amazónica bajo la perspectiva de proyección hacia el futuro de la biodiversidad en la Amazonía colombiana.

1.4.14. Aspectos fenológicos de crecimiento y comercialización de la especie tagua (*Pithelephas*) en los municipios de Chiquinquirá y Puerto Boyacá

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Programa de Ingeniería Forestal.

Grupo de investigación: Luis Jairo Silva Herrera, Rosman Iván Morales Martínez y Gloria Patricia Ramírez García

Ponente: Luis Jairo Silva Herrera

Contacto: lsilva@femx.udistrital.edu.co

Logros obtenidos: Las palmas son un componente importante de la vegetación no solamente por la utilización que ofrecen a las comunidades campesinas e indígenas sino por la abundancia de las mismas en los bosques tropicales. En el mundo existen alrededor de 2.779 especies de palmas comprendidas en 211 géneros diferentes. En el continente americano se encuentran 1.147 especies que pertenecen a 80 géneros diferentes.

Colombia es uno de los países de América Tropical que prescribe una buena representatividad de palmas dentro de sus ecosistemas; la presencia de estas especies silvestres puede contribuir a el desarrollo de los sistemas de utilización de la tierra, ya que son ecológica y socialmente adaptadas a las condiciones naturales y culturales del país.

Para el país es importante tener en cuenta el estudio de algunas especies que a nivel maderero no ofrecen grandes alternativas económicas, pero que en cuestiones alimenticias y artesanales son grandes potencias de extracción; de esta manera se puede dar un mejor nivel de vida al campesino y evitar la presión que sobre los bosques se está ejerciendo por la explotación de madera.

La tagua (*Phytelephas*) es una palma que en el Putumayo se le conoce como la yarina y tuvo importancia económica en Colombia a finales del siglo pasado y comienzos de este, se utilizaba como sustituto del marfil en la fabricación de botones y artículos decorativos debido a la consistencia de sus semillas.

Este producto tuvo gran auge económico en la exportación hacia la década de 1930 pero decayó debido a la sustitución de la tagua por las ebonitas y los plásticos. Tiempo desde el cual son pocas las investigaciones que sobre este se han realizado. Está es una especie que se puede presentar como alternativa comercial.

En la actualidad la tagua es utilizada de forma artesanal en la fabricación de figuras decorativas en el municipio de Chiquinquirá (Boyacá), para su utilización la tagua es recolectada y puesta a secar por períodos mayores al año con el fin de obtener el contenido de humedad óptimo y la dureza apropiada.

Los objetivos del estudio en mención apuntan a la investigación en campo de la forma y distribución de la especie dentro del ecosistema específico de los bosques del Magdalena Medio (Puerto Boyacá), su biología reproductiva, germinación y algunos parámetros de comercialización de las semillas transformadas de la especie; así como también elaborar un programa para el secado

de las semillas sin necesidad alguna de postergar la transformación en espera del tiempo de secado natural de la semilla, facilitando de esta manera al artesano su trabajabilidad.

1.4.15. Bioprospección biotecnológica para el mejoramiento de una agricultura moderna

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Biología - Sede Bogotá

Grupo de investigación: Margarita Perea Dallos, Mario Velázquez, Sonia Cuartas, Jairo Rodríguez, Andrea Tirado y Viviana Várela

Ponente: Margarita Perea Dallos

Contacto: mapere@ibum.unal.edu.co

Logros obtenidos: El avance de la biotecnología en las últimas décadas, ha sido asombrosamente rápido en el desarrollo de la agricultura moderna la cual responde a dos imperativos fundamentales: Alimentar la población mundial que en las próximas tres décadas alcanzara a 10 billones de habitantes. Incrementar la rentabilidad de los cultivos para aumentar el poder adquisitivo y suplir las necesidades básicas.

En la búsqueda de esta rentabilidad, el agricultor se verá obligado a recurrir al empleo de tecnologías modernas de alto componente biotecnológico como una exigencia para mejorar los cultivos. La regeneración de plantas a partir de células y tejidos, el secuenciamiento del genoma, el aislamiento y posterior introducción de genes han potenciado la generación de productos agrícolas con características otrora utópicas. Estos sistemas, entre los cuales se incluyen el cultivo de tejidos vegetales *in vitro* y la biología molecular han logrado avances considerables a través del desarrollo de las ciencias biológicas, las que se proyectan exitosamente en el mejoramiento de la agricultura, la industria y el medio ambiente.

Los sistemas *in vitro* y la manipulación genética son consideradas como valiosas herramientas para comprender la estructura y desarrollo de las plantas y la función de los genes, además de ser un aporte muy valioso en las técnicas convencionales de selección en donde su integración con los programas de mejoramiento genético permiten contribuir al desarrollo de una agricultura sostenible.

1.4.16. Análisis integrado de estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque altoandino en la cordillera Oriental de Colombia

Institución: Universidad Nacional de Colombia – Departamento de Biología – Biología de Organismos Tropicales de Alta Montaña

Grupo de investigación: María Argenis Bonilla Gómez, Luis Eduardo Mora-Osejo, Jorge Cogua, Martha Orozco de Amézquita, Xavier Marquinez, Luz Marina Melgarejo, Martha Valencia de Chaparro, Luis Carlos Montenegro Ruiz, Ángela Chaparro de Barrera, Emira Garcés de Granada, Bertha Coba de Gutiérrez, Marina Correa de Restrepo, Hernando Valencia, Jimena Sánchez y Mary Ruth García Conde

Ponente: Mónica Adriana Cuervo

Contacto: argenis99@hotmail.com

Objetivo: Análisis integrado de las estrategias adaptativas morfológicas, estructurales, funcionales y de regeneración de algunas especies de plantas representativas del páramo y del bosque altoandino en las áreas de Monserrate y el Parque Nacional Chingaza

Financiación: Universidad Nacional de Colombia - División de Investigación Bogotá - DIB y Dirección Nacional de Investigaciones DINAIN

Duración de la investigación: tres años

Logros obtenidos: Este programa de investigación se centra en el análisis de las estrategias adaptativas de las plantas del páramo y del bosque altoandino con el objeto de alcanzar un entendimiento de los mecanismos de algunos procesos fundamentales que regulan el mantenimiento de estos ecosistemas. La metodología general se ha planteado en dos fases: en la primera fase del programa se realizará la caracterización estructural y funcional de las especies particulares analizadas, identificando, describiendo y cuantificando (cuando posible y necesario) las estrategias adaptativas morfológicas, fisiológicas y ecológicas.

En la segunda fase del programa se configurarán los modelos estructurales y funcionales particulares de las especies usando los elementos identificados en la fase anterior. Los resultados esperados de este programa de investigación están relacionados, en general, con la producción de conocimiento nuevo sobre diversos aspectos funcionales del páramo y del bosque altoandino que será publicado en revistas nacionales e internacionales y en un libro, la formación de jóvenes investigadores vinculados al proyecto como tesisistas o como auxiliares de investigación y la formalización conceptual y logística de la línea de investigación en biología de organismos tropicales de altamontaña que, a su vez, contribuirá a fortalecer la maestría en ecología y la docencia, investigación y extensión en el pregrado de Biología.

Investigaciones en curso: Estudio de los patrones funcionales – estructurales y de las estrategias reproductivas y de dispersión de plantas de páramo. Y estudio de la radiación adaptativa de los patrones funcionales – estructurales de las especies colombianas de los géneros *Libanothamnus*, *Espeletiopsis* y *Espeletia* y sus implicaciones biogeográficas, evolutivas y sistemáticas. Luis Eduardo Mora-Osejo.

Balance hídrico de plantas del páramo y del bosque altoandino. Jorge Cogua y Martha Orozco de Amézquita.

Determinación de posibles mecanismos de ajuste osmótico en plantas de *Espeletia grandiflora* en dos páramos colombianos. Luis Eduardo Mora-Osejo, Xavier Marquinez y Luz Marina Melgarejo.

Caracterización morfológica y fisiológica de la regulación hídrica de las briofitas del páramo de Chingaza. Martha Valencia de Chaparro y Luis Carlos Montenegro Ruiz.

Aspectos biológicos de las epífitas vasculares a lo largo del gradiente altitudinal bosque alto andino – páramo. Ángela Chaparro de Barrera.

Papel de la comunidad de hongos en el proceso de descomposición del abrigo de hojas muertas (necromasa) de *Espeletia grandiflora* en el páramo El Granizo. Emira Garcés de Granada.

Dinámica de la comunidad de artrópodos asociados al abrigo de hojas muertas de *Espeletia grandiflora*; Mecanismos de coexistencia de la comunidad de abejorros (Hymenoptera: Apidae: Bombus) del Parque Nacional Natural Chingaza; Estrategias de reproducción sexual de *Espeletia killipii* y *Espeletia grandiflora* en el Parque Nacional Chingaza, y Estrategias de reproducción sexual de algunas especies de la familia Orchidaceae presentes en el páramo y el bosque altoandino. María Argenis Bonilla.

Micorrizas arbusculares (M.A.) en raíces y suelos rizosféricos de *Pentacalia vaccinioides* y *Espeletiopsis* sp. del páramo de Monserrate. Bertha Coba de Gutiérrez y Marina Correa de Restrepo.

Hongos solubilizadores de fosfatos en suelos rizosféricos de *Espeletia grandiflora* y *Calamagrostis effusa*. Hernando Valencia y Jimena Sánchez.

Dinámica de la distribución de artrópodos del suelo en función del contenido de agua; Estrategias de regeneración de *Clusia multiflora*, *Drymis granadensis* y *Weinmannia tomentosa* en el bosque altoandino. Mary Ruth García Conde.

1.4.17. Evaluación fitofarmacológica de especies medicinales colombianas como fuente de fitomedicamentos

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Farmacia - Sede Bogotá

Grupo de investigación: Roberto Pinzón Serrano, Fernando Ospina, Fabio Aristizábal, Ahmed Salama, Mario Guerrero, Jairo Calle, Antonio Sanabria, Lucía Arteaga de García, Miguel Angel Torrés, Lilia Gracia de García, Mariela Toscano de Pedraza y Javier Rincón Velandia

Ponente: Javier Rincón

Contacto: jrinconv@ciencias.unal.edu.co

Objetivo: El objetivo a largo plazo es la obtención de nuevos productos a partir de productos naturales o de semisíntesis con posible uso en terapéutica y que respondan a las patologías prevalentes en Colombia y Latinoamérica.

Financiación: COLCIENCIAS, Universidad Nacional de Colombia, DIB, CINDEC, CYTED, SECAB, OEA, IFS, CORPOICA, Centro de Investigaciones Agroforestales y Pecuarias entre

otros. Actualmente el grupo de investigación hace parte de diferentes redes de investigación colaborando con varios países de Iberoamérica

Duración de la investigación: Seis años.

Logros obtenidos: El grupo desarrolla investigaciones en el campo de la química orgánica de principios naturales bioactivos y en la evaluación de la actividad biológica de los extractos o sustancias puras obtenidas de estas fuentes.

Los trabajos se desarrollan manteniendo una estrecha relación entre las investigaciones fitoquímicas y los ensayos biológicos relacionados a productos con actividad citotóxica, antimalárica, inmunomoduladora, antifúngica, antibacterina, sobre el sistema nervioso central, antiinflamatorias, etc.

El grupo de investigación se conformó en 1985 con docentes del Departamento de Farmacia de distintas disciplinas (fitoquímica, farmacología, microbiología, tecnología farmacéutica). Posteriormente el grupo de investigación ha presentado proyectos puntuales con objetivos enmarcados dentro de la filosofía del grupo. Estos proyectos fueron realizados en colaboración con instituciones nacionales e internacionales como DIB (Universidad Nacional de Colombia), COLCIENCIAS, SECAB, Banco de la República, CITED, OEA, IFS, etc. La estrategia metodológica que utiliza el grupo para la obtención de productos bioactivos es la separación bioguiada, que se fundamenta en el seguimiento de los extractos o compuestos activos mediante ensayos biológicos sencillos, específicos y económicos.

El Grupo de Investigación, sobre Productos Naturales Bioactivos, del Departamento de Farmacia, de la Universidad Nacional, tiene una trayectoria de trabajo de más quince años durante los cuales se han publicado alrededor de 120 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales de reconocido prestigio. Dentro de este programa se han adelantado alrededor 50 trabajos de grado para obtener los títulos de químicos farmacéuticos, biólogos, químicos o agrónomos. Adicionalmente el programa ha permitido el desarrollo de 10 tesis de Magíster en áreas biológicas. Actualmente se encuentran vinculados en las investigaciones 20 estudiantes de pregrado y 10 estudiantes de Maestría y Doctorado.

En cuanto a la divulgación de los resultados obtenidos se destaca la participación en todos los eventos nacionales relacionados con Productos Naturales Bioactivos y la presentación en Congresos Internacionales en un número que supera 20 trabajos.

Actualmente se están desarrollando proyectos cuyo objetivo es encontrar nuevas alternativas para el tratamiento de enfermedades parasitarias (malaria, leishmaniasis, chagas), enfermedades relacionadas con el sistema nervioso central, con el sistema circulatorio, productos analgésicos o antiinflamatorios, etc. Igualmente se están desarrollando proyectos que buscan implementar metodologías de evaluación para compuestos y extractos de origen natural con actividad anticáncer y anti-HIV. Estos proyectos siguen los lineamientos del grupo y constantemente se presentan nuevas propuestas de investigación para obtener financiación y seguir consolidándolo obteniendo resultados más prometedores. Hay interés en fortalecer la implementación de ensayos para la valoración biológica preliminar rápida, que generen resultados con valides internacional.

1.4.18. Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia- química y tecnología del aroma de frutas

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Química – Sede Bogotá

Grupo de investigación: Carmenza Duque, Alicia Lucía Morales, Edgar Bautista, Coralia Osorio, Sven Zea, Oscar Osorno y Mónica Puyana

Ponente: Alicia Lucía Morales

Contacto: amorales@ciencias.unal.edu.co

Duración de la investigación: Veinte años

El grupo cuenta con dos líneas de investigación: productos naturales marinos y química y tecnología del aroma de frutas. Sin embargo, aquí solo se tratarán aspectos relacionados a la línea química y tecnología del aroma de frutas.

Logros obtenidos: El aroma de las frutas es muy estimado universalmente y es frecuentemente utilizado en una amplia variedad de productos tales como bebidas, jarabes, productos de tocador, aromatizantes y otros productos de consumo etc. Debido al gran éxito en el mercado mundial se ha hecho necesario el estudio básico de estos aromas y sabores.

Cada fruta posee un aroma particular. Sin embargo, este aroma puede sufrir alteraciones dependiendo de diversas circunstancias. Por ejemplo, posee un determinado aroma al ser cosechada que puede incrementarse, disminuirse o cambiar antes de llegar al consumidor. En algunas ocasiones se pueden desarrollar aromas indeseables y en otras los procesos de corte y homogenización pueden favorecer la liberación de su aroma.

Lo mismo puede decirse de los productos procesados de frutas, los cuales muchas veces necesitan tiempo para desarrollar su aroma óptimo o tienen tiempos límites antes de que se formen malos olores. Así, es necesario entender los procesos de formación de los compuestos que hacen parte del aroma de las frutas con el objeto tanto de obtener productos de óptima calidad en cuanto al aroma como de proveer las mejores condiciones de transporte y almacenamiento antes de que las frutas lleguen a su destino final.

En Colombia, somos los pioneros en la investigación científica del aroma de frutas. En el período 1982-2002 hemos estudiamos el aroma de frutas tales como papayuela (*Carica pubescens*), curuba (*Passiflora mollisima*), gulupa (*Passiflora maliformis*), lulo (*Solanum quitoense*), tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), granadilla (*Passiflora vitifolia*), mora de Castilla (*Rubus glaucus*), lulo del Choco (*Solanum topiro*), piñuela (*Bromelia plumieri*), guayaba (*Psidium guajava*) y mango de azúcar (*Mangifera indica*).

La experiencia ganada en estos veinte años de trabajo ha permitido:

1. Producir conocimiento en química de alto nivel: publicación de 29 artículos (18 en revistas internacionales y 11 en revistas nacionales). Publicación de dos capítulos en libros, una patente nacional en trámite y participación en reuniones científicas con 45 ponencias.

2. Crear la línea de Química de Aromas en la Maestría en Química con cinco estudiantes graduados hasta la fecha.
3. Crear la línea de Química de Aromas en el Doctorado en Química con cuatro estudiantes graduados hasta la fecha.
4. Graduar el primer Doctor en Ciencias Químicas en el país (1992).
5. Establecer proyectos de investigación conjuntos con universidades europeas con el aval de la Unión Europea e IPICS, Universidad de Uppsala, Suecia.
6. Obtener el reconocimiento como GRUPO DE EXCELENCIA en las convocatorias de COLCIENCIAS en los años 1996, 1998 y 2000.
7. Que dos miembros del grupo (C. Duque y A. L. Morales) fueran galardonados en los concursos de COLCIENCIAS de estímulos a los MEJORES INVESTIGADORES COLOMBIANOS.
8. Ganar el Primer Premio Nacional en Fitoquímica.
9. Establecer proyectos de investigación conjuntos con la industria de aromatizantes Lucta Grancolombiana.

Patente: F. Parada, E. Bautista, A. L. Morales y C. Duque. 1998. “Extractores líquido-líquido para compuestos orgánicos presentes en matrices acuosas”. En evaluación. Publicado en Gaceta de la Propiedad Industrial No. 465. Superintendencia de Industria y Comercio, Bogotá-Colombia.

Proyecciones: “Estudio del aroma (composición y transformación) y desarrollo de aromatizantes de algunas frutas colombianas de importancia comercial.

Duración: Tres años, 2001-2003.

Financiación: Lucta Grancolombiana - COLCIENCIAS, Contrato No 245 de 2000.

1.4.19. Flora colombiana, química y posibilidades de aprovechamiento

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Química - Sede Bogotá

Grupo de investigación: Luis Enrique Cuca Suárez, Cecilia Espitia Ortiz, Rosabel Segura de Correa, Aura María Puentes de Díaz, Eduardo Martínez, Bárbara Moreno, Leonardo Castellanos, Yolanda Rico y Luis Caicedo

Ponente: Cecilia Espitia Ortiz

Contacto: cdper@ciencias.unal.edu.co

Logros obtenidos: La investigación en la química de los productos naturales vegetales tiene una tradición en el Departamento de Química que se remonta a la década de los 70, logrando un avance significativo en: La elucidación de estructuras de metabolitos secundarios, entre los cuales se pueden mencionar: lignanos, alcaloides, flavoides, cumarinas y terpenos; Algunos estudios quimiotaxonómicos, datos etnobotánicos y acopios importantes de nuevos especímenes para Herbarios Nacionales; La formación de un gran número de investigadores a través de Tesis de pregrado y de posgrado y La implementación de cursos, seminarios y ponencias en congresos nacionales e internacionales y artículos científicos.

El desarrollo de estas investigaciones se ha logrado y afianzado gracias a la financiación de varios organismos internacionales y nacionales, lo mismo que a la cooperación científica de universidades y centros de investigación extranjeros, lográndose una retroalimentación en beneficio de la investigación nacional. Inicialmente se enfocaron hacia la determinación estructural de metabolitos secundarios de varias familias botánicas, complementándose en los últimos años con estudios de actividad biológica. Actualmente, se considera necesaria la aplicación de la investigación fitoquímica, para dar apoyo y asesoría a la industria nacional relacionada con el tema de los productos naturales vegetales, contribuyendo al conocimiento y aprovechamiento de nuestra flora, principalmente en industrias de agroquímicos, de alimentos, de cosméticos y en algunas medicinas alternativas.

Con base en lo anterior, el grupo de investigación está orientando los estudios en la dirección mencionada y también con el interés de complementar las bases de datos de etnobotánica y botánica económica que adelanta el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, a través del programa SPICA.

La industria nacional ha tenido gran auge en la elaboración y comercialización de preparados de origen natural, a veces sin un control de calidad riguroso ni respaldo científico sólido. El gobierno a través del INVIMA ha creado una regulación para ejercer control sobre estas industrias, logrando un listado de productos vegetales autorizados para su utilización, entre los cuales se encuentran especies cultivadas y silvestres. Sin embargo estudios científicos demuestran la gran complejidad y variabilidad en los constituyentes químicos de las plantas. Aspectos geográficos, climáticos, de fertilidad, inciden notablemente en la composición cualitativa y cuantitativa de los metabolitos secundarios. Esto muestra la necesidad de tener controles muy estrictos sobre la composición y calidad de productos y extractos comercializables.

Actualmente el Gobierno junto con la empresa privada está interesado en incrementar la comercialización de especies nativas con base en la articulación del conocimiento tradicional de las comunidades indígenas y campesinas, con la investigación y desarrollo tecnológico, lo cual debe convertirse en un factor de competitividad en la producción de materias primas cultivadas y silvestres, para obtener un alto valor agregado, que se reconozca por su precio y calidad.

El proyecto está constituido por varios subproyectos. Aglutina algunos que están en desarrollo y otros que se proyectan a un plazo de tres años con la meta de implementar los laboratorios de investigación para dar servicios y asesoría a la comunidad, que requiera el control químico de materia prima vegetal potencialmente comercializable y procesada. A continuación se mencionan algunos de los proyectos.

Extracción de hecogenina/tigogenina a partir de los jugos de fique que se desechan durante el proceso de desfibrado. Este estudio comprende entre otros aspectos, optimización del método de extracción de estas sapogeninas, su cuantificación y estudio de la calidad del jugo. Está enmarcado dentro del proyecto interdisciplinario: "Estudio de prefactibilidad para el montaje de una planta experimental de producción de hecogenina a partir de los jugos de fique en el municipio de Tambo Nariño", en el cual participan, CORPOICA, la Universidad Nacional de Colombia, la UMATA y la Asociación de Fiqueros del municipio. Con este proyecto se podrían beneficiar 70.000 familias productoras de fique en la región, contribuyendo a mejorar los ingresos de los campesinos y las condiciones ambientales y ecológicas de la región.

Estudios sobre la nuez del marañón que comprende extracción del aceite, procesamiento, almacenamiento y actividad antimicrobiana. Los resultados positivos sobre este último aspecto han conducido a la separación e identificación de los constituyentes responsables de dicha actividad. Actualmente se investiga sobre la actividad insecticida, en cooperación con The Ohio State University y además se evalúa el uso potencial de los ácidos anacárdicos de la nuez del marañón como quelantes del aluminio en los suelos de los Llanos Orientales.

Estudio de plantas con reconocido uso etnobotánico, medicinal o insecticida. El aislamiento de los metabolitos se direcciona con bioensayos preliminares de actividad insecticida. Se tienen proyectados estudios a nivel de invernadero y campo, en el municipio de Agua de Dios para apoyar a ASOTOMATE.

Aislamiento y elucidación estructural y de actividad biológica preliminar de metabolitos secundarios promisorios. Entre ellos flavonoides, cumarinas y aceites esenciales.

Levantamiento botánico y etnobotánico de cinco familias de interés fitoquímico de la Serranía de Coraza, correspondiente a los Montes de María del departamento de Sucre. Este estudio se realiza en colaboración con el Instituto de Ciencias Naturales (Base de datos SPICA), con el fin de enriquecer los listados de especies pertenecientes al bosque seco tropical de esa zona del país.

1.4.20. Bioprospección de *Capsicum* en Colombia

Institución: Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira

Ponente: Mario Augusto García D.

Objetivo: Conformar un equipo de investigadores en recursos genéticos de *Capsicum*, conformar un banco de germoplasma de *Capsicum*, caracterizar y evaluar la diversidad genética del género en Colombia, caracterizar, evaluar y documentar el banco de germoplasma y valorar y utilizar este recurso genético.

Financiación: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, CIAT, Unidad de recursos genéticos e instituciones como CORPOICA, ICA y USDA, las cuales han donado germoplasma para el estudio.

Duración de la investigación: Nueve años

Logros obtenidos: Para lograr los objetivos se realizaron colectas en la Zona Andina colombiana y costa Atlántica, así mismo se introdujo germoplasma nacional de instituciones como CORPOICA e ICA y del USDA, donde se lograron repatriar accesiones colombianas, así como material latinoamericano como referencia para el estudio de diversidad.

En el momento se tiene caracterizado por marcadores morfológicos, isoenzimas y proteínas totales la mayoría de las accesiones que conforman el Banco de Germoplasma de *Capsicum*. Se ha encontrado gran variabilidad morfológica en la colección, la cual en el momento se está analizando, así como buen polimorfismo en los sistemas isoenzimáticos estudiados (PGM, MDH, ME, SKDH, 6PGDH, PGI, PRX, GOT, ESTERASA, DIA, ACP), y en proteínas totales.

Otro tema es el estudio de cruzabilidad entre especies de *Capsicum annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens*, con el objetivo de establecer relaciones entre estas tres especies del género. Con miras a la utilización de este recurso genético se adelanta la evaluación de la colección de germoplasma para *Phytophthora capsici* para determinar fuentes de resistencia e iniciar un programa de mejoramiento con obtención de cultivares resistentes a este patógeno, el cual es un problema muy limitante en nuestro medio.

Otro objetivo dentro de la línea de investigación y tratando de integrar a la carrera de agroindustria es el aprovechamiento industrial de estas especies y para este objetivo en el momento presentamos un proyecto para financiación e iniciar la evaluación de capsaicina y derivados dentro de la colección, como evaluación de métodos de extracción con miras a su aprovechamiento industrial. Es de resaltar el estudio de otras instituciones como es el caso del SINCHI con el estudio de la diversidad genética de *Capsicum* en la Amazonía colombiana y se tiene proyectado poder unir los estudios y conformar un catálogo de la diversidad genética del género en Colombia.

1.4.21. Categorías de uso de las especies presentes en el Herbario "Chocó" de la Universidad Tecnológica del Chocó

Institución: Universidad Tecnológica del Chocó

Grupo de investigación: Nayive Pino B., Alicia Mena M., Hamlet Valois, Eva Ledesma, Jair Cuesta, Nicolás Medrano, Alicia Mena y Fabio García Cossio

Ponente: Nayibe Pino B.

Contacto: nayive_23@hotmail.com

Financiación: Universidad Tecnológica del Chocó

Logros obtenidos: Se inició el análisis de las especies útiles del departamento del Chocó, basada en la información presente en el herbario "Chocó" registrada en la base de datos Herbarios –

SPICA obtenida desde 1983, diversos estudios etnobotánicos e investigaciones realizadas en proyectos sobre inventarios florísticos en el departamento del Chocó; con el propósito de resaltar las potencialidades de la flora chochoana que le permitan a la Universidad Tecnológica del Chocó, direccionar trabajos que propendan por el incremento de valor agregado a la diversidad vegetal, buscando alternativas económicas que redunden en el mejoramiento de la calidad de vida de su gente.

Se definieron nueve categorías de uso (medicinal, alimenticia, artesanal, maderable, ornamental, ritual y mágica, colorante, aromática y combustible), las potencialidades se definieron con base en la información obtenida en campo, registros de uso existente en la base de datos SPICA del herbario “Chocó” e informaciones secundarias.

El herbario “Chocó” registra en su base de datos (sistematizada en aproximadamente 93%), 2.358 especies agrupadas en 183 familias y 972 géneros. En este estudio se identificaron: 250 (10,6%) especies medicinales distribuidas en 73 familias y 194 géneros, siendo las familias más representativas Melastomataceas, Rubiaceas, Piperaceas y Gesneriaceas con 19, 19, 18 y 16 especies respectivamente; 123 (5,2%) especies artesanales agrupadas en 49 familias y 108 géneros, las familias más representativas para esta categoría fueron: Arecaceas con 26 especies, Anonaceas con ocho y Myristicaceas con siete; 105 especies alimenticias distribuidas en 41 familias y 82 géneros, siendo las familias más representativas Arecaceas, con nueve especies y Bombacaceas y Stercculiaceas con siete especies respectivamente; 117 especies maderables agrupadas en 44 familias y 100 géneros, siendo las familias más representativas Arecaceas, Moraceas y Myristicaceas con 13, 11 y ocho especies respectivamente; 77 especies ornamentales (3,3%) agrupadas en 27 familias y 56 géneros, siendo las familias más representativas, la de las Heliconias (10 especies), Asteraceas (8) y Bromelias (7). Con relación a las categorías de uso faltantes, posteriormente se darán los resultados. Los resultados hallados hasta el momento reflejan la urgente necesidad de continuar estudiando la flora de la región, antes que la acción antrópica mal orientada altere los ecosistemas y se pierdan verdaderos potenciales económicos para la región.

En ese sentido se tiene el dato Preliminar de Plantas con Potencial de Uso Medicinal en el Chocó al analizar la información de estas nueve categorías de uso potencial, la que posee mayor número de especies de plantas son las usadas en medicina popular, encontrándose 250 especies correspondientes al 10,6 % de las especies totales registradas en la base de datos. La información fue obtenida de la base de datos – SPICA desde 1983, de diversos estudios etnobotánicos en el departamento del Chocó e investigaciones realizadas en proyectos sobre estudios de plantas medicinales en el departamento del Chocó, con el propósito de evitar se sigan erosionando los conocimientos populares entre otros. Los usos medicinales encontrados fueron 24 agrupados de la manera siguiente: plantas desinflamantes (incluidas las causadas por mordeduras de serpientes), contra el enfogamiento (calor dentro del cuerpo), contra las diarreas, para detener hemorragias causadas por heridas, contra infecciones (incluidas las de la piel), para calmar dolores (en oídos, cabeza, dentadura etc.), para aliviar malestares en el hígado, aliviar malestares de riñones, aliviar dolores en el bazo, contra los parásitos (incluye lombrices), contra el reumatismo, contra el insomnio y problemas mentales, contra la gripe asmática, contra la malaria, para pegar huesos, para hacer crecer y fortalecer el cabello, contra el pasmo causado por posparto, para controlar la presión sanguínea, para adormecer peces, para desvanecer tumores, para las quemaduras, para combatir el desaliento corporal, para bajar el azúcar en la sangre, y combatir males en los niños recién nacidos.

El valor medicinal de una planta curativa se debe a la presencia en su tejido de compuestos químicos, que constituyen un principio activo que produce un efecto fisiológico, en ese sentido los porcentajes de géneros como potencial para estudios terapéuticos con relación a las familias más representativas en esta categoría (Rubiaceas, Melastomataceas, Piperaceas y Gesneriaceas con 19, 19, 18 y 16 especies respectivamente) son: 75% para las Piperaceas (tres géneros de los cuatro registrados en la base de datos – SPICA); 42,1 % para las Gesneriaceas (ocho de los 19 registrados en la misma base); 29,6% las Melastomataceas (ocho géneros de los 27 registrados en la base de datos – SPICA) y 20% para las Rubiaceas (12 de los 60 registrados en la base), estas familias están incluidas en las seis primeras familias de plantas más representativas para la flora del Chocó, según Forero y Gentry (1989).

Proyecciones: Actividad biológica de plantas medicinales y aromáticas del Chocó.

1.4.22. Estudios de actividad biológica y tamizado fitoquímico de plantas del Parque Regional Ucumarí

Institución: Universidad Tecnológica de Pereira - Escuela de Tecnología Química

Grupo de investigación: Jaime Niño O., Oscar Marino Mosquera y Janed M. Correa

Ponente: Oscar Marino Mosquera

Objetivo: Con la realización de este proyecto se propone estudiar cincuenta plantas del Parque Regional “Ucumarí” y detectar aquellas con actividad bactericida, fungicida y antitumoral, para lo cual se normalizarán los respectivos ensayos de actividad biológica y se realizarán tamizados fitoquímicos tendientes a detectar los núcleos químicos que podrían ser los responsables de la acción biológica.

Financiación: Universidad Tecnológica de Pereira

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: En la evaluación de la actividad antibacteriana y antimicótica de la parte aérea de 20 especies de plantas, pertenecientes a seis familias botánicas: Asteraceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Podocarpaceae, Rubiaceae, Solanaceae frente a los hongos *Aspergillus fumigatus*, *Candida albicans* y *Fusarium solani*. Así mismo, se ensayo la actividad antibacteriana frente a las bacterias gram positivas: *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* y gram negativas: *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*. Los resultados encontrados hasta el momento, muestran que las plantas recolectadas del Parque Regional Ucumarí tienen gran potencial como fuente de metabolitos secundarios con actividad antibacteriana y antimicótica, lo cual requiere de estudios complementarios para aislar y determinar los compuestos responsables de las actividades biológicas estudiadas en las plantas con mayor actividad.

Proyecciones: A futuro, se pretende realizar otros ensayos de actividad biológica, tales como antioxidante, inhibición de germinación de semillas y actividades celulares específicas entre otros que permitan darle mayor valor a las plantas de esta región.

1.4.23. Una biotecnología para la elaboración de vino de denominación de origen

Institución: Viñedo & Cava Loma de Punta Larga

Grupo de investigación: Marco Quijano Rico

Objetivo: Desarrollar técnicas indicadas para la elaboración de vinos con la máxima tipicidad (marca territorial) teniendo presente que el territorio es el conjunto subsuelo, suelo, clima, hombre.

Seleccionar variedades de vides, *Vitis vinifera* L., capaces de reflejar con mayor fidelidad la originalidad territorial.

Escoger las cepas de levaduras, autóctonas y foráneas más indicadas para la fermentación, sin distorsión de la marca territorial.

Definir parámetros de operación óptimos, para el proceso integrado de elaboración del vino, PIV, desde la instalación y el manejo del viñedo y de las vendimias, hasta la vinificación.

Diseñar y probar tratamientos biológicos y microbiológicos complementarios para resaltar la marca territorial.

Financiación: Viñedo & Cava Loma de Puntalarga

Logros obtenidos: El vino con denominación de origen geográfica debe ser el reflejo sensorial del territorio, “terroir”, en el cual se cría. La vid transduce la originalidad del territorio en tipicidad del vino, sintetizando sustancias químicas que tienen color, olor y sabor. La calidad sensorial es asimilable a la calidad de un mensaje y como tal, hace parte de los procesos de comunicación, objeto de la Teoría de la Información.

En la comunicación territorio-vid-hombre, la fermentación alcohólica constituye la etapa clave. En el sentido del proceso integrado de elaboración del vino, PIV, se describen diversas técnicas para la instalación y conducción de los viñedos, el manejo de las vendimias, de la fermentación alcohólica y de algunas operaciones complementarias como la fermentación del ácido málico y la fermentación intracelular de las uvas, utilizadas para sacar el máximo provecho de la originalidad de nuestros territorios, empleando criterios basados en la teoría de la información.

1.5. ÁREA DE ECOLOGÍA

1.5.1. Evaluación de la toxicidad relativa de sustancias tóxicas en vertimientos y cuerpos de agua receptores

Institución: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Subdirección Científica, División Evaluación Técnica

Grupo de investigación: Clara Inés Ortiz Rivera

Objetivo: Cuerpos de agua y vertimientos industriales y domésticos de la Jurisdicción CAR en la determinación de los valores de la CL50 para sustancias de interés sanitario (artículo 20) que afecten la calidad del recurso hídrico en lo relativo a la preservación de la biota acuática y su entorno, con el fin de establecer las regulaciones sobre uso y descarga de los vertimientos

Financiación: Soporte financiero del BID y recursos propios de la CAR

Duración de la investigación: Desde 1994 y continúa

Logros obtenidos: El control de la calidad del agua es un problema que día a día cobra mayor importancia tanto por las limitaciones de uso que se imponen a partir de la descarga de los desechos industriales y domésticos, como por la reducción en la cantidad del recurso, ligada a problemas generales de manejo ambiental entre los cuales está la deforestación de cuencas.

Para el control de la calidad de agua se cuenta con legislación al respecto que se apoya principalmente en la caracterización físico-química de los vertimientos y de los cuerpos de agua receptores y su comparación con concentraciones máximas permisibles (determinadas en estándares de la EPA y la OMS); sin embargo, se reconoce que la gestión ambiental de los ecosistemas también debe considerar aspectos relacionados con la respuesta de los organismos y los ecosistemas a la descarga de contaminantes, por lo que el establecimiento de bioensayos o pruebas de toxicidad se constituye en un elemento importante para apreciar el efecto y el riesgo de la descarga de sustancias contaminantes sobre los ecosistemas acuáticos en función de ser el principal receptor de vertimientos, por su capacidad de dispersión y por los diferentes usos que se le dan en las actividades de nuestra sociedad.

Las pruebas de toxicidad (bioensayos), base fundamental para la estimación del riesgo (toxicidad, por definición sólo puede medirse con material biológico), son un elemento clave en el control de efluentes tóxicos, toda vez que el análisis de las propiedades físico-químicas de una sustancia, no da la información suficiente para determinar la concentración a la cual se vuelve tóxica para los humanos y otras especies.

Resultados obtenidos: Fase I: Manuales de procedimientos y protocolos estandarizados para bioensayos de toxicidad aguda con *D. magna* y *Bacillus cereus*, de toxicidad subletal con *Selenastrum capricornutum*, de toxicidad crónica con *D. magna*.

Metodología para el estudio del efecto sinérgico y antagónico de metales pesados sobre *D. magna*
Metodología para la aplicación preliminar del sistema de alerta de riesgo toxicológico
Toxicidad aguda (CL50 – Ce50 ó Ci50) de sustancias puras
Toxicidad aguda (CL50 – Ce50 ó CMI) de efluentes industriales
Toxicidad crónica de sustancias puras para *D. magna*
Efecto sinérgico y antagónico de metales pesados sobre *D. magna* (Determinación de CL50)
Efecto sinérgico y antagónico de metales pesados en *D. magna* (Estudio de interacciones: % mortalidad)
Sistema de alerta de riesgo toxicológico (Índice de Efectos Tóxicos Potenciales - IETP).

Fase II: Protocolo para bioensayos de toxicidad aguda con semilla de lechuga Batavia y peces (alevinos de trucha arco-iris *Oncorhynchus mykiss*).
Toxicidad aguda de muestras ambientales
Toxicidad aguda de sustancias puras
Sistema de alerta de muestras ambientales con *D. pulex*
Toxicidad aguda del vertimiento de la industria agroquímica con *D. pulex*
Fase III: Toxicidad aguda de sustancias de interés sanitario

Proyecciones: Actualizar los valores correspondientes a la CL50 del Artículo 45 del Decreto 1594 de 1984 en cuanto a los niveles tróficos trabajados hasta el momento; aplicación del sistema de alerta toxicológico; aplicación del IETP para vertimientos industriales tipo y clasificación de las industrias de acuerdo con el grado de toxicidad de sus vertimientos; estandarización de pruebas de toxicidad crónica con *D. pulex* para la determinación de las concentraciones seguras de diferentes sustancias de interés sanitario y de vertimientos industriales; Mantener un programa continuado de bioensayos de toxicidad aguda y crónica de sustancias y vertimientos ambientalmente peligrosos, para clasificar los vertimientos industriales según su IETP; optimizar el IETP con *Daphnia magna* y *Daphnia pulex* para pruebas crónicas y subletales, lo que permitirá evaluar tanto la toxicidad de la sustancia o vertimiento peligroso como su persistencia y aplicar en los diferentes programas de monitoreo la combinación de análisis físico-químicos (esencial para determinar causalidad), IETP (herramienta valiosa, poco costosa y efectiva) y bioensayos en el control de efluentes industriales y la protección del recurso hídrico.

1.5.2. Investigaciones desarrolladas por la CRC y la CAR

Institución: Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC

Ponente: Huberto Ortiz Ordoñez

Contacto: ortizhuberto@latinmail.com

La Corporación Autónoma Regional del Cauca, viene gestionando y ejecutando, como soporte al desarrollo de la misión corporativa en el marco del Proyecto Colectivo Ambiental una serie de estudios en el ámbito regional sobre recursos naturales liderados por la Oficina de Investigaciones Ambientales de manera directa y convenios con institutos y entidades pertenecientes al SINA.

Entendiendo el objetivo y los alcances de la bioprospección en la investigación ambiental de nuestro país, se estima de vital importancia, participar en el primer taller nacional de investigación en bioprospección, con el propósito de direccionar nuestros estudios bajo lineamientos de políticas nacionales en investigación a mediano y largo plazo con beneficio social, económico y cultural de nuestras regiones, ubicadas privilegiada y geográficamente dentro de los ecosistemas estratégicos de Cauca-Magdalena, Macizo Colombiano, Pie de Monte Amazónico y Corredor biológico del Pacífico.

Logros obtenidos:

1. Convenio marco de cooperación técnica entre el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC y la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC, a través del cual se busca identificar, formular y realizar propuestas conjuntas que respondan a los propósitos institucionales del IGAC y la CRC.

Objeto: Diagnóstico de áreas forestales en la Región Pacífica caucana. (Fase I, etapas 1, 2, 3, 4), Formulación de alternativas de uso de la tierra con fines de recuperación biofísica del Valle del Patía caucano; Zonificación forestal de la cuenca río Cauca, áreas forestales del Pacífico caucano, terminación Fase I, etapas 4, 5 e inicio Fase II, Plan de manejo sostenible de los páramos en el departamento de Cauca.

2. Convenio de cooperación técnica entre el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC.

Objeto: Aunar esfuerzos y recursos entre las dos entidades para la ejecución del proyecto “Formulación del Plan de Manejo Integrado de la zona costera del Pacífico colombiano, tomando como áreas pilotos las bocanas de Guapi – Iscuandé”. La temática del proyecto se fundamenta en la determinación y conocimiento del estado actual de los ecosistemas costeros en la relación “costa-mar”; logrando resultados como: Proceso de concertación social con cuatro consejos comunitarios (Ley 70) y dos entes territoriales, construcción de la base de datos y metadatos con información, caracterización biofísica de la unidad de manejo integrado (ecorregión Gaupi - Iscuandé) y determinación del estado actual y diagnóstico del área. Obtención de cartografía temática a partir de sensores remotos, mapa geomorfológico, suelos, clima, fauna, cobertura vegetal, uso actual del suelo y afectación del territorio.

3. Convenio específico de cooperación técnica entre el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC.

Objeto: Conjugar esfuerzos y recursos económicos por parte del INVEMAR y la CRC para la terminación de la fase de formulación del Plan de Manejo Integrado de la zona costera del Pacífico colombiano, tomando como área piloto las bocanas de Guapi- Iscuandé.

4. Convenio específico de cooperación técnica entre el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional de Cauca - CRC.

Objeto: Adelantar de manera conjunta el proyecto de investigación “Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de la calidad de las aguas marinas y costeras”.

5. Convenio interadministrativo de cofinanciación celebrado entre la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC y la Universidad del Cauca.

Objeto: Facilitar esfuerzos técnicos, científicos, logísticos y financieros para la formulación de una estrategia, sobre monitoreo y seguimiento de la asimilación y retención de emisiones de CO₂ que a su vez permita la formulación de una política y propuesta sobre el potencial del departamento del Cauca en el tema de sumidero de CO₂.

6. Convenio marco de cooperación celebrado entre la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC y la Corporación Nacional de Investigaciones y Fomento Forestal - CONIF.

Objeto: Entre CONIF y CRC desarrollar para el área de jurisdicción proyectos conjuntos de investigación y desarrollo aplicado en temas forestales (bosque natural, bosque plantado, sistemas agroforestales y viveros, entre otros).

7. Proyecto interinstitucional CORPONARIÑO - CRC - CORPOAMAZONÍA, Formulación Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental del Complejo Volcánico Doña Juana - Cerro Juanoy.

Objeto: Formular el plan de manejo y ordenamiento ambiental del complejo volcánico Doña Juana- Cerro Juanoy y su área de influencia, con énfasis en ecosistemas de alta montaña.

8. Convenio interadministrativo de cofinanciación, celebrado entre la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía Colombiana – CORPOAMAZONÍA y la Corporación Regional del Cauca - CRC.

Objeto: Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para la ejecución del proyecto Plan de ordenación y manejo del corredor biológico Serranía de Los Churumbelos – Cueva de Los Guacharos y su área de influencia en sus jurisdicciones, el cual se desarrolla en el marco del convenio interadministrativo.

9. Contrato de Consultoría CRC – FUNINDES; Inventario íctico de la cuenca del río Cauca.

Objeto: Caracterización de la ictiofauna nativa de los principales ríos de la cuenca alta del río Cauca – Departamento del Cauca, con el fin de conocer su diversidad, abundancia y algunos aspectos de su biología y ecología. Inventario de especies bajo los términos de abundantes, endémicas, amenazadas, raras, sensibles o tolerantes.

10. Convenio de Cooperación Científica, Técnica y administrativa entre el Ministerio del Medio Ambiente y la CRC, No. 078/01, Para la implementación de medidas de evaluación conservación y manejo sostenible del oso andino en la ecorregión estratégica del Macizo Colombiano.

Objeto: Establecer estrategias de manejo y conservación de la especie en el marco de la política nacional de fauna y el libro rojo de la UICN sobre especies en vía de extinción.

11. Monitoreo y seguimiento a ejemplares de cóndor andino reintroducidos en la jurisdicción de la CRC Cordilleras Central y Occidental, Macizo Colombiano.

Objeto: Recuperación poblacional de la especie condor andino (*Vultur griffus*), con énfasis de estudios específicos en el comportamiento reproductivo (apareamiento, nidación), adaptabilidad hacia el medio silvestre y establecimiento de sitios de ceba para alimentación complementaria y estrategia de observación de áreas de vuelo (mapificación), desarrollo morfológico, número de ejemplares, interacción con otras especies e implementación de campañas de educación ambiental para involucrar a las comunidades que conviven con el cóndor en beneficio de su protección.

12. Monitoreo ambiental del recurso hídrico, calidad del agua, cuenca del río Cauca. Convenio interadministrativo FONAM – CRC.

Objeto: Diagnóstico de la calidad del agua en los principales tributarios de la cuenca hidrográfica de la cuenca Cauca, destacándose como resultados importantes la ubicación estratégica de una red de estaciones de monitoreo a lo largo de las principales subcuencas, determinación de parámetros fisicoquímicos, indicadores del grado de contaminación de las corrientes superficiales, cartografía de calidad del agua, índices de diversidad de macroinvertebrados acuáticos y su aplicabilidad bioindicadora de la calidad del agua, niveles de contaminación bacteriológica e implementación de técnicas en bioensayos para evaluación de niveles de toxicidad aguda CL50.

Institución: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. - Subdirección Científica - División de Investigación

Contacto: www.car.gov.co

TÉCNICAS DE REPRODUCCIÓN EN ESPECIES NATIVAS

Objetivo: Establecer metodologías alternativas que permitan la propagación masiva de las especies nativas con miras a ser utilizadas en proyectos que contribuyan a recuperar o conservar la biodiversidad.

Financiación: Recursos CAR.

Duración de la investigación: Tres años.

Logros obtenidos: Actualmente, la conservación de la biodiversidad es una tarea difícil debido a la fuerte presión antrópica, expresada en la destrucción de la cobertura vegetal, la ampliación de áreas urbanas, cambios sociales y económicos que generan graves daños al medio ambiente.

La deforestación producto de la explotación de los bosques protectores y de la ampliación de la frontera agrícola, implica la pérdida de biodiversidad y la interrupción de los corredores ecológicos, contribuyendo a la extinción de especies y generando erosión, sedimentación, inundaciones y otros problemas ambientales que influyen en la calidad de vida.

Con el fin de mitigar estos efectos, la CAR adelanta desde hace varios años proyectos de reforestación. Uno de los problemas encontrados ha sido la producción masiva de especies nativas, de las cuales muy poco se sabe de su fenología, ecología y propagación. Por esta razón se comenzaron a adelantar estudios en las especies nativas de los ecosistemas andino, alto andino y páramo, que permiten adquirir mayor conocimiento sobre estos aspectos utilizando metodologías de propagación *in vitro* y *ex vitro*.

En este proyecto se han definido varios protocolos y en otras especies se evaluaron técnicas de propagación con menos éxito.

Proyecciones: Continuar las investigaciones con las especies que tienen resultados parciales e incluir nuevas que permitan definir técnicas de reproducción de las diferentes especies de ecosistemas andinos, altoandinos y páramo con el propósito de establecer programas de conservación o restauración.

BANCO DE GERMOPLASMA EX – VITRO

Objetivo: Desarrollar actividades tendientes a la conservación de la biodiversidad mediante el establecimiento de bancos *ex situ* utilizando fincas de la Corporación.

Financiación: Recursos CAR.

Duración de la investigación: Cinco años y continúa.

Logros obtenidos: Los bancos de germoplasma vegetal son centros de recursos para material vegetal vivo, es decir, en ellos se establecen y manejan colecciones de material vegetal que permiten preservar sus características para el futuro de la humanidad y del ambiente, permiten contar con una fuente permanente y de fácil acceso al material reproductivo, aumentando el *pool* genético vegetal; sirven para estudiar la fenología y fisiología de las especies para elaborar programas de producción y fomentar el conocimiento de nuestras especies entre la población escolar y los pobladores en general. De esta forma se optimizan las áreas de propiedad de la CAR con usos que beneficien y aseguren la conservación y recuperación de nuestra biodiversidad.

Como resultados se tiene la evaluación de mortalidad, fenología, crecimiento; se han efectuado recorridos por el área con diferentes grupos de estudiantes tanto de colegio como de universidades.

Proyecciones: Establecer en áreas de propiedad de la Corporación, sitios de conservación de nuestra biodiversidad, áreas productoras de explantes y además crear espacios de aprendizaje de nuestras especies.

UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS NATIVOS BENÉFICOS PARA LA BIOFERTILIZACIÓN DE ÁRBOLES AUTÓCTONOS EMPLEADOS PARA REFORESTAR

Objetivo: Aislar, identificar y evaluar microorganismos nativos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo de especies de árboles autóctonos utilizados para reforestar y caracterizar su asociación micorrízica.

Financiación: Recursos CAR

Duración de la investigación: Un año

Logros obtenidos: Existen asociaciones microbianas en la rizósfera de especies vegetales que intervienen en los procesos de reciclaje de nutrientes, producción de fitohormonas promotoras de

crecimiento y formación y estabilización de agregados del suelo; por lo tanto, dentro del programa de restauración de ecosistemas andino, alto andino y páramo se hace necesario emprender investigaciones tendientes a aislar y evaluar microorganismos que mejoren el crecimiento y desarrollo de los árboles como también la calidad del ambiente edáfico, respondiendo a una técnica de fertilización ambientalmente adecuada que además contribuye a la sustitución de agroquímicos en los programas de reforestación.

Resultados obtenidos: Aislamiento de 167 cepas de microorganismos benéficos potenciales de la rizósfera de *Weinmannia tomentosa* (encenillo) y *Escallonia mirtilloides* (pagoda) presentes en las reservas de bosques nativos ubicados en el páramo de Susaguá en el municipio de Zipaquirá.

Determinación de 64 cepas de bacterias diazotróficas y 42 microorganismos solubilizadores de fosfatos *in vitro*, escogiendo las 20 mejores para su evaluación como biofertilizantes en invernadero.

Evaluación *in vitro* de microorganismos diazotróficos y solubilizadores de fosfatos de especies forestales nativas.

Evaluación en invernadero de individuos de estas especies con diferentes tratamientos, determinando los inóculos apropiados de acuerdo con el grado de estimulación del crecimiento.

Determinación de endomicorrización en encenillo, rodamonte, raque (*Vallea stipularis*) y uva camarona (*Macleania rupestris*) y su caracterización preliminar.

Evaluación de caucho sabanero (*Ficus soatensis*) propagado *in vitro* con los microorganismos aislados de encenillo y pagoda determinando el mejor tratamiento con base al establecimiento y promoción de crecimiento.

Proyecciones: Continuar con las investigaciones y evaluar microorganismos asociados a otras especies que permitan efectuar plantaciones libres de agentes contaminantes tanto para las aguas como los suelos y ayuden a mejorar la estructura de este último.

RESTAURACIÓN DE BOSQUES SECOS ANDINOS (CONVENIO CON EL LABORATORIO DE BIODIVERSIDAD Y DINÁMICA DE ECOSISTEMAS DE LA UNIVERSIDAD DE AMSTERDAM)

Objetivo: Establecer patrones de vegetación y líneas de sucesión natural para la implementación de metodologías que ayuden a la restauración rápida de ecosistemas andinos secos, mediante la plantación de especies de diferentes estadios sucesionales.

Financiación: Recursos CAR y Universidad de Amsterdam

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: La sabana de Bogotá es la zona más poblada y una de las más intensamente explotadas de la región andina colombiana, por esta razón la demanda de recursos es cada vez mayor y su oferta disminuye a pasos agigantados. Dentro de las principales fuentes de agua encontramos las montañas que circundan la sabana de Bogotá, especialmente las de la parte norte

donde nace el río Bogotá, siendo esta una fuente importante de agua para la capital. Aunque la mayor parte de la sabana de Bogotá tiene un clima húmedo, extensas áreas de la parte norte y este tienen un clima semiárido donde casi todos los 700 mm/año de precipitación caen en un limitado número de fuertes aguaceros durante dos relativas cortas épocas de invierno. Debido al inadecuado uso del suelo y a la poca cobertura de vegetación, la capacidad de retención de agua es casi nula y los grados de erosión muy altos generando así suelos improductivos y aumentando la pobreza en la región.

Patrones vegetales y plantación: Se establecieron 96 parcelas, algunas plantadas con especies nativas (*Baccharis bogotensis* - ciro, *Dodonea viscosa* - hayuelo, *Dalea coerulea* - chiripique, *Myrsine guianensis* - cucharo, *Xilosma spiculiferum* - corono, *Duranta mutisii* - espino, *Condalia thomasiana* - gurrumay, *Baccharis latifolia* - chilco, *Hesperomeles goudotiana* - mortiño) correspondientes a diferentes estadios sucesionales del bosque seco andino. Se efectuaron análisis de suelos, se hizo el inventario de la vegetación existente en el área, se evaluó el crecimiento y mortalidad de las especies plantadas mediante técnicas de ordenación y clasificación.

Estudio de diversidad botánica: Se realizaron dos tesis de grado con estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia evaluando plantas vasculares y criptógamas, Se encuentra en preparación el artículo "Una nueva especie de *Zephyranthes* (Amaryllidaceae) del centro de Colombia" (J. L. Fernández y J. P. Groenendijk).

Estudio de lluvia de semilla y bancos de semillas en diferentes tipos sucesionales de vegetación: Esta investigación la realizan dos estudiantes de la Universidad de Amsterdam y la infraestructura utilizada es el vivero del municipio de Nemocón administrado por la UMATA. Se busca establecer especies potenciales de regeneración para cada tipo sucesional de vegetación. Dentro de esta investigación se ha efectuado toma de muestras de suelo y colocación de trampas de semillas; las semillas recolectadas se colocaron en germinadores, hasta el momento, se han obtenido 25.000 plántulas y se está haciendo la clasificación e identificación de las semillas y plántulas.

Proyecciones: Contar con metodologías para obtener una restauración rápida de los ecosistemas andinos secos.

BIODIVERSIDAD, HISTORIA DE LA VEGETACIÓN Y ESTUDIO DEL EFECTO ANTRÓPICO DE LOS HUMEDALES DE LA SABANA DE BOGOTÁ. (CONVENIO CON EL LABORATORIO DE BIODIVERSIDAD Y DINÁMICA DE ECOSISTEMAS DE LA UNIVERSIDAD DE AMSTERDAM)

Objetivo: Caracterizar los humedales de la sabana de Bogotá y otros de interés para la Corporación desde el punto de vista ambiental, florístico y estructural teniendo en cuenta su dinámica a través del tiempo, con el propósito de definir acciones tendientes a su conservación o restauración.

Financiación: Recursos CAR y Universidad de Amsterdam

Duración de la investigación: Cuatro años

Logros obtenidos: Las áreas de humedales son consideradas como extremadamente importantes para la conservación de la biodiversidad y ofrecen innumerables ventajas para el mantenimiento

de la vida sobre la tierra, sin embargo, los humedales de la sabana y del altiplano cundiboyacense han estado sometidos a una intensa intervención antrópica, que se ha acentuado en los últimos cincuenta años (Van der Hammen, *com. pers.*), lo que ha conducido a la generación de pérdida de biodiversidad, eutroficación, alta tasa de sedimentación, alteración de flujos hídricos, entre otros. Por esta razón la Subdirección Científica de la CAR en convenio con la Universidad de Amsterdam inició este proyecto de vital importancia para la conservación de estos ecosistemas.

Vegetación: Se han efectuado 650 levantamientos de vegetación en 61 humedales de la sabana de Bogotá, realizándose los mapas de vegetación. La vegetación no conocida fue identificada en el Herbario Nacional Colombiano. Se determinaron en cada levantamiento parámetros físicoquímicos tales como pH, conductividad, oxígeno, turbidez y salinidad, mediante la utilización de una sonda multiparámetro; se tomaron muestras de lodos para su caracterización, se efectuó su georreferenciación para su posterior ubicación en cartografía utilizando el SIG de la Corporación. Se hizo una evaluación preliminar de fauna y vegetación de ronda.

Proyecciones: Continuar con la caracterización de los humedales de la sabana de Bogotá, evaluando el grado de contaminación, su dinámica a través del tiempo y definir acciones orientadas a su restauración o conservación.

1.5.3. Restauración de ecosistemas tropicales

Institución: Fundación Restauración de Ecosistemas Tropicales - FRET

Grupo de investigación: Héctor Felipe Ríos Alzate y José Ignacio Barrera Cataño

Ponente: Héctor Felipe Ríos Alzate

Contacto: philipgim@yahoo.com

Objetivo: Desarrollar actividades de investigación, capacitación, asesoría, interventoría, consultoría y ejecución de prácticas en temas relacionados con la restauración de ecosistemas alterados por actividades humanas o desastres naturales (proyectos lineales, mineros industriales, agrícolas y forestales, incendios, inundaciones, deslizamientos, etc.).

Objetivos específicos: Contribuir al desarrollo de la ecología de la restauración de ecosistemas tropicales como una alternativa para alcanzar el desarrollo sostenible de las comunidades y la conservación de los ecosistemas; impulsar la investigación en ecología básica de ecosistemas tropicales para dar soporte técnico a los proyectos de restauración ecológica; apoyar planes, proyectos y políticas en materia de restauración ecológica; capacitar a las instituciones y a las personas responsables de ejecutar o vigilar acciones que conduzcan al deterioro, mejoramiento o conservación de nuestro entorno natural y divulgar y fomentar los conocimientos actuales en materia de restauración, apoyados en convenios de cooperación con organismos nacionales e internacionales.

Logros obtenidos: Participación en calidad de asistentes al curso “Restoring the Urban Forest Ecosystem”. San Juan de Puerto Rico, Mayo 21 a junio 1 de 1999.

Participación en el “Panel de expertos en restauración ecológica” organizado por la Dirección General de Ecosistemas y el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humbolt del Ministerio del Medio Ambiente. Villa de Leyva (Boyacá). Julio 8 al 10 de 1999.

Organización del “Primer Curso de Ecología de la Restauración”. Bogotá D. C. Julio 19 al 30 de 1999. Con la colaboración de la Fundación Natura, Centro de Investigaciones Ecológicas y Aplicaciones Forestales – CREAM, la Universidad Autónoma de Barcelona (España), el Departamento de Biología y el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y el Jardín Botánico José Celestino Mutis. Asistieron 50 personas.

Organización del seminario – taller “Políticas y estrategias de restauración de los humedales”. Diciembre 9 al 11 de 1999. Con la colaboración del Departamento de Protección Ambiental del Estado de Florida (USA), el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis y la Universidad Nacional de Colombia. Asistieron 30 personas.

Proyecto: “Formulación del proyecto de restauración de la cantera del embalse de San Rafael”. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – Fundación FRET. Junio – Diciembre de 2000.

Organización del segundo curso de Ecología de la Restauración: “Restauración de ecosistemas alterados por explotación minera”. Con la colaboración de INGEOMINAS, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Autónoma de Barcelona y el Departamento de Protección Ambiental de Florida – EE.UU., y el patrocinio de ASOGRAVAS y el IDEAM. 25 – 29 de julio de 2000. Asistieron 40 personas.

1.5.4. Manejo sostenible de productos no maderables del bosque (pnmb) como estrategia de consolidación territorial y productiva en la Amazonía colombiana

Institución: Fundación TERRAPRETA

Grupo de investigación: Rodrigo Botero García, Alvaro Rodríguez, Clarita Bustamante, Diego Díaz Manzano, Carolina Buendía, Andrés Sarmiento, Liza Karina Agudelo, Esperanza Leal, Eliana Martínez, Pedro José Botero, José Moreno, Abel Rodríguez y Hernán Moreno.

Ponente: Álvaro Rodríguez

Contacto: sostenible@hotmail.com

Financiación: Agencia Española de Cooperación Internacional - AECI, Programa Regional de Apoyo a los Pueblos de la Amazonía - PRAIA-FIDA CAF y BIOCOCOMERCIO, apoyo para la búsqueda de mercados e investigación en la estrategia comercial

Duración de la investigación: Dos años la fase de investigación y actualmente se desarrolla la fase productiva preliminar

Logros obtenidos: El proyecto recoge los resultados obtenidos durante una primera fase de trabajo (Proyecto CPT: “El cultivo de plantas con propiedades terapéuticas como estrategia productiva en comunidades indígenas y de economía campesina. Araracuara - Amazonas” 1998-2000), en la que se trabajó sobre plantas terapéuticas, en un ciclo agroindustrial - artesanal completo; dicho proyecto, con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), permitió el desarrollo de un ejercicio piloto en el que se logró conjugar una gran cantidad de herramientas metodológicas, para producir un conjunto de resultados que dejan vislumbrar una serie de caminos interesantes para la reflexión de grupos sociales en la Amazonía colombiana.

Durante el desarrollo de la idea se obtuvieron resultados en aspectos culturales, sanitarios y educativos, ambientales, tecnológicos y productivos, legales, económicos, comerciales e institucionales; igualmente, se abrió una discusión entre los líderes comunitarios y los miembros del equipo técnico del proyecto (Fundación Terrapreta), en torno a los roles de cada uno de los actores que intervienen en el proceso productivo, dado que el sistema planteado involucra aspectos como almacenamiento, empaque, publicidad, distribución y búsqueda de mercados selectivos y esto en algunas partes del proceso, riñe con principios culturales importantes (“Calendario ecológico”).

Como resultado de esta discusión, se decide conformar una asociación, que aglutine las familias de productores de la comunidad de Peña Roja con la Fundación Terrapreta, la cual ofrece apoyo en la exploración de mercados, la estrategia publicitaria y administrativos a través de la gestión de recursos para fortalecer el desarrollo a profundidad del proceso iniciado, dejando abierta la posibilidad de involucrar otras iniciativas comunitarias que utilicen el camino trazado por esa experiencia piloto.

Este proceso, ha dado paso a una nueva etapa en la exploración de iniciativas para la articulación de diferentes actores que confluyen en la necesidad de construir formas sostenibles de utilización de los recursos naturales con principios de equidad social, eficiencia tecnológica, y fortalecimiento de los valores culturales de los pueblos amazónicos.

El proceso propuesto apunta al fortalecimiento del ordenamiento territorial en los territorios indígenas donde la población es altamente vulnerable en su estructura cultural y comunitaria, como consecuencia de presiones externas a las que se han visto sometidas (explotación minera, producción de hoja de coca para negocios ilícitos, etc.), y que han generado, entre otros grandes problemas, el desplazamiento de las familias de sus tierras.

La búsqueda de la continuidad del proceso iniciado con el proyecto CPT, apunta a fortalecer interacciones equilibradas entre las comunidades de la zona y la economía de mercado. Estas relaciones buscan combinar provechosamente la oferta de mercados y el patrimonio ambiental – cultural indígena, en un marco de intercambio selectivo, donde la selectividad de los consumidores se constituya en base para el éxito en la propuesta comercial y productiva.

Es necesario consolidar los avances en los aspectos culturales, tecnológicos, comerciales, legales, etc., ya que hasta el momento se ha logrado avanzar en un solo sentido, que es el de presentar una oferta ambiental, cultural y tecnológica, representada en una serie de productos desarrollados en

un sistema de manejo medioambiental, de respeto y fortalecimiento cultural indígena. En la medida que se dé inicio a la comercialización, se imprimirá una dinámica que requiere de mecanismos de control sobre los posibles impactos culturales y ambientales (bióticos, abióticos) que escapen a las formas de regulación previstas hasta el momento.

En el contexto actual del orden público colombiano, la presentación de iniciativas que surjan en los territorios indígenas del Amazonas colombiano, constituye una alternativa para evidenciar la potencialidad de procesos que como éste, decidan apostarle al patrimonio biológico y cultural en un contexto mundial de reconocimiento a estos esfuerzos, por parte de grupos sociales comprometidos con el medio ambiente y la diversidad cultural.

Dentro de los aspectos importantes que indican la necesidad de continuar el proceso iniciado con CPT, podemos resaltar que existen potencialidades (sociales, ambientales, agronómicas, farmacológicas y económicas) importantes que necesitan ser consolidadas a través de un proceso comercial, divulgativo e investigativo, sobre una base social y geográfica más amplia (otras comunidades amazónicas indígenas o de colonos interesados en formas alternativas de uso del territorio); se trata de mostrar un proceso en el que las comunidades no van a seguir siendo proveedoras de materias primas en bruto o con transformación intermedia, sino que tengan la posibilidad de manejar todo, o la mayor parte del proceso *in situ*, de manera que su valor agregado quede en manos de los productores.

El proyecto permite poner en práctica un ejercicio modelo a nivel nacional, sobre los derechos de propiedad colectiva y la protección del conocimiento tradicional asociado a la biodiversidad.

Algunas comunidades indígenas de la Amazonía han demostrado interés en recoger la experiencia desarrollada hasta el momento y aplicarla en otros territorios indígenas amazónicos, en el contexto amplio de los PNMB.

La presión social y económica que ejercen actividades como la minería de oro y el cultivo y comercialización de coca (fomentan la cacería, la pesca, la extracción de productos del bosque con fines comerciales), menoscaban la organización social al incidir en las formas de manejo ambiental tradicional indígena.

Existe una coyuntura institucional importante que permite poner en un mismo contexto los esfuerzos de las diferentes partes, apuntando hacia un trabajo coordinado entre diferentes actores regionales (Terrapreta - FundaMinga - UAESPNN - Instituto Alexander von Humboldt, Programa Biocomercio, F. GAIA).

Resultados obtenidos: Diseño, definición y establecimiento de sistemas agroforestales que incluyen plantas terapéuticas; contribución a la revitalización del uso de la terapéutica tradicional indígena; intercambio de conocimiento, adopción de prácticas agroecológicas para el manejo de cultivos en parcelas sedentarizadas, integrando la experiencia de los sistemas productivos tradicionales como la chagra; validación del conocimiento tradicional en cuanto a formas de siembra, épocas, manejo y poscosecha y capacitación en el proceso de deshidratación y transformación bajo los criterios de las buenas prácticas de manufactura para productos orgánicos y construcción de las instalaciones adecuadas en la región.

Proyecciones: Ampliación de la base productiva en la zona del medio y bajo río Caquetá; intercambio de experiencias productivas con comunidades de base en proceso de realizar formas alternativas de desarrollo, en áreas de amortiguación de parques nacionales; evaluación de factibilidad de proyectos productivos de comunidades indígenas.

1.5.5. Contaminación con mercurio en diversos ecosistemas de la costa Atlántica colombiana

Institución: Universidad de Cartagena - Grupo de Química Ambiental y Computacional

Grupo de investigación: Jesús Olivero Verbel, Boris Johnson Restrepo y Eduardo Arguello

Ponente: Jesús Olivero Verbel

Contacto: jesusolivero@yahoo.com

Objetivo: Caracterización del estado de contaminación con mercurio en muestras ambientales provenientes de varios ecosistemas del norte de Colombia

Financiación: Universidad de Cartagena, Gobernación de Bolívar, CorMagdalena, Fundación FES y UNESCO

Duración de la investigación: Ocho años

Logros obtenidos: En los últimos ocho años, el Grupo de Química Ambiental y Computacional de la Universidad de Cartagena ha realizado diversos estudios tendientes a caracterizar el estado de la contaminación con mercurio en muestras ambientales (peces, sedimentos, cabello humano) provenientes de varios ecosistemas del norte de Colombia. Las investigaciones han sido desarrolladas en ciénagas de la zona minera del sur de Bolívar, Bajo Magdalena, río San Jorge, además del canal del Dique y la bahía de Cartagena. El conocimiento de la distribución de mercurio entre las diferentes especies de peces encontrados en estos ecosistemas ha permitido establecer la necesidad de adelantar acciones inmediatas para proteger el recurso pesquero, en particular, aquellas especies que como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), constituyen la única fuente de proteínas para muchas familias al tiempo que ofrece la posibilidad de disminuir la ingestión diaria de mercurio en zonas contaminadas. De otra parte, el conocimiento de nuestra biodiversidad piscícola y su relación con las actividades antropogénicas contaminantes deben ser una prioridad inaplazable de investigación, de tal forma que las iniciativas de prospección ecológica puedan aplicarse para el mejoramiento de las condiciones de vida de aquellas personas cuya subsistencia depende en forma directa del recurso pesquero.

En términos generales, las conclusiones de mayor importancia derivadas de estos estudios han sido las siguientes:

1. Existe contaminación con mercurio en varias especies de peces presentes en las zonas de minería aurífera del norte de Colombia. Los niveles de mercurio encontrados en las mismas permiten concluir que la mayoría de estas especies no son aptas para el consumo humano.

2. Uno de los cuerpos de agua de mayor contaminación en el sur de Bolívar es la Ciénaga Grande de Achí, en donde existen tanto procesos de bioacumulación como de biomagnificación de mercurio, debido a la gran cantidad de residuos mineros contaminados con mercurio que recibe a través del río Caribona.
3. Las especies de peces con mayor contenido de mercurio son aquellas que son encontradas en niveles tróficos altos, tales como el bagre, la doncella y el moncholo.
4. En los cuerpos de agua conectados con los ríos Magdalena y Cauca en el norte de Colombia, la especie con menor contenido de mercurio es el bocachico. No obstante, constituye una de las especies más amenazadas por la destrucción y contaminación de su hábitat.
5. Los sedimentos de la bahía de Cartagena presentan niveles de mercurio hasta 500 veces superiores a los observados en la Ciénaga Grande de Santa Marta.

1.5.6. Biología reproductiva de cinco especies forestales

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Grupo de investigación: Luis Jairo Silva Herrera y Fabiola Cárdenas Torres

Ponente: Fabiola Cárdenas Torres

Contacto: lufacato@hotmail.com

Objetivo: Entender la fenología de la flor por medio de revisiones de árboles y conteo del número de flores por árbol

Financiación: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Duración de la investigación: Dos años

Logros obtenidos: Una de las limitantes sobresalientes en la producción de semillas es la poca viabilidad que presentan, especialmente tratándose de especies nativas. Esta situación afecta no sólo a los productores de semillas sino a los investigadores que las requieren para obtener resultados satisfactorios. El mejorador vegetal en ocasiones requiere las semillas producto de polinizaciones cruzadas o autopolinización para obtener nuevo material o como resultado de sus ensayos, estos resultados pueden sesgarse sin el conocimiento del período en el que la flor es receptiva, la madurez del grano de polen o la forma de reproducción.

El conocimiento de la biología reproductiva de las especies forestales a tratar es la base para la realización de otras investigaciones del área de fitomejoramiento y la producción de semillas. Estos estudios contribuyen con el establecimiento del período de receptividad del estigma de la flor, la madurez del grano de polen, influencia de los factores ambientales en la viabilidad del polen y la receptividad del estigma, almacenamiento del polen, la forma de reproducción de la planta (autopolinización o cruzamiento) y el período de floración de la planta comparado con los factores climáticos (fenología).

Al entender estos procesos no sólo se realiza un estudio más acertado del mejoramiento de plantas y propagación de semillas, sino que se logran resultados más rápidos y mayor porcentaje de viabilidad de las mismas.

En mejoramiento vegetal es necesario cubrir las flores hasta que sean receptivas, deben ser aisladas del ambiente por medio de una bolsa; en el momento de la receptividad son polinizadas y nuevamente embolsadas hasta cuando la flor no sea receptiva. El grano de polen debe someterse a condiciones en las que no sufra deterioro o muera; es necesario conocer la forma de manipulación y almacenamiento.

La polinización eficaz de las flores se puede ver afectada por factores climáticos como la humedad relativa y la temperatura, estos pueden influir en la receptividad del estigma, teniendo en cuenta que con altas temperaturas o un ambiente seco este se deseca rápidamente y dificulta la germinación del grano de polen, y pueden afectar la viabilidad del grano.

1.5.7. Ensayos de manejo del bosque secundario del Magdalena Medio

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Grupo de investigación: Luis Jairo Silva Herrera, Ricardo Linares, Fabiola Cárdenas, Armando Villota y Cesar Polanco

Ponente: Luis Jairo Silva Herrera

Contacto: lsilva@femx.udistrital.edu.co

Objetivo: Evaluar la incidencia de las técnicas de aclareo, liberación y refinación, sobre los incrementos en área basal y regeneración natural

Financiación: Universidad Distrital Francisco José de Caldas y COLCIENCIAS

Duración de la investigación: Tres años

Logros obtenidos: Los bosques naturales se encuentran en una situación precaria debido a la sobreexplotación a que son expuestos y a su posterior abandono por la crítica situación social y económica que afronta el país. En este momento está presentándose la regeneración natural de los bosques anteriormente talados incrementando su importancia desde el punto de vista económico.

El área de bosques secundarios en los trópicos se estima en más de 60 millones de hectáreas, o sea, el 35% del total de los bosques tropicales. La zona del Magdalena Medio no ha sido ajena a este proceso, a tal punto que se observan grandes extensiones de tierras de vocación forestal dedicadas al pastoreo, cuando hace apenas tres o cuatro décadas eran sinónimo de biodiversidad. Sin embargo, la producción pecuaria no ha tenido el éxito esperado y al contrario se aprecia el deterioro de los suelos, siendo el uso más adecuado el de los bosques.

En muchas áreas donde se ha dejado el crecimiento de los bosques secundarios, se aprecia la regeneración de las especies maderables con buen potencial de uso, que ofrecen alternativas económicas a los campesinos. Entre estas, la zona rural del municipio de Puerto Boyacá, corregimiento Puerto Pinzón, aproximadamente 60 hectáreas continuas de bosque, pertenecientes a la reforestadora de Bosques del Futuro S.A., se encuentran dominadas por la especie algodoncillo (*Trichospermum colombianum*), un rodal natural, que colonizó el área en un barbecho de ocho a diez años, luego que se desmontara el bosque original como producto de talas rasas, para iniciar actividades pecuarias y agrícolas ampliamente difundidas en la zona.

Es en esta zona donde se pretende evaluar la incidencia de las técnicas de aclareo, liberación y refinación, sobre los incrementos en área basal y regeneración natural mediante el empleo de un diseño estadístico con instalación de parcelas permanentes de crecimiento y diversos porcentajes de densidad, en un bosque secundario dominado por la especie algodoncillo (*Trichospermum colombianum*), ubicado en colinas bajas, del municipio de Puerto Boyacá, Colombia. La especie puede alcanzar un alto grado de valor comercial tanto para la empresa como para la comunidad, ya que ensayos previos han demostrado propiedades físicas, mecánicas y facilidad para trabajarla para la fabricación de molduras.

1.5.8. Etnoecología Wayuu en la serranía de La Makuira, Alta Guajira, Colombia

Institución: Universidad de La Guajira - Grupo de Estudios en Etnoecología y Educación Ambiental

Grupo de investigación: Jorge Luis González Bermúdez, María Margarita Pimienta Prieto, Eduardo Rafael Lázaro Arroyo, Gonzalo Rafael Solano Goenaga, Gabriel S. Iguarán Montiel y Jairo Rafael Ortiz Zuñiga

Ponente: Jorge Luis González Bermúdez

Contacto: yors99@hotmail.com

Objetivo: El estudio pretende resolver interrogantes relativos a las estrategias de uso de la biodiversidad, el conocimiento local sobre los recursos naturales, cambios en el patrón de asentamiento y actividades productivas

En este marco se han definido los siguientes objetivos específicos: a) Establecer un inventario y una descripción bilingüe de las especies de flora asociada a los ecosistemas (etnobotánica) y describir los usos y tecnologías aplicadas (etnotecnología) y b) Reconstruir procesos de poblamiento y pautas de asentamiento a través de la tradición oral y determinar "espacios de uso" (etnogeografía). Entre los resultados del proyecto se plantea la elaboración de una cartilla bilingüe para la enseñanza de las ciencias naturales y un texto bilingüe en etnobotánica.

Financiación: COLCIENCIAS y Universidad de La Guajira.

Duración de la investigación: Un año

Logros obtenidos: Hasta el momento los resultados obtenidos en etnobotánica contemplan la identificación de unas 50 especies y sus usos desde la perspectiva de la cultura wayuu. Se espera lograr su identificación biológica con la asesoría del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional. El estudio se realiza con la aprobación y la participación de la Asociación de Palabrereros “Wayuu Araurayu”, con sede en Nazareth, municipio de Uribia, Dpto. de La Guajira.

Proyecciones: Continuar el estudio etnoecológico en aspectos relativos a la etnozología (etnoentomología, etnoictiología, entre otros); elaborar un atlas etnoecológico, es decir, georreferenciar la información obtenida; elaborar materiales pedagógicos – bilingües; desarrollar una enciclopedia Wayuu en ciencias naturales y sociales; diseñar programas de educación ambiental para la región.

2. PONENCIAS SEGUNDO TALLER NACIONAL

2.1. ÁREA DE ORGANISMOS MARINOS

2.1.1. Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia

Institución: Universidad Nacional de Colombia – Departamento de Química

Ponente: Carmenza Duque.

Contacto: cduqueb@ciencias.unal.edu.co

Línea: Productos Naturales Marinos

Financiación: Universidad Nacional de Colombia – Departamento de Química, Departamento de Biología, Departamento de Farmacia y Sede San Andrés – Instituto de Estudios Caribeños, Instituto de Tecnología de Tokio, Instituto de Oceanografía Scripps – UCLA, INVEMAR, Biomar S.A., Universidad de la Coruña, COLCIENCIAS.

El grupo fue creado hace aproximadamente 17 años con dos líneas de investigación principales: Productos Naturales Marinos y Química y Tecnología del aroma de frutas de Colombia. En este resumen se tratarán solo los aspectos pertinentes a la línea de Productos Naturales Marinos.

Importancia estratégica del grupo

El grupo de investigación principalmente genera conocimiento en el campo del estudio y posible aprovechamiento de nuestros recursos naturales marinos (fauna y flora). El estudio de nuestra biodiversidad marina no está solamente ligado a la evaluación de la clase y abundancia de especies sino que va mucho más allá de la simple descripción química y biológica.

Es por esta razón que las investigaciones que realizamos traspasando la frontera de lo biológico se centran en la química de la fauna y la flora, conocimiento que permite valorar el provecho económico que podría sacarse de nuestras especies por ejemplo, las esponjas marinas y gorgonáceos como fuente de nuevos fármacos y compuestos de uso dermatológico. Además, es importante no olvidar que la química *per se* que se hace en este grupo de investigación por descripción de la composición de cada especie, estudio de las rutas de formación de cada metabolito presente, estudio de la ecología química de las especies estudios en quimiotaxonomía, etc., son aportes significativos al conocimiento químico universal, lo cual interesa por igual a Colombia y a los demás países del mundo.

Proceso de investigación

El proceso de investigación para el estudio y aprovechamiento químicos de organismos marinos puede resumirse de la siguiente manera:

- Recolección e identificación o clasificación taxonómica de los organismos marinos a estudiar
- Preparación de extractos en solventes orgánicos y medida de su actividad biológica (por ejemplo: citotoxicidad, antimicrobiana, antitumoral, etc.)
- Aislamiento de las sustancias bioactivas, principalmente utilizando métodos cromatográficos modernos
- Elucidación estructural de las sustancias bioactivas usando métodos espectroscópicos modernos
- Selección de las sustancias bioactivas a explotar (obtención de patentes)
- Desarrollo del proceso de conversión del recurso natural en recurso comercializable
- Comercialización del recurso natural.

Propuesta de programa sobre bioprospección de sustancias químicas de origen marino útiles en el sector industrial.

Metas	Estrategias	Actores
Inventario de las especies marinas de fauna y flora del Caribe y Pacífico colombiano	Apoyo a los inventarios de biodiversidad que hace INVEMAR y el Instituto Humboldt	Biólogos Marinos
Pruebas de bioactividad	Establecimiento de un laboratorio de ensayos de bioactividad que dé servicio regional (ojalá nacional) a los grupos PNM	Químicos farmacéuticos
Aislamiento de sustancias bioactivas o comercialmente aprovechables	Establecimiento o apoyo a laboratorios de cromatografía en el país	Químicos
Elucidación estructural de sustancias bioactivas	Establecimiento de laboratorios modernos de análisis estructural de sustancias orgánicas	Químicos
Proceso de elaboración de selección de sustancias bioactivas a explotar	Elaboración de patentes	Químicos
Conversión de sustancias bioactivas en medicamentos	Buscar el interés de empresas farmacéuticas para el desarrollo de nuevos productos que mejoren la calidad de la salud	Químicos, Químicos Farmacéuticos, Médicos
Evaluación de la viabilidad del recurso (abundancia de poblaciones naturales, y determinación de la concentración de la sustancia a extraer)	Fortalecer y apoyar la investigación en esta área	Biólogos marinos
Cultivo del recurso para hacer una extracción sustentable	Fomentar los desarrollos tecnológicos necesarios para cultivos <i>in vivo</i> o biotecnológicos	Biólogos marinos
Preparación de extractos comercialmente aprovechables	Apertura y soporte a pequeñas empresas que se encarguen del proceso a nivel industrial	Ingenieros, Tecnólogos
Comercialización de extractos o sustancias bioactivas	Estudio de mercados que pudieran aceptar los productos desarrollados. Ventas	Administradores de empresas, Economistas

Estrategias generales

- Pregrados y posgrados fuertes en química y biología de organismos marinos
- Pregrados y posgrados fuertes en química farmacéutica
- Incremento en el número de grupos investigando en productos naturales marinos
- Implementación de grupos de investigación en síntesis orgánica

- Promover cultivos del recurso para su eventual extracción sustentable.
- Estudios biotecnológicos alternativos “cultivos *in vitro*” del recurso.

2.1.2. Conservación y uso sostenible de la biodiversidad de algas marinas en la región del Pacífico colombiano

Institución: Universidad del Valle – Departamento de Biología

Grupo de investigación: Enrique Javier Peña, Phillip Silverstone, Celina Torres y Ricardo Benitez

Ponente: Enrique Javier Peña

Contacto: enripena@biologos.univalle.edu.co

Financiación: Los recursos financieros del grupo han provenido de tres fuentes de financiación:

- Fuentes financieras del sector público: COLCIENCIAS, Universidades (del Valle, del Cauca), Corporaciones Ambientales (CVC). Institutos de Investigación (Instituto de Inmunología)
- Fuentes financieras del sector privado: Sociedad Portuaria de Buenaventura, Organizaciones no gubernamentales (CENIPACÍFICO, FIPMA, Fundación Banco de la República, Fundación FEN-Colombia)
- Cooperación Internacional: Universidad de Carolina del Sur-Programa de Ciencias del Mar, South Carolina Sea Consortium, Universidad de Bremen-Departamento de Biología, DAAD-Agencia de Cooperación Alemana.

Líneas de investigación: Uso sostenible de la biodiversidad regional línea algas, línea plantas aromáticas y biorremediación (uso de plantas para la descontaminación).

La sección de Botánica de la Universidad del Valle ha venido trabajando en los últimos años en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad regional, enfocando sus esfuerzos hacia la búsqueda de plantas promisorias y productos naturales derivados de valor comercial e industrial. Este trabajo ha sido sustentado gracias a la actividades académicas e investigativas desarrolladas por los docentes y estudiantes adscritos al grupo de investigación en Biología Vegetal Aplicada cuya génesis se remonta desde 1990 cuando se inició un convenio de cooperación académica entre la Universidad del Valle y la Universidad de Carolina del Sur, EE.UU. Desde sus inicios, el trabajo investigativo se enfocó hacia el estudio de la ecología, fisiología y uso sostenible de especies promisorias de macrófitas acuáticas y algas marinas, en asocio con el grupo de Manglares de la Sección de Biología Marina y al apoyo decisivo de la Facultad de Ciencias y el Departamento de Biología de la Universidad del Valle.

En los últimos años el grupo ha diversificado el marco de acción trabajando en la biodiversidad y uso sostenible de otros grupos vegetales tales como hongos y plantas medicinales, gracias a la participación de los otros colegas de la sección de Botánica. La experiencia de profesores y estudiantes del grupo alrededor del desarrollo de la línea algas, logró posicionar a la Universidad desde principios de los años 90, como un líder natural en el estudio de este grupo de plantas en el

Pacífico colombiano. Con este marco de referencia, el proceso de investigación del grupo se puede dividir en las siguientes fases:

Fase de investigación básica

Esta fase se extiende desde 1990 hasta 1998 y se reconoce como la etapa de génesis y construcción del grupo. Los proyectos de investigación básica desarrollados durante esta primera fase se pueden clasificar en las áreas siguientes: ecología, fisiología y química, enfocadas todas hacia la caracterización de la biodiversidad regional:

Ecología

- Inventario del recurso algológico en la costa Pacífica colombiana. 1990. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: CENIPACÍFICO.
- Estudio fitosociológico de la flora intermareal en la bahía de Málaga. 1992. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: Banco de la República.
- Ecología reproductiva de algas rojas de interés comercial en la costa Pacífica colombiana. 1994. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: Fondo FEN-Colombia.

En estos primeros años el grupo fortaleció su capacidad de investigación en la caracterización de la diversidad regional de las comunidades vegetales de la línea costera, priorizando el estudio del recurso algas y en el reconocimiento de las especies promisorias. En esta etapa se logró reconocer que la diversidad de ambientes acuáticos en la geografía colombiana ha permitido el desarrollo de una flora de algas diversa y propia de cada ecosistema acuático. En el Litoral Pacífico colombiano se lograron reportar alrededor de 134 especies con poblaciones de plantas muy pequeñas que no superan los 15 cm (Peña y Palacios, 1988, Peña, 1990). Del total de la composición de la flora algológica del Litoral Pacífico, se han logrado identificar 14 especies con algún potencial económico, criterios basados en la presencia de ficocoloides de interés comercial o el uso de la especie en otras regiones del mundo (Peña, 1990). Por el contrario, La costa Caribe de Colombia cuenta con aproximadamente 500 especies de macroalgas, poblaciones relativamente extensas y la gran mayoría de especies que superan los 20-30 cm de altura (Bula-Meyer, 1995).

En esta primera fase se concentraron igualmente esfuerzos hacia el estudio de la productividad de las poblaciones naturales y de la oferta natural de las especies promisorias. Se logró identificar zonas de mayor productividad y diversidad de algas, como también identificar las condiciones naturales claves, en relación a la profundidad y estacionalidad, que son responsables de optimizar el crecimiento del recurso. Fue así como se reconoció la importancia de los extensos bosques de manglar en la línea costera del área de trabajo del grupo, los cuales se convirtieron en el laboratorio natural y por ende en el compromiso de estudiar la riqueza algológica de estos escenarios naturales en la región.

La productividad de estos sistemas y la biodiversidad asociada son fuente importante de recursos para la subsistencia de las comunidades nativas de Litoral Pacífico. Otro de los ecosistemas estudiados alrededor de la productividad y la biodiversidad de algas han sido los ambientes rocosos y acantilados, los cuales se caracterizan por presentar una diversidad relativamente alta. El área más ampliamente estudiada ha sido la bahía de Málaga cuya línea costera presenta ambientes de sustratos rocosos y una alta diversidad algológica (Peña *et al.*, 1987).

Fisiología

Una de las explicaciones que ha justificado la iniciación de los estudios fisiológicos del grupo de investigación alrededor de las plantas promisorias de la flora algológica reside en la importancia de conocer los mecanismos bioquímicos y fisiológicos que les permita producir compuestos bioactivos para múltiples propósitos, tales como protegerse así mismos de enfermedades virales, hongos patógenos y depredadores o para otras funciones como la reproducción. La elaboración por las algas de compuestos bioactivos puede estar influenciada por varios factores externos, tales como las condiciones ambientales predominantes y también factores internos, como el estado de desarrollo, reproducción, etc. En la investigación básica se ha logrado comprender aspectos como: el comportamiento del crecimiento de las especies más abundantes, las respuestas de las plantas a las condiciones de estrés de la zona intermareal y la correlación de la biología reproductiva de las especies con las características químicas de los polisacáridos y otros compuestos secundarios producidos por la planta. Estos resultados han permitido identificar ciertas especies con capacidad de biorremediación dado su especialidad en asimilar y tolerar condiciones de estrés por contaminación. Los proyectos desarrollados por el grupo en esta área temática son:

- Aspectos ecofisiológicos de una comunidad de algas bénticas asociadas al ecosistema de manglar-estuario en la costa Pacífica colombiana. 1995. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: COLCIENCIAS.
- Respuestas de crecimiento *in vitro* de explantes de dos especies de alga rojas en la costa Pacífica colombiana. 1998. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: Universidad del Valle.

Química

Los estudios de bioprospección en la flora algológica se iniciaron con la búsqueda de productos naturales de interés comercial enfocados principalmente en la identificación, evaluación y caracterización de ficocoloides. El conocimiento acabado de la naturaleza de los polisacáridos, de sus fracciones y de los productos obtenidos por modificación química ha permitido establecer relaciones entre su estructura, la cantidad y la posición de los grupos sulfato, y las propiedades biológicas de las especies. La experiencia acumulada en estos años de trabajo en la química de polisacáridos y otros compuestos activos ha sido posible gracias al trabajo interdisciplinario con el Departamento de Química de la Universidad del Cauca y la cooperación de los pares académicos internacionales como son los investigadores del programa del mar de la Universidad de Carolina del Sur. Los proyectos desarrollados por el grupo en esta área han sido los siguientes:

- Identificación de polisacáridos de interés comercial en la vegetación algológica del Litoral Pacífico colombiano. 1992. Entidad ejecutora: Universidad del Cauca, Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: COLCIENCIAS.
- Evaluación del Kappa y Iota carragenano en polisacáridos presentes en tres especies de algas asociadas al manglar. 1996. Entidad ejecutora: Universidad del Cauca, Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: Fundación Sociedad Portuaria de Buenaventura.

Fase de investigación aplicada

Como resultado del esfuerzo de estos primeros años en investigación básica sobre la biología de las especies promisorias en la región, el grupo inició desde 1998 el proyecto titulado “Uso Sostenible de la Biodiversidad Regional”, enmarcado en la Política Nacional de Biodiversidad promulgada por el Ministerio del Medio Ambiente, con el apoyo de la Corporación Autónoma Regional CVC y el Instituto von Humboldt. El inicio de este proyecto permitió la consolidación

del grupo y el inicio de actividades de investigación aplicada alrededor de estudios fitoquímicos y de biorremediación con especies y grupos de plantas de interés comercial.

Entre los proyectos realizados en esta fase se pueden mencionar los siguientes:

- Algas marinas como recurso económico en las Islas de San Andrés y Providencia. 1996. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: Fundación para la Investigación y Protección del Medio Ambiente-FIPMA.
- Recursos Hidrobiológicos en la Unidad de Manejo de Cuenca (UMC) Dagua-Rapos-Anchicayá. 1998. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: Corporación Autónoma Regional del Cauca-CVC y Fundación Sociedad Portuaria de Buenaventura.
- Actividad antimicótica de *Catenella caespitosa*, Agardh (Rhodophyceae, Gigartinales). 1998. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. Entidad cofinanciadora: Instituto de Inmunología.
- Aislamiento de osmolitos presentes en *Bostrychia calliptera*, Montagne (Rhodophyceae, Ceramiales) y su aplicación en biorremediación. 2000. Entidad ejecutora: Universidad del Valle, Universidad de Carolina del Sur. Entidad cofinanciadora: South Carolina Sea Consortium.
- Metabolic responses of algae exposed to heavy metal stress. 2002. Entidad ejecutora: Universidad del Valle. COLCIENCIAS y DAAD-Alemania.

2.1.3. Recuperación de suelos contaminados mediante el uso de manglar

Institución: Instituto Colombiano del Petróleo / Biosfera Centro de Estudios y Proyectos

Grupo de investigación: Jorge Luis Grosso, Ricardo Restrepo, Luz Esther Sánchez y Darío Avendaño

Ponente: Luz Esther Sánchez

Contacto: luchamangle@hotmail.com

Financiación: Instituto Colombiano del Petróleo - ECOPETROL

En 1994, a partir de unos resultados no esperados de la tesis de grado de título: “Diseño y evaluación de una técnica de recuperación de suelos de manglar afectados críticamente por hidrocarburos” realizada por los biólogos marinos Luz Esther Sánchez y Darío Avendaño; el Doctor Jorge Luis Grosso director científico en esa época del Instituto Colombiano del Petróleo, tuvo la idea de realizar un estudio que evaluara la capacidad fitomejoradora del manglar en suelos y aguas cuando éstos contenían sales y metales pesados, (esta idea fue muy discutida y rebatida dentro de un sector de la academia debido a que contradecía la tesis de doctorado realizada en Viena por un experto en manglar).

La necesidad se originaba porque los campos de producción ubicados en el Centro (Barrancabermeja, Santander), estaban a punto de ser cerrados por la entidad ambiental debido al impacto que sus aguas estaban produciendo en un bajo inundable ubicado en el corregimiento del

Llanito. La recuperación del bajo del Llanito se constituía en un reto especialmente porque llevaba más de 50 años de estar recibiendo aguas con contenidos de sales de 40-60 ppm, Ba de 65 ppm, los suelos contenían un 13% de Fe, y un pH menor a 4, lo que hacía que la fitotoxicidad ocasionada por la combinación de estos componentes eliminaran la posibilidad de implantación de cualquier tipo de organismo.

Se realizó un diseño experimental donde se combinaron tres especies diferentes de manglar, y tres modelos diferentes de siembra (inundación, inclinación del terreno, caudal). A los 10 meses no sólo las plantas de manglar se encontraban implantadas sino que, exclusivamente en el área donde el sistema radicular del manglar se desarrollaba, empezaron a darse los primeros indicios de recolonización con plantas nativas que rodeaban el bajo. Durante más de un año se realizó un monitoreo mensual de contenido de sales, metales en los tejidos, se cruzó esta información con diferentes épocas climáticas, a los 18 meses el bajo presentaba un aspecto totalmente diferente. Hoy en día, ocho años después de sembrados El Bajo presenta un aspecto saludable, al examinar las entradas y las salidas de agua se presenta una alta remoción de sales y metales, el suelo ha sido recolonizado por especies de la zona y el manglar se desarrolla de forma habitual.

Este primer trabajo recibe una mención especial (por creatividad y rigor científico), en el Premio Nacional de Ecología otorgado por la FEN (1995). Se inscribe la fitorremediación con manglar dentro de la planeación del instituto, y se abre una nueva área de investigación inicialmente dentro del área de medio ambiente y luego dentro de biotecnología. De acuerdo a los resultados que se van obteniendo, se piensa en la necesidad de aplicar las propiedades del manglar en un biorreactor que trate las aguas de producción de la industria del petróleo antes de que lleguen al medio y lo impacten, entonces se comienza un estudio en un campo de producción de petróleo ubicado en el Tolima, en este estudio se encontró la forma más apropiada de siembra de manglar en piscinas, las especies más exitosas de acuerdo a los contenidos de sales y metales pesados y se determinó que el manglar poseía los dos tipos de procesos que incluye la fitorremediación, posterior a esto se realizaron biosayos con: bacterias defenolizantes y sustrato de manglar, bacterias nitrificantes/denitrificantes y la rizosfera de *R. mangle*, tiempo de residencia y fitoextracción, pruebas de toxicidad con mercurio, incremento de biomasa y fitoextracción, actividad microbiana y su relación con el oxígeno disuelto, manejo de embriones y sistemas hidropónicos; hasta obtener los parámetros de diseño para el biorreactor industrial piloto.

El 29 de febrero del 2000, el Instituto Colombiano del Petróleo obtuvo la patente “Proceso natural para la remoción de metales y desalación en sistemas acuosos”, Otorgada mediante resolución 04716 del 29 Feb/2000, Clasificación internacional CO2F 03/32, Titular: Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPELROL, inventores: Jorge Luis Grosso, Ricardo Restrepo, Luz Esther Sánchez, Darío Avendaño. La comercialización de la tecnología se hace prioritariamente a nivel interno, pero en el 2000, Harken de Colombia (petrolera de EE.UU.), se interesa en el sistema debido a que tiene dificultades en un campo de producción ubicado en Aguachica-Cesar, establece contacto con el Instituto Colombiano del Petróleo y se comienza la construcción del biorreactor industrial.

2.2. ÁREA ANIMAL

2.2.1. Producción comercial y uso de controladores biológicos en el manejo de plagas agrícolas y pecuarias

Institución: Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira y Productos Biológicos Perkins

Grupo de investigación: José Iván Zuluaga y Jades Jiménez Velázquez

Contacto: perkins@uniweb.net.co

Ponentes: José Iván Zuluaga y Jades Jiménez Velázquez

Los altos costos de los cultivos comerciales en América latina en gran parte, además de los intereses sobre el capital de trabajo, se deben a la utilización indiscriminada de agroquímicos, total o parcialmente importados, que trasladan los posibles beneficios económicos fuera del país.

Los costos ambientales producidos por agroquímicos en el control de plagas, representados en la exterminación de la fauna benéfica, la intoxicación de campesinos y habitantes en general, eliminación de peces, aves y otras especies faunísticas, contaminación de las fuentes de agua y otros alimentos como la carne vacuna, porcina, aviar y de otros animales domésticos, son costos ambientales que deben ser reducidos mediante la implementación de programas de manejo integrado de plagas en todos nuestros países.

Los casos exitosos de control biológico de plagas son cada vez más elocuentes, la calidad, cantidad, y variabilidad de estos insumos están permitiendo que se planteen programas de manejo en diferentes cultivos y zonas agrícolas, al punto que se acaricie la posibilidad de poder producir alimentos bajo los parámetros de la agricultura orgánica. En Colombia por ejemplo, se están implementando paquetes de manejo de integrado de plagas o MIP, en cerca de 15 cultivos con énfasis en el componente del control biológico, tanto a nivel de medianos y grandes propietarios, como también de pequeños productores, bajo el auspicio de fondos del Estado.

PARASITOIDES

1. *Trichogramma* sp. : (Hym., Trichogrammatidae)
Especies : *T. pretiosum*, *T. exiguum*, *T. atopovirilia*

Biología: El tricograma es un parasitoide del orden Hymenoptera, familia Trichogrammatidae, que se encuentra distribuido por todo el mundo parasitando posturas (huevos) de aproximadamente 250 especies de insectos dañinos, especialmente del orden Lepidoptera. Los adultos de tricograma son diminutos, miden sólo 0,3 mm. de largo y su color varía desde el amarillo al más oscuro, dependiendo del alimento, la región geográfica donde se desarrolle y la especie. La duración promedio desde la oviposición hasta la emergencia del adulto es de ocho días. Las hembras del tricograma ponen en promedio 30 huevos, 50% de estos son colocados en

las 24 horas posteriores a su emergencia y más del 90% en los cuatro días después de pasar a adulto.

Manejo apropiado del *Trichogramma*: En almacenaje: Se recomienda guardar los tricogramas en refrigeración a 8 – 10°C para posterior uso, después que los huevos parasitados han tomado su color oscuro, por un tiempo máximo de 20 días, la norma debe ser, a menor tiempo de refrigeración mejor calidad del parasitoide.

En el campo: No existen patrones definidos del número de tricogramas que se deben liberar por hectárea, pues esto depende del cultivo, del insecto - plaga, del número de posturas por planta, de su distribución, de la fauna benéfica encontrada, etc. Como norma práctica se recomiendan de 50 a 100 pulgadas cuadradas por hectárea de cultivo, equivalentes a 125.000 y 250.000 adultos de la avispa, respectivamente. Para obtener mejores resultados, las liberaciones deben iniciarse con la aparición de los primeros adultos (mariposas o polillas) o posturas de las plagas.

Sistemas de liberación: Se han implementado varios sistemas para la liberación de las avispas en el campo, entre ellos los más usados son: En bolsitas de papel: Conteniendo cada una dos pulgadas cuadradas de cartulina, con los huevos parasitados próximos a su emergencia. Se procede a quitar una hoja de la parte media de la planta, dejando el pecíolo, se inserta la bolsita con los extremos inferiores perforados, esta operación se repite cada 20 metros en cuadro dentro del cultivo.

Sistema de porrón plástico de boca ancha: Es el más ventajoso, puesto que se liberan los adultos de *Trichogramma* con las alas extendidas y las hembras fertilizadas, se requiere un adecuado manejo.

En cultivos semestrales (maíz, soya, algodón, etc.) se deben liberar cada ocho días, y en permanentes mínimo una liberación cada mes. Una buena calidad del producto, la especie indicada y una perfecta distribución del *Trichogramma* en el campo, son factores importantes en el éxito del programa (García, y Jiménez, 1991).

2. *Spalangia* sp. Hymenoptera: Pteromalidae
Especie: *Spalangia cameroni*

Biología y hábitos: *Spalangia* es una pequeña avispa de color negro brillante y tres milímetros de largo, tiene la capacidad de penetrar en la materia orgánica en descomposición hasta 20 cm de profundidad (estiércol, residuos de cosecha, basuras, etc.), ubicar las moscas antes de su nacimiento (o sea en su estado pupal) y parasitarlas. (Aldana, 1992). El proceso consiste en que la avispa deposita un huevo dentro de la pupa, la larva se alimenta de la sangre o hemolinfa del insecto plaga, alternando su desarrollo biológico de tal forma que 18 días después, en lugar de una mosca, nace la avispa benéfica.

Empleo: La *Spalangia* es el parasitoide más usado en el mundo con fines de control biológico, de las llamadas "moscas comunes", entre las cuales se destacan la mosca casera, *Musca domestica* L., mosca de los establos, *Stomoxys calcitrans* L. y mosca de los cuernos, *Lyperosia (Haematobia) irritans*. Las moscas son insectos de ciclo de vida muy corto, alta capacidad reproductiva, gran capacidad de dispersión y búsqueda, resistentes a casi todas las moléculas químicas y vectores de innumerables microorganismos patógenos al hombre y a los animales domésticos. La alternativa biológica en la lucha contra estas desagradables plagas domésticas y pecuarias, es la única eficaz

por ser económicamente viable y ecológicamente sana. El control biológico de las moscas con base a sus parasitoides, se ha impuesto en los países desarrollados y en Colombia gana cada vez más adeptos por sus exitosos resultados en más de 15 años de uso en el sector agropecuario y en la salud pública.

Manejo y liberación: La avispa *Spalangia* puede ser transportada a los centros de distribución y a los sitios de control, refrigerada en termoneveras de icopor o en cajas de cartón con aserrín de madera. La unidad de liberación es una bolsa de tela (tul), en cuyo interior se depositan aproximadamente 5.000 pupas de moscas parasitadas por *Spalangia*, a 48 horas antes de la emergencia de los adultos. La liberación se hace cerca a los sitios donde se reproducen las moscas, bajo techo y en los árboles aledaños a la sombra.

Dosis: La cantidad de población a liberar depende del tipo de explotación, número de animales, área afectada, volumen de materia orgánica y población de moscas, p.e en ganado estabulado 4.000 avispas/animal/mes; en aves en jaula 30 avispas/animal/mes, en basureros o residuos de cosecha 200 avispas por metro cuadrado. Las recomendaciones de manejo en campo debe hacerlas una persona capacitada, por tanto es necesario hacer una visita técnica al sitio de control.

Sistemas complementarios al control biológico con *Spalangia*: El porcentaje de mortalidad de las moscas, debido a los efectos de alimentación y parasitación de las avispas, sufre una curva ascendente de tal manera que hacia los 90 - 120 días se logran resultados muy satisfactorios; sin embargo se deben tomar acciones de manejo de las instalaciones o CONTROL CULTURAL a través de la deshidratación rápida de la materia orgánica y la formación de pilas de compost, igualmente, se puede recurrir al CONTROL FÍSICO de las moscas adultas, escapadas al efecto de las avispas, con las trampas cilíndrico-cónicas, que se accionan con un exclusivo cebo atrayente. Con este método económico y sencillo, se logra eliminar miles de moscas adultas sin acudir al uso de sustancias tóxicas contaminantes.

DEPREDADORES

Nombre común:	Crisopa o león de los áfidos
Taxonomía:	Neuroptera: Chrysopidae
Parámetros de medida:	6.000 huevos por centímetro cúbico o 13.000 por gramo.

Biología: Las crisopas tienen metamorfosis completa. En condiciones del trópico tardan 16 a 20 días para completar su ciclo de huevo a adulto; la proporción sexual es 1:1 entre macho y hembra, la cual coloca 600 huevos durante su vida adulta, que es de 30 - 40 días. En estado larval, la crisopa es tan voraz que un solo individuo puede consumir hasta 60 áfidos en una hora.

Ecología: Las crisopas son depredadores con un alto grado de adaptabilidad, pues se encuentran en climas fríos, templados y tropicales. Su mayor actividad la realiza en la noche, son tolerantes a los carbamatos y a los insecticidas órgano-fosforados, sin embargo no deben liberarse inmediatamente después de cualquier tratamiento con insecticidas tóxicos.

Empleo: *Chrysoperla externa* es una especie introducida de gran adaptación a nuestro medio, apropiada para ser usada como agente de Control Biológico en programas de manejo de plagas en regiones tropicales y templadas de Centro y Sur América (Albuquerque *et al.*, 1994 en Jiménez, 1999).

Es un insecto que muestra alta voracidad tanto en larva como en estado adulto, se le ha registrado predando: *Spodoptera* sp. y áfidos en cultivos de maíz, *Orthezia olivicola* y *Margaronia* en olivos (Núñez, 1988). Las crisopas son depredadores naturales del minador de los cítricos *Phyllocnistis citrella* (Castaño *et al.*, 1995) y del pulgón de la caña de azúcar *Sipha flava* según Raigosa (1993). Se han reportado diferentes especies de la familia Chrysopidae en la zona cañera del Valle del Cauca. (Vargas, 1989 en Jiménez, 1999).

En general las crisopas en su estado larvario se alimentan de diferentes clases de insectos - plaga como: áfidos, arañas rojas, ninfas de mosca blanca, trips, escamas blandas, ninfas de saltahojas, huevos y larvas pequeñas de lepidópteros y muchos otros insectos de cuerpo blando.

Pueden liberarse en cultivos de cobertura baja como: algodón, maíz, sorgo, caña, tomate, cucurbitáceas, frijol, hortalizas, etc, en cultivos de cobertura media como: viñedos, jardines, yuca y de cobertura alta como: plátano, frutales, ornamentales, forestales y palma africana. Igualmente en invernaderos y ornamentales interiores. (Jiménez, 1999).

Liberación: Por su hábito canibalístico, las crisopas deben liberarse cuando aún están en su primera fase larvaria, es decir de 12 a 24 horas después de su emergencia, ya alimentadas con huevos de *Sitotroga cerealella*. Para la liberación es necesario utilizar un material que sirva de dispersante p.e. cascarilla de arroz, de café o bagazo de caña.

Las dosis a liberar dependen del tipo de cultivo, clase e intensidad de la plaga a controlar. Idealmente se deben liberar las crisopas con la aparición de las primeras colonias o con niveles de infestación bajos a moderados, entre 10.000 y 20.000 larvas por hectárea por liberación.

Se recomienda en todos los casos repetir la liberación de crisopa 10 días después. Las liberaciones de crisopas son un complemento ideal en programas de manejo de plagas donde se utilice *Trichogramma*, hongos entomopatógenos y extractos vegetales.

CONTROL BIOLÓGICO MEDIANTE MICROORGANISMOS

ENTOMOPATÓGENOS: Se han podido identificar microorganismos que atacan específicamente a los insectos en algunas de sus fases de desarrollo. Para el control de plagas en algunos cultivos se han utilizado algunas especies de bacterias, especialmente bacilos, entre los cuales el más importante es el *Bacillus thuringiensis*, ciertos virus específicos como los de la poliedrosis nuclear y hongos entomopatógenos, como es el caso del *Beauveria bassiana*, actualmente de gran uso en Colombia para el control de la broca del café.

El uso de hongos como insecticidas microbiales, requiere de la aplicación de cantidades grandes de conidios (aproximadamente de 1.012 – 1.013 conidios por hectárea), de ahí que una de las principales limitantes a resolver para su empleo sea justamente la producción masiva de éstos, en la que se han destacado países como la ex-URSS que en el año 1.989 tenía funcionando 1.500 laboratorios y fábricas. EE.UU, Canadá, República Popular China, Cuba, Brasil y Colombia tienen producción de hongos entomopatógenos en forma semiartesanal y semiindustrial (Pérez, 1994).

Entre los hongos más comúnmente producidos en el país y en el mundo con fines de control microbiológico de insectos plagas se pueden destacar: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium lecanii*, *Paecilomyces lilacinus* y *P. fumosoroseus*, *Nomuraea* spp. e *Hirsutella* spp.

Debido a que nuestra economía está basada en la caficultura y que la broca es la plaga más importante de nuestro cultivo insigne, el hongo *Beauveria bassiana* es el mayormente recomendado como agente de control microbiológico, el cual se está produciendo y utilizando masivamente en nuestros campos. Las esporas del hongo al entrar en contacto con el cuerpo de los insectos, segregan enzimas que ablandan la cutícula, penetran el aparato digestivo formando cuerpos hifales dentro de la cavidad hemocélica, causando trastornos fisiológicos, daño en los sistemas muscular y nervioso, paralizando la plaga y muriendo ésta 5 a 7 días después de la infección.

ALDANA, J. A. 1992. Estudio sobre la producción masiva de pupas de *Musca domestica* L. en condiciones de laboratorio. Tesis (Biólogo Entomólogo) Universidad del Valle, Facultad de Ciencias. Cali. 64 p.

GARCÍA, y JIMÉNEZ, J. 1991. Producción y manejo de *Trichogramma* spp. en Colombia. P. 1-12. En Mesa redonda de control biológico en el neotrópico. (3: 1991: Río de Janeiro). Memorias. Río de Janeiro.

JIMÉNEZ J. V. 1999. Crisopa: El León de los Afidos. Palmira. 2 p.

2.2.2. Asociación Colombiana de Zoocría y Uso Sostenible de Fauna Silvestre - AZOOCOL F.S.

Institución: Asociación Colombiana de Zoocría y Uso Sostenible de Fauna Silvestre - AZOOCOL F.S.

Ponente: Hernando Zambrano L.

Contacto: hzbio@hotmail.com

AZOOCOL F.S no es un grupo de investigación como tal, sino una asociación gremial, que propende por el desarrollo de la cadena productiva de especies silvestres de fauna, con dos propósitos fundamentales; procurar beneficios socioeconómicos a industriales del sector rural y a comunidades locales y ayudar en la protección y conservación del patrimonio natural nacional.

Dentro de las actividades generales que tiene AZOOCOL F.S. para lograr este propósito, se ha contribuido en campos como la investigación científica y tecnológica, la innovación y desarrollo tecnológico, el comercio y los negocios internacionales, la conservación de la diversidad biológica y su uso sostenible.

En la actualidad AZOOCOL F.S. está constituido por pequeñas industrias del sector pecuario que conforman la cadena productiva de la zoocría de especies de fauna silvestre. Dichas empresas son dirigidas por empresarios colombianos con diferentes niveles sociales, lo que implica grados educativos diversos e cuanto a disciplinas y nivel. Corresponden estas empresas a:

Granjas de cría y producción: sistemas de producción de alta tecnología, donde se cumplen cada una de las fases del ciclo biológico de las especies, como reproducción, incubación y crecimiento. Tiene cabida allí igualmente el beneficio de productos que conforman la base de la materia prima de los mercados objetivo. Las granjas de cría y producción son asesoradas por profesionales en disciplinas como biología, medicina veterinaria, zootecnia o administración agropecuaria.

Curtiembres: se llevan a cabo allí procesos industriales para el procesamiento y transformación de los productos obtenidos en las granjas de cría y producción, con el propósito de abastecer las grandes marroquinerías dedicadas a la elaboración de artículos en cuero de especies silvestres en el mundo. Las curtiembres son por lo general asesoradas técnicamente por personas que han adquirido sus conocimientos por tradición familiar.

Comercializadoras: Como una estrategia de mercado surgen una serie de iniciativas empresariales orientadas a la promoción, negociación y venta de los productos provenientes de la industria de la zootecnia, que hoy en día representan un eslabón importante en la cadena productiva. Las comercializadoras cuentan con asesoría de profesionales en negocios internacionales o administración de empresas, pero por lo general se soportan en la experiencia de sus dueños.

Manufactureras: finalmente comienzan a establecerse en el país importantes industrias marroquinerías, que en un futuro próximo seguramente alcanzarán volúmenes de producción y exportación de artículos manufacturados, elevando el valor agregado del Programa Nacional de Zootecnia y cerrando así la cadena productiva. Al igual que las curtiembres se cuenta en las manufactureras con personal técnico que ha adquirido su conocimiento con base en la experiencia y la tradición.

Financiación: El programa de zootecnia ha contado esencialmente con recursos propios de los empresarios, utilidades del ejercicio financiero, recursos de crédito de la banca estatal o privada y algunos recursos de cooperación internacional o de subsidio gubernamental.

Tabla 1. Proyectos en ejecución en AZOOCOL F.S.

Proyecto	Valor Aproximado		Fuente Probable
	Fondos Solicitados	Contrapartida	
Desarrollo y fortalecimiento tecnológico en incubación, nutrición y curtido	400.000	200.000	SENA PNC
Estructuración de una unidad sectorial de normalización (Sistema de Criterios e indicadores sobre sostenibilidad)	F1: 15.000 F2: 15.000	15.000 15.000	SENA
Mejoramiento de la competitividad empresarial	15.000	15.000	SENA EXPOPYME

En la actualidad se pretenden afectar los fondos gubernamentales para Innovación y Desarrollo Tecnológico, Aseguramiento de la Calidad y Mejoramiento de Calidad y Competitividad de la Pequeña y Mediana Industria para financiar los proyectos:

Granjas de cría y producción de *Caiman crocodilus*

Reproducción: Las especies del género *Caiman*, se reproducen anualmente y la temporada depende de su ubicación geográfica. En cautiverio se trabaja con proporciones de sexo que van desde los 1:1 hasta los 1:5, machos:hembra.

Los encierros para alojar los reproductores que conforman el pie parental, tienen diversas formas y áreas pero por lo general son rectangulares con áreas promedio de 3.000 metros cuadrados. En ellas se excavan estanques de agua que constituyen un 40% del área total; el estanque se localiza en el centro del encierro y tiene una forma sinuosa e irregular. Los estanques se han excavado hasta una profundidad de tres metros y en ellos se permite el desarrollo de la vegetación natural

de la zona. El área seca está cubierta por vegetación arbustiva y gramíneas que proveen sombra y refugio a los animales.

En época reproductiva se coloca el material (arena o humus) con el propósito de facilitar a las hembras la construcción de los nidos. Se registran valores de fertilidad desde un 40% hasta un 100%.

Incubación: Una nidada de un caimán puede constituirse de hasta 30 huevos, con rangos entre 15 y 45 animales, dependiendo de las condiciones de la hembra en cuanto a peso, edad y estado físico.

Cámaras de incubación son utilizadas para alojar las nidadas que se recogen de los encierros de parentales y han sido construidas con un aislamiento térmico y acústico, químicamente estable, completamente inerte, que no expide ni absorbe olores e incombustible.

La capacidad de cada incubadora supera por lo general los 10.000 huevos, los cuales se colocan en canastas plásticas; cada canasta mantiene una película de agua o de sustratos como vermiculita o humus. Durante la incubación cada canasta se cubre con plástico.

Considerando la importancia que tiene la temperatura, entre 28 y 32°C (+/- 0,5°C) y la tensión de oxígeno (constante a saturación), las incubadoras tienen instalados reguladores automáticos de temperatura con precisión 0,1°C y sistemas automáticos de aire acondicionado, con el que se posibilita cuando se requiera, reducir su temperatura. Continuamente, se realiza el monitoreo de la temperatura de incubación con termómetros de mercurio de precisión 0,1°C y en el ambiente interno de cada cámara con un termómetro de máximas y mínimas de igual precisión. Un higrómetro registra la humedad relativa.

Se registran valores de natalidad de un 75% hasta un 100%. La incubación se extiende por periodos de 72 a 85 días. Dependiendo del régimen térmico que se tenga.

Recintos de cría: En el levante de Crocodilios se han empleado diversos modelos de piletas en cemento y encierros y corrales en tierra; los diseños empleados pretenden que aún para elevados niveles de agrupamiento los animales encuentren apropiadas condiciones de espacio, refugio y fácil acceso al alimento.

En la actualidad, las piletas más utilizadas tienen base y piso en cemento y techos de asbesto-cemento. Las piletas a donde se trasladan los neonatos son de forma cuadrangular, tienen 2 metros de lado y 0,9 metros de altura.

Ejemplares juveniles de mayor tamaño se mantienen en piletas de 4,0 x 3,0 x 1,0 m y el diseño contempla una zona con agua y otra seca, ocupando el espejo de agua un 60% de la superficie total. Para el manejo de animales de mayor tamaño también se han utilizado al menos dos tipos de encierros y corrales con piso en cemento, pared en bloque y espejo de agua.

La estabilidad térmica, que permite el mantenimiento constante de una alta tasa metabólica, ha sido el principal criterio a emplear en el diseño de las unidades para el levante de los animales. Complementariamente, la densidad de agrupamiento de los ejemplares y el tipo de alimento que se ofrece a los animales junto con la facilidad para lavar y mantener la asepsia en los encierros

también se consideraron como criterios para el diseño. A partir del buen manejo de estas condiciones, es posible que se obtengan aumentos mensuales en longitud total de dos a ocho centímetros.

Alimentación: La alimentación que se suministra a los especímenes busca mantener rangos de proteína, fibra y grasa entre 40 y 50%, 1,5 y 3% y 5 a 10%, respectivamente. Para alimentar los animales se emplean mezclas constituidas principalmente por harina de pescado, carne de pollo, carne de equino o vacuno y vísceras, blancas y rojas. Los ingredientes con que se constituyen las raciones se obtienen en empresas localizadas en cercanías a la región

Adicionalmente y dependiendo de la etapa de crecimiento o durante la época reproductiva, se adicionan a las mezclas suplementos vitamínicos y minerales que permiten una mayor disponibilidad de elementos como fósforo y calcio. La tasa y la frecuencia con que la ración alimenticia se ofrece a los animales dependen del tamaño de estos, siguiendo patrones como los que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2. Tasa, frecuencia y presentación de la ración alimenticia

Estado / edad	Tasa (%)	Frecuencia	Presentación
Reproductores	10 - 15	2 veces por semana, 3 en época reproductiva	Embutido
Juveniles hasta 90 cm	20	Diaria	Pasta
Pre-adultos y adultos	15	Diaria	Embutido

Presupuesto utilizado durante todo el proceso

Ejercicio teórico para una granja tipo de cría y producción

Tabla 3. Presupuesto de inversión

Concepto	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Predio	Hectárea	5.000.000	10	50.000.000
Sistema captación agua	un	10.000.000	1	10.000.000
Plantel reproductor	un	80.000	2000	160.000.000
Piletas plantel reproductor	un	1.000.000	20	20.000.000
Piletas juveniles	un	100.000	400	40.000.000
Incubadora	un	20.000.000	1	20.000.000
Equipo laboratorio	un	1.000.000	10	20.000
Computador e impresora	un	2.000.000	1	2.000.000
Sistema tratamiento aguas servidas	un	10.000.000	1	10.000.000
Lector de microchips	un	1.000.000	1	1.000.000
Microchips	un	6.000	2000	12.000.000
Mano de obra construcción	un	2.000.000	1	2.000.000
Asesoría técnica	un	60.000.000	1	60.000.000
Total				387.020.000

Beneficio: El producto que se obtiene es la piel o partes de esta, crudas saladas, pero igualmente se contempla la producción de pieles o partes con mayor grado de proceso (curtidas, terminadas o manufacturadas) y el aprovechamiento de otros productos como carne, grasa o artículos obtenidos de taxidermia.

Las granjas han adoptado protocolos para el sacrificio de los ejemplares, atendiendo los lineamientos que establece la Ley 84 de 1989 o Estatuto de Protección de los Animales, en

Colombia. La captura se hace por medio de lazos Palmer para luego proceder, por medio de bandas de caucho, a inmovilizar las mandíbulas. El sacrificio de los animales se hará siguiendo las recomendaciones éticas promovidas por el *Crocodile Specialist Group* de la UICN; este se realiza mediante disparo de una bala calibre 22 o por ablación de la medula espinal a la altura de las vértebras cervicales; posteriormente se permite el desangrado por disección de la arteria dorsal para continuar con el desuello utilizando un escarpelo y raspador para evitar cortes. Una vez extraída la piel se conservará en una solución salina.

Tabla 4. Presupuesto de gasto

Concepto	Valor mensual	Valor un año
Alimentación	10.000.000	120.000.000
Mano de obra técnica	6.500.000	78.000.000
Asesoría profesional	3.000.000	36.000.000
Servicios	1.000.000	12.000.000
Permisos (12)	60.000	720.000
Transporte aéreo (12)	2.000.000	24.000.000
Transporte terrestre (12)	500.000	6.000.000
Suministros médico veterinarios	1.000.000	12.000.000
Dotación	1.000.000	12.000.000
Suministros oficina y laboratorio	300.000	3.600.000
Total		280.320.000

En la actualidad la comercialización de pieles representa anualmente alrededor de 15 millones de dólares, un porcentaje importante de las exportaciones no tradicionales del país y un 45% del total de las exportaciones actuales de las PYMES del país.

2.3. ÁREA DE MICROBIOLOGÍA

2.3.1. Bioprocesos y valoración de recursos genéticos

Institución: Instituto de Biotecnología - Universidad Nacional de Colombia - IBUN

Grupo de investigación: Sonia Ospina, Jairo Cerón, Gustavo Buitrago, Consuelo Díaz, María Teresa Reguero, Nubia Moreno, Hernando Valencia, Fabio Aristizábal, y Dolly Montoya

Ponente: Fabio Aristizábal

De los cuatro proyectos exitosos al menos tres han tenido un desarrollo similar tanto en el proceso como en el tiempo (levanas, biopesticidas (Bt) y producción de solventes); proceso que debemos destacar y que se encuentra fuertemente ligado a la historia del Instituto de Biotecnología. El cuarto proyecto (biofertilizantes) teniendo un proceso similar al de los otros, se realiza más localizado en el Departamento de Biología; directamente a la cabeza del profesor Hernando Valencia; pero la aplicación “industrial – comercial” ha podido ser más rápida, más por la experiencia ganada con los primeros, unida a una condición puramente coyuntural en que algunos de los industriales, que se enteran de la disponibilidad de microorganismos útiles para fertilizar, se interesan, realizan los contactos, y se comprometen para ser partícipes del proceso de transferir un desarrollo que estaba en escala de laboratorio a una aplicación industrial. Estos aspectos hacen que a la hora de intentar hacer una cuantificación de cuanto ha costado cada uno de los desarrollos resulte realmente difícil hacer tal determinación. Sin embargo para algunos de los casos se ha realizado el ejercicio de cálculo teórico porque resulta necesario tener al menos idea de las cifras a la hora de intentar hacer las negociaciones con la industria.

Es necesario por tanto, hacer un pequeño recuento histórico de cómo se desarrolló el Instituto de Biotecnología. Cuando se tomó la decisión de construir el instituto, se puede decir que en esencia el discurso de que “la biotecnología es una oportunidad importante de desarrollo para el país” ya tomaba fuerza, quizás lo que no estaba tan claro como ahora es que deberá estar ligada a la utilización de la gran diversidad con que cuenta en el país. Así los primeros años estuvieron dedicados a realizar un proceso de formación de capital humano (entre el 82 y el 90), transferir conocimientos y tecnologías y a realizar los procesos de apropiación. Pero aunque lo más importante resultaba ser el proceso de formar gente, no se puede decir que fue en la única línea en que se trabajó; paralelamente dentro de programas internacionales (principalmente con Latinoamérica), se intenta entrar en procesos de obtención de productos biotecnológicos de los que podríamos denominar de mesa, como son: ácido láctico, ácido cítrico, 6-apa; se hacen diagnósticos de los productos conocidos en muchas áreas y se procede a intentar montar las cosas necesarias para entrar en mercados. La conclusión fue que aunque se podían hacer muchas cosas en el país, no se lograba competir con los procesos que manejaba la industria en el mundo, que en muchos casos el manejo de patentes limitaba las oportunidades y en otras cosas, hay que reconocerlo, no se tenía el conocimiento global tanto por parte de los investigadores como de los industriales, sobre lo que significa hacer desarrollo en el laboratorio y luego querer pasarlos a la aplicación industrial, lo que se convierte en un escollo difícil de superar e imposibilitaba la

negociación. Esto hizo que muchos proyectos se negociaran mal, por parte de los investigadores y terminaran prácticamente entregados a la industria sin un gran retorno; o en otros, simplemente procesos que podría haber sido importantísimos no se cristalizaron.

Hay que reconocer que de esta etapa no sólo quedaron recuerdos, queda en una buena parte el recurso más importante con que contamos en la actualidad, que es una masa crítica y la convicción de que hace falta apostarle a problemas propios, buscar explotar lo que hace singular al país, pero fundamentados en que hay que atreverse a realizar nuestros propios desarrollos mediante grupos interdisciplinarios.

Esta etapa hace que al haber estado en contacto con diferentes modelos que podrían ser considerados como estándar, se lograran apropiarse las tecnologías como las fermentaciones de múltiples índoles, uso de biocatalizadores, manejo de enzimas, inmovilización, aislamiento caracterización; manejo, aislamiento conservación de microorganismos y plantas. Además se había iniciado el proceso de entrenamiento de diferentes personas en múltiples aplicaciones de la biología molecular.

Desde aproximadamente 1990 se inician procesos ya más dirigidos, se buscó qué cosas, producidas por microorganismos, podrían ser importantes en el mundo, se pudo establecer que había cosas muy interesantes como los sistemas de biocontrol, enzimas, polímeros y solventes; grupos a los que pertenecen algunas de las aplicaciones que se podrían decir que están actualmente en escalamiento para aplicación industrial. En función de esta información se planteó buscar en el mundo, sistemas modelos, es decir los microorganismos estándar de ceparios internacionales, que pudieran ser accesibles. Las cepas tipo sirvieron para entrar en el proceso de aprender a usarlas, caracterizarlas (al menos desde el punto de vista microbiológico y bioquímico) y manejarlas de una manera aceptable. La etapa posterior es quizás una consecuencia de las limitaciones que se tenía al trabajar con cepas tipo, al no poder pasar a realizar procesos de explotación, lo más lógico resultaba ser que debíamos apostarle a buscar microorganismos nativos, que pudieran hacer cosas similares a las cepas tipo. Desde aquí las historias que se pueden contar son muchas, pero lo que hay que resaltar es que en los casos en que se ha apostado por lo nativo, los aislamientos obtenidos han resultado ser mucho más efectivo que los que están como estándar, y, aunque puede que lo que esté en los ceparios internacionales, puede no ser la mejor cepa que hay aislada en el mundo, las que se han aislado en el instituto han resultado ser muy promisorias. Para lo que se mencionará en adelante la información en parte es limitada, porque como se debe entender detrás de ello hay involucradas negociaciones con empresas que implican cierto nivel de secretos, lo que ha limitado la posibilidad de realizar publicaciones. Con relación a las regalías se está en proceso de establecer, cada uno de los casos ha tenido y debe tener su propia dinámica en cada uno de ellos ha sido necesario improvisar constantemente.

Las levaduras (aunque hay otras cosas aplicadas a otros biopolímeros, esta es la que está más avanzada en su negociación con industria). El proceso de investigación básica, construcción del cepario, aislamientos de microorganismos, caracterización microbiológica y bioquímica, aislamiento de las enzimas implicadas entre otros, encontrando que el tipo de polímero que produce la cepa nativa muestra características muy superiores a las exhibidas por los patrones estándar internacionales; proceso que tomó unos siete a ocho años. Gracias al concurso Ventures 2000, de proyectos de innovación en que se buscaban los que tuvieran potencial industrialización, se realizó el proceso de hacer planes de negocios y de cuantificar costos. Aquí se logró el tercer puesto lo que significó que se hacía necesario hacer un proceso para involucrar empresas para

poder poner en marcha las etapas que permitieran pasar del laboratorio a la producción industrial exitosa.

Fue necesario realizar gestiones de variada índole, pero el primer problema fue encontrar cuales eran los pasos para hacer el proceso de autorización de acceso a recurso genético. Resultaba necesario tener las cepas depositadas en ceparios reconocidos (lo que significaba dificultades de control de su acceso). Al nivel nacional esto se solucionó mediante la inscripción del cepario del Instituto de Biotecnología; quedando la dificultad de los procesos internacionales, que obliga a depositar la cepa en una de las instituciones reconocidas en EE.UU., Europa etc.

El otro aspecto que está en proceso de superarse, es lo concerniente a patentes, en Colombia no se puede patentar al microorganismo, en otras partes del mundo este sería lo importante. En el país se pueden patentar procesos, los que dependen de cual es la aplicación que se desea hacer; otra posibilidad es el polímero, pero éste también cambia según las condiciones en que se produzca. La solución que parece que puede dar resultados es buscar las empresas cuya margen de acción podría involucrar el uso de este tipo de materia prima y convencerlas de hacer el desarrollo, con el compromiso de que se invierte en proporción y que si hay éxito, las dos partes ganarán. Se manejan por tanto todo los aspectos relacionados con propiedad intelectual y sólo hay compromisos en el ámbito de las aplicaciones específicas. Se han logrado acuerdos con dos empresas: PROCAP que maneja el comercio de cápsulas de gelatina para medicamentos al nivel de gran parte de Latinoamérica y EE.UU., mostrando proyecciones importantes hacia otras regiones; su interés está centrado hacia la sustitución del uso de la gelatina “de origen animal” por otros productos, buscando penetrar mercados en donde los medicamentos con este tipo de presentación no son aceptados por el origen “animal” de la materia prima y el potencial “riesgo” del contagio por priones.

La otra empresa es ANDERCOL que maneja diferentes cosas a nivel de alimentos, ellos han preferido no emplear la relación con la Universidad en lo que corresponde al desarrollo en si de las aplicaciones, por tanto ellos hacen toda la inversión y aquí el IBUN sólo aporta materia prima y dependiendo de los logros que tengan habrá una participación en el negocio, aspectos que están aún por establecerse. Tiene interés en al menos siete aplicaciones, entre ellas las más interesantes son las películas para cubrir frutas, asegurando mayor duración, las levanas producen películas que dan una apariencia más natural, no brillante, son removibles relativamente fácil, pero además no representan riesgos en caso de ser consumidas. Otra aplicación es en el campo de los pegantes débiles, empleados comúnmente en la manufactura de diferentes tipos de papeles sanitarios. Las otras aplicaciones tienen que ver con la propiedad que tiene las levanas de ser fibra no soluble con un alto potencial como prebióticos y para mantener el tono intestinal evitando diferentes tipos de cáncer.

Los biopesticidas (Bt) caso particular de los productos que contengan el *Bacillus thuringiensis*, en este caso el proceso ha sido paralelo al de las lavanas y también se ha financiado en su totalidad mediante proyectos de investigación. Lo cual no ha comprometido la propiedad material ni intelectual. Debemos aclarar que durante el proceso de investigación se trató de establecer redes nacionales e internacionales, teniendo éxito limitado en el segundo caso.

Igualmente para este caso se desarrollaron trabajos en aislamiento y caracterización de cepas nativas, evaluación de actividad específica (contra dípteros, lepidópteros y coleópteros), se caracterizaron los genes importantes (Cry), proceso que también condujo a la creación de un

grupo interdisciplinario. El trabajo tuvo tres etapas: La parte básica hasta formulación y producción a escala de laboratorio, las pruebas de campo y la tercera parte correspondiente al escalamiento, requirió involucrar empresas, se está trabajando en asocio entre COLINAGRO, CORPODIB y el IBUN.

Para el caso de los biofertilizantes como se mencionó antes el proceso fue más rápido en su aplicación. Teniendo una etapa similar a los ejemplos anteriores, el tiempo que requirió no es fácil cuantificarlo. También se realizaron procesos de construcción de ceparios, quizás no usando la información existente sino más en función de la investigación diaria del profesor Hernando Valencia, quien aisló cepas de microorganismos fijadores de nitrógeno y de solubilizadores de fósforo. Entre las cepas que se tienen y gracias al interés de agroindustriales del arroz, se decidió hacer un producto que sirviera como biofertilizante, el cual aportara un inóculo de microorganismos benéficos para los suelos. Se hace una asociación con investigadores cubanos, con experiencia en este tipo de manejos, se realizaron ensayos a nivel de laboratorio y en campo encontrando que el uso del producto que se obtiene, es capaz de disminuir de manera significativa los costos de producción del arroz al permitir bajar los requerimientos de abonos inorgánicos.

Actualmente se está en proceso de construcción de la planta a nivel piloto para producción del fertilizante, se ha tenido siempre el acompañamiento de los agroindustriales y para hacer de la producción una realidad se ha requerido el reconocimiento para el IBN como productor, por parte del ICA. Por otro lado está claro que hace falta realizar búsquedas más amplias de más microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo.

El último proyecto sobre el que me debo referir corresponde al de producción de solventes por vía biotecnológica, empleando cepas de microorganismos solventogénicos; igual que en los casos anteriores se inicia trabajando con cepas tipo, como *Clostridium acetobutylicum* estudio que se abordó en 1986 con un grupo interdisciplinario, conformado por ingenieros químicos y químicos farmacéuticos, tratando de realizar este desarrollo tecnológico, cuya factibilidad económica depende en gran parte de los costos de la materia prima, en ese momento disponible en Colombia. En la primera etapa se desarrollaron las condiciones del proceso a nivel de laboratorio (hasta 14L), se implementaron las técnicas de manejo de microorganismos anaeróbicos, condiciones de fermentación, determinación de metabolitos (ácidos, solventes, gases) y el estudio de diferentes esquemas de fermentación, incluyendo algunos sobre la ingeniería básica de sistemas inmovilizados. Se aislaron mutantes resistentes a butanol, con las cuales se logró un incremento en la producción de solventes. Simultáneamente se logra ganar conocimiento de la morfología y la fisiología de los microorganismos y de la operación de reactores anaeróbicos y la capacidad de comprensión de lo que significa un desarrollo tecnológico.

Aunque en muchas partes la investigación en esta línea se dejó de lado, el grupo centro sus esfuerzos en apropiar los conocimientos necesarios para mejorar la producción de solventes, incluyendo la inducción de mutantes por diferentes vías y la búsqueda de cepas nativas. Lo encontrado hasta ahora ha mostrado que los aislamientos nativos son prometedores no sólo en lo relacionado con la producción de solventes, sino unido a una relevante capacidad de usar sustratos celulósicos abundantes en el país.

Las aplicaciones han tenido un transcurrir más lento debido a que aunque se dispone de cepas nativas con gran potencial no ha sido fácil encontrar los industriales interesados en hacer el desarrollo correspondiente. Se han hecho contactos con los productores de aceite de palma,

quienes manejan un alto nivel de residuos celulósicos. Lo importante para ellos ha sido el encontrar un método para tratar los residuos de forma más rápida y eficiente frente a lo que manejan actualmente. Esperamos que muy pronto logremos tener acuerdos que nos permitan realizar ensayos conjuntos, para poderles demostrar que las cepas nativas no sólo permitirán realizar un tratamiento de los desechos más rápido, sino que es posible obtener productos de interés haciendo una baja inversión adicional.

Conceptualización del modelo que han venido utilizando

Sabiendo que esta parte corresponde a un aspecto importantísimo de este resumen resulta muy complejo realizarla por las características de cada uno de los ejemplos y por el estado actual en que se encuentran los desarrollos. En todos los cuatro casos expuestos las etapas iniciales fueron cubiertas en su totalidad por recursos de cofinanciación de proyectos de investigación y en ninguno de los casos se ha comprometido la propiedad de los desarrollos, son parte de la universidad que según las normas actuales reconoce benéficos a los investigadores y a las unidades administrativas en que se realizó el trabajo. Sin embargo transferirlos a procesos industriales requiere negociaciones muy particulares de cada caso, aunque a la universidad parece que le interesa más pensar en licenciar las tecnologías que obtener regalías.

2.3.2. Uso de parasitoides para el control de la broca del café desarrollo de modelos biológicos para el manejo de la broca del café y de las micorrizas arbusculares en los cultivos de plátano y banano

Institución: Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ)

Grupo de investigación: Carlos A. Rivillas O y Alex E. Bustillo P.

Ponente: Carlos A. Rivillas O.

Contacto: carlos.rivillas@cafedecolombia.com

La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), es un insecto introducido del África al continente americano, al cual llegó sin sus enemigos naturales (CENICAFÉ, 1990). Los más importantes están compuestos por cuatro parasitoides y el hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin (Barrera *et al.* 1987, Moore y Prior 1988). Las especies de la familia Bethyridae *Prorops nasuta* Waterston y *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, se han podido criar en laboratorio (Abraham *et al.*, 1990, Barrera *et al.*, 1990; Benavides y Portilla 1990; Cisneros y Tandazo 1990; Delgado y Sotomayor 1990), pero aún no ha sido posible mantener colonias en laboratorio de *Phymastichus coffea* La Salle y *Heterospilus coffeicola* Schneideknecht.

Los intentos de control biológico de la broca en otros países utilizando parasitoides son muy escasos, *H. coffeicola* se introdujo al Brasil desde Uganda (Piza y Fonseca 1935) en granos infestados, sin embargo no se sabe nada sobre su establecimiento. *P. nasuta* también se introdujo al Brasil desde Uganda en 1929 y después del desarrollo de una metodología sencilla de cría (Hempel 1934) se liberó en el estado de Sao Paulo en 1930. A pesar de ser considerada exitosa su introducción al Brasil, el programa de control biológico con *P. nasuta* se abandonó en la década

del 40 con el surgimiento de los insecticidas clorados en el mercado. Sin embargo, a pesar del uso continuado de insecticidas para el control de la broca, en 1978 se recuperó *P. nasuta* en el Brasil, en cafetales de la zona de Mata, Minas Gerais, observándose niveles de parasitismo entre el 27 y 33,2%. En cafetales de Piracicaba en Sao Paulo se recuperó en 1975 sobreviviendo a sequías severas y a la helada de ese año, que mató la mayor parte de los cafetales (Yokohama *et al.*, 1978). *P. nasuta* también fue llevado a Sri Lanka en 1928 y al Perú desde el Brasil en 1982, pero se desconoce si se estableció en esos lugares (CENICAFÉ, 1990).

En 1987 *P. nasuta* se introdujo al Ecuador y en 1988 a México e Indonesia desde Kenya a través de una cuarentena establecida en Inglaterra (Barrera *et al.*, 1990b; CENICAFÉ, 1990; Moore y Prior 1988). En el Ecuador se reprodujo en laboratorio y las liberaciones hechas en el campo han resultado en su establecimiento. Cisneros y Tandazo (1990) registran niveles iniciales de parasitismo del 25 al 28% en lugares con infestaciones de 74 - 78% de broca. Las colonias de laboratorio se perdieron, pero lograron establecerse de nuevo en 1990 mediante colecciones de campo. En México no se pudo mantener la colonia de laboratorio, ni se han hecho liberaciones en el campo con este parasitoide (Barrera *et al.*, 1990b), actualmente planean reintroducirlo. Aparentemente este insecto es difícil de mantener en laboratorio y las colonias a veces no prosperan bien, limitándose así las liberaciones masivas en el campo.

En cuanto a *C. stephanoderis* a pesar que fue descubierto en 1960 por Ticheler (1963) en Costa de Marfil, sólo hasta hace poco se le considera para programas de control biológico. Colonias de este insecto mantenidas bajo cuarentena en Inglaterra y obtenidas en Kenya por el IIBC, han servido para introducirlo a México y Ecuador en 1988 (Moore y Prior 1988); Indonesia, Jamaica y Nueva Caledonia en 1989. A finales de 1990 se registra su movilización desde México a varios países centroamericanos (Guatemala, Honduras, El Salvador) en donde se organizaron laboratorios para su cría (Barrera *et al.*, 1990c); recientemente Bolivia y Perú han solicitado la ayuda de la JUNAC (1991) para establecer laboratorios de cría.

En el flujograma se presentan las actividades de investigación planeadas con *C. stephanoderis* que comprenden desde la introducción de este parasitoide desde Africa a través de cuarentenas en Inglaterra y Ecuador hasta su liberación en campo. Los especímenes se recibieron y se trasladaron inicialmente a laboratorios regionales en Nariño (Ancyú) y Antioquia (El Nus), tan pronto como se detectó la broca del café en Colombia. En estos laboratorios se desarrolló una metodología de cría de broca para poder mantener las colonias de los parasitoides. Posteriormente las técnicas se adecuaron para la producción masiva, la cual se realizó en Unidades de Cría de Parasitoides en cuatro sitios del país (Sandoná, Medellín, Chinchiná y Gigante) cuya finalidad fue producir suficientes parasitoides para llevar a cabo estudios de eficiencia, dispersión, recuperación sobre poblaciones de broca en campo y a la vez estudios de compatibilidad con otros métodos de control como son entomopatógenos, insecticidas químicos y prácticas de control cultural.

Finalmente la información sobre producción masiva del parasitoide *C. stephanoderis* se transfirió a laboratorios particulares para su producción comercial y uso en la introducción de la avispa a las zonas cafeteras infestadas con la broca; un programa similar se está llevando a cabo con *P. nasuta*.

El desarrollo y uso de entomopatógenos en el control de la broca del café

Los hongos entomopatógenos para el control de la broca del café son un arma fundamental en el desarrollo de un programa de manejo integrado que tenga por finalidad la preservación del medio ambiente y la racionalidad en el uso de insecticidas químicos. Los hongos *Beauveria bassiana*

(Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, se considera que pueden jugar un papel muy importante en el control de *Hypothenemus hampei* bajo las condiciones de los ecosistemas cafeteros colombianos. Estos agroecosistemas son permanentes, debido al sombrío o autosombrío del café hay bastante protección de la radiación solar y la humedad relativa alcanza niveles óptimos para estos hongos durante ciertos momentos del día.

Estas consideraciones han hecho que se emprenda un vasto programa de investigación que comprende desde la obtención de aislamientos hasta la producción masiva y evaluación de su eficacia bajo diferentes condiciones ecológicas de campo para su inclusión dentro de un programa de manejo integrado de la broca.

Los estudios con entomopatógenos han sido muy fructíferos. Se logró desarrollar a la vez un método de producción artesanal e industrial del hongo *Beauveria bassiana* lo que permitió adelantar evaluaciones sobre su eficacia a nivel de campo y colocar el hongo a disponibilidad del agricultor al poder este producirlo en su finca. Actualmente el hongo se ha utilizado en casi toda la zona cafetera infestada con broca, convirtiéndose *B. bassiana* en un factor de mortalidad natural, durante 1995 se estimó que en promedio el 45% de la población total de broca fue infestada por este hongo. El programa de introducción en la zona cafetera utilizó durante 1995, 200 toneladas de hongo de una concentración promedio de 3×10^8 esporas/gramo. Los resultados de estas investigaciones han hecho que se despierte el interés por realizar trabajos similares en otros cultivos con otros hongos, aprovechando los conocimientos y experiencias derivadas de estas investigaciones y adquiridas por la industria privada que ha participado en estas actividades.

Micorrizas arbusculares en los cultivos de plátano y banano

Desde el año de 1997 y hasta finales del año 2002 se realiza el proyecto INCO financiado con recursos de la Comunidad Europea. Cada uno de los países participantes ha desarrollado sus respectivos proyectos de investigación con base en el cronograma de actividades aprobado por los directores de cada una de las instituciones responsables de su ejecución. En este resumen se presentan algunos resultados obtenidos en las actividades de investigación desarrolladas por CENICAFÉ.

En los cultivos de plátano y banano se ha observado, al igual que en café, una gran susceptibilidad a la colonización de sus raíces por diferentes especies de micorrizas arbusculares. Los resultados de muestreos realizados en estos cultivos en la zona cafetera central, mostraron un promedio de colonización por especies nativas de 41%, con una alta producción de propágulos al interior de sus raíces. Luego del muestreo realizado en seis departamentos cafeteros de Colombia aislando diferentes especies de micorrizas arbusculares, se realizaron 150 cultivos trampa los cuales han permitido identificar esporas de todos los géneros conocidos actualmente. Es probable que se llegue incluso a reportar especies no registradas hasta el presente. Para los estudios de identificación se está empleando la técnica *in vitro* de producción de esporas realizada en la Universidad Católica de Louvain-Bélgica por S. Declerck. En el futuro, sería fundamental seleccionar especies de micorrizas arbusculares de interés y formularlas con el propósito de ser incorporadas como un insumo biológico de alta sostenibilidad en los cultivos de plátano y banano.

Plantas *in vitro* de plátano “Dominico-Hartón” y banano “Gran Enano” se inocularon con *Glomus fasciculatum*, *Glomus fistulosum* y *Glomus manihotis* y con la mezcla de estas especies. Los resultados mostraron diferencias estadísticas en las variables de crecimiento a favor de los tratamientos con

las micorrizas arbusculares comparados con el testigo absoluto. Los contenidos de fósforo fueron significativamente más altos en las plantas inoculadas con las micorrizas arbusculares comparadas con el testigo. *Glomus fistulosum* fue la especie más efectiva en el crecimiento de banano, seguida por la mezcla de *Glomus fistulosum* con *Glomus manihotis* y la mezcla de las tres especies de MA. En plátano la mezcla de *Glomus fasciculatum* con *Glomus manihotis* fue más efectiva que *Glomus fistulosum*. Estos resultados muestran la capacidad de las MA solas y asociadas para colonizar las raíces, incrementar el crecimiento y la nutrición de las plantas. Igualmente se estudió el efecto de la colonización de estas especies en plátano y banano y su relación con los nematodos que afectan estos cultivos. En este caso la actividad de *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Helicotylenchus* fue alterada cuando las raíces de plátano y banano estuvieron asociadas con las MA. La población de nematodos mostró una tendencia descendente en plátano con la mezcla de las especies de MA, al igual que la cantidad de nódulos de *Meloidogyne*, mientras que los niveles de necrosis por las especies migratorias se mantuvieron altos. En banano hubo descenso en la población *Meloidogyne* y *Helicotylenchus* en todas las plantas con MA y se incrementó la población de *Pratylenchus*.

En relación con la evaluación, en condiciones de campo, de diferentes especies de MA en los cultivos de plátano y banano, actualmente se ejecutan diferentes experimentos con el fin de determinar el beneficio de la simbiosis desde la inoculación de las plantas *in vitro* hasta el registro de su producción.

2.4. ÁREA DE PLANTAS

2.4.1. Modelo de desarrollo para el uso y conservación de *Pachira quinata*

Institución: PIZANO S.A. / MONTERREY FORESTAL LTDA.

Ponente: Miguel A. Rodríguez

Grupo de investigación: Miguel A. Rodríguez, Hernán Urueña, Carlos Atehortua, Alvaro Vallejo R., Fredy Zapata, Paul Bolstad, Sheryl Brown, Mike Kane, Humberto Ortiz, Mario Polo y Manuel León

Financiación: recursos propios e incentivos como el Certificado de Incentivo Forestal, Plan Vallejo, e ICR. Hasta el momento las inversiones en el proyecto de uso y conservación de *Pachira quinata* ascienden a \$714.000.000.00; la distribución de esta inversión considera un 30% en personal, 9,2% en recolección de material, 23% en ensayos y evaluación de estos, 6,9% en manejo de huertos y rodales semilleros y finalmente el 30,9% en asistencia técnica profesional

Contacto: mrodriguez@pizano.com.co

El proyecto tiene por objeto la selección, la adaptación y el mejoramiento de especies forestales para la producción, en plantaciones, de madera útil en la fabricación de tableros contrachapados y tableros de aglomerado. El proceso busca simultáneamente encontrar especies cuya madera no solo se pueda emplear industrialmente sino que permita obtener un producto comercial, y que las especies empleadas se puedan producir en plantaciones homogéneas, en áreas del bosque seco tropical a muy seco tropical, en el cual el estrés hídrico se constituye en el principal factor limitante y la historia de uso del suelo se remonta a más de 200 años de prácticas ganaderas y recientemente a agricultura mecanizada de maíz, sorgo y algodón.

Se han estudiado un total de 53 especies entre nativas e introducidas, para todas las cuales se han establecido ensayos de especie – sitio que permiten comprobar el comportamiento de la especie a las condiciones locales; a partir de estos se han seleccionado tres especies que poseen las características deseadas: *Pachira quinata*, *Gmelina arborea* y *Sterculia apetala*. Una vez el ensayo especie sitio muestra que la especie tiene algún potencial se desarrollan plantaciones piloto (20 a 50 ha) que permiten establecer las bases de su manejo silvicultural.

Tras el proceso de selección se desarrolla el conjunto de estudios que permiten establecer el modelo de producción para cada especie; este incluye:

- Producción de semillas: Polinización natural, polinización artificial, manejo nutricional de rodales y huertos semilleros, control de plagas, métodos de recolección, beneficio y almacenamiento de semillas

- Vivero: Sustrato, contenedores, tipo de plántula, nutrición y requerimientos hídricos, control preventivo y curativo de plagas y enfermedades, tiempo de vivero, espaciamiento, manejo para rusticación
- Preparación de tierras: Intensidad y calidad de tratamientos físicos o mecánicos – rolos, arados, subsolado, caballoneo, efecto de la aplicación de materia orgánica – que permiten el desarrollo de las plántulas
- Siembra: Época de siembra, distanciamiento o espaciamiento, tipo de plántula, riego y retención de humedad
- Control de competencia: Métodos y productos; los primeros incluyen los mecánicos, los manuales y los químicos; de estos últimos se establecen dosis, frecuencias, y períodos de aplicación
- Régimen de manejo del rodal: Podas de formación y podas de ramas, niveles de raleo, edades de raleo
- Crecimiento: Calidad del sitio forestal, crecimiento, rendimiento y productividad
- Aprovechamiento: Métodos de corta, desembosque y transporte menor y mayor
- Incremento de la producción con base en la selección y promoción de genotipos altamente productivos o de características deseables. Mejoramiento genético y reproducción clonal
- Evaluación y control del impacto ambiental y del impacto social
- Uso industrial de acuerdo a calidad de la madera (densidad, nudos, relación duramen: albura, capacidad buffer), pegantes, tiempo de secado y métodos de mecanizado de la madera
- Producción de tableros de aglomerado y tableros de aglomerado recubiertos con papel melamínico o chapa de madera. Comercialización en mercado nacional e internacional de acuerdo a especificaciones de resistencia, peso, dimensiones y color, así como certificación de manejo forestal y cadena de custodia y niveles de emisión de formaldehído.

2.4.2. Uso y aprovechamiento de frutos del bosque húmedo Amazónico caso: arazá

Institución: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI

Ponente: María Soledad Hernández y Yezid Beltran B.

Grupo de investigación: María Soledad Hernández G., Jaime Alberto Barrera García, Daniel Paez Bohórquez y Eliseo Oviedo. EMPRESAS PRODUCTIVAS: Agrícola Paraíso: Yezid Beltran B. y Ricuras Amazónicas: Aurelio Cuellar

Financiación: Recursos del proyecto: "Investigación en el Manejo y Transformación de frutos de la región Amazónica colombiana", PRONATTA, Recursos de contrapartida: Universidad de la Amazonía, Universidad Nacional de Colombia y Ministerio del Medio Ambiente

Contacto: cocona@colomsat.net.co y ybeltran@telecaqueta.com.co

Las especies comestibles nativas de la región amazónica constituyen una de las más importantes ofertas para ser incluidas en la dieta humana. Su variedad, composición y aporte nutricional las

proyectan como una de las claras oportunidades para las cadenas agroproductivas regionales con miras a satisfacer la demanda local, regional y probablemente la generación de excedentes para la inversión en bienes y servicios.

El Instituto SINCHI ha desarrollado en la última década la investigación dirigida a establecer la tecnología de pre, poscosecha y agroindustria de especies frutícolas del bosque, con buenas características de productividad, precocidad e impacto en el mercado de especies como el arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), el lulo amazónico (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y la piña nativa (*Ananas comosus* L. Merrill) han sido incluidas en este listado ya que son consideradas como especies del mayor interés entre las especies promisorias, y en el caso del Departamento del Caquetá han sido identificadas, como las de mayor importancia dentro de los planes de gobierno, siendo la fruticultura uno de los renglones priorizados en ellos.

El arazá, Myrtaceae originaria de la Amazonía oeste - Perú, Bolivia y Colombia - (Crane y Campbell, 1990, Morton, 1987) es sin lugar a dudas una de las especies con mayor desarrollo de tecnologías de pre y poscosecha. Las características de productividad, precocidad de la planta, unidos a lo singular del aroma y sabor del fruto, así como sus apreciables contenidos de vitamina C (27 mg/100 g pulpa) y proteína (12.4% bs) y sus altos rendimientos para obtención de pulpa, (mayores al 71%), lo convierten en uno de los frutales identificados para el nuevo siglo, con un alto potencial comercial y agroindustrial.

Los primeros resultados en cuanto a esta especie la identificaron como un fruto de corto período de poscosecha, muy perecedero y con bajas probabilidades de ser comercializado en fresco. En consecuencia, los primeros esfuerzos de la investigación tendieron a desarrollar bases técnicas para su uso y aprovechamiento a partir de la obtención de pulpas y sus derivados. Estos resultados transferidos a la comunidad y apropiados por agroindustriales regionales muestran hoy los primeros frutos, permitiendo vislumbrar una oportunidad de negocio alrededor de esta interesante especie.

Tras los primeros resultados, los esfuerzos institucionales particulares y en cooperación con entidades como la Universidad de la Amazonía y la Universidad Nacional de Colombia se han direccionado a prolongar la vida en fresco, durante la poscosecha, de este fruto, encontrándose que al aplicar adecuados parámetros de recolección, y algunas tecnologías de poscosecha (ya empleadas con otras especies frutícolas comerciales), la vida promedio del fruto puede incrementarse hasta en un 75%. Este conjunto de tecnologías permiten hoy a los inversionistas agroindustriales contar con una herramienta básica e incursionar en nuevos mercados que demandan nuevos productos, con características definidas y alta calidad.

Se destaca no solo el esfuerzo realizado para el desarrollo tecnológico, sino también los esfuerzos particulares de estos inversionistas que cifran sus expectativas en el impacto que sus productos, ya técnicamente desarrollados y con estándares definidos puedan tener en el mercado. En la actualidad se cuenta con cinco productos de la especie: fruto en fresco, pulpa, mermelada, cóctel y confites. Todos ellos poseen un conjunto de características claramente reproducibles en los sucesivos lotes de producción y que cumplen con una de las principales condiciones de los procesos agroindustriales, que los productos obtenidos conserven las características básicas de las materias primas de las cuales provienen.

2.4.3. Variedades mejoradas de café

Institución: CENICAFÉ

Ponente: Ricardo Acuña

Grupo de investigación: Gabriel Alvarado, Hernando Cortina, Pilar Moncada, Huver Posada, Diana Molina, Carmenza Góngora, Alvaro Gaitán y Ricardo Acuña

Financiación: Federación Nacional de Cafeteros, COLCIENCIAS

Contacto: Ricardo.Acuna@cafedecolombia.com

Mejoramiento genético convencional

PROBLEMA: Entre las enfermedades que atacan el café la roya ha sido considerada como la de mayor gravedad. Su diseminación, las pérdidas que causa en la producción, y el costo de las medidas de control respaldan esta afirmación.

ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN: Emplear los materiales existentes dentro de la especie *Coffea arabica* que sean resistentes a la roya para producir una variedad con resistencia durable ya que el café es un cultivo perenne de ciclo económico prolongado.

ETAPAS DE INVESTIGACIÓN: El programa de selección por resistencia a la roya se inició en 1952 con la introducción de gran cantidad de materiales procedentes del Asia y África. En la década del 60 se comenzaron a estudiar tales introducciones por sus características agrónomicas y con base en ellas se formuló un programa de mejoramiento por resistencia a la roya el cual se basó en tres aspectos fundamentales:

- Diversidad genética de la nueva variedad: Se adoptó el principio de multilíneas como esquema básico de diversidad, creando una población heterogénea a partir de cruzamientos entre árboles susceptibles y con resistencia a la enfermedad pero sin recurrir a retrocruzamientos
- Fuentes de resistencia: Había tres posibilidades. a) cruzamientos interespecíficos b) genes de resistencia presentes en introducciones de *C. arabica*, silvestres o poco cultivadas c) utilizar nueva fuente de resistencia prometedora presente en el Híbrido de Timor. La estabilidad de la resistencia en el H de T hizo que se le diera prelación en el programa
- Variedad básica: Se decidió utilizar la variedad Caturra con el fin de obtener una variedad de porte bajo, apta para el cultivo intensivo, el cual era ya conocido y aceptado por los agricultores.

En el año de 1962 se iniciaron los cruzamientos entre *C. arabica* e Híbrido de Timor y en 1968 se sembraron las primeras generaciones. Los experimentos con las generaciones F3, F4 y F5 se iniciaron en los años 1973, 1977 y 1981, respectivamente. Durante este período se estudiaron las siguientes características: a) porte de las plantas (primeras generaciones); b) vigor, fenotipo, tipo de grano, producción, resistencia a la roya (todas las generaciones y c) adaptabilidad y calidad en taza (últimas generaciones). En 1982 se comercializó el suministro de semilla a los caficultores de la nueva variedad que se denominó "Variedad Colombia". En 1983 hizo su aparición la roya en Colombia.

Mejoramiento genético con biotecnología

PROBLEMA: La broca (*Hypothenemus hampei*, Ferrari) es un insecto que se reproduce y se alimenta en el grano del café, causando varios tipos de daños: caída de frutos pequeños, pérdidas en peso de la almendra y pérdida de la calidad. CENICAFÉ ha orientado el control de este insecto mediante un Manejo Integrado de la Broca (MIB) que busca reducir el impacto económico de la plaga. El análisis de la estructura de costos de producción en café muestra que este control puede representar el 7,1%, es decir aproximadamente \$ 300.000 por ha/año. Hasta el momento, en el género *Coffea* no se ha detectado resistencia genética natural a la broca del café *Hypothenemus hampei*.

ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN: Recurrir a la biotecnología como herramienta de mejoramiento para introducir al café genes de otros organismos que le confieran resistencia a la broca.

ETAPAS DE INVESTIGACIÓN: La primera etapa de la investigación consistió en desarrollar un procedimiento de laboratorio para la regeneración *in vitro* de plantas de café a partir de tejidos de la planta. Se estableció que la inducción de embriones a partir del cultivo de callos o suspensiones celulares era el procedimiento más eficiente, técnica denominada Embriogénesis Somática.

En una segunda etapa se estudió el método de transformación genética más eficiente que permitiera la obtención de plantas transgénicas de café. Se evaluaron tres métodos: a) transformación directa de protoplastos, b) transformación mediante el bombardeo con micropartículas y c) transformación mediada por la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*.

Simultáneamente y como una tercera etapa de la investigación se estudiaron compuestos “biopesticidas” que tuvieran un efecto letal sobre el ciclo de vida de la broca del café. Se determinó que la ingestión de una mezcla de enzimas quitinolíticas, aisladas de *Streptomyces albidoflavus*, causaba la muerte del 80% de larvas de *Hypothenemus hampei* y las que sobrevivieron tuvieron un retraso significativo en su desarrollo hasta adultos (Patente Universidad de Cornell-FEDERACAFÉ). De igual forma se encontró que existe una familia de proteínas pertenecientes a los inhibidores de α -amilasas que tiene actividad bioquímica contra las α -amilasas de la broca. En este momento los genes de estas proteínas son candidatos promisorios para ser introducidos en plantas de *Coffea arabica* var Colombia.

En una última etapa se identificaron en el genoma del café “Promotores” o secuencias que regulan la expresión de varios genes en la planta. En colaboración con la Universidad de Cornell se identificaron dos promotores. Uno que regula la expresión constitutiva del gen de α -tubulina y otro que regula en forma inducible la expresión del gen de fenil-amonio liasa (Patente Universidad de Cornell-FEDERACAFÉ). En colaboración con la Universidad de Purdue, se identificó el promotor de la principal proteína de reserva del grano de café y regula específicamente la expresión del gen en el este tejido de la planta.

2.4.4. Experiencia en el Reasentamiento Nasa de Juan Tama

Ponente: Edna Patricia Alarcón Castro

Grupo de investigación: Proyecto de producción de plantas medicinales y su transformación en aceites esenciales con fines terapéuticos y agrícolas en el Reasentamiento Nasa de JUAN TAMA, Corregimiento de Santa Leticia – Municipio de Puracé - Departamento del Cauca. Participantes: Martha Martínez G., Francisco Rojas A. y Graciela Torres. Grupo productor de plantas medicinales – 20 familias de la comunidad. Grupo técnico: Luz Torres y Cecilia Ruiz – Madres y comuneras y E. Patricia Alarcón C. Química Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Financiación: Christian Children Found (CCF), Oxfam del Reino Unido, Corporación Tierra Viva; Proyecto del niño José Tama y Corporación Semillas de Agua. El presupuesto utilizado: En 1995: \$15.000.000, entre 1998-2001: \$40.000.000. En la actualidad el proyecto está detenido por falta de recursos

Contacto: aromapac@hotmail.com

Experiencia

¿Quién es la comunidad Nasa de JUAN TAMA y ubicación?, ¿Cómo surge y se desarrolla el proceso? Actualidad.

La comunidad Nasa de JUAN TAMA está conformada por 128 familias provenientes del resguardo de Vitonco - Tierradentro (Cauca), quienes fueron afectadas por el terremoto y la avalancha del río Paez, el 6 de junio de 1994, la pérdida de muchas vidas humanas y la mayor parte de sus bienes materiales así como su posterior reubicación en diferentes sitios del departamento del Cauca y del Huila han exigido procesos de reconstrucción social, cultural y económica.

El Corregimiento de Santa Leticia tiene una temperatura de 18°C, está ubicado en el municipio de Puracé - Cauca, en la zona de amortiguación del Parque Natural Nacional de Puracé a 2.100 m sobre el nivel del mar y a una distancia de 66 km de la ciudad de Popayán, sobre la vía que comunica a Popayán con Puracé y con La plata (Huila). Desde los años treinta la zona fue un agitado centro de colonización que produjo una masiva deforestación, este proceso se incrementó en gran medida por la construcción de la carretera que une a Popayán con Puracé y La plata en los años cincuenta.

La Comunidad Nasa reubicada en el corregimiento de Santa Leticia, al igual que muchos otros reasentamientos iniciaron su proceso de reconstrucción en condiciones físicas, ecológicas, culturales y económicas diferentes a su lugar de origen, lo que condujo a la búsqueda de respuestas a los siguientes conflictos causados por el choque de culturas:

- Referente a las costumbres, la organización para el trabajo, la toma de decisiones, el régimen alimentario, las prácticas en salud y educación
- En relación con la tierra, la comunidad del reasentamiento que venía de una cultura productiva con sistemas biodiversos, rotación de cultivos, con períodos de descanso, fertilización orgánica, poco uso de insumos químicos y una producción de autoconsumo, se encuentra con un territorio dirigido a la explotación maderera como base de la economía, unido a esto la deforestación orientada a la ampliación de las fronteras para la ganadería

extensiva, por lo general con sobre pastoreo, con las consecuencias conocidas en estos casos, como lo es la quema y reducción de bosques, deterioro en cantidad y calidad del agua, reducción de la biodiversidad, bajo un modelo insostenible de colonización, de producción agrícola para el mercado, alto uso de agroquímicos y hábitos de consumo dependientes del abastecimiento externo generando fenómenos de narcocultivos, delincuencia común y desempleo

- En relación con su cultura por un distanciamiento físico de las familias y comunidades indígenas.

El proceso surge con los trabajos que adelantaba la Christian Children Found (CCF) en Tierradentro, después de la avalancha parte de los proyectos se encaminaron a la recuperación del tejido social, fue así como en el Reasentamiento de JUAN TAMA, se inició un proyecto de recuperación de la flora medicinal. Este trabajo se ejecutó con los niños y profesores de la escuela de J. T., en compañía de los médicos tradicionales, se estableció la huerta (Kw'es tul) donde se sembraron plantas alimenticias y medicinales en completa armonía nasa, se efectuaron registros, fichas etnobotánicas y un herbario que permanece en la escuela como parte vital del proceso de aprendizaje de los niños de la comunidad.

En 1995 Marta Martínez emprendió este trabajo vinculada al equipo de CCF, posteriormente en 1998 la corporación ¡Tierra Viva!, con la financiación de otra ONG, Oxfam del Reino Unido, aportó recursos para la continuación del proyecto de plantas medicinales y se constituyó el grupo yu'ce tul que estaba formado inicialmente por madres solteras del reasentamiento, se efectuaron varias reuniones y por solicitud de otros miembros de la comunidad, entre ellos, médicos tradicionales, líderes y comuneros, se conformó un grupo mixto con 36 socios, quienes serían los productores orgánicos de las plantas medicinales y plantas alimenticias cultivadas en sus huertas familiares.

Los conocimientos integrales de los comuneros con relación a la sabiduría de las plantas y su sentido de pertenencia al entorno natural, fortalecieron los propósitos de hacer un intercambio de experiencias con relación a la transformación de las plantas, se instaló entonces un pequeño laboratorio en un espacio de la casa del cabildo, cedido por la comunidad para tal fin. Se diseñó, construyó e instaló un equipo de destilación de arrastre con vapor, para la extracción de los aceites esenciales y tres personas del grupo yu'ce tul, comenzaron la capacitación para hacer parte del equipo de laboratorio.

A partir de esta actividad se obtuvieron productos tales como champú orgánico de plantas, flores deshidratadas de manzanilla y aceites esenciales de eucalipto y romero. El aceite y su hidrodestilado fueron utilizados por la enfermera y promotora de salud del reasentamiento para contrarrestar problemas respiratorios muy comunes dentro de la población así como, para controlar sintomáticos de tuberculosis (TBC).

Las estrategias utilizadas para la comercialización de los productos se inició con la selección y el diseño de etiquetas que fueran representativas de su cosmovisión, los productos se ofrecieron a la comunidad a un precio cómodo para que fueran los comuneros los más beneficiados por un producto de fabricación Nasa de buena calidad. También se logró establecer un pequeño mercado en Popayán y en una farmacia en Bogotá, desafortunadamente la falta de recursos no ha permitido mantener este mercado.

El objetivo principal de este proyecto es lograr el desarrollo de una economía propia, fusionando el saber ancestral, armonioso y respetuoso que tiene la comunidad sobre la naturaleza, con la apropiación tecnológica implementando técnicas en agricultura orgánica, química y de mercadeo, que permitan a la comunidad Nasa de JUAN TAMA ampliar la disponibilidad de recursos terapéuticos, agrícolas y económicos de una manera sostenible, manteniendo su cultura y tradición con proyección de ser una propuesta piloto para grupos étnicos latinoamericanos.

2.4.5. Grupo de productos naturales de la Universidad de Cartagena

Institución: Universidad de Cartagena

Ponente: Ricardo Gaitán I.

Grupo de investigación: Ricardo Gaitán Ibarra, Harold A. Gómez Estrada, Darío Méndez Cuadro, Bernarda Cuadrado Cano, Erica Rodríguez Caballo, Luis A. Franco Ospina, Jairo Mercado Camargo, Fredy Díaz Castillo y Prisciliano Martínez Jaramillo

Financiación: Universidad de Cartagena, COLCIENCIAS

Contacto: rgaitan@ctgred.net.co

Este grupo se constituyó como tal el año 1999 con la aprobación del proyecto “Estudio Químico y actividad citotóxica contra *Artemia salina* de algunas especies promisorias del genero *Tabebuia* en el Caribe Colombiano” en aquel entonces el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS, desembolsó la suma equivalente a \$131.758.408 y la Universidad de Cartagena \$ 134.690.000. Código: 1107-05-130-95.

El desarrollo de este proyecto permitió aislar, purificar y caracterizar 18 compuestos del tipo furanonaftoquinona y una naftoquinona (lapachol), de la corteza interna del tallo de las siguientes especies: *Tabebuia ochracea* spp. *Neochrysantha billbergii* y *N. chrysea*: Bolívar (Cartagena, Arjona y Turbaco respectivamente), *Tabebuia coralibe*: Bolívar (Magangue), César (Bosconia), *Tabebuia guayacán*: Magdalena (El Difícil), César (Bosconia), *Tabebuia chrysantha*: Magdalena (Sierra Nevada), *Tabebuia avellanedae*: Magdalena (El Difícil).

El estudio de actividad antimalárica *in vitro* contra *Plasmodium berghei* presentó resultados interesantes, una de las furanonaftoquinonas aisladas, con peso molecular (Pm) 240 mostró una actividad superior a la cloroquina, fármaco de primera elección en el tratamiento de la malaria.

La actividad antibacteriana se evaluó en los extractos etanólico y diclorometano, encontrándose la mayor actividad en este último, al evaluar dicha actividad en algunos de los compuestos aislados, todos presentaron actividad frente a *Bacillus subtilis*, no así frente a *Escherichia coli*, nuevamente el mismo compuesto presentó la mayor actividad, con una concentración mínima inhibitoria (CMI) tres veces inferior a la del control positivo (tetraciclina). El extracto en diclorometano también presentó actividad fungicida dermatofita y fungistática fitopatogena. Los compuestos puros evaluados presentaron actividad fungicida dermatofita frente a *Trichophyllum mentagrophytes*, hecho

que reviste gran importancia ya que muy pocos metabolitos naturales presentan esta actividad y fungistática fitopatógena frente a *Fusarium oxysporum* sp. *dianthi*, con deformación microscópica de la estructura micelial. También se elaboró un mapa etnobotánico del género *Tabebuia*, teniendo en cuenta los sitios de recolección y de encuesta.

Formación de recurso humano: diez trabajos de grado a nivel de pregrado, y tres de maestría fueron posibles durante la ejecución de este proyecto, que además permitió la formación de tres magíster: Dos en química del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y uno en Biología y Química de la Pontificia Universidad Javeriana. Los resultados obtenidos han sido divulgados en congresos nacionales e internacionales como también en revistas indexadas.

En el año 2000 se presenta el proyecto “Evaluación de la actividad Inmunomoduladora de Furanonaftoquinonas aisladas del género *Tabebuia*” obteniendo financiación del CYTED-Convenio Andrés Bello por valor de US \$2.500 y US \$10.000 aportados por la Universidad de Cartagena. La ejecución de este proyecto mostró que las furanonaftoquinonas aisladas de *Tabebuia* spp. tienen actividad inmunomoduladora en células mononucleares de sangre periférica de pacientes sanos, una vez más el compuesto con Pm = 240 fue el más activo presentando una inhibición de la proliferación celular superior al 72% a las concentraciones de ensayo 0,5, 1,0 y 1,5 µg/ml, en presencia de un inductor de la proliferación celular, Concalavalina A, lo que indica que los compuestos tienen acción directa sobre la mitosis celular, hecho que los hace importantes en dos áreas de intensa investigación, en ensayos con células tumorales de líneas mieloides y linfoides por sus efectos citotóxicos y como inmunomoduladores y antiinflamatorios por su capacidad de inhibir la proliferación de los Linfocitos T.

A fin de evaluar como podría estar influyendo la estructura de los compuestos en la actividad antimalárica que presentan, se efectuó un estudio de relación estructura química actividad biológica, en donde se obtuvo un modelo logarítmico que propone la influencia de varios descriptores en la actividad biológica de los compuestos aislados, siendo el descriptor que relacionaba el peso molecular (volumen de la molécula) uno de los que más influencia la actividad antimalárica, lo cual según el comportamiento observado en los datos experimentales puede estar asociado con la presencia de sustituyentes en el anillo de benceno. Debido a la variada y potente actividad desplegada por estos compuestos, hemos pensado en la posibilidad de sintetizar furanonaftoquinonas, con diferentes sustituyentes y variaciones en el núcleo base, a fin de establecer con mayor certeza cuáles serían los factores que estarían influyendo en la actividad y que les aportarían una mayor selectividad a estos compuestos.

En el año 1998 nuevamente obtuvimos financiamiento del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS para el proyecto “Estudio Químico y Actividad Antimicrobiana, Antiinflamatoria y Cardiovascular de Algunas Especies de Esponjas del Género *Xestospongia* del Caribe Colombiano” obteniendo la suma de \$105.391.960 y a cargo de la Universidad de Cartagena la suma de \$167.766.665 Código: 1107-09-241-98, hecho que nos permitió iniciar la línea de investigación en Productos Naturales Marinos. Se ha estudiado químicamente las especies; *Xestospongia muta*, *X. próxima* *X. rosariensis*, *X. carbonaria* y *X. subtriangularis*, aislando, purificando y caracterizando los siguientes compuestos esteroidales con núcleos Δ^0 y Δ^5 : Xestosterol, Fucosterol, isofucosterol, colestanol, epiergostanol, 24-etil-5 α -colestano-3 β -ol, colesterol, aplysterol, 24-metilcoesterol, brassicasterol, 22-

dihidrobrassicasterol, estigmasterol, clionasterol, y tres esteroides con nuevo núcleo esteroide según la literatura consultada hasta la fecha.

Los ensayos de ictiotoxicidad han permitido establecer el siguiente orden descendente de actividad, en *Carassius auratus* (pez de agua dulce): *X. próxima*, *X. muta* y *X. subtriangularis*. Las especies *X. rosariensis* y *X. carbonaria* no presentaron ningún tipo de actividad. En *Stegastes partitus* (pez de mar), todos los extractos fueron activos, con el siguiente orden descendente de actividad: *X. próxima*, *X. rosariensis*, *X. subtriangularis* y *X. carbonaria*. El ensayo de citotoxicidad revela que el género *Xestospongia* es altamente citotóxico en el ensayo frente a huevos fertilizados de erizo de mar, mostrando una gran variabilidad en la toxicidad de las distintas especies, según el extracto ensayado.

Los ensayos de actividad antibacteriana dirigida hacia extractos de alta mediana y baja polaridad y algunos compuestos puros, mostraron que la esponja *Xestospongia carbonaria* presentó una moderada actividad antibacteriana en los extractos ensayados (baja, mediana y alta polaridad), superior a la de las otras especies ensayadas, este tipo de actividad aunque dirigida a bacterias Gram (+) y Gram (-), se manifestó únicamente contra bacterias Gram (+) como *Bacillus* sp. y *Estafilococos aureus*. Los compuestos puros ensayados a la fecha muestran que el isofucoesterol posee una moderada actividad antibacteriana contra el mismo tipo de microorganismos.

Actualmente se evalúa la actividad antitumoral utilizando el modelo de inducción de tumores en discos de papa por *Agrobacterium tumefaciens*, obteniendo excelentes resultados para la *X. próxima*, paralelamente se evalúa la actividad antiinflamatoria.

Los resultados hasta ahora obtenidos han servido como base para el desarrollo de siete trabajos de grado a nivel de pregrado cuyos resultados han sido divulgados en varios congresos nacionales.

Con el ánimo de dar continuidad a los proyectos ejecutados nuestro grupo de investigación dirigirá sus esfuerzos a la obtención por síntesis o hemisíntesis de algunos metabolitos secundarios con actividad biológica, a fin de obtener un banco de moléculas que permitan establecer, algún tipo de relación entre la estructura y la actividad biológica de las moléculas en cuestión, para detectar cual sería el farmacóforo responsable de la acción y de esta forma diseñar moléculas con un mejor índice terapéutico, con miras en su potencial aplicabilidad como agentes medicinales.

OTRAS PUBLICACIONES DEL INVEMAR

Publicaciones Especiales

Las ostras perlíferas (Bivalvia:Pteriidae) en el Caribe colombiano. Historia de su explotación, ecología y perspectivas para su aprovechamiento, 1996. Serie de Publicaciones Especiales No. 1.

Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe colombiano. I Complejos arrecifales oceánicos, 1996. Serie de Publicaciones Especiales No. 2.

Evolución histórica de las islas barrera del sector de Buenaventura y El Naya. Investigación ganadora del Premio Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, 1996. Serie de Publicaciones Especiales No. 3.

Aplicación de imágenes de satélite al diagnóstico ambiental de un complejo lagunar estuarino tropical: Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano, 1998. Serie de Publicaciones Especiales No. 4.

Áreas coralinas de Colombia, 2000. Serie de Publicaciones Especiales No. 5.

Documento base para la elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras colombianas. Documento de consultoría, 1997. Serie de Publicaciones Especiales No. 6.

Gorgona marina. Contribución al conocimiento de una isla única, 2001. Serie de Publicaciones Especiales No. 7.

Documentos Generales

Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera – PNIBM. Plan de acción 2001 – 2010, 2000. Serie de Documentos Generales No. 1.

Referencias bibliográficas publicadas e inéditas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. (Volúmenes I y II), 1996. Serie de Documentos Generales No. 2.

Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. 2001. Serie de Documentos Generales No. 3.

Cartilla: Ojo con Gorgona. Parque Nacional Natural, 2001. Serie de Documentos Generales No. 4.

Libro rojo de peces marinos de Colombia, 2002. Serie de Documentos Generales No. 5.

Libro rojo de invertebrados marinos de Colombia, 2002. Serie de Documentos Generales No. 6.

Las aguas de mi Ciénaga Grande, 2002. Serie de Documentos Generales No. 7.

Manual de Identificación CITES de Invertebrados Marinos de Colombia. Serie de Documentos Generales No. 8.

Guía práctica para el cultivo de bivalvos marinos del Caribe colombiano. Serie de Documentos Generales No. 9.

Publicaciones Periódicas

Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras (Volúmenes 3, 8, 9, 11, 12, 17 a 30).

Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia (Ejemplares de los años 1999 -2001).

Informe de actividades (Ejemplares disponibles desde el año 1997 al 2001).

Publicaciones Digitales

Atlas demográfico de los peces demersales del golfo de Salamanca, Caribe colombiano (CD-Rom)

Información y ventas: bibliote@invemar.org.co

**Este libro se terminó de imprimir
en noviembre de 2002**