

El régimen fluviométrico del Río Magdalena y su importancia para la Ciénaga Grande de Santa Marta

Por

REINHARD KAUFMANN y FRANK HEVERT

Con 6 figuras y 5 tablas *

Resumen

Datos fluviométricos del Bajo Magdalena, sobre largo plazo muestran un ritmo de 6 a 7 años para crecidas y bajas extremas. Con métodos estadísticos (t-test según STUDENT) estos cambios en los niveles resultaron altamente significantes, como también su correlación con variaciones de las precipitaciones en la hoya hidrográfica del Río Magdalena. Las crecidas cíclicas causan inundaciones catastróficas de la Ciénaga Grande de Santa Marta y en consecuencia la desaparición de la ostra *Crassostrea rhizophorae*, que tiene considerable importancia económica.

Zusammenfassung

Langjährige Pegeldaten vom Unterlauf des Río Magdalena (Kolumbien) zeigen einen 6—7jährigen Rhythmus extremer Hoch- und Niedrigwasserstände. Mit statistischen Methoden (t-Test nach STUDENT) konnten diese Wasserstandsschwankungen als hoch signifikant nachgewiesen werden. Die Wasserstände ließen sich mit langfristigen Schwankungen der Niederschläge im oberen Einzugsgebiet des Flusses korrelieren. Die rhythmischen extremen Hochwasserstände verursachen wiederkehrende katastrophale Überschwemmungen in der Ciénaga Grande de Santa Marta, einem mit dem Magdalena kommunizierenden Brackwasserhaff, wobei es zum zyklischen Absterben der kommerziell wichtigen Auster *Crassostrea rhizophorae* kommt.

Summary

Long standing water-gauge data recorded at the lower course of the Magdalena river (Colombia), show every 6 to 7 year extreme high and low water levels. These rhythmical changes could be proved highly significant with STUDENT's t-test. Furthermore, these oscillations of waterlevels could be correlated with long-term changes of rainfalls in the upper hydrographic basin of

*) El primer autor quiere dedicar el presente trabajo y expresar sus sinceros agradecimientos a todas entidades y personas en Colombia, que por su ayuda facilitaron su labor como Director del Instituto Colombo-Alemán, durante nueve años.

the Magdalena. The extreme high waters cause cyclical floodings of the Ciénaga Grande de Santa Marta, a brackish water lagoon communicated with the Magdalena, and thus the cyclical extinction of the oyster *Crassostrea rhizophorae*, which is of considerable economic importance.

Introducción

La desaparición de la ostra (*Crassostrea rhizophorae*) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, en el invierno de 1970, movilizó el interés de científicos, ingenieros y entidades gubernamentales en esta zona estuárica de considerable importancia económica.

Trabajos recientes (WIEDEMANN 1973) y reconocimientos aéreos (comunicación personal de G. RIVEROS) mostraron claramente la comunicación del Río Magdalena con la Ciénaga Grande, de manera que no solamente los ríos que bajan el vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, como SQUIRES & RIVEROS (1971) lo suponen, sino también el Magdalena influye en el régimen de salinidad en la Ciénaga, del cual por su parte depende la existencia de la ostra.

En un trabajo preliminar (KAUFMANN & REICHEL 1967), basado en datos fluviométricos de Calamar, se pudo mostrar cierto ritmo en crecidas y bajas del Río Magdalena. GUHL (1967) escribe con respecto a este río que "se habla además de un máximo de las crecientes cada siete años". Pescadores de la Ciénaga Grande y representantes de empresas pesqueras, desde hace muchos años interesados en una explotación económica de la ostra, recuerdan inundaciones anteriores en la Ciénaga Grande que condujeron más de una vez a la desaparición de la ostra en esta albufera. Al otro lado, según una comunicación personal de HENRY¹⁾ no se ha observado un ciclo rítmico en las precipitaciones que por su parte pudiera ser la causa de crecidas cíclicas del Río Magdalena.

Material

Los datos fluviométricos de Calamar fueron suministrados por Puertos de Colombia, Sección Obras Bocas de Ceniza en Barranquilla. Calamar está situado a 10° 15' N y 74° 55' OE, 108 kms agua arriba de la desembocadura del Magdalena. Con respecto a su altura sobre el nivel del mar, ANONIMO (1971 b) da indicaciones contradictorias (10 y 15 ms respectivamente). El fluviómetro de Calamar está estratégicamente situado: suficientemente agua arriba para excluir la influencia de las mareas, pero bien agua abajo, donde el Magdalena ha recibido todos sus afluentes importantes y formado un solo cauce, acarreando la totalidad de su caudal. Calamar se encuentra aproximadamente 75 kms al

¹⁾ Al profesor Dr. W. K. HENRY (Texas A & M University) agradece uno de los autores (K) su apoyo espiritual para iniciar el presente estudio.

suroeste de la Ciénaga Grande, de manera que los niveles registrados allí pueden reflejar directamente el grado de la comunicación del Magdalena con la Ciénaga, a través de caños, quebradas y pantanos. Este sistema de comunicaciones es descrito detalladamente por WIEDEMANN (1973).

Los datos sobre precipitaciones y niveles fluviométricos de la zona de la Sierra Nevada de Santa Marta y del Valle del Cauca, hizo disponible el Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología (SCMH), a través de la intervención desinteresada del Señor Ingeniero F. A. FORERO R., Bogotá.²⁾

Por desgracia, en muchas estaciones las lecturas no son muy completas, sea que fueron interrumpidas en algunos años o que faltan en años de observación datos de un u otro mes o dentro del lapso mensual algunas lecturas diarias. Otras estaciones, como por ejemplo los fluviómetros en la región de la Sierra Nevada de Santa Marta, se instalaron solo muy recientemente, de manera que los datos disponibles no permiten una comparación y prueba estadística. Estas deficiencias radican en el hecho de que en pasadas décadas las observaciones meteorológicas se iniciaron por personas privadas, colegios, empresas agrícolas, industriales y de transporte, entonces sin la necesaria coordinación y asistencia técnica de una entidad competente, como hoy en día es el SCMH. Sin embargo, existen algunas estaciones con observaciones de precipitaciones bastante completas, de las cuales nos referimos a las que están resumidas en tabla 1.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas a las cuales se refiere en el texto.

Estación	Región Administrativa	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura sobre nivel del mar en ms	Años de lectura
Sevilla	Ciénaga (Magdalena)	10° 45'	74° 10'	40	1911—1957
Fundación	Fundación (Magdalena)	10° 31'	74° 20'	40	1958—1970
Pueblo Bello	Valledupar (Cesar)	10° 22'	73° 38'	1.100	1963—1970
Caracolí	Valledupar (Cesar)	10° 05'	73° 45'	122	1958—1970
Colegio Académico Cartago	Cartago (Valle)	04° 47'	75° 55'	900	1930—1948
La Cumbre	La Cumbre (Valle)	03° 38'	76° 34'	1.581	1931—1967
La Manuelita	Palmira (Valle)	03° 35'	76° 17'	1.010	1901—1970
Calipuerto	Cali (Valle)	03° 26'	76° 24'	945	1942—1970
Potrerito	Jamundí (Valle)	03° 16'	76° 33'	1.010	1941—1970

²⁾ Especialmente al Dr. FORERO, pero también a las entidades mencionadas estamos profundamente agradecidos, ya que sin su colaboración generosa no se había podido llevar a cabo este trabajo.

En el siguiente capítulo nos basamos principalmente en el informe sobre el Río Magdalena más amplio y detallado jamás elaborado, entregado por el JULIUS BERGER Konsortium en 1924 y recientemente publicado por el SCHM (ANONIMO 1971 a). Adicionalmente hemos consultado el Diccionario Geográfico de Colombia (ANONIMO 1971 b).

Breve descripción del Río Magdalena

El Magdalena es el río más largo y caudaloso dentro de los Andes Suramericanos y el único que en conjunto con sus afluentes desagua la zona central de las Cordilleras Colombianas hacia norte, el Mar Caribe. Tiene una longitud total de 1.538 kms y desagua una hoya hidrográfica de 256.622 kms². Esta cuenca es delimitada en el este por el vertiente occidental de la Cordillera Oriental, en el sur por el Macizo Colombiano, en el oeste por el vertiente oriental de la Cordillera Occidental y en el norte por la planicie costera del Mar Caribe (fig. 1).

El Río Magdalena tiene su origen en la laguna La Magdalena, localizada en el Páramo de las Papas, en el llamado Macizo Colombiano, a 01° 56' N y 76° 35' OE y 3.685 ms sobre el nivel del mar (Atlántico). Su desembocadura, las Bocas de Ceniza, se encuentra al norte de la ciudad de Barranquilla, a 11° 06' N y 74° 51' OE.

Los afluentes principales son en la margen izquierda los ríos de La Plata, Yaguara, Baché, Saldaña, Sabandija, Cimitarra, Simití, Cauca y San Jorge y en la margen derecha los ríos Suaza, Neiva, Sumapáz, Bogotá, Negro, Carare, Opón, Lebrija y Cesar.

Entre ellos el Río Cauca es el más importante. Nace como el Magdalena mismo, en el Macizo Colombiano, tiene una longitud de 1.350 kms y desemboca en el Río Magdalena (Brazo de Loba) cerca del Municipio de Pinillos, aproximadamente 315 kms aguas arriba de Bocas de Ceniza, respectivamente 200 kms al sur de Calamar.

Generalmente se distinguen tres secciones del Río Magdalena: desde la fuente hasta Neiva (221 kms), desde Neiva hasta Honda (370 kms) y desde Honda hasta la desembocadura (947 kms).

Desde Neiva hasta 10 kms arriba de Purificación, la pendiente del Magdalena es de 2,6 a 0,3 %. Entre Girardot y Honda, el río es caracterizado por numerosos raudales, siendo el llamado "Salto de Honda", con una pendiente de 5 %, el obstáculo más grande para la navegación. Agua abajo de Honda, hasta la boca del Río Carare, la pendiente varía entre 1,5 y 0,32 %. Desde aquí hasta Bocas de Ceniza, la pendiente es muy reducida, variando entre 0,39 y 0,04 %.

Agua abajo de Puerto Wilches, el Magdalena se ramifica en muchos brazos, formando así islas de diferente extensión. La más grande, con 2.600 kms², es la Isla Margarita, rodeada por los brazos de Loba y Mompós.

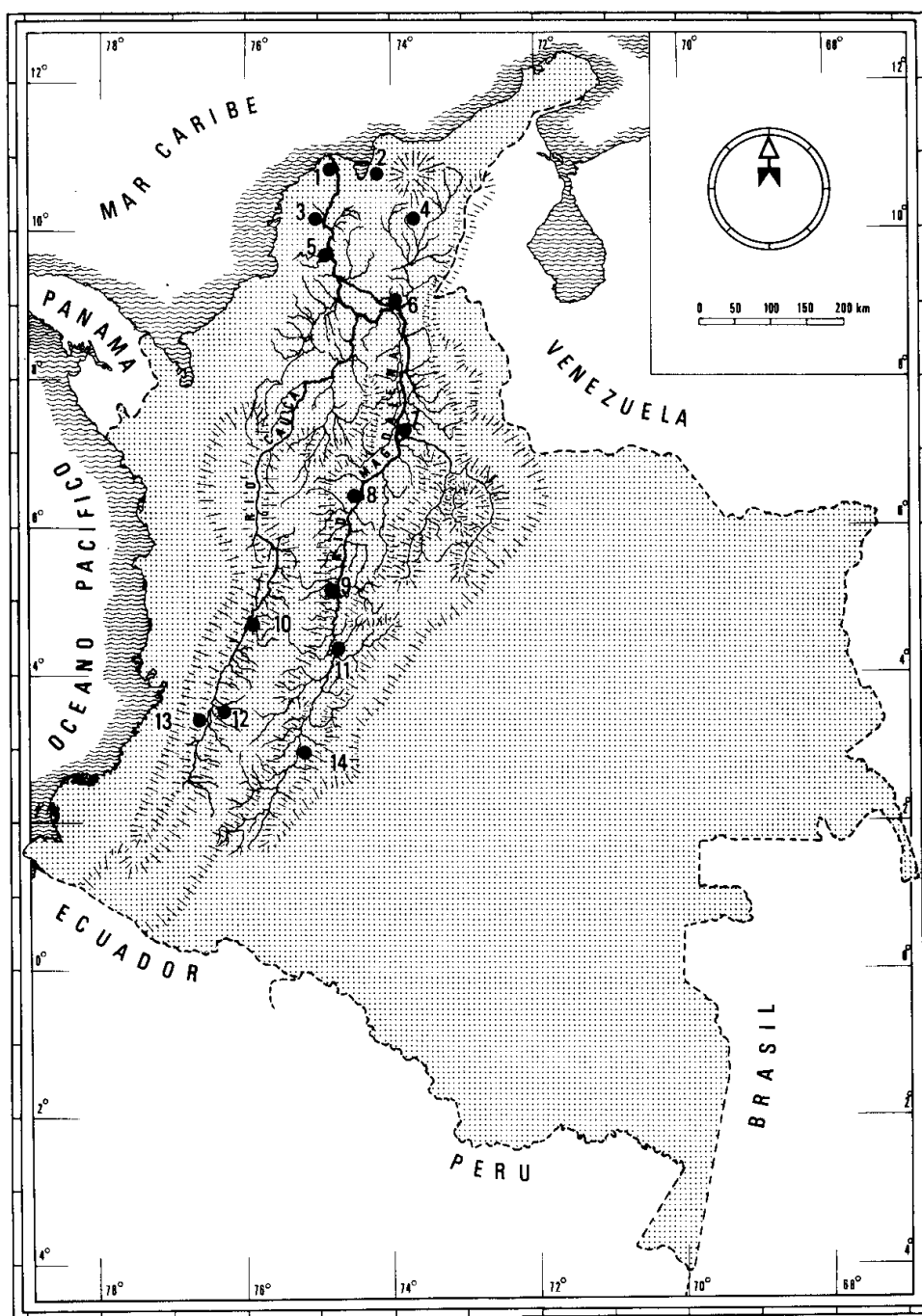


Fig. 1. Mapa del Río Magdalena, indicando sus afluentes y las ciudades mencionadas en el texto.

1 Barranquilla, 2 Sevilla, 3 Calamar, 4 Caracolí, 5 Zambrano, 6 El Banco, 7 Puerto Wilches, 8 Puerto Berrío, 9 Honda, 10 Cartago, 11 Girardot, 12 Palmira, 13 Cali, 14 Neiva.

El curso inferior se destaca por un gran número de ciénagas, permanentemente o solo durante aguas altas comunicadas con el Magdalena. El área total de estas ciénagas se estima en por lo menos 2.200 kms², siendo la Ciénaga de Zapatoza la más grande (aprox. 310 kms²). Como represas naturales, las ciénagas tienen gran influencia en el régimen fluviométrico del Magdalena: durante crecidas reciben considerables cantidades de agua del río, emitandolas paulatinamente hacia el Magdalena, cuando su nivel se ha reducido nuevamente y equilibrando así las oscilaciones de los niveles en el Bajo Magdalena (tabla 2).

Tabla 2. Relación entre aguas más bajas (AMB), aguas medias (AM) y aguas más altas (AMA) en el Río Magdalena (tomado de ANONIMO 1971 a).

Localidad	AMB	AM	AMA
Girardot	1	6,5	21,8
Puerto Berrío	1	5,0	10,8
El Banco	1	2,4	3,6
Zambrano	1	2,4	3,4

Entre Enero 1922 y Mayo 1924, la comisión BERGER hizo varios aforos, de los cuales, en conjunto con observaciones fluviométricas ocasionales, se calculó el caudal del Magdalena (tabla 3). Se debe considerar que los datos para las aguas más bajas corresponden al mes de Febrero de 1924, cuando el nivel de agua fue extremadamente bajo, situación que se observa solo raras veces y durante pocas semanas. En base de los valores para Zambrano se puede formarse una idea del caudal en Calamar, ya que ambos sitios distan uno del otro solo 77 kms.

Tabla 3. Caudal del Río Magdalena, en ms³/seg (tomado de ANONIMO 1971 a).

Localidad	Aguas			
	más bajas	bajas	medias	más altas
Neiva	100	150	600	—
Girardot	230	350	1.500	5.000
La Dorada	300	600	2.000	—
Puerto Berrío	600	950	3.000	6.500
Abajo Boca Río Carare	1.000	1.300	3.500	—
Bodega Central	1.200	1.600	3.750	—
Arriba El Banco	2.000	2.400	4.800	7.200
Zambrano	3.400	4.000	8.000	11.500

Resultados

De los datos fluviométricos, registrados en Calamar y disponibles para 26 años (1941—1960 y 1965—1970) resulta un promedio del nivel de agua de 4,89 ms. Durante este lapso se observó el nivel más bajo de 0,90 ms en Febrero de 1959 y el nivel más alto de 8,44 ms en Diciembre de 1970 (tabla 4).

Tabla 4. Promedios mensuales y anuales de los niveles en el Bajo Magdalena (en ms)

Año	Promedio mensual												Promedio anual
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1941	2,67	1,66	1,06	1,87	2,59	2,60	2,60	2,59	2,69	2,88	2,98	2,93	2,43
1942	1,34	1,16	1,63	2,67	5,17	5,97	4,96	5,32	5,37	5,81	7,32	7,89	4,55
1943	6,73	4,84	4,24	4,82	5,97	6,37	5,51	4,56	4,49	5,07	6,69	6,03	5,44
1944	3,81	2,82	2,38	3,19	4,98	6,31	6,64	5,41	5,77	6,45	7,70	7,50	5,25
1945	4,40	2,34	1,89	3,12	4,94	6,08	5,42	5,15	5,30	5,79	6,61	6,57	4,80
1946	5,10	2,51	2,61	3,66	4,82	5,19	3,65	3,90	3,84	4,38	5,58	6,00	4,27
1947	3,92	2,26	1,72	2,34	3,74	5,22	5,59	5,82	5,34	6,13	6,98	5,43	4,54
1948	2,60	1,38	1,50	3,06	4,09	5,20	4,35	3,80	3,36	4,99	6,22	5,90	3,83
1949	3,03	1,92	2,16	2,49	4,06	4,64	5,55	5,14	5,74	6,36	7,33	7,56	4,67
1950	4,50	3,90	4,78	4,47	5,43	6,92	7,92	7,54	7,64	6,77	7,39	7,93	6,27
1951	6,88	5,00	4,00	4,40	4,82	5,40	5,70	5,44	5,76	5,88	6,58	7,06	5,58
1952	4,85	2,61	2,16	2,87	5,16	5,49	5,61	5,53	5,13	5,65	6,07	6,62	4,81
1953	5,20	3,54	2,28	3,56	4,92	5,90	5,49	4,08	4,12	5,58	6,30	7,05	4,84
1954	4,98	2,78	2,52	3,22	4,92	5,67	6,74	7,16	6,43	6,59	7,72	7,94	5,56
1955	6,85	3,67	3,32	4,74	5,93	6,59	6,99	7,06	7,01	7,29	8,06	8,10	6,27
1956	7,34	5,84	5,15	4,79	5,26	6,61	6,85	5,90	6,02	6,79	8,00	7,78	6,36
1957	5,82	3,06	2,76	3,12	4,16	5,65	4,71	3,96	3,80	4,63	5,21	4,73	4,30
1958	2,61	1,89	1,62	2,41	4,08	4,75	3,47	4,15	3,71	4,19	5,23	4,13	3,52
1959	2,43	1,46	1,31	2,02	4,30	4,78	5,06	4,52	4,60	5,13	6,39	6,17	4,01
1960	4,94	3,54	2,67	3,39	5,04	5,63	5,64	5,20	5,60	5,46	6,53	7,12	5,06
1965	4,18	2,30	1,97	2,83	4,33	4,70	3,59	3,81	4,36	5,22	6,29	6,87	4,20
1966	5,63	2,99	2,18	2,53	3,89	5,37	6,12	5,88	5,92	6,09	6,71	7,33	5,05
1967	6,91	4,50	3,40	3,42	4,88	5,83	6,11	5,41	5,12	5,17	6,07	5,87	5,22
1968	3,47	2,62	2,50	3,45	4,68	5,59	6,09	5,86	6,04	6,52	7,16	7,19	5,10
1969	4,63	2,97	2,59	3,72	5,52	6,07	—	4,85	5,34	6,43	7,62	7,93	5,24
1970	6,41	4,24	3,33	3,66	5,20	6,32	6,19	6,39	6,97	7,58	8,21	8,30	6,07
Pro-													
medio	4,65	2,99	2,61	3,30	4,73	5,57	5,46	5,17	5,21	5,72	6,65	6,69	4,89

La fig. 2 muestra el transcurso anual del caudal del Río Magdalena, con base en los promedios mensuales. Se observan dos crecidas claramente separadas: una menor durante Junio/Julio y otra mayor en Noviembre/Diciembre. A lo largo del lapso observado, los promedios para los meses de Noviembre y Diciembre son casi idénticos (6,65 y 6,69 ms respectivamente).

Normalmente se registran los promedios mensuales más bajos en Marzo; solo en 5 de los 26 años de observación este mínimo anual se encontró en el mes de Febrero. El otro mínimo relativo de Agosto/Septiembre, entre los dos máximos ya mencionados, es considerablemente menos marcado que el de la sequía de Marzo: para los 26 años de registro el promedio mensual de Agosto tiene casi el doble del valor de Marzo.

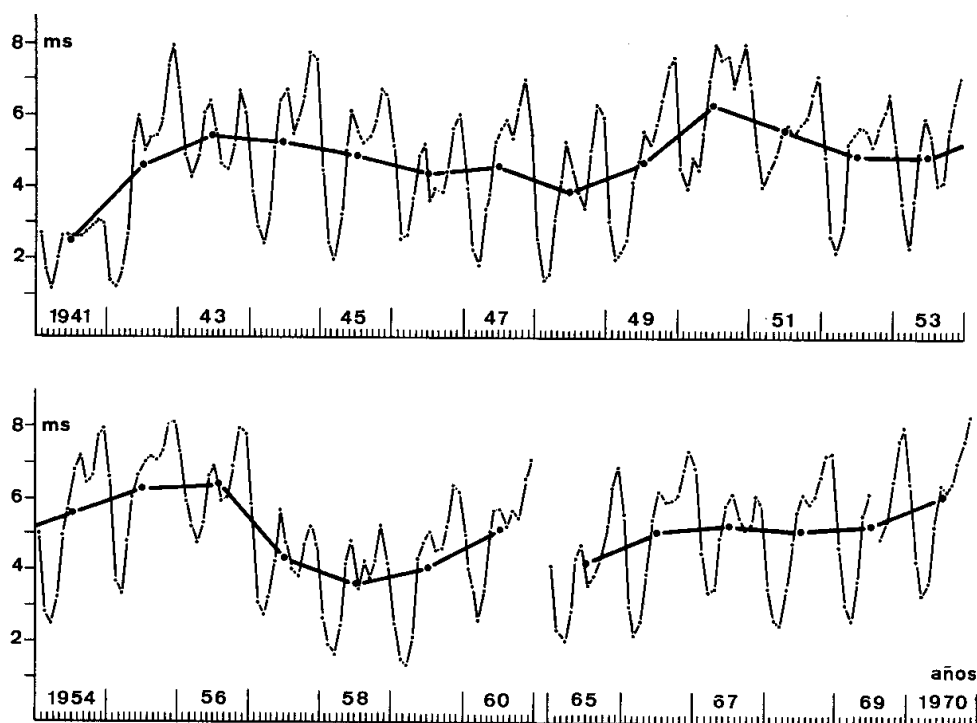


Fig. 2. Niveles del Río Magdalena en Calamar, desde 1941 hasta 1970. Línea gruesa: promedios anuales; línea delgada: promedios mensuales.

Este ritmo anual en los niveles del Río Magdalena depende, sin ninguna duda, de la distribución anual de las precipitaciones en su hoya hidrográfica (fig. 3 y 4). Esta última por su parte es determinada por el cambio anual del cinturón de las calmas ecuatoriales sobre el territorio colombiano. Aunque este ritmo es modificado por la topografía regional, se habla generalmente de una época de lluvia en Mayo/Junio y otra más fuerte en Octubre/Noviembre (GUHL 1967). A la estación de lluvias a finales del año sigue una sequía desde Diciembre hasta Marzo. En grandes partes del país, se intercala entre las dos épocas de lluvia una temporada de precipitaciones más o menos reducidas, conocida comúnmente como "Veranillo de San Juan".

Como muestra la fig. 4, este esquema generalizado hay que relativizar para algunas estaciones de la región del Valle del Cauca. Condiciones similares con respecto a la distribución anual de las precipitaciones se observan también en otras partes del país, incluyendo ciertas regiones en el valle del Río Magdalena entre Cordillera Oriental y Central (ANÓNIMO 1969). En las estaciones de Cartago, La Cumbre, Calipuerto y Potrerito, las precipitaciones en el mes de Abril son mayores a las de Octubre. Además, con la excepción de Cartago, posiblemente por su situación ya un poco más septentrional, en el "veranillo" (Julio/Agosto)

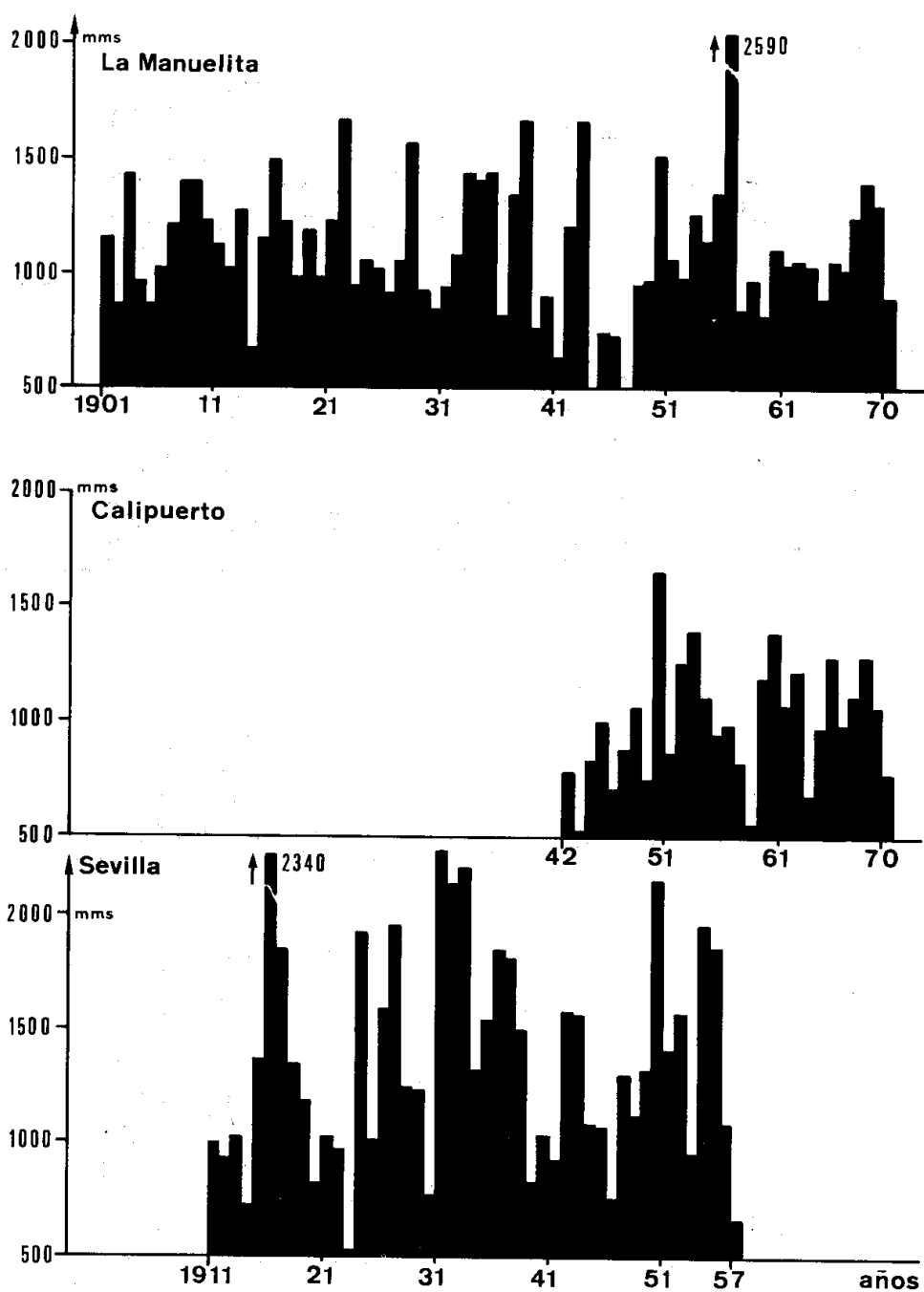


Fig. 3. Cantidades anuales de lluvias en La Manuelita, Calipuerto y Sevilla.

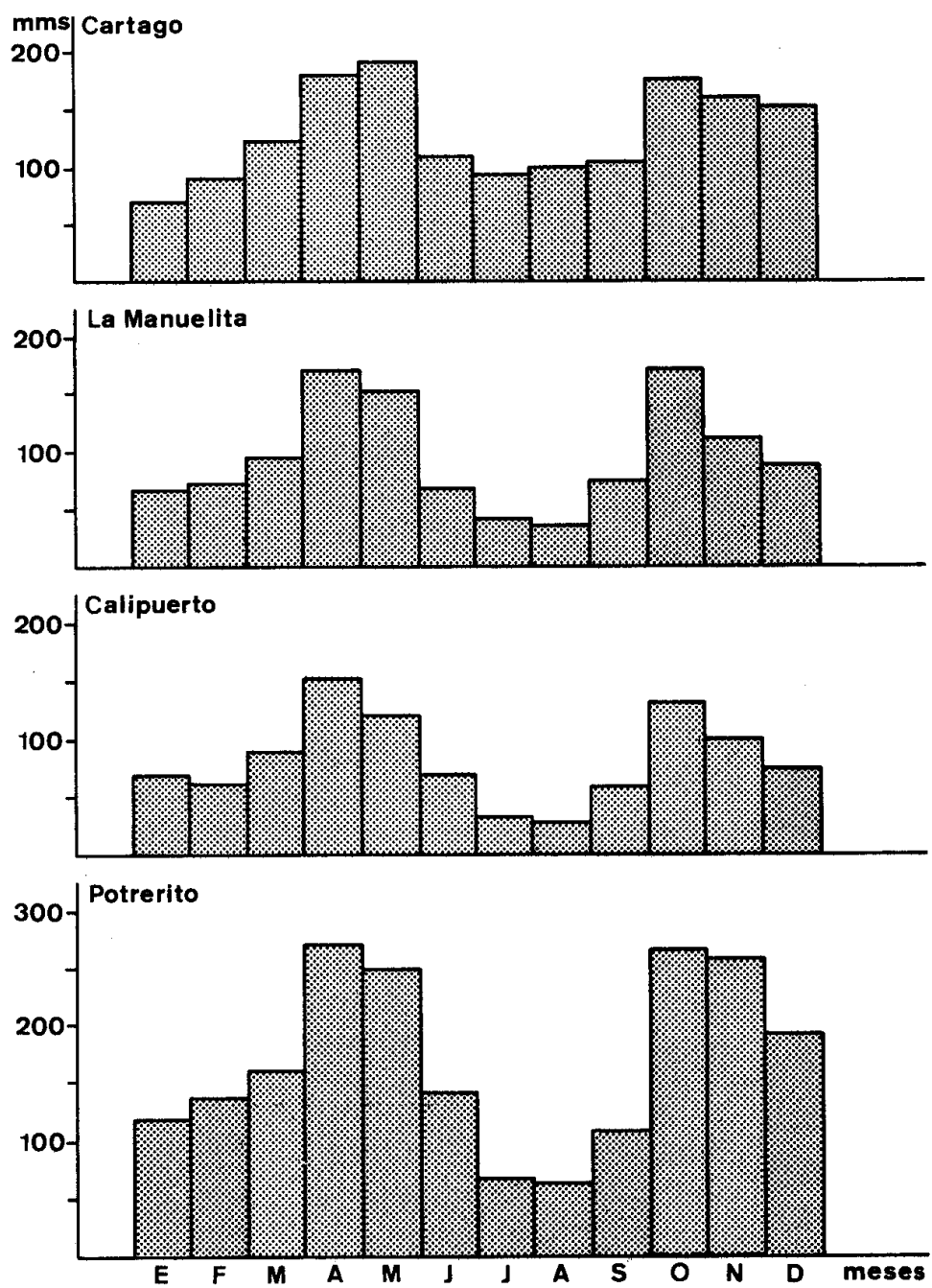


Fig. 4. Promedios mensuales de las precipitaciones en Cartago (18 años), La Manuelita (25 años), Calipuerto (29 años) y Potrerito (25 años).

cayen menos precipitaciones que en el primer mes (Enero) de la sequía a comienzos del año. En todas las estaciones resultó el mes de Octubre más lluvioso que el Noviembre y en Diciembre las precipitaciones ya descienden considerablemente.

En la Sierra Nevada de Santa Marta y sus regiones adyacentes, el máximo de lluvias en Octubre es mucho más alto que el de la época de lluvia en la primera parte del año (fig. 5). Esta última no se observa, como en el Valle del Cauca, en el mes de Abril sino en Mayo, ya que aquí el cinturón de las calmas ecuatoriales, relacionado con la posición cenital del sol, en su desplazamiento de sur a norte pasa más tarde que en el sur de Colombia. Al otro lado, la sequía de los primeros meses del año es bien marcada y el "veranillo" no expresado tan claramente como se lo observa en el Valle del Cauca, ya que en el norte de Colombia las calmas ecuatoriales, en su cambio de norte a sur pasan más temprano que en regiones meridionales, causando un incremento de lluvias ya en el mes de Agosto.

Debido a la distancia entre el fluviómetro de Calamar en el norte y las estaciones meteorológicas en el sur de Colombia, se observa cierto aplazamiento entre máximos de lluvias y máximos fluviométricos: mientras en el Valle del Cauca las precipitaciones alcanzan un máximo relativo en Abril, los niveles en Calamar tienen una cumbre en Junio, es decir dos meses más tarde. A finales del año este aplazamiento parece menos marcado, debido al hecho que los niveles de Noviembre y Diciembre son casi idénticos, aunque también los máximos de lluvias y niveles son separados por dos meses.

Como ya se indicó en una publicación preliminar (KAUFMANN & REICHEL 1967), existe en los niveles del Río Magdalena, fuera del ritmo anual bien conocido, un ciclo sobre lapsos mayores ~~de~~ solo un año (fig. 2). Basandose en los promedios anuales, resulta para los años 1941, 1948, 1952, 1958 y 1965 un caudal muy reducido, mientras los promedios anuales para 1943, 1950, 1956 y 1970 eran muy altos. Por desgracia nos faltan datos para los años 1961 hasta 1964, pero según los registros del máximo diario de 1963 (6,90 ms) y 1964 (7,36 ms), de acuerdo con informaciones obtenidas de los habitantes y recuerdos personales de uno de los autores (K) a inundaciones en ese tiempo, el promedio anual seguramente alcanzó en estos años un valor extremo.

Resulta que en el caudal del Río Magdalena se observan cada 6 a 7 años promedios anuales máximos y cada 6 a 7 años promedios anuales mínimos. El año 1952 queda un poco fuera de este ciclo, posiblemente debido a factores locales, los cuales son difíciles de evaluar.

Como mostramos en el capítulo siguiente, se pudo relacionar con los cambios cíclicos en los niveles del Río Magdalena ciclos plurianuales en las precipitaciones en su hoya hidrográfica. Sin embargo hay que decir restrictivamente que la hoya hidrográfica es bastante extensa y las

precipitaciones en todo este área deberían variar mucho según las condiciones topográficas. Además por desgracia solo disponemos de pocas estaciones con lecturas sobre plazos suficientemente largos y estas estaciones se encuentran en una sola región (Valle del Cauca) de la cuenca hidrográfica. Pero a pesar de esta restricción necesaria no hay que tener dudas que en los niveles observados en Calamar se reflejan las precipitaciones de toda la hoya hidrográfica. Fuera de eso se debe tener en cuenta la demora con que se registran las precipitaciones, especialmente las de la cuenca superior del Magdalena, en un fluviómetro localizado en el cauce bien inferior del río. Este factor temporal se debe considerar aún más, ya que el máximo de lluvias cae a finales del año. Así lluvias fuertes o reducidas en un año pueden causar niveles de promedios altos o bajos en el año siguiente. De esta manera se puede explicar también el relativamente alto promedio mensual de Enero, mientras este mes, con respecto a las precipitaciones, ya es bien seco.

Análisis estadístico

Tanto las variaciones periódicas en los niveles del Río Magdalena observadas para el lapso de 1941 a 1970, como también una posible correlación entre estos niveles y las precipitaciones registradas en la estación de La Manuelita, se analizaron con apropiados métodos estadísticos.

Para asegurar la existencia de máximos y mínimos significantes en los cambios de los niveles fluviométricos, hemos comparado los respectivos valores extremos vecinos con el t-test según STUDENT. Los resultados se resumen en tabla 5. En base a un límite de significancia de 95 % ($P_0 = 0,05$), se pueden calcular las diferencias para todos los casos revisados. En algunos casos se pudo asegurar las diferencias aún en el buen nivel de 99,9 %. En la sola excepción para los años 1963/65 no se pudo asegurar una diferencia significativa, pero no dudamos que esto es causado por la falta de datos para el año 1963 y la dificultad de estimar el promedio anual solo en base de un valor diario máximo y mínimo respectivamente (ver las cifras en letra bastardilla de la tabla).

Sea mencionado que el coeficiente de variabilidad de los niveles fluviométricos es en años con un caudal alto generalmente menos que en años con un caudal reducido.

Además hemos tratado de determinar, con métodos aritméticos, los parámetros de la periodicidad en los niveles fluviométricos. En principio se trata de una oscilación sinuosa, con los parámetros aproximativos de $a = 2,40$ ms (amplitud) y $b = 6,8$ años (frecuencia). Sin embargo, esta oscilación está superpuesta aditivamente por lo menos de otra oscilación, la cual es caracterizada por una amplitud menor y una frecuencia

Tabla 5. Niveles del Río Magdalena (cálculo estadístico).

Año	$\bar{x}$	s	coeficiente de variabi- lidad en %	t*	t	probabilidad	significancia
1941	2,43	± 0,59	± 24,3	9,76		99,9 %	$P_0 < 0,001$
1943	5,44	± 0,89	± 16,4				
1943	5,44	± 0,89	± 16,4	3,02	2,88	99,0 %	$0,001 < P_0 < 0,01$
1948	3,83	± 1,62	± 42,3				
1948	3,83	± 1,62	± 42,3	3,79		99,0 %	$0,001 < P_0 < 0,01$
1950	6,27	± 1,53	± 24,4				
1950	6,27	± 1,53	± 24,4	2,40		95,0 %	$0,01 < P_0 < 0,05$
1952	4,81	± 1,45	± 30,2				
1952	4,81	± 1,45	± 30,2	3,01		99,0 %	$0,001 < P_0 < 0,01$
1956	6,36	± 1,04	± 16,4				
1956	6,36	± 1,04	± 16,4	6,38	3,8	99,9 %	$P_0 < 0,001$
1958	3,52	± 1,14	± 32,4				
1958	3,52	± 1,14	± 32,4	2,76		95,0 %	$0,01 < P_0 < 0,05$
1963	4,90	± 1,30	± 26,5				
1963	4,90	± 1,30	± 26,5	1,24		—	—
1965	4,20	± 1,47	± 35,0				
1965	4,20	± 1,47	± 35,0	2,92	2,83	99,0 %	$0,001 < P_0 < 0,01$
1970	6,07	± 1,66	± 27,4				

Explicaciones:

$\bar{x}$ = media aritmética de los niveles en metros

s = variación estandard en metros

t* = valor t calculado

t_α = valor de tabla de la distribución de t para el nivel de significancia indicado (20 grados de libertad)

considerable mayor. La curva se puede expresar algebraicamente por una función de la forma

$$y = a \sin (bx + c) + a_1 \sin (b_1x + d),$$

siendo a mayor que a₁; c y d serían constantes que determinan la posición de las fases. Sobre los parámetros de la segunda parte de esta función (a₁ y b₁) no se puede hacer ninguna indicación, ya que para este fin se necesitarían observaciones fluviométricas sobre un lapso por lo menos diez veces más largo.

Para la relación entre las precipitaciones, observadas en La Manueleta, y los niveles fluviométricos de Calamar se pudo calcular un coeficiente de correlación de r* = + 0,66. Con esto queda probado una relación estocástica entre las dos variables, la cual es expresada gráficamente en fig. 6. Además se indicó en la gráfica la recta de regresión

$$y = 3,15 + 0,0015 x.$$

Las precipitaciones en La Cumbre y Potrerito se pudieron correlacionar con los niveles registrados en Calamar con $r^* = 0,41$ y $r^* = 0,39$ respectivamente. Para Calipuerto resultó un coeficiente de correlación insignificante de $r^* = 0,18$, valor que no podemos explicar concretamente.

Importancia del Río Magdalena para la Ciénaga Grande

No hay que tener dudas en la comunicación entre Magdalena y la Ciénaga Grande, por lo menos durante altos niveles del río (WIEDEMANN 1973). Por desgracia se iniciaron observaciones fluviométricas en la misma Ciénaga tan tarde como 1971, de manera que no se pueden hacer comparaciones directas. Otro factor agravante, con miras a la influencia que tienen los diferentes tributarios en el régimen de salinidad en la Ciénaga Grande, es el hecho de que existen fluviómetros en los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta solo desde 1969. También los datos sobre precipitaciones en esta zona son todavía insuficientes.

Sin embargo muestran los registros, disponibles para más o menos 12 años, que en la Sierra Nevada y áreas adyacentes el máximo de lluvias cae en el mes de Octubre y no en Noviembre/Diciembre, como SQUIRES & RIVEROS (1971) indican. En Diciembre las precipitaciones ya se disminuyen considerablemente, es decir más o menos a la cantidad del relativo seco mes de Marzo (fig. 5). La distribución de las lluvias a lo largo del año se refleja en el ritmo de crecidas y bajas de los ríos que desaguan el vertiente occidental de la Sierra Nevada. El caudal de los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación no "va aumentando gradualmente de junio a diciembre" (SQUIRES & RIVEROS 1971), sino muestra después de un máximo relativo en Mayo/Junio un bajo notable en Julio.

Los registros de 1969 a 1971 indican que los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación tenían niveles máximos ya en Octubre/Noviembre 1969 y no en Diciembre 69/Enero 70, ni a finales del año 1970, igualmente como las precipitaciones de esta región alcanzaron valores máximos en aquel tiempo. Tal correlación inmediata se pudo esperar, ya que se trata de cauces relativamente cortos y las precipitaciones en la hoya hidrográfica se marcan sin aplazamiento en los fluviómetros, situados a poca distancia.

En consecuencia de las precipitaciones y caudales de los ríos extremamente altos, en Octubre/Noviembre 1969 la salinidad en grandes partes de la Ciénaga Grande se redujo a un valor desfavorable para la existencia de la ostra. Sin embargo, ostras vivas se encontraron en el área estuárica de la Ciénaga hasta Noviembre de 1970. De allí desaparecieron con la crecida extrema a finales de 1970 (WIEDEMANN 1973).

Como ya se ha dicho, en este tiempo los ríos de la Sierra Nevada habían pasado su culminación de Octubre/Noviembre de 1969. Queda como única explicación para la crecida catastrófica a finales de 1970

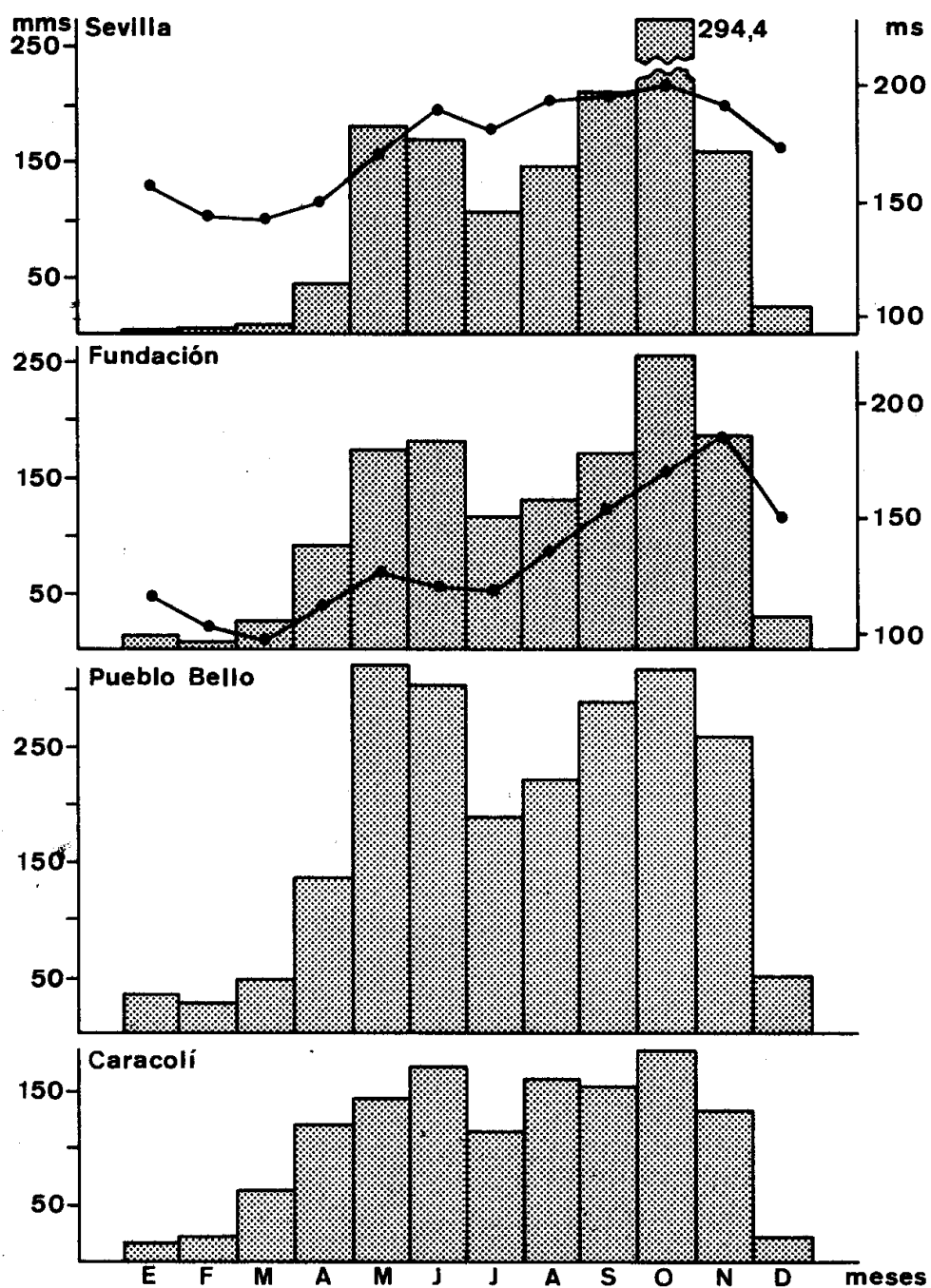


Fig. 5. Promedios mensuales de las precipitaciones en Sevilla (47 años), Fundación (12 años), Pueblo Bello (6 años) y Caracolí (12 años). Las curvas indican los promedios mensuales fluviométricos (en metros) para los años 1969—1971 de los ríos Sevilla y Fundación respectivamente.

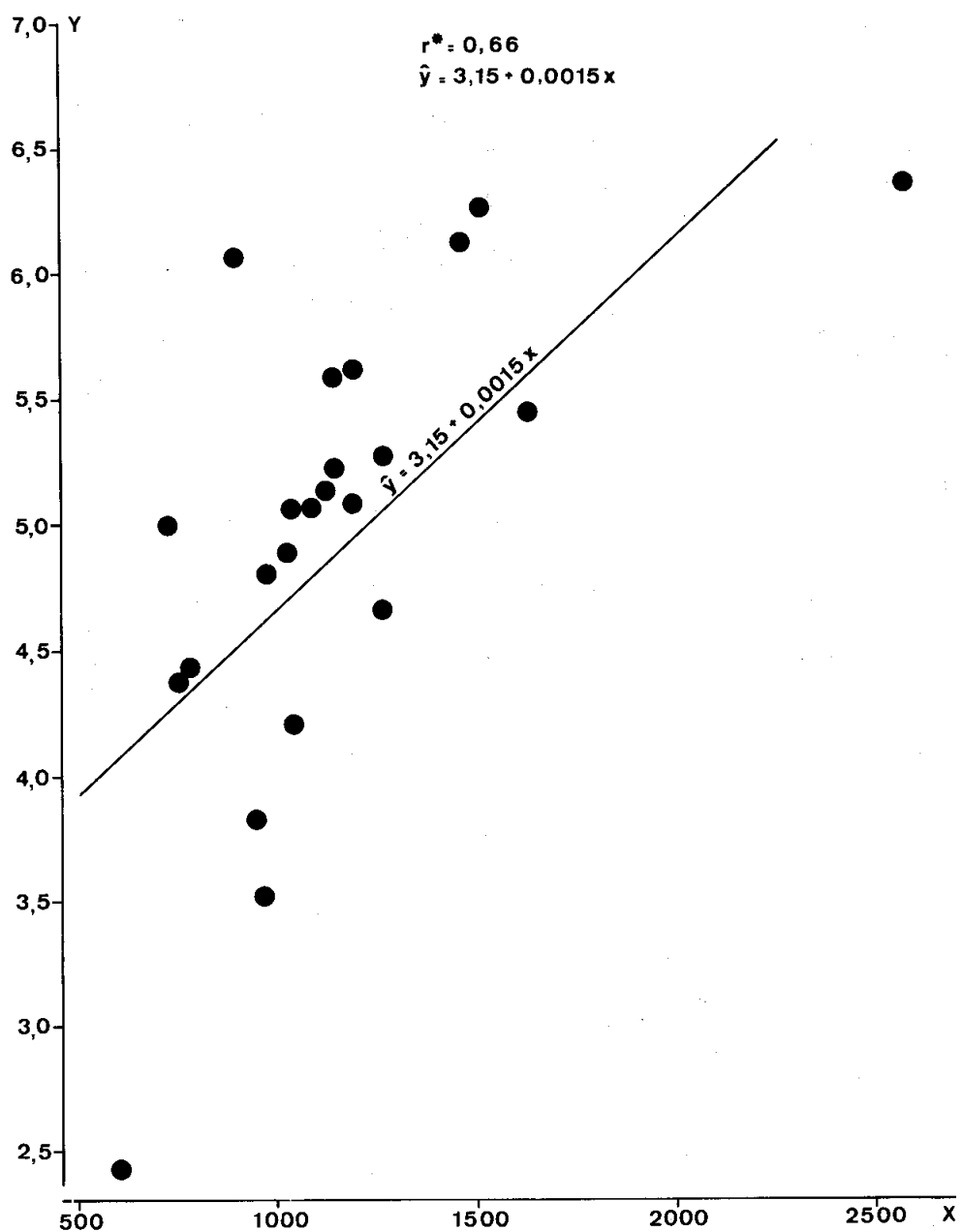


Fig. 6. Correlación entre los promedios anuales de los niveles en Calamar y las precipitaciones anuales en La Manuelita desde 1941 hasta 1970. Abscisa: precipitaciones en milímetros; ordenada: niveles promedios en metros. La línea muestra la recta de regresión.

que debería existir otra afluencia de agua dulce, la cual con seguridad provino del Río Magdalena. Este río tenía también en 1969 niveles muy altos, quedandose alto en Enero 1970 y los meses siguientes y alcanzando en Noviembre/Diciembre 1970 su hasta ahora máximo absoluto.

Se puede concluir que por cierto los ríos de la Sierra Nevada influyen en el régimen de salinidad en la Ciénaga Grande, pero también el Río Magdalena juega un papel importante. Hubiera que revisar nuestra hipótesis que el caudal de los ríos que entran por la ribera oriental y meridional a la Ciénaga Grande, no alcanza causar crecidas catastróficas, sino que estas últimas dependen más bien del Río Magdalena. Cambios rítmicos a largo plazo en las precipitaciones son posiblemente un fenómeno general en Colombia. De esta manera, cuando los ríos de la Sierra Nevada aportan mucho agua a la Ciénaga Grande, también el Magdalena llega, aunque con cierto aplazamiento, a niveles extremadamente altos. Así se suman las masas de agua de todos los tributarios, causando catástrofes como la del año 1970.

Como se pudo mostrar un ciclo plurianual con una frecuencia de 6 a 7 años para las crecidas del Río Magdalena, estas inundaciones catastróficas de la Ciénaga Grande y en consecuencia la cíclica desaparición de la ostra, se pueden esperar en el mismo ritmo.

Bibliografía

- ANONIMO: Atlas de Colombia, 2. edición, I—XXVII, 1—216. — Edit.: Instituto Geográfico "Agustin Codazzi", Bogotá 1969.
- Memoria detallada de los estudios del Río Magdalena, obras proyectadas para su arreglo y resumen del presupuesto; Bogotá 1924, Julius Berger Konsortium (Julius Berger Tiefbau AG Briske u. Prohl.) — Edit.: Servicio Colomb. Meteorol. Hidrol., 1—520, Bogotá 1971 a.
- Diccionario Geográfico de Colombia. — Edit.: Instituto Geográfico "Agustin Codazzi", 1, 1—714, 2, 721—1447, Editorial Andes, Bogotá 1971 b.
- GUHL, E.: Colombia, bosquejo de su geografía tropical. — 1—173, Univ. Nal. Colombia, Bogotá 1967.
- KAUFMANN, R. & REICHEL, W.: Langjährige Pegelaufzeichnungen im Río Magdalena (Kolumbien). — Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 1, 39—43, Santa Marta 1967.
- SQUIRES, H. J. & RIVEROS, G.: Algunos aspectos de la biología del ostion (*Crassostrea rhizophorae*) y su producción potencial en la Ciénaga Grande de Santa Marta. — Estudios e Investigaciones, 6, 1—61, Bogotá 1971.
- WIEDEMANN, H. U.: Physical parameters and history of formation of the Gran Lagoon (Ciénaga Grande de Santa Marta), Colombia. — Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 7, 85—119, Santa Marta 1973.

Dirección de los autores:

Dr. REINHARD KAUFMANN, D-6300 Gießen, Nonnenweg 3, Alemania;
Dr. FRANK HEVERT, D-6300 Gießen, 1. Zoologisches Institut, Stephanstr. 24, Alemania.

