El déficit de agua en los suelos

Carlos M. Villarreal
Gerardo Leis

Introducción

En nuestro país, al igual que en otros países de Centroamérica, pocos son los estudios que se han realizado respecto al déficit hídrico del suelo; es por esta razón que nuestro trabajo es un pequeño aporte al conocimiento de este parámetro que tanto afecta la producción agropecuaria y forestal de Panamá.

Metodología

Para tener un conocimiento más claro del comportamiento de este parámetro y su incidencia, que puede ser crítica o menos crítica en las diferentes regiones (la cual va a depender de las condiciones climáticas y de los recursos hídricos existentes en cada zona), se procedió a calcular los balances hídricos del suelo para todo el país utilizando una información de 10 años de registros (1971-1980).

En el caso específico de la precipitación, la información utilizada para realizar este estudio provino del IRHE (Instituto de Recursos Hidraúlicos y Electrificación).

Algunas estaciones meteorológicas presentan una información de años recientes, mientras que otras tienen registros de 20 años o más; por esta razon se procedió a homogenizar una serie de 10 años utilizando el método de Piersen para hacer las correlaciones.

Balance Hídrico del Suelo:
Se considera el balance hídrico del suelo como el agua que llega a la superficie por medio de la precipitación (líquida) y la pérdida de ésta por la influencia de la evapotranspiración.

Se le considera un balance climático porque utiliza valores medios de precipitación y evapotranspiración potencial calculados en base a valores mensuales medios de temperatura y radiación incidente.

Por medio del tanteo de la precipitación con relación

Parámetros que influyen en la determinación del Déficit Hídrico del Suelo:

Para la evapotranspiración potencial mensual se utilizó la fórmula de Hargreaves, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$E.T.P. = 0.0075 \ RSI \times Tm°F$$

en donde

E.T.P. = Evapotranspiración potencial
RSI = Radiación solar Indicente
Tm° = Temperatura media en °F

Para agilizar el trabajo se confeccionó un programa de cómputo en lenguaje Basic.

Se procedió después a comprobar el resultado de esta fórmula instalando un intrumento (modelo de Thornthwaite) el cuál consiste en una estructura de cemento impermeable que al fondo cuenta con un pequeño drenaje, dentro un perfil de suelo idéntico al adyacente, en cuya parte superficial se le colocó una cobertura que puede ser de cualquier tipo de vegetal (leguminosa).

Este instrumento se encuentra ubicado en los terrenos adyacentes a las parcelas experimentales en el Lago Alajuela (Cuenca del Canal de Panamá), latitud 9° 12' 14"N y 79° 31' 15"W, con una altura sobre el nivel medio del mar de 40 m.

Precipitación:

Considerando que la precipitación es un parámetro muy variable en el tiempo, es muy importante conocer sus valores probables por medio de los análisis de los datos de lluvia que en realidad contribuyen al uso consuntivo. Se puede decir que la precipitación es el aporte más importante del agua al suelo al llegar a la superficie parte es interceptada por la vegetación (hojas, troncos de los árboles), parte se infiltra y es tomada por las raíces y el resto percola por debajo de éstas; la otra parte escurre por la superficie del suelo (escorrentía), y en la mayoría de los casos forman pequeñas y grandes grietas, cuando los terrenos se encuentran desnudos, conocido este fenómeno como erosión.

En las zonas donde las lluvias son abundantes encontramos suelos bajos en nutrientes y a la vez ácidos, mientras que en los lugares donde llueve poco los suelos son Petrocálcidos (suelos cálcicos, propio de los climas áridos).

Almacenamiento de agua en el Suelo:

Para conocer la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo, nos basamos en el uso de una serie de tablas de retención (Thorntwaite) con capacidad aproximada de agua y con diferentes combinaciones de suelo y vegetación. La capacidad de retención de agua y su disponibilidad para las plantas están sujetas al contenido hídrico, que incluye la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. El pri-

mero está relacionado con el tamaño de las partículas, que dependen fundamentalmente de la textura; el segundo se refiere al límite inferior de aprovechamiento de agua del suelo por las plantas.

La cantidad de agua que puedan retener las raíces depende de las características del suelo: cobertura, textura, estructura y pendiente. Asimismo, depende de la intensidad, frecuencia y duración de la lluvia. De esta manera observamos que los milímetros de agua retenida por el suelo varían grandemente de región a región, tomando en cuenta los factores arriba mencionados.

Excesos:

Los excesos de agua en el suelo ayudan grandemente en el aumento del caudal de los ríos, lagos y acuíferos subterráneos; de igual modo permite conocer las tierras agrícolas y forestales mal drenadas. Estos excesos por lo general están caracterizados en una época determinada que comienza a mediados de abril y finaliza en diciembre, notándose que existen pequeñas diferencias entre el inicio de las lluvias en el país, con respecto a las distintas regiones.

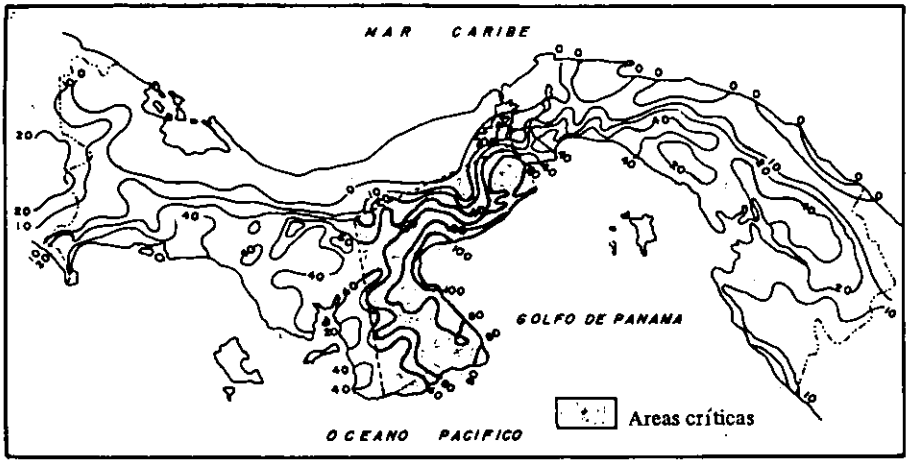
Cuando la humedad sobrepasa los milímetros de agua que se encuentran almacenados en el suelo (esta retención está sujeta al tipo de suelo y vegetación del lugar), el sobrante nos indica el momento de inicio, mayor incidencia y cuándo finalizan los excesos en el área de estudio. El conocimiento de este parámetro es muy importante para determinar el momento de siembra y los períodos críticos de cada cultivo.

Déficit:

Si utilizamos el estudio del balance hídrico del suelo y hacemos la diferencia entre la E.T.P. y la E.T.R. encontramos el déficit ocurrido para el mes en cuestión. Para el trazado de las curvas se tomaron los milímetros de deficiencia mensual de cada estación y, colocándolos sobre un mapa topográfico, se dibujaron las isolíneas para todo el país.

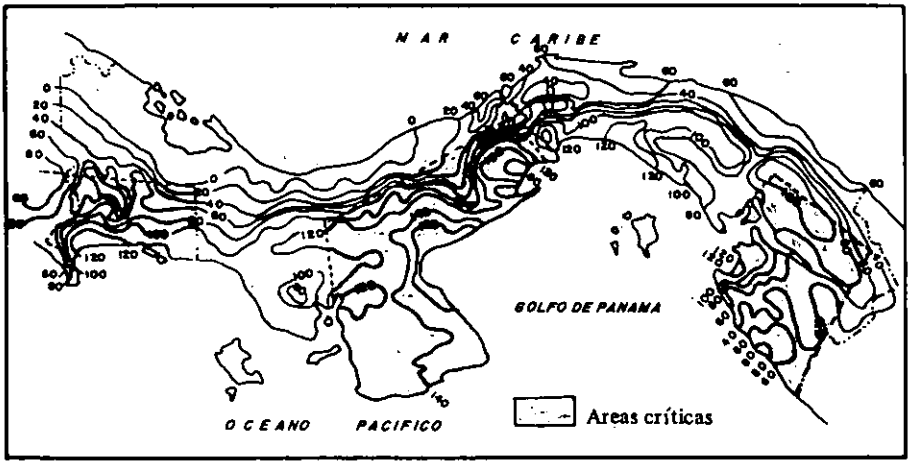
De acuerdo al cálculo del balance hídrico efectuado, los déficits de humedad en el suelo se inician en diciembre, época en que ha finalizado la lluvia, paulatinamente aumenta la deficiencia de agua ya que la radiación es más incidente, los vientos se van tornando más secos y las temperaturas se incrementan en las superficies de los suelos. En los lugares donde los suelos presentan un alto porcentaje de insuficiencia de agua, éstos muestran una coloración grisácea; además, son altamente alcalinos (PH superior a 7.5). Considerando la topografía del país en algunas regiones se registran mayores porcentajes de escasez de humedad en el suelo que en otras.

Es importante tener un conocimiento amplio sobre los beneficios que ofrecen los balances hídricos, ya que le permite al investigador buscar nuevas soluciones a los problemas de exceso y déficit de agua en el suelo, buscando variedades resistentes a



Fuente: MIDA / RENARE "Estudios del déficit de agua en el suelo de Panamá". 1982.

Fig. 1: Déficit hídrico del suelo: mes de enero.



Fuente: MIDA / RENARE, "Estudios del déficit de agua en el suelo de Panamá". 1982.

Fig. 2: Déficit hídrico del agua: mes de marzo.

la sequía o la humedad excesiva; en algunas ocasiones no se puede cambiar el medio y es más rentable hacer lo primero.

Al Oeste de la provincia de Chiriquí y Bocas del Toro encontramos curvas de 20 y 10 mm. respectivamente. Estas son semi-cerradas y su comportamiento es parecido.

En Bocas del Toro aparecen curvas de 0 mm. que se mueven hacia el Este recorriendo las diferentes provincias en su parte Norte. Este valor no es significativo para el estudio, ya que denota que áun existe un cierto porcentaje de humedad en el suelo disponible para las plantas.

En el mes de febrero hay un incremento muy notable tanto en el valor de la isolínea como en el número de ellas. La mayoría de estas curvas se originan al Sur de la provincia de Chiriquí próximas al poblado de Puerto Armuelles, encontrándose allí los máximos valores.

Las líneas se conducen de forma variable dando la impresión de cubrir toda la provincia, acentuando la deficiencia de humedad en aquellas regiones donde apareció por primera vez en forma de curvas cerradas cubriendo pequeñas áreas; éstas se han transformado en grandes configuraciones en forma de bolsones que se encuentran delimitadas por valores altos de deficiencia.

Mes de marzo: el origen de las curvas se ha concentrado al Sur de Puerto Armuelles alcanzando un valor absoluto de 120 y un mínimo en esa área de 60 mm. La primera sólo afecta el Sur de las fincas bananeras hasta el Sur de Alanje. Las otras varían un poco, acercándose entre ellas para luego alejarse con un comportamiento más suave hacia el Este. Las bolsas formadas en los meses anteriores en los pueblos de Dolega y Tolé, para este mes una de ellas desaparece (Tolé); ahora observamos una isolínea de 100 mm. que se desplaza al Norte y se dirige al Este. Anteriormente en Dolega había una configuración cerrada, ahora hay una gran bolsa que define esa zona con una deficiencia de 60 mm., la configuración cerrada se ha movido hacia Santa Marta cubriendo una gran extensión de terreno, apreciándose un déficit de 20 y 40 mm.

Al Norte de la provincia tenemos algunas curvas de 40, 20 y 0 mm.; éstas se originan al Oeste de la provincia de Bocas del Toro y se desplazan suavemente sobre la Cordillera Central rumbo al Este. A pesar de la altura y las condiciones climáticas del poblado de Río Sereno (frontera con Costa Rica) se presentó una zona con deficiencia de humedad en el suelo de 60 a 80 mm. Este mes está considerado como el que presenta los mayores déficits, altas temperaturas, radiaciones elevadas y una alta evapotranspiración.

El mes de abril, época en que se inician las lluvias, los suelos comienzan a reponer la humedad rápidamente; es así como en este mes la deficiencia disminuye paulatinamente.

Hacia el centro de la provincia se aprecia que el déficit no tiene valores significa-

tivos y que éstos poco a poco desaparecen a medida que la época lluviosa se acentúa.

Hemos visto que en la época seca la escasez de humedad en el suelo toma diferentes valores agudizándose en el mes de marzo. El trazo de las curvas es muy variable, en algunos momentos se acercan y en otros se alejan entre ellas, tanto es así, que por lo general cubren toda la provincia.

Provincias de Veraguas, Los Santos y Coclé

Se ha procedido a analizar conjuntamente la tres provincias ya que la conducta de las curvas es bastante similar en estas regiones.

En mes de enero en la provincia de Veraguas una curva de 40 mm. recorre casi toda la provincia; aisladamente en Guarumal al Sur de Soná se encuentra una configuración cerrada de 60 mm., al igual que en el poblado de San Juan (Norte de San Francisco); hacia el Sur de la provincia, en la costa del Golfo de Montijo se aprecian dos curvas semi-cerradas de 20 y 40 mm. Hacia el Norte se observan las curvas que cruzan la provincia, las cuáles van marcando una deficiencia muy baja, siendo su trazado bastante uniforme.

En la provincia de Los Santos, hacia el Sur se originan dos isolíneas de 40 y 60 mm. que corren hacia el Norte pasando por varios poblados: La Tronosa, Las Minas y en Chupampa una de ellas se separa y se aleja hacia Santiago de Veraguas; la otra se pierde hacia el Nor-Este de la provincia de Coclé.

Al Este de Los Santos observamos una serie de isolíneas con diferentes valores que van de 80 a 100 mm., unas se adentran al continente cubriendo una gran región, otras bordean la costa del Golfo de Parita dejando a las ciudades de Las Tablas, Chitré, Aguadulce, Penonomé, Natá y Antón entre un marco de deficiencia hídrica elevado; estas curvas finalizan su recorrido en la ciudad de San Carlos, provincia de Panamá.

En el mes de Febrero en la provincia de Veraguas al Sur de Soná una configuración cerrada cubre una gran extensión de terreno, incluyendo los poblados de Calidonia, Cativé, Zapotillo y el Rincón, mientras que en Guarumal la anterior curva cerrada se transformó en semi-abierta con un incremento de 100 mm. En San Juan una isolínea de 100 mm. que proviene del Sur de la provincia forma una bolsa, luego se aleja hacia el Este.

Aisladamente en el poblado de La Mesa y sus alrededores se determina una deficiencia muy considerada de 80 mm.

En la provincia de Los Santos y Coclé tenemos que las líneas se han concentrado determinando áreas con porcentajes de défcit muy elevados en el caso de Pedasí, 120 mm., Pocrí hasta Las Tablas, 110 mm., de Guararé hasta Chitré, 100 y 110 mm., su introducción al continente es de unos cuántos kilómetros. En Parita se aprecia la mayor deficiencia: 120 mm. Su trayectoria es muy variable dirigiéndose el poblado de Río Hato, donde finaliza.

20 mm. delimitada por una configuración cerrada, mientras que las áreas adyacentes presentan un incremento en el déficit.

Mes de febrero: en general los déficits han sufrido un incremento en todas las áreas, observando que en algunos lugares éstos se han acentuado grandemente. En las zonas mencionadas anteriormente y con un comportamiento parecido encontramos que la escasez de agua asciende a 110 y 120 mm. las configuraciones han tomado la forma de curvas semi-cerradas abarcando una extensión de terreno que va desde el poblado de San Carlos hasta Pacora. En la Serranía de Majé se incrementó el valor de la curva en 40 mm. que cubre una mayor área; asimismo los lugares adyacentes presentan una variabilidad en el recorrido de las isolíneas, demarcando los sitios con mayor o menor deficiencia.

En Colón, hacia la costa, una curva de 40 mm. se desplaza suavemente desde CocoSolo hasta Palmira.

Mes de marzo: este mes se caracteriza por presentar un alto porcentaje de deficiencia, determinando los lugares más críticos de ambas provincias; las regiones anteriormente mencionadas se convierten en esta época en un área donde se presentan los máximos absolutos de déficit, configuraciones de forma semi-cerrada que van desde los 160 hasta los 120 mm. en una zona bien definida, mientras que en la región de la Serranía de Majé la curva toma una forma semi-cerrada de 80 mm. y sus alrededores de 100 y 120 mm., incluyendo los terrenos cultivados con caña de azúcar.

En el mes de abril los valores de las curvas han disminuido, notándose que los lugares anteriormente críticos tienen ahora un comportamiento más moderado, como consecuencia del inicio de las lluvias; éstas rápidamente reponen la humedad en el suelo permitiendo el crecimiento natural de las plantas.

Provincia de Darién y Comarca de San Blas:

La manera de comportarse las líneas de déficit en estas regiones al inicio de la temporada seca es muy uniforme. Al Norte (Comarca de San Blas) los valores son muy bajos, ascienden hasta 10 mm. y al centro de la provincia se aprecia una curva de 40 mm.; ésta presenta una forma de bolsa que incluye el Río Chucunaque, sus afluentes y las tierras adyacentes. En Garachiné finalizan dos isolíneas de 20 y 40 mm. provenientes de la provincia de Panamá que hicieron su recorrido por la parte central de la región determinando una zona con poca deficiencia.

Mes de Febrero: en este mes la deficiencia de humedad ha variado grandemente, el valor de las isolíneas sufrió un incremento, como también un aumento en el número de ellas. En San Blas una sola línea de 40 mm. tiende a alejarse de la costa conduciéndose de una manera muy suave. Al centro de la región, en la zona del Río Chucunaque, una serie de configuraciones cerradas oblongas cubren una intensa área, disminuyendo sus valores del centro hacia afuera; en este sector es donde se

Cambios climáticos en los registros de lluvia en Panamá y Costa Rica*

Donald M. Windsor y A. Stanley Rand

Introducción

La frecuencia de intensas sequías a través del Norte de Africa (el "Sahel"), ha estimulado la búsqueda de los factores responsables de los cambios climáticos en el trópico. (Wade 1974 Walsh 1984) Los climatólogos han documentado varios casos de cambios en las lluvias de este siglo en las áreas tropicales (Flohn 1969, p. 201; Aldaz 1971; Kraus en Jackson 1977, p. 68). En este artículo describimos lo que aparenta ser dos bolsones en la parte baja de Centro América, donde las lluvias están cayendo y proponemos una hipótesis sencilla de por qué en unas áreas disminuyen y en otras no.

Las hipótesis que intentan explicar por qué en algunas estaciones tropicales decae la pluviosidad tienden a ubicarse, aparentemente, en dos amplias categorías. El criterio convencional, que une la presencia de los bosques con una abundancia de lluvias, data de cientos de años atrás. Por ejemplo: Cristóbal Colón creía que las lluvias en Jamaica y las Antillas eran producidas por la lujuriante vegetación de las islas (Thompson, 1980). Cálculos recientes de algunos científicos físicos sugieren que cambios en las condiciones locales, especialmente cambios en la vegetación, pueden desatar una serie de eventos que pueden reforzarse mutuamente y que, eventualmente, resultarían en menos lluvia y más degradación de las condiciones físicas y bióticas. Los hidrólogos como Lee (1980) ha encontrado pocas evidencias en los estudios de latitudes templadas, que demuestren que la deforestación producen una baja en la precipitación. Un segundo grupo de hipótesis, planteadas por meteorólogos y científicos atmosféricos, sugieren que los climas regionales cambian en respuesta a otros procesos atmosféricos, regionales o globales, que asi mismo cambian constantemente. Por ejemplo, el clima en el trópico, está determinado por la posición e intensidad de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), una faja de baja presión y nubes que rodea la tierra aproximadamente a la altura del Ecuador térmico. Los movimientos y fortaleza del ZCIT aparentan estar altamente correlacionados con la fuerza de una banda de vientos que circula a los polos y también el brío de las áreas de alta presión subtropicales en el Atlántico Norte y el Pacífico Occidental (Winstanley 1973a, 1973b, Nicholson 1981).

* Traducción: Francisca Prieto y Stanley Heckadon Moreno.

De las principales regiones del planeta, se ha pensado que las tierras en las latitudes tropicales tienen climas más sensitivos a los cambios en la cubierta vegetal (Henderson – Sellers 1981). Salati y Vose (1984) han concluído que la continua deforestación en la Cuenca Amazónica inevitablemente causará grandes trastornos en los ciclos hidrológicos. Se han documentado cambios en el patrón de lluvias y escorrentía en Sur América (Feininger 1968, Emmel 1974, Gentry y López – Parodi, 1980). Las lluvias en las áreas más deforestadas de Brasil en los años 1930-60, tuvieron un promedio bastante menor que en los 20 años previos. Por otra parte, las estaciones en las regiones densamente boscosas de la Amazonia registraron promedios iguales o mayores en décadas recientes (Aldaz 1971). Una explicación que se ha ofrecido para el hecho de que la isla caribeña de St. Kitts tenga mayor precipitación que la isla cercana de Dominica es que la primera tiene más bosques (Henderson – Sellers 1981). Estos ejemplos destacan la importancia de examinar las tendencias climáticas regionales, en especial las de neotropicales, donde desaparecen vastas extensiones de bosques húmedos tropicales a un promedio de aproximadamente 100,000 kilómetros por año (la variación de los estimados varía entre 50,000 y 250,000 km; Meyers 1979, Sagan et al 1979), Henderson– Sellers 1981, Walton 1980). Lugo y Brown (1982) critican el promedio de Meyers como elevado y de ignorar la velocidad de las tasas de regeneración de los bosques tropicales, una fueron bosques de tierras bajas.

En este artículo revisamos los registros de lluvias de Costa Rica y Panamá, dos países Centro Americanos, cuyos bosques están desapareciendo rápidamente y cuyos climas muestran señales de cambio. Las economías de ambos países dependen de la cantidad y lo oportuno de las lluvias dado su efecto sobre la agricultura y la generación de energía hidroeléctrica. En Panamá el volumen de las lluvias tiene un efecto más amplio aún, ya que la escorrentía se utiliza en grandes cantidades para el tránsito de los barcos por el Canal de Panamá.

Nuestra revisión de los registros de lluvia de Panamá y Costa Rica fue estimulada por la indicación inicial en un informe de Rand y Rand (1977), que la precipitación en el Centro Experimental del Smithsonian Institute en la Isla de Barro Colorado había disminuído significativamente desde que se iniciaron los registros. La Isla de Barro Colorado está situada a mitad del Lago Gatún que forma el principal cuerpo de agua dulce del Canal de Panamá. Para cada estación en Panamá que contaba por lo menos con 40 años de datos recogimos todos los registros disponibles de lluvia, por mes y año, hasta 1980. Generalmente, los registros de Costa Rica eran más cortos y los que tenían por lo menos 30 años de información se incluyeron hasta 1978.

Climatología de Centro América

Los aspectos fundamentales del clima de Centro América han sido descritos por

Portig (1965, 1976) y por Coen (1983). Debido a que en Centro América los regímenes de temperaturas son casi constantes, esto deja a las lluvias, su intensidad, distribución estacional y diferencias anuales como la principal variable climática. El invierno empieza en Panamá y Costa Rica a finales de abril o mayo a medida que el ZCIT se mueve hacia el norte sobre la región. Esta faja de baja presión, nubosidad y lluvia normalmente se mantiene hasta finales de noviembre o diciembre cuando se desplaza nuevamente sobre Sur América. Durante los 3 ó 4 meses siguientes se desarrolla una marcada temporada de verano caracterizada por vigorosos vientos alisios, poca lluvia o nubes y frecuentemente por la formación de una capa atmosférica de inversión.

El total anual de lluvias generalmente es más alto en las estaciones de la vertiente del Atlántico de la Cordillera Central, que corre a lo largo de muchas áreas de la región. La vertiente y tierras bajas del Pacífico reciben bastante menos lluvia que el Atlántico. En el área central de Panamá la cordillera alcanza una elevación de sólo 100 metros, sin embargo las lluvias alcanzan un promedio de 3 a 4 metros en los sitios a lo largo de la Costa Atlántica y disminuye linealmente hasta menos de 2 metros en la Costa del Pacífico (Rand y Rand 1982). Las tormentas de lluvias se mueven principalmente de Este a Oeste sobre el Panamá Central (M. Hart). La pluviosidad más elevada aparentemente ocurre cerca de Portobelo.

Las tendencias a largo plazo en Panamá

Para determinar los cambios anuales en las lluvias durante el período investigado hemos computado el "eje mayor reducido" ("reduced major axis"), (Sokal y Rohlf 1981, p. 594), como un indicador del declive de una línea de tendencia lineal a través de los totales anuales situados a lo largo del eje temporal. Se calculó el coeficiente de correlación Spearman Rank para probar el significado, aunque algunas estaciones meteorológicas fueron trasladas un poco durante su existencia, usualmente a menos de un km, no hay razón por la cual estos cambios alteren consistentemente los registros posteriores.

En Panamá 18 estaciones habían acumulado por lo menos 40 años de datos pluviométricos, y fueron incluídas en nuestros estudios. De estos sitios 15 manifestaron una tendencia decreciente en sus totales anuales de precipitación (cuadro1). Diez de estos sitios están dentro de los 3,375 km^2 de la cuenca del Lago Gatún, que ocupa la mayoría de los 71 km del Canal Interoceánico. De estas diez estaciones siete tienen una significativa correlación negativa entre las lluvias anuales y los años registrados. Los dos sitios dentro de la cuenca con registros que se extienden hasta 1980 y con el mayor descenso en la precipitación son Monte Lirio y la Isla de Barro Colorado que están virtualmente rodeadas por las aguas del Lago Gatún (Fig. 1). En la cuenca del Canal de Panamá las lluvias están disminuyendo a un pro-

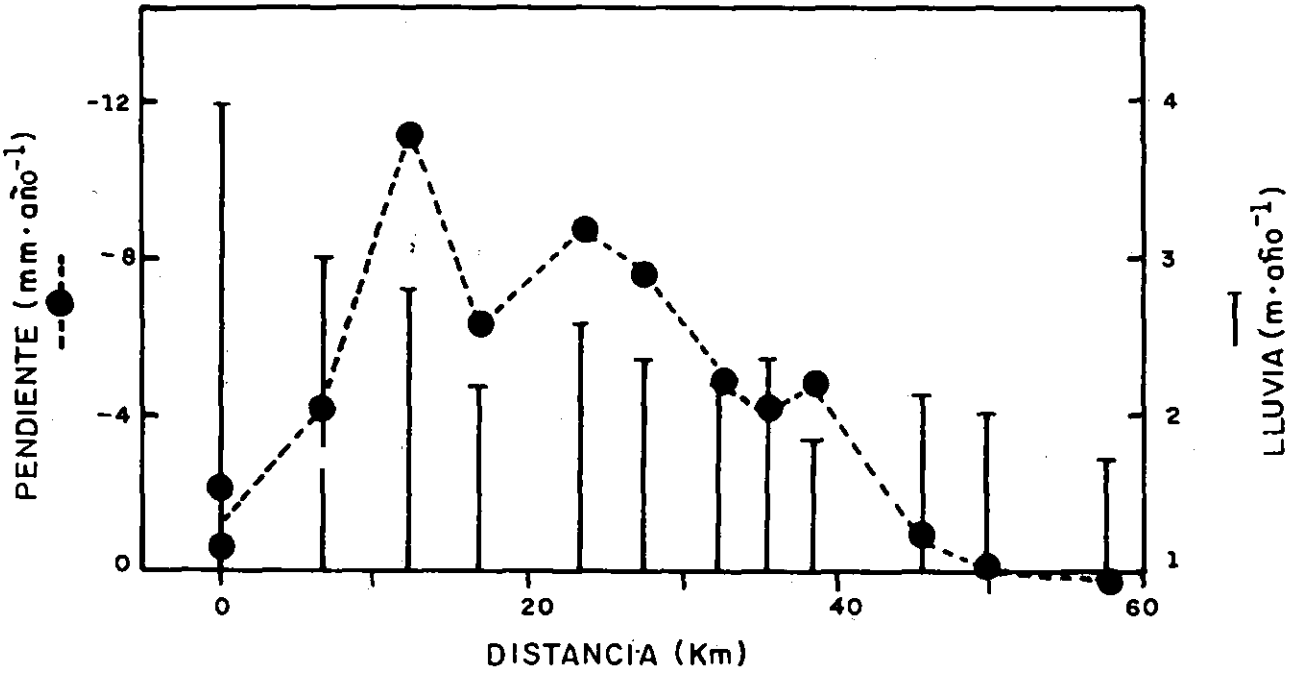


Fig. 1: La precipitación promedio anual y las tendencias a largo plazo existentes en las trece estaciones meteorológicas registradas en relación a la distancia de cada una a lo largo de un transecto NO por SE através del istmo.

medio de – 5mm por año (las variaciones van de –1 a –11 mm por año). Otras cinco estaciones (ver cuadro 1) están situadas a lo largo de la ruta del canal, pero fuera de la cuenca del Chagres. Cuatro de estos registros tienen tendencias negativas, ninguna de las cuales es significativa estadísticamente. Tres estaciones con tendencias negativas, pero no significativas, están en o cerca a la Costa Atlántica, mientras que el otro sitio, Pedro Miguel, está tierra adentro, a sólo 10 kilómetros de la Costa del Pacífico. Una leve tendencia positiva, más no significativa, ocurre en los registros de Balboa en la Costa del Pacífico.

El tamaño del área que está experimentando una disminución de lluvias no está aparentemente limitada al área canalera, ya que los registros de Natá, a 80 kilómetros al oeste del canal, también demuestran una tendencia negativa significativa en los totales anuales de lluvias. Son insólitos los registros de lluvias de Natá y Santa Rosa en la provincia de Coclé, en el Pacífico, ya que ambos sitios están a menos de 20 km el uno del otro, pero Natá manifiesta una pronunciada tendencia. Los registros de 40 años para Tonosí, en la punta de la Península de Azuero, que hasta hace poco escapó de la deforestación en gran escala, también carece de una tendencia a largo plazo en la precipitación. La historia de las lluvias en Changuinola, en la Costa del Caribe, cer a la frontera con Costa Rica, aunque varía de año en año, es consistente con otras estaciones costeras, incluyendo las de Costa Rica en donde no se suscita una tendencia a largo plazo en la precipitación. De aquí que los pocos datos existentes fuera del área del Canal Panamá no son particularmente útiles para comprender el patrón o las causas de las aparentes anomalías de las lluvias en el transecto de los sitios paralelos al Canal de Panamá.

Las tendencias a lago plazo en Costa Rica

Al revisar los datos de la relativamente uniforme red de estaciones en la República de Costa Rica, podemos determinar si la tendencia existente en el interior, en las tierras bajas del área del Canal de Panamá, reflejan una situación general para todas las áreas bajas de Centro América. De los 21 registros de largo plazo de Costa Rica (cuadro 1), 11 son negativos y 10 positivos. Tres de estos sitios demostraron una tendencia positiva significativa mientras que sólo un sitio, Cañas, tiene una tendencia negativa significativa en los totales anuales de lluvias a través del tiempo. Aún así, lo anterior no se debe considerar como un artificio estadístico. Cañas es un sitio bajo, igual que los sitios de Panamá y aparenta ser parte de un área más extensa que experimenta la misma disminución de las lluvias. La tendencia negativa de las lluvias en Liberia, 50 kilómetros al Noroeste de Cañas, bordea lo estadísticamente significativo ($P= 0.06$), al igual que el total anual de la cercana estación en Tilarán ($P= 0.07$). La provincia de Guanacaste tiene la menor precipitación por año y los veranos más largos e intensos de todas las provincias Costarricenses. Es también la

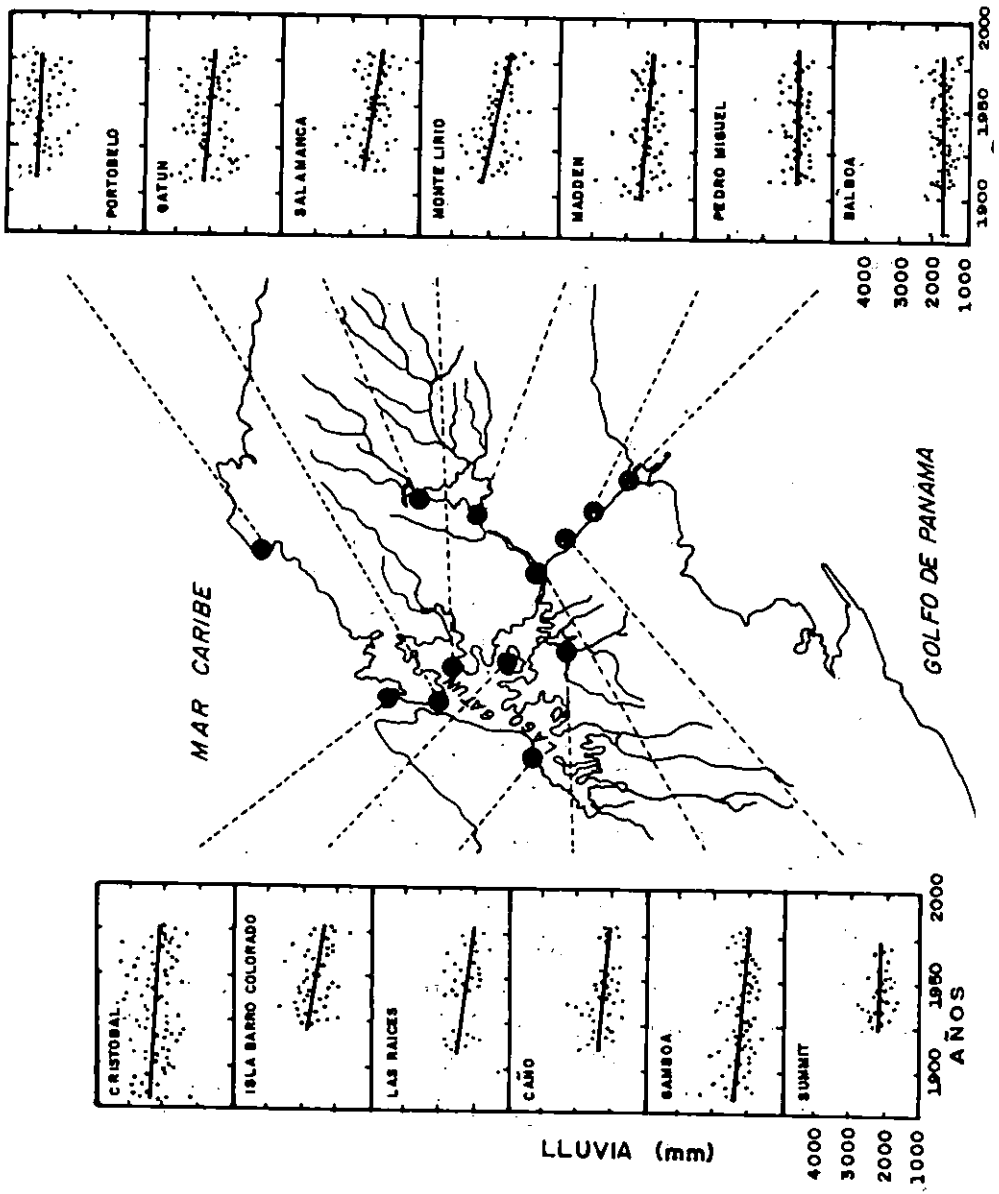


Fig. 2: La localización de trece estaciones meteorológicas de la Comisión del Canal de Panamá y los trazos de su precipitación anual desde que iniciaron sus registros hasta 1980. Un eje mayor reducido (reduced major – axis) se ha dibujado a través de cada conjunto de puntos para indicar la presencia de tendencias a largo plazo, si es que existen.

Cuadro 1: Un resumen de parámetros de características y estadísticas asociadas con cada una de las estaciones en Panamá y Costa Rica. El nombre de cada estación es seguida por latitudes (grados y minutos norte: a y b), longitudes (grados y minutos; c y d), elevación aproximada en M. (e), año del primer record (f), año del último record (g) número de años con datos (h) promedio de precipitación pluvial en m (i), declive de tendencia linear (j), Rango de Correlación Coeficiente Spearman (k) y nivel mínimo del significante de la correlación.

Col:												
Panamá												
Portobelo	9	34	79	40	5	1909	1978	65	4069	−0.59	−0.05	ns
Changuinola	9	29	82	29	8	1909	1976	56	2622	−1.17	−0.08	ns
Cristóbal	9	22	79	52	5	1882	1980	97	3280	−2.17	−0.10	ns
Salamanca	9	18	79	35	100	1912	1980	65	2407	−7.66	−0.34	0.05
Gatún	9	16	79	56	15	1905	1980	76	3080	−4.41	−0.20	ns
Monte Lirio	9	15	79	52	40	1908	1980	65	2819	−11.43	−0.47	0.001
Madden Dam	9	13	79	38	90	1900	1980	81	2417	−4.35	−0.21	0.05
Barro Colorado	9	10	79	51	40	1925	1980	56	2623	−8.86	−0.41	0.01
Gamboa	9	07	79	42	35	1884	1980	91	2200	−4.80	−0.35	0.001
Las Raices	9	06	79	15	35	1912	1980	45	2225	−6.78	−0.44	0.01
Summit	9	04	79	04	80	1924	1971	45	2171	−1.02	−0.16	ns
Caño	9	04	79	49	30	1912	1980	56	2276	−5.63	−0.41	0.01
Río Indio	9	03	79	32	90	1912	1962	49	2657	−6.40	−0.21	ns
Pedro Miguel	9	02	79	37	35	1908	1980	73	2037	−0.07	0.03	ns
Balboa	8	58	79	34	75	1879	1980	82	1787	0.21	−0.02	ns
Natá	8	30	80	30	25	1931	1979	49	1413	−10.91	−0.48	0.001
Santa Rosa	8	15	80	30	75	1926	1978	52	1744	1.81	0.04	ns
Tonosi	7	25	80	20	100	1924	1963	40	2094	3.25	0.10	ns
Costa Rica:												
Liberia	10	37	85	26	144	1937	1978	40	1622	−12.92	−0.25	ns
Tilaran	10	28	84	58	562	1949	1978	30	2112	−14.77	−0.33	ns
Cañas	10	25	85	05	95	1921	1978	52	1684	−8.77	−0.34	0.05
Ciudad Quesada	10	20	84	26	650	1941	1978	38	4492	0.14	−0.01	ns
Buena Vista	10	18	84	29	1090	1943	1979	37	3109	−3.08	−0.07	ns
Limón (2)	10	12	83	22	5	1905	1977	73	3582	3.47	0.02	ns
Grecia	10	02	84	21	760	1937	1978	42	2138	3.70	0.06	ns
Limon	10	00	83	03	5	1941	1980	40	3528	−10.82	−0.21	ns
Barranca	10	00	84	42	140	1937	1977	40	2106	2.44	−0.07	ns
Atenas	9	59	84	23	696	1940	1978	39	1848	27.49	0.60	0.001
Lornessa	9	56	84	11	909	1941	1979	39	1652	8.37	0.21	ns
San José	9	56	84	5	1172	1889	1979	91	1904	0.70	0.05	ns
Sanatorium Duran	9	56	83	53	2337	1943	1978	35	1494	−2.32	−0.12	ns
Rosemont	9	54	83	44	1165	1926	1977	52	4221	36.88	0.39	0.01
Turrialba	9	53	83	38	602	1942	1978	37	2652	8.21	0.16	ns
Cartago	9	52	83	55	1440	1941	1978	37	1313	−2.15	−0.18	ns
Villa Mills	9	34	83	43	3000	1942	1977	36	2665	−3.79	−0.11	ns
Parrito	9	32	84	22	5	1941	1978	38	3065	−4.36	−0.03	ns
San Isidro	9	22	83	42	703	1937	1978	42	3054	−12.90	−0.14	ns
Palmar Sur	8	57	83	28	16	1941	1978	38	3675	−2.31	−0.04	ns
Gofito	8	39	83	11	15	1941	1979	39	4773	27.41	0.44	0.01

provincia más deforestada con más del 80% de su área en potreros o cultivos. Los árboles que quedan aparecen como solitarios árboles de sombra o como angostos bosques de galería que separan grandes espacios de potreros, muy similar a las provincias centrales y occidentales de Panamá.

Tendencias mensuales en Centro América

Para determinar si las tendencias negativas en el patrón lluvias del cuadro No. 1 son producto de la disminución de las lluvias durante sólo ciertos períodos del año, nosotros computamos los coeficientes de correlación Spearman Rank para los totales mensuales de lluvias de las cinco estaciones en la cuenca del Chagres con las tendencias negativas más fuertes y para Cañas, Costa Rica. Cincuenta y siete de las setenta y dos correlaciones mensuales calculadas fueron negativas y once fueron significativas al nivel 0.05. Los meses con correlaciones significativas no ocurren agrupados a manera de sugerir un patrón común entre los sitios. El registro de Cañas indica, que a través de los años durante el verano, las lluvias han incrementado ligeramente, mientras que los totales de invierno han bajado. Las lluvias al inicio y al final de los meses de invierno parecen disminuir a lo largo del registro de precipitación pluvial de San Salvadir (Portig 1965; 1976, p. 430).

Matthew (1950) sugirió la presencia de ciclos de 7 años y 25-30 años en las lluvias y los datos de escorrentiá de aguas de la Cuenca del Canal de Panamá. Sin embargo, el análisis de autocorrelación y análisis auto-regresivo hechos por Rand y Rand (1975) con los totales mensuales sobre el período de registros de la Isla de Barro Colorado no mostraron ninguna tendencia significativa. En la Figura 4 hemos trazado los promedios movibles de los totales de 5 años de lluvias anuales normales para siete sitios ubicados a mitad del istmo, y es aparente que la evidencia de ciclos regulares de lluvias anuales es poca. Los períodos de muy alta precipitación tienden a ocurrir alrededor de 1910, 1935, 1955 y 1970. Si algo pudiesen sugerir estos datos es que los máximos tienden a ocurrir más comunmente en los años recientes, a pesar de una tendencia totalmente descendente en las cantidades absolutas de lluvias que caen cada año.

Variabilidad anual

De año en año la variabilidad en el total anual de lluvias calculado como el "coeficiente de variación" (la desviación normal dividida por el promedio x 100), es mayor en muchos sitios de Costa Rica que en Panamá (cuadro 2, Mann Whitney U Test, $Z = 3.85$, $P = 0.001$). En Costa Rica, las estaciones a menos de 550 metros no varían más que las estaciones más elevadas, ni son más variables las pocas estaciones costeras que las estaciones tierra adentro Igualmente, los sitios costeros y del inte-

Cuadro 2: Estaciones meteorológicas en Panamá y Costa Rica con sus coeficientes correspondiente de variabilidad, una medida de variación de año a año en lluvias anual independiente de la magnitud del promedio de lluvias en cualquiera estación.

	Panamá.		Costa Rica	
Coast:	Porto Bello	13.22	Limón (2)	22.71
	Changuinola	23.10	Limón	21.47
	Cristóbal	14.77	Palmar Sur	18.26
	Balboa Hts.	15.86	Golfito	14.99
Lowland:	Salamanca	19.3	Liberia	29.89
(0-1000m)	Gatún	16.87	Tilaran	23.24
	Madden Dam	16.02	C. Quesada	18.42
	BCI	15.21	Grecia	19.41
	Gamboa	15.84	Barranca	19.01
	Las Raíces	15.23	Atenas	27.89
	Summit	12.47	Lornessa	20.38
	Caño	13.83	Turrialba	20.90
	Río Indio	14.69	Parrito	20.23
	Pedro Migue	13.56		
	Natá	25.63		
	Santa Rosa	16.60		
	Tonosi	19.72		
High Elevation:			B. Vista	19.83
(1000-3000m)			San José	19.23
			S. Duran	19.92
			Rosemont	37.48
			Cartago	19.98
			V. Mills	19.55

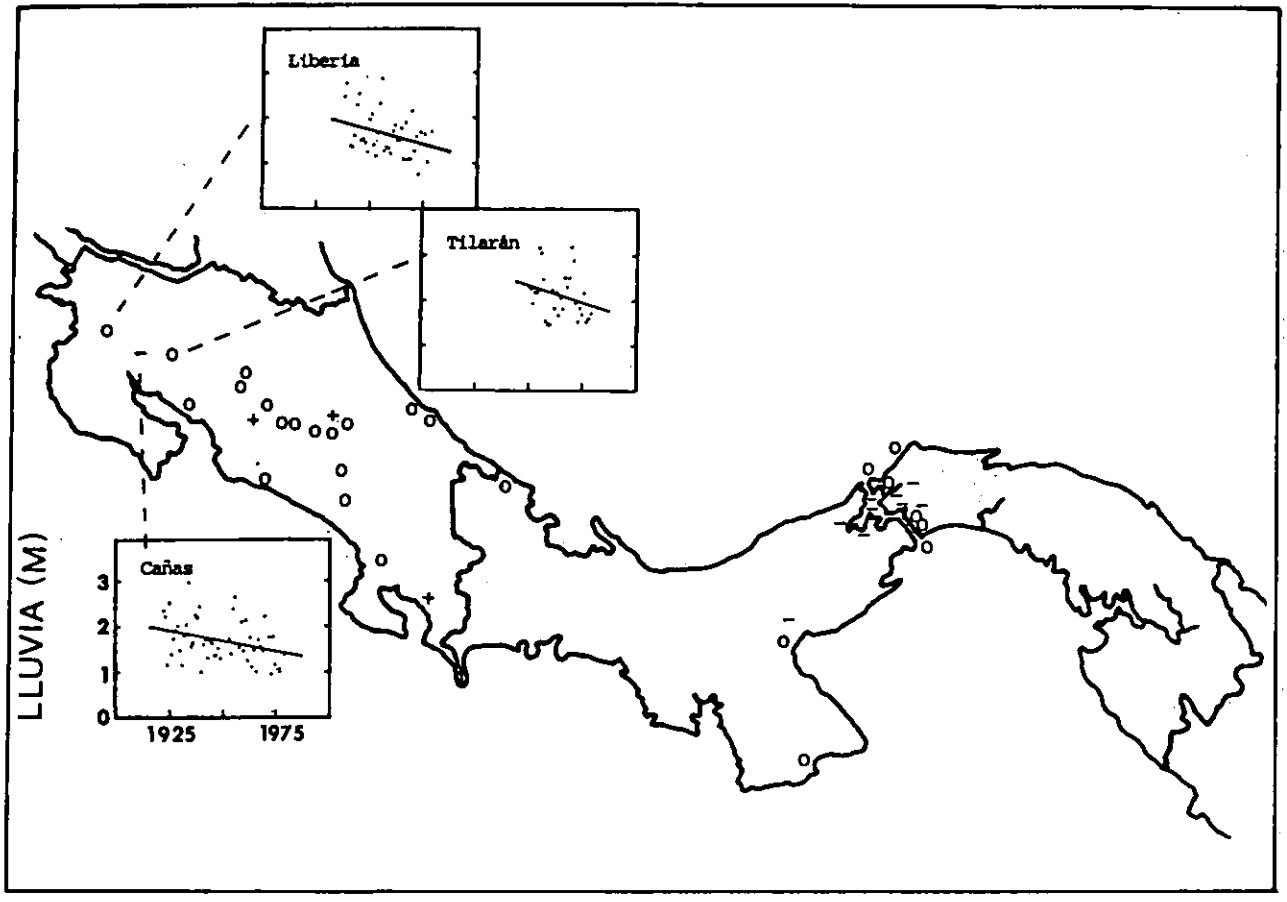


Fig. 3: La ubicación de estaciones meteorológicas en Costa Rica se indican con un "+" (tendencia creciente significativa), con un "–" (tendencia decreciente significativa) ó con un "0" (sin tendencia significativa). Se incluyen los trazos de la precipitación anual de

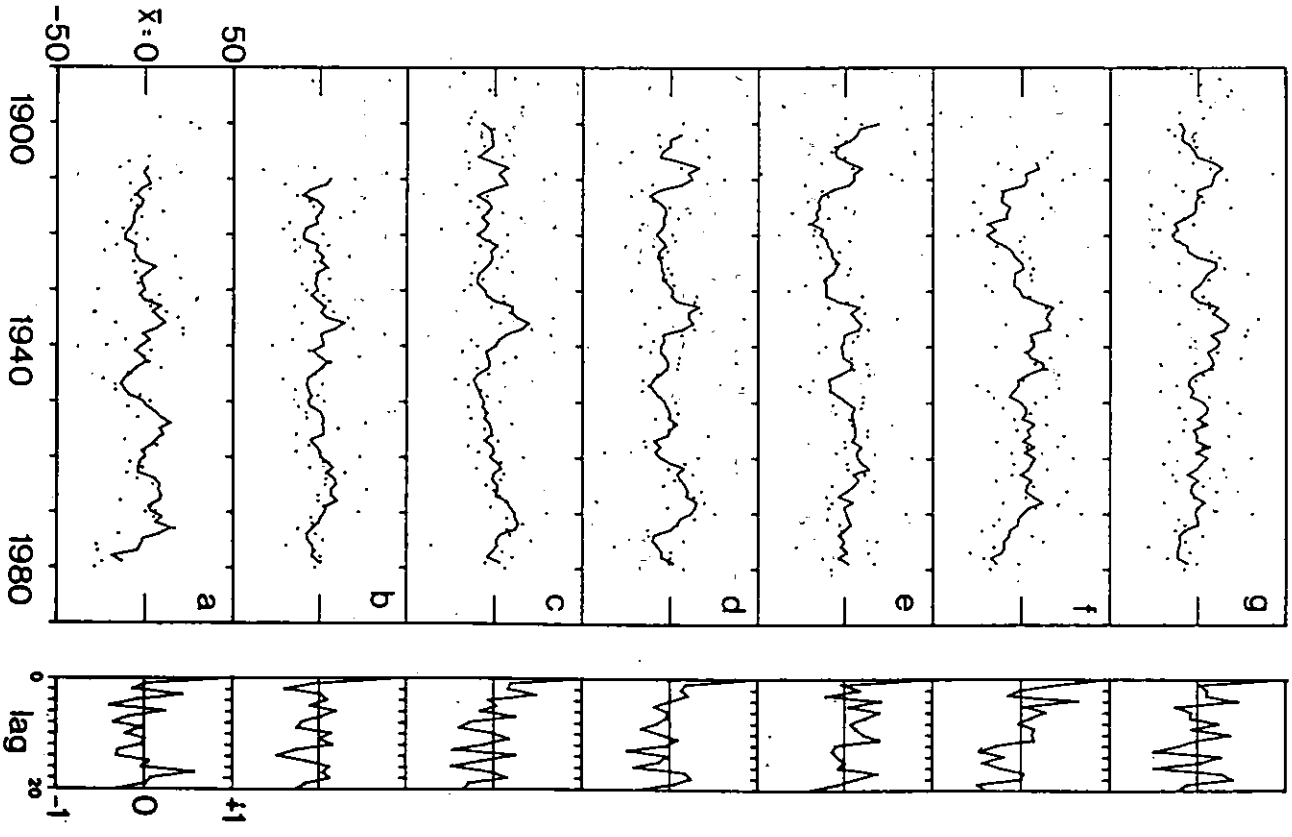


Fig. 4: Este trazo registra los promedios quinquenales de la precipitación anual en años normales para siete estaciones ubicadas a lo largo del canal (a. Balboa, b. Pedro Miguel, c. Gamboa, d. Isla Barro Colorado, e. Monte Lirio, F. Gatún y g. Cristóbal). Los resultados del análisis de auto-correlación, la correlación de los datos de un sitio con los mismos datos compensados en el tiempo de uno a 20 años, los da la gráfica al extremo derecho. Un valor de + 1 indicaría una perfecta correlación positiva como la que tiene un desface de "O". Un valor de −1 indica una correlación negativa perfecta. Mientras que un valor que se aproxima a 0 indica que no hay correlación.

rior de Panamá aparentan exhibir aproximadamente la misma variabilidad anual. La variabilidad en las estaciones occidentales de Panamá indican valores de acuerdo con los sitios en Costa Rica. Aunque se desconoce la causa de la alta variabilidad en el Oeste de Panamá y Costa Rica, sospechamos que un factor es la errática llegada de la "nortera", inestabilidades atmosféricas generadas por fuertes sistemas atmosféricos en Canadá y los E.E.U.U. impulsados hacia Costa Rica y menos frecuente hacia Panamá a finales y principio del invierno (octubre – febrero). La mayor elevación de la cordillera a lo largo de Costa Rica y el Oeste de Panamá también puede contribuir a la mayor variación anual de la precipitación de lluvias de año a año.

Discusión

El aumento o disminución en la tendencia de la precipitación usualmente se ha atribuido a cambios globales en la circulación atmosférica, a los efectos de la urbanización o a la alteración de la cubierta vegetal de la tierra (Lamb, 1972). Las tendencias de precipitación en Australia han sido bien correlacionadas con cambios en la presión atmosférica del Pacífico Oriental y con la fuerza de la Oscilación del Sur (Southern Oscillation) (Coughlan en Pittock, 1978, p. 195). En el hemisferio Norte, Winstanley (1973 a, 1973 b) ha notado que existe una correlación entre la fuerza de la circulación circumpolar y la distribución de las tendencias de precipitación ecuatorial al norte del Ecuador térmico de la tierra. Una débil circulación está unida a la retirada de las lluvias monsónicas hacia el Ecuador, una condición que puede haber contribuido al empeoramiento climático en el Sahel (Nicholson, 1981).

La existencia de buenas correlaciones en el clima, medido en estaciones separada miles de millas se ha tomado como un indicador de la importancia de la circulación global para determinar la variabilidad climática. Por ejemplo, las lluvias en la región centroamericana usualmente tienen una fuerte correlación positiva con las lluvias de el norte del Africa, mientras que la temperatura de la superficie marítima de las costas de Centroa América usualmente están relacionadas negativamente con los mismos registros tomados fuera de las costas de Ecuador y Perú. La lluvia en el Noroeste de Brasil está correlacionada negativamente con las temperaturas de la superficie del mar en el este del Pacífico y positivamente con las temperaturas superficiales del Atlántico (Markham and McLain, 1977).

Aunque estas correlaciones son impresionantes, debe tomarse en cuenta el gran número de estaciones que pueden ser correlacionadas potencialmente. El efecto estadístico de seleccionar unos cuantos sitios de un conjunto mayor actúa para disminuir el significado que podríamos darle a una correlación particular de largo plazo, tal como los ejemplos de arriba y, por tanto, debilitar el caso de la circulación global.

¿Han contribuído los recientes patrones en el uso de las tierras a la deteriorización de los regímenes de lluvias en Panamá y el Nor-Oeste de Costa Rica? En simulacio-

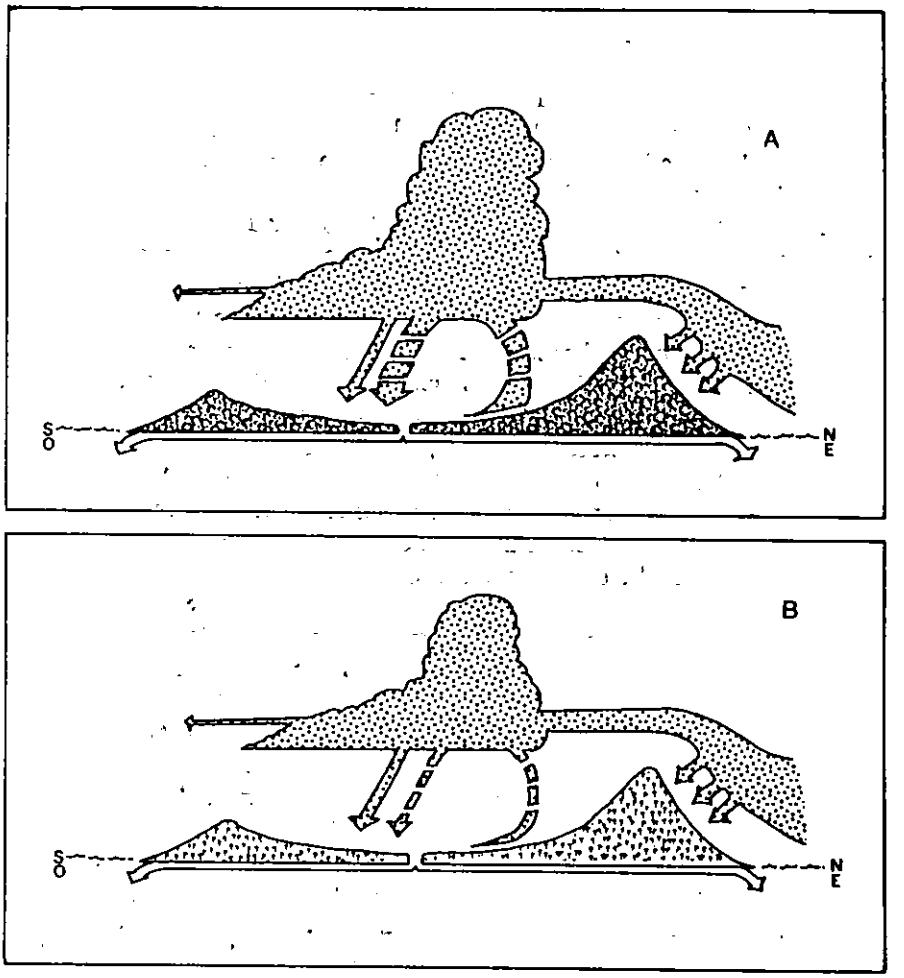


Fig. 5: Una representación esquemática sobre Panamá a la vuelta del siglo (A) y hoy (B). Según nuestra hipótesis, gran parte de la fuente de humedad para la región central de Panamá viene de la que pasa hacia el istmo desde las superficies marinas cercanas, especialmente del Caribe. esta fuente a cambiado poco desde principios de siglo. Donde las lluvias obedecen principalmente a la elevación del aire marítimo, como a lo largo de las costas, las lluvias han cambiado poco en los últimos 80 años. Sin embargo, a mitad del istmo, una porción significativa de las lluvias se deriva de la evaporación y transpiración de la humedad almacenada en la tierra, en la hojarasca o en la vegetación. Con la deforestación la reflectividad de la tierra y disminuyó su capacidad de absorver calor y se debilitó el proceso convencional de "bombeo".

nes realizadas con computadoras, los efectos de actividades humanas como la deforestación conducen al aumento del albedo superficial, enfriamiento de la superficie, reducción de la actividad convectiva y de la evapotranspiración y eventualmente a menos lluvias (Charney e. al. 1974, Potter et. al. 1975, Otterman 1974, 1975, 1976). La historia del uso de la tierra en Panamá puede haber tenido un efecto considerable en el ciclo hidrológico de la región si los factores basicos se comportasen como indican las computadoras: Jaen Suarez (1978, 1981) ha estimado que las actividaddes ganaderas en 1872 utilizaban aproximadamente el 20% de Panamá, principalmente las tierras bajas occidentales del Pacífico. En los siguientes 100 años la deforestación ocurrió en la provincia de Coclé inmediatamente al oeste del área de Panamá, encontrándose principalmente en el Darién. En los últimos seis años el Este del país se ha abierto considerablemente, así que tal vez, sólo de 40 a 45% del país queda en bosques (Hartshorn 1981). Los terrenos que drienan hacia el Canal de Panamá se han deforestado recientemente, pues según lo estimado por Wadsworth (1978) la cubierta forestal disminuyó del 85 al 35% desde principios de la década de 1950. Por tanto, parece que durante el período de registros meteorológicos, la deforestación avanzó a un promedio de 1 a 2% por año en el Oeste de Panamá y posiblemente a un promedio más alto en la cuenca del canal.

La deforestación es sólo uno de los distintos tipos posibles de cambio en el uso de las tierras que está ocurriendo en el Istmo durante los últimos 80 años, cuya influencia sobre el clima es díficil de determinar. El período americano de la construcción del canal, 1902-1914, necesitó el despeje de una cantidad considerable de tierra y eventualmente el llenado del Lago Gatún. En 1914 unos 350 km.^{2} de bosques tropicales fueron reemplazados por un lago de agua fresca. En 1945 una reserva más pequeña, el Lago Madden, fue contruída y a principios de los años 50 se terminó la construcción de la carretera transístmica a lo largo de la frontera Este de la Zona del Canal. Cada una de estas obras contribuyó a la remoción del bosques en las cuencas altas hacia el Este que alimenta al Lago Gatún. Además, la prescencia de enfermedades trasmitidas por los artrópodos, llevó a la Compañía del Canal de Panamá a incrementar el drenaje de las tierras bajas aledañas al Canal de Panamá durante las primeras décadas de este siglo. Esta actividad propenderia a disminuir la evapotranspiración, sin embargo, la relativa magnitud de este cambio esta sujeto a debate.

En gran parte la precipitación que cae sobre Panamá se origina en la evaporación de la superficie del oceano adyacente. La precipitación costera debe ser casi en su totalidad de este origen, mientras que la precipitación tierra adentro debe incluir igualmente un porcentaje mayor de humedad evaporada ("reciclada") de la superficie terrestre. La falta de tendencias en los registros a largo plazo en las estaciones de las costas de Panamá puede reflejar la relativa constancia del proceso de evaporación sobre la superficie océanica y la importancia del origen orográfico de las lluvias (llu-

vias que resultan a causa del empuje de aire recargado de humedad a mayor elevación por los cerros y otros rasgos físicos). En los sitios tierra adentro donde 25 a 55% de las lluvias pueden ser reciduales del suelo y su cubierta vegetal, los efectos de la deforestación, como el aumento en la escorrentía y bajo promedio de evapotranspiración puede producir una reducción en las lluvias lo cual aparenta ser lo que está ocurriendo en la área Central de Panamá y el Noroeste de Costa Rica.

Las tendencias de precipitación en el noroeste de Costa Rica pueden tender a justificar esta interpretación. Protegida del aire húmedo del Atlántico por la Cordillera de Guanacaste y en menor grado de la humedad del Pacífico por la Península de Nicoya, las tierras bajas de Guanacaste, cerca de Cañas y Liberia, pueden constituir una unidad hidrológica relativamente cerrada, cuyo contenido de humedad ha disminuído gradualmente en los últimos 50-100 años, como resultado de la deforestación local, la compactación del suelo y una mayor escorrentía. La conversión de bosques a potreros y a áreas degradadas en el oeste de Panamá y Costa Rica, han resultado probablemente en un desague más rápido, una menor capacidad de almacenar agua por los suelos, disminución de la evapotranspiración actual, un menor recargamiento de la humedad atmósferica y por consiguiente menos lluvias o tormentas menos intensas en un área relativamente aislada de otras fuentes de vapor de agua.

Hay otros aspectos del ambiente físico que puedan estar cambiando gradualmente en Centro América y que a su vez podrían afectar las lluvias de la región. El Oceano Atlántico parece que se ha elevado irregularmente durante los primeros 70 años de este siglo, a un promedio de 0.5 milímetros por año (John Cubit, comunicación personal). También se está incrementando la concentración mundial de dióxido de carbono (Bacastow et. al. 1980, Stuiver 1978, Wong 1978). La temperatura de la superficie del mar en el hemisferio sur se incrementó durante los últimos 7-80 años.

El impacto de la disminución de las lluvias

En Panamá, las diferencias anuales en las temporadas lluviosas tienen un efecto económico directo y medible. El Canal de Panamá se abastece con agua fresca y pierde esta agua a un ritmo aproximado de 161 pies/acre cada vez que un barco cruza las siete esclusas que se requieren para pasar de un océano al otro. Si en un año normal 15,000 navíos cruzan el canal, la pérdida de agua fresca hacia los océanos suma unos $2.2X10^6$ pies por acre lo que representa, aproximadamente 50% de toda la escorrentía de la cuenca del canal en un año de lluvias normales. El resto del desague, que se estima que es aproximadamente un 60% de las lluvias que caen sobre la cuenca, se utiliza para generar energía hidroeléctrica, para el suministro de agua potable o se pierde por evaporación o derramamiento. Estas dos últimas categorías normalmente sólo responden por 10% de la escorrentía total. Por tanto, los cam-

bios anuales en las lluvias pueden afectar considerablemente los costos de los servicios de luz y agua al tener que aumentarse la producción eléctrica quemando combustible fosciles, y mucho más importante, el volumen de agua almacenada en el Lago Madden y Gatún afecta el número de barcos que en algunos años puedan transitar por el canal durante el verano y a principio del invierno.

La reducción de las lluvias pueden afectar la diversidad y abundancia de las especies en los parques nacionales y las áreas de refugio silvestre. Desde su formación como isla, al subir las aguas del Lago Gatún en 1917, la isla de Barro Colorado ha estado perdiendo constantemente su complejidad faunística. El número de especies de pájaros residentes ha disminuído de 218 a 161 especies (Karr 1982). Ciertas especies de réptiles y anfibios, también aparentan haberse extingido (Myers y Rand 1969). Mientras que la teoría de islas biogeográficas mantiene que esto es de esperarse, porque las tasas de inmigración no pueden mantenerse con los grados de extinción, la pérdida de especies se ha podido acentuar en años recientes debido a la creciente frecuencia de años con poca lluvia. Ciertamente, Karr (1982), ha demostrado que las especies que han desaparecido en la Isla de Barro Colorado tienden a ser menos tolerante a los cambios microclimáticos, sobre todo las especies asociadas con matorrales, o que habitan a nivel del suelo y en los pies de las colinas. Lo mismo ocurre con los répitles y anfibios.

Conclusión

Hay evidencia de las áreas del Lago Gatún en Panamá que la precipitación anual ha disminuído en las primeras ocho décadas de este siglo A lo largo de las costas y lejos del Lago Gatún no se manifiestan estas tendencias similares. Una tendencia similar ocurre en los registros de lluvias del noroeste de Costa Rica. Estas áreas, donde las lluvias están disminuyendo ocurren en o próximo a áreas donde el hombre ha despejado agresivamente la tierra de sus bosques durante este siglo, creando grandes extensiones de potreros y tierras degradadas.

Aunque la evidencia que el hombre ha afectado el régimen de lluvias en Panamá y Costa Rica es marginal, talvez los planificadores deben considerar la posibilidad que los cambios locales en el ciclo hidrológico traerá cambios en el clima local. Al menos parece ser que lo que se requiere es aumentar el monitoreo y profundizar el estudio de los registros hidrológicos y climáticos existentes.

Reconocimientos

Este informe está basado en los datos coleccionados por la Comisión del Canal de Panamá, División Meteorológica y Hidrología y por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. Agradecemos a todos aquellos que coleccionaron los datos y

nos los facilitaron. Las discusiones con John Cubit, Ross Robertson, Joe Wright, James Karr, José Manuel Batista, Mike Hart y otros colegas en Panamá, contribuyeron al desarrollo de este papel. Adicionalmente, le damos gracias al Instituto de Investigación Tropicales Smithsonian y al Programa de Ciencias Ambientales de Instituto Smithsonian por su apoyo e interés a largo plazo de estudios tropicales.

BIBLIOGRAFIA

Aldaz, L. 1971. A partial characterization of the rainfall regime of Brazil. Publicacao Tecnica, Report No.4, Departamento Nacional de Meteorologia.

Bacastow, J.A., Adams, J.A., Keeling, C.D., Moss, D.J., Whorf, T.P. Wong, C.S. 1980. Atmospheric Carbon Dioxide, the Southern Oscillation, and the weak 1975 El Niño. *Science* 210: 6668.

Broecker, W.S. 1975. Climate change: Are we on the brink of a pronounced global warming? *Science* 189: 460-463.

Bryson, R. 1974. A perspective on climate change. Science 184: 753-60.

Charney, J., Stone, P.H. and Quirk, W.J. 1974. Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science* 187: 434-435.

Coen, E. 1983. Climate. pp 35-46 in Costa Rican Natural History, D.H. Janzen ed., Univ. of Chicago Press, Chicago, III. 816 pp.

Dickinson, R.E. 1981. Effects of tropical deforestation on climate. in Blowing in the Wind: Deforestation and Long-range Implications. pp. 411-441, V. Sutlive, N. Altshuler and M. Zamora (eds), College of William and Mary, Williamsburg, VA

Emmel, T.C: 1974. Rainfall in the Amazon Basin. *Science* 183: 2578.

Feininger, Tomas. 1968. Les rain in Latin America. *Science* 160: 1314.

Flohn, H. 1969. Climate and Weather. McGraw-Hill Book Co., N.Y. 253 pp.

Gentry, A.H. and J. Lopez-Parodi. 1980. Deforestation and increased flooding of the upper Amazon. *Science* 210: 1354-56.

Hartshorn, G. 1981. Forests and forestry in Panama. Unpublished manuscript.

Henderson-Sellers, A. 1981. The effect of land clearance and agricultural practices upon climate. in Blowing in the Wind: Deforestation and Long-range Implications. pp. 443-485, V. Sutlive, N. Altschuler and M. Zamora eds., College of Willian and Mary, Williamsburg, VA.

Jackson, I.J. 1977. Climate, water and Agriculture in the Tropics. Longman, London, 248 pp.

Karr, J. 1982. Avian extintion on Barro Colorado Island, Panama, a reassessment. Am. Nat. 119:220-239

Lamb, H.H. 1963. Arid Zone Research–XX Changes of Climate.
Proceedings of the Rome Symposium Organized by UNESCO and WHO. UNESCO, Paris, France, 488 pp.

1972. Climate: Present Past and Future. Vol. 1. Methuen & Co. Ltd., London, 248 pp.

Lee, R. 1980. Forest Hydrology. Columbia Univ. Press, N.Y., 349 pp.

Lugo, A. and S. Brown. 1982. Conversion of tropical moist forests: a critique. Interciencia 7: 89-93

Markham, C.G. and D.R. McLain. 1977. Sea surface temperature related to rain in Ceara, north-eastern Brazil. Nature 265:320-323.

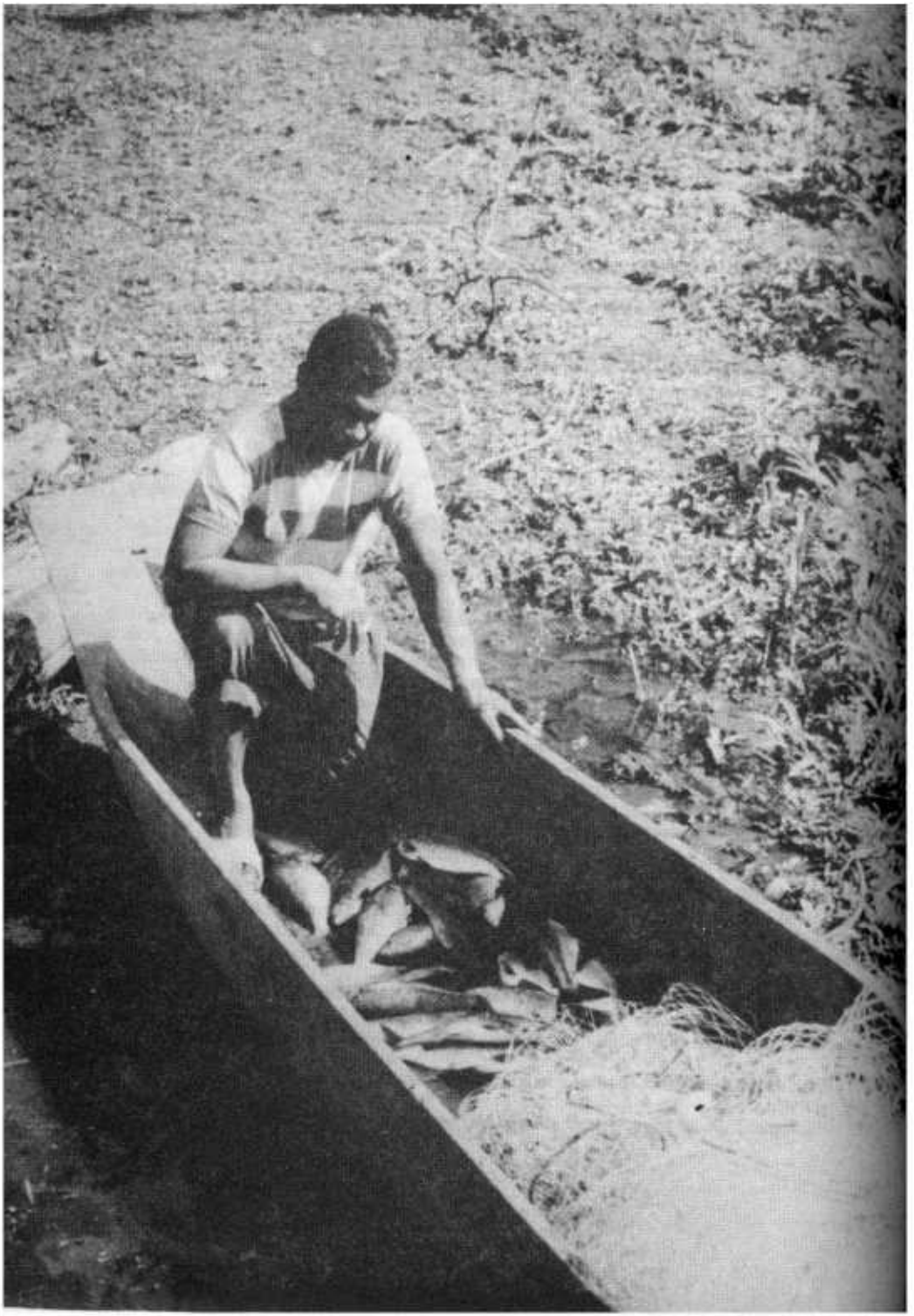
Matthew, G.E. 1950. Rainfall and runoff of the Gatun Lake watershed. the Panama Cana Engineering and Construction Bureau Meteological and Hydrographic Branch. 153 pp.

Myers, C. and A.S. Rand 1969. Checklist of amphibians and reptiles of Barro Colorado Island, Panama, with comments on faunal chage and sampling. Smithsonian Cortributions to Zoology 10: 1-11.

Myers, N. 1981. The hamburger connection: how Central America's forests became North America's hamburgers. *Ambio* 10: 38.
Nicholson, S.E. 1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in west Africa. Mon. Wea. Rev. 109:2191-2208.
Otterman, J. 1974. Baring high-albedo soils by overgrazing' a hypothesized desertification mechanism. *Science* 194: 1121-32.
---------- 1975. Surface albedo and desertification: a reply. *Science* 189: 1013-1015.
---------- 1976. No desertification mechanism: a reply. *Science* 194: 747-749.
Pittock, A.B., Frakes, L.A., Jenssen, D., Petereon, J.A., Zillman, J.W. eds. 1978. Climate Change and Variability. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 455 pp.
Portig, W.H. 1965. Central American rainfall. *Geographical Reviews* 55: 68-90.
---------- 1976. The climate of Central America. pp 405-478, in World Survey of Climatology, Volume 12. W. Schwerdtfeger ed., Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. 532 pp.
Potter, G.L., Ellsaesser, H.W., MacCracker, M.C., Luther, F.M. 1975. Possible climatic impact of tropical deforestation. *Nature* 258: 697-698.
Rand, A.S. and W. Rand 1977. The rainfall of Barro Colorado Island, Panama. Actas del IV Symposio Internacional de Ecologia Tropical, Tomo 1. pp31-49, Panama, Republic of Panama.
---------- 1982. Variation in rainfall on Barro Colorado Island. in The Ecology of Neotropical Forest: Seasonal Rhythms and Longer-term Changes. E.G. Leigh, Jr., A.S. Rand and D.M. Windsor (eds). Washington, D.C., Smithsonian Institution Press (in press).
Sagan, C. Toon, O.B., Pollack, J.B. 1979. Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate. *Science* 206: 1363-1368.
Salati, E. and P.B. Vose. 1984. Amazon Basin: A system in equilibrium. *Science* 225: 129-138.
Shukla, J. and Y. Mintz. 1982. Influence of land-surface evapotranspiration on the earth's climate. *Science* 215: 1498-1501.
Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. Biometry (2nd edn) 1981. W.H. Freeman and Co., San Francisco.
Stuiver, M. 1978. Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes. *Science* 199: 253-258.
Suarez, O.J. 1978. La Población del Istmo de Panama. Impressora de La Nación, INAC-1410, Panamá, 603 pp.
---------- 1981. Hombres y Ecologia en Panamá. Impresora de La Nación, INAC-5117, Panamá, 157 pp.
Thompson, K. 1980. Forests and climate change in America: some early views. *Climatic Change* 3: 47-64.
Wade, N. 1974. Sahelian drought: no victory for western aid. *Science* 185: 234-7.
Wadsworth, F. 1978. Deforestation, end of the Panama Canal. Proc. U.S. Strategy Conf. on Trop. Deforestation. pp. 22-24. U.S. State Department and U.S. Agency for International Development. Washington, D.C.
Walton, S. 1980. Replacing trees with wasteland: the demise of tropical forests. *Bioscience* 30: 377:-380.
Walsh, J. 1984. Sahel will suffer even if rains come. Science 224: 467-471.
Wigley, T.M., P.D. Jones and P.M. Kelley. 1981. Global warming: *Nature* 291' 285.
Winstanley, D. 1973. Recent rainfall trends in Africa, the Middle East and India. *Nature* 243: 464-465.
---------- 1973. Rainfall patterns and general atmospheric circulation. *Nature* 245: 190-194.
Wong, C.S. 1978. Atmospheric input of carbon dioxide from burning wood. *Science* 200: 197-200.

PARTE III

LOS PROBLEMAS DE LA FLORA Y LA FAUNA



Manglares: su importancia para la zona costera tropical

Luis D'Croz

Introducción

Los manglares son formaciones arbóreas litorales comúnes en las áreas protegidas del trópico (20° N hasta 20° S). Unas 20 familias de plantas son consideradas como mangle y agrupan un total superior a las 5-especies. Su importancia económica tiene un amplio espectro, que incluye valor maderable, como fuente energética, extracción de tanino, áreas de pesca y maricultura; mientras que desde el punto de vista ecológico representan uno de los principales productores en la zona costera tropical, con un aporte nutritivo inmenso, criaderos naturales para las postlarvas y juveniles de la mayor parte de las especies de peces y crustáceos comerciales de las aguas someras tropicales, zona amortiguadora de la interfase Océano-Tierra (protector de la zona costera por erosión de las olas, mareas y vientos) etc.

De acuerdo a la evaluación del estado global de los ecosistemas de manglares, publicado en 1983 por la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza y los recursos naturales (IUCN), en el Pacífico de América se encuentran los géneros *Avicenia (A. bicolor, A. germinas* y *A. tonduzii), Conocarpus erectus, Laguncularia racemosa, Pelliciera rhizophorae, Rhizophora (R. harrisonii* y *R. mangle).* El mismo reporte indica que en Panamá existen 4,860 km^2 de manglares, superficie comparativamente grande en relación al resto de Centroamérica, donde tan sólo Honduras supera los 1000 km^2 de mangle (1,450 km^2).

En la actualidad los manglares son uno de los ecosistemas bajo fuerte presión en Panamá, principalmente en el lado del Pacífico, donde históricamente extensa desforestación de ellos ha ocurrido por reclamación de tierras para la agricultura, ganaría, desarrollo urbano y más recientemente para maricultura.

Descripción ecológica de los manglares

Los manglares forman una comunidad terminal típica en las costas y estuarios tropicales. Tienen amplia tolerancia a las variaciones de salinidad que puede ser desde aguas marinas (35 ‰ de salinidad) hasta aguas casi dulces (0.5 ‰ de salinidad). Estos árboles sirven de base, asiento o morada a diversas comunidades que tienen diferentes tolerancias a la salinidad por lo que la composición de las comunidades del

La rápida destrucción de los manglares para usos agrícolas, urbanos e industriales constituye un precedente peligroso para dar soluciones fáciles y a corto plazo, que inevitablemente conducirán a un desequilibrio ecológico y hacia gravísimas pérdidas a la industria pesquera de Panamá. Foto: Brian Houseal.

manglar variará dependiendo de que el manglar se desarrolle en las costas marinas, o bien, en la desembocadura de los ríos.

El manglar muestra una zonación característica (fig. 1), donde la franja en contacto permanente con el mar está formada por mangle rojo *(Rhizophora sp.)*, que tiene raices aéreas que le dan estabilidad al árbol. El mangle rojo coloniza nuevos terrenos al mar y protege contra la erosión de las olas. Este tipo de mangle estará siempre supeditado al efecto de las mareas y en consecuencia, el substrato sobre el que se encuentra sufre inundaciones periódicas conforme fluctuan las mareas. Por detrás del mangle rojo hay una zona con el mangle negro *(Avicenia sp.)*, cuyos neumatóforos brotan de las raices del árbol en forma de pequeños y delgados tubos, que tapizan el suelo sobre el cual está el árbol y ayudan a la respiración en un ambiente cienagoso, pobre en oxígeno. La zona de mangle negro puede ser inundada con las máximas mareas del mes. En la zona supralitoral y en dirección a la tierra se encuentran franjas de mangle blanco *(Laguncularia sp.)* y botoncillo *(Conocarpus sp.)*, además de vegetación propiamente terrestre que comienza a dominar.

Con frecuencia se atribuye a los manglares la proliferación de mosquitos, sin embargo esto es una verdad a medias, toda vez que la zona del manglar que puede resultar propicia para la cría de los mosquitos es la de *Avicenia sp.* (mangle negro), de características pantanosas y no por parte de la franja de mangle rojo, donde el flujo y reflujo de las mareas no permite el desarrollo larvario de los mosquitos. La zona de *Rhizophora* (mangle rojo), se considera de mayor importancia ecológica, mientras que la de mangle negro y blanco es de relativo menor valor (Robas, 1970).

Dentro de las comunidades al manglar se observan numerosas algas, invertebrados (crustáceos, moluscos, esponjas etc.), aves, algunos mamíferos, además de larvas y juveniles de peces.

Relación entre los manglares y estuarios y la producción pesquera

Es conocido el hecho de que las costas bordeadas por los manglares se encuentran, además de las poblaciones nativas y permanentes, numerosos organismos marinos en etapas juveniles y que pasan tan sólo parte de su vida en estos habitats, buscando durante ese tiempo protección y abundante alimentación, que les garantiza un rápido crecimiento y unas más exitosa subsistencia. Estos organismos están protegidos por la gran cantidad de raices del mangle rojo, que les sirve de refugio y por otra parte, un eficiente e importante flujo de energía que va del manglar hacia las zonas costeras, ocurre en forma de detritus orgánicos derivados de las hojas caidas de los manglares, que garantiza un amplio recurso alimenticio. Estas hojas, que permanentemente caen desde el manglar, en un principio no están disponibles como alimento, debido a que la lignina y celulosa que la componen resultan indigeribles para la mayor parte de los animales marinos. Sin embargo, la acción bacteriana y de los hon-

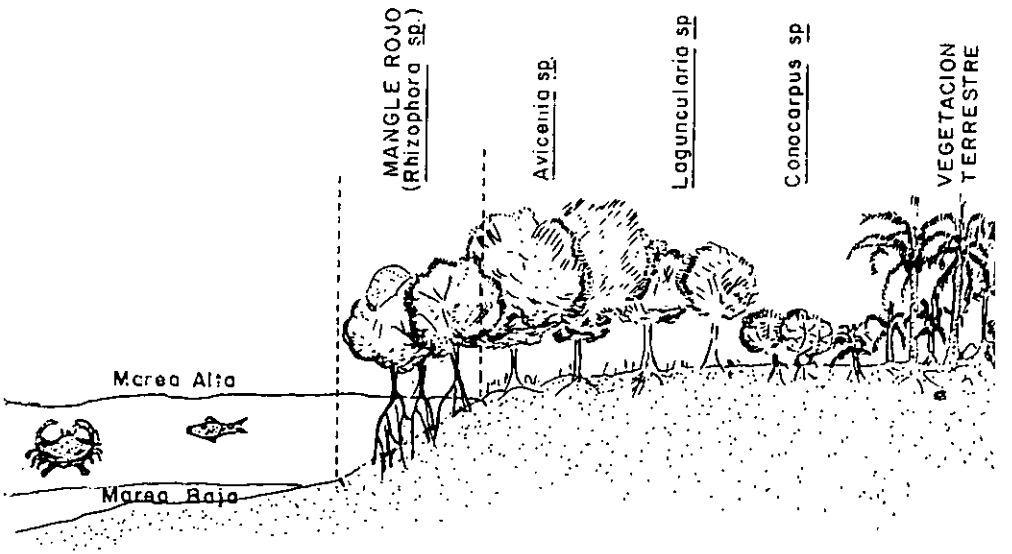


Fig. 1 ***Zonación típica de un manglar.***

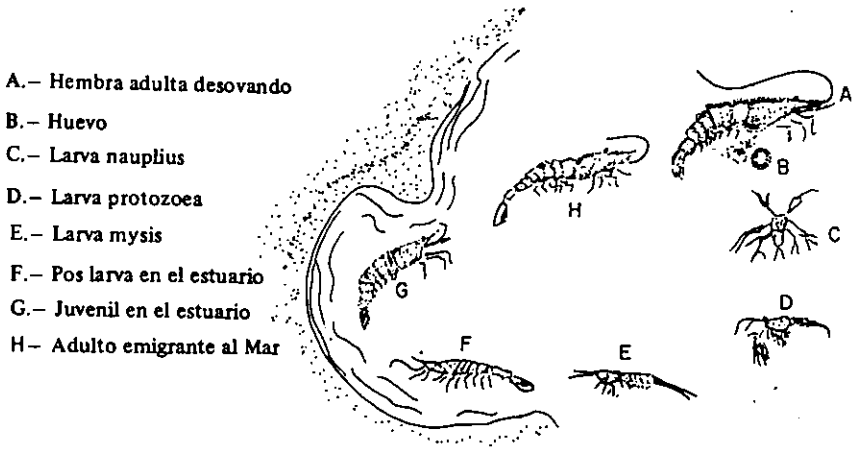


Fig. 2 ***Esquema del ciclo de vida de los camarones peneidos.***

gos en el agua convierten esta materia indigerible en una fuente de proteínas de inportancia nutritiva para la fauna marina asociada al manglar (Heald y Odum, 1970). En primeras instancias, organismos como anfípodos, mísidos, camarones carídeos y peneidos, peces detritívoros como anchovetas, poecílidos y lizas aprovechan este material transformado como alimento. Posteriormente, estos mismos organismos podrán servir de alimento a otros como peces omnívoros y carnívoros tales como juveniles de roncadores, pargos, robalos, corvinas etc.

La producción anual de hojas de un manglar ha sido estimada en cerca de 800 gr/m^2 en los manglares de la Florida (Heald y Odum, 1970), lo que representa un tremendo potencial alimenticio. Estudios realizados en los manglares de Guapi, en la costa del Pacífico de Colombia, donde el bosque es más denso y no está sujeto a fluctuaciones en temporadas frías y cálidas, estiman la producción neta de hojas en cerca 1,500 gr/m^2 /año (Hernández y Muellen, 1977), lo que efectivamente resulta en casi el doble de la producción neta de los manglares de Florida. Estudios similares hechos en el área de Chame (Provincia de Panamá), indican que la producción de hojarasca es de 923 gr/m^2/año.

Hoy día, los científicos aceptan que existe una correlación estadística verdadera y directa entre la cantidad de costas bordeadas por manglares y la producción pesquera. La disminución de este borde de manglares irremediablemente transformará en pérdidas en la producción pesquera de la región.

Estudios realizados en los estuarios y manglares del Golfo de Panamá durante los años 1974 y 1975 (D'Croz, Martínez y Del Rosario, 1976), indican que ocho especies de camarones Peneidos se encuentran en los manglares y estuarios durante su vida juvenil. De estos camarones, las tres especies que se conocen como "camarones blancos" o "langostinos" *(Penaeus occidentalis, P. stylirostris* y *P. vannamei)* son las más abundantes en los manglares. Estos camarones llegan a las zonas costeras bordeadas por manglares en forma de postlarva (aproximadamente 12 mm L.T.) después del desove, ocurrido en aguas más profundas y se mantienen en los estuarios y manglares por espacio de cuatro a cinco meses, después de los cuales inician una migración hacia las zonas marinas más profundas, donde se encuentran como adultos (fig. 2). El desove de estos camarones ocurre en mayor o menor intensidad durante todo el año, de manera que la presencia de juveniles en los manglares y estuarios es permanente. *Penaeus occidentalis* se ha observado en mayor abundancia en los manglares durante la estación seca (enero a abril) y se ha encontrado que se retiran de estas áreas con tamaño cercano a los 75 mm de L.T. *Penaeus stylirostris* se encuentra en altas densidades en los manglares principalmente entre agosto y septiembre, aunque una población abundante de juveniles es notoria hasta diciembre. Este camarón, se estima, sale de los manglares y estuarios con tamaños cercanos a los 45 mm L.T. *Penaeus vannamei* se observó en menores densidades que las dos especies anteriores y su presencia ocurrió principalmente entre septiembre y diciembre, de-

jando los manglares con tamaño entre los 65 y 75 mm L.T.

Otras especies de camarones Peneidos fueron observadas en los manglares. El camarón café *(Penaeus californiensis)*, el camarón rojo *(Penaeus brevirostris)*, el camarón carabalí *(Trachypenaeus byrdi* y *T. faoea)* y dos especies de camarones titi *(Xiphopenaeus riveti y Protrachypene precipua)* se observaron asociadas a las aguas marinas al frente de los manglares.

Con respecto a la interdependencia de las especies que forman la pesquería del camarón en Panamá con los manglares y estuarios, se ha encontrado (D'Croz, 1976) que de las nueve a diez especies de camarones Penedidos que generalmente constituyen la pesquería del camarón (que rinde anualmente B/.45. millones en exportaciones), seis especies (tres de camarón blanco, una de camarón rojo y dos de carabalí) necesitan de los estuarios y manglares durante sus etapas juveniles y dos especies de camarones titi se encuentran asociadas a las aguas del frente de los manglares (cuadro 1). De manera que de todas las especies de camarones Peneidos de valor comercial, tan sólo una está completamente desligada de los manglares y estuarios, que es *Solenocera sp.* conocido como camarón Fidel y que en 1976 representó menos del 6% de la captura total de la flota camaronera. Este hecho demuestra que el 94% de los rendimientos camaroneros dependen de la capacidad de albergue y alimentación de los estuarios y manglares; en consecuencia ningún programa de administración racional de los recursos camaroneros puede ser éxitoso si no se garantizan los manglares y estuarios como sitios de crianza natural de juveniles (Calder, Eldridge y Joseph, 1974).

Estos estudios han indicado la presencia de no menos de treinta especies de peces en los manglares de Juan Díaz, muchos de los cuales resultan de interéses comercial para las pesquerías cercana. La liza *(Mugil curema)* es la especie más abundante en los manglares de Juan Días y abunda en los meses de agosto y septiembre, aunque la presencia de la especie se observa espaciada durante todo el año. En la región occidental del Golfo de Panamá, la mayor abundancia de lizas ocurre entre enero y marzo.

La mojarra *(Eucinostomus californiensis)*, es otra de las especies comunes en los manglares y estuarios que usa estos como sitio de crianza de juveniles.

Cuatro especies de robalos se han visto asociadas al área de manglares: *Centropomus armatus, C. nigrescens, C. robalito* y *C. unionensis*, esta última en poca cantidad. La especie más abundante es *Centropomus armatus* que se observó únicamente en las colectas de septiembre. *Centropomus nigrescens* y *C. robalito* son especies muy comunes en el manglar. El tamaño promedio de los robalos colectados está alrededor de los 30 mm L.S., lo que indica el predominio de los juveniles.

Lutjanus aratus y *L. argentiventris*, dos especies de pargos se han observado asociadas a los manglares durante su vida juvenil. *Lutjanus aratus* fué observado entre agosto y noviembre en los manglares de Juan Díaz, mientras que *L. argentiventris*,

que ha sido vista asociada a los manglares de San Carlos, no fue localizada en Juan Díaz, pero es probable que esté asociada en estos manglares.

Otros peces juveniles se han observado asociados a los manglares, entre estos la corvina *Micropogon altipinnis*, la anchoveta *Anchoa panamensis* y el pez congo *Galeichthys jordani*.

Según Bayliff (1966), la falsa anchoveta *Cetengraulis mysticetus* que se usa en la fabricación de harina de pescado, tiene un comportamiento inverso al descrito para las especies anteriores. Las anchovetas juveniles son pelágicas y se encuentran en aguas más profundas durante enero a marzo. En abril, cuando se consideran estos peces como adultos, se encuentran cerca de las costas, principalmente sobre fondos fangosos a profundidades menores de 10 metros. De acuerdo a la Estadística Pesquera del Ministerio de Comercio e Industrias (1977), el área de pesca de la anchoveta coincide con las costas del Golfo de Panamá que tienen mayor cantidad de estuarios y manglares (de Chame hasta el Darién), apreciándose las más altas capturas en las áreas de pesca I, II y IV, en las que se encuentran grandes sistemas estuarinos y de manglares como lo son la Bahía de Chame, la desembocadura del Río Bayano y la desembocadura del río Tuira respectivamente. El aporte nutritivo de los estuarios y manglares podría ser de importancia en la alimentación de estos peces durante su vida adulta. Bayliff (1963), ha indicado que los adultos se alimentan revolviendo el fango del fondo, ingiriéndolo con el fin de obtener el detritus y los diminutos organismos bentónicos. No resulta ilógico considerar que puede existir una relación entre el aporte de detritus de los manglares a la zona costera y la abundancia de la anchoveta. Resulta interesante anotar que el desove de la anchoveta ocurre en gran medida, justamente al frente de las costas de Juan Díaz y Panamá Viejo. En la fig. 3 se presenta la distribución de la **pesca de la anchoveta y arenque por área**, para el año 1977.

Juan Díaz, un ejemplo de la presión del hombre sobre los manglares

El crecimiento urbano e industrial de la Ciudad de Panamá ha llevado al Ministerio de Vivienda a plantear la necesidad de planes de desarrollo para las áreas marginales de la Ciudad, entre estas, las zonas pantanosas y de manglares de Juan Díaz. Por tal razón, en 1979 se creó una comisión inter-institucional, cuyo propósito fundamental fué el definir la política para el desarrollo urbano del área de Juan Días y zonas aledañas, que no debe ser antagónico a los intereses sociales, ecológicos y pesqueros de la región.

El Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Panamá, (actualmente Centro de Ciencias del Mar y Limnología), conjuntamente con la Dirección General de Recursos Marinos del Ministerio de Comercio e Industrias, adquirieron ante dicha comisión la responsabilidad de realizar una evaluación ecológico-pesquera de

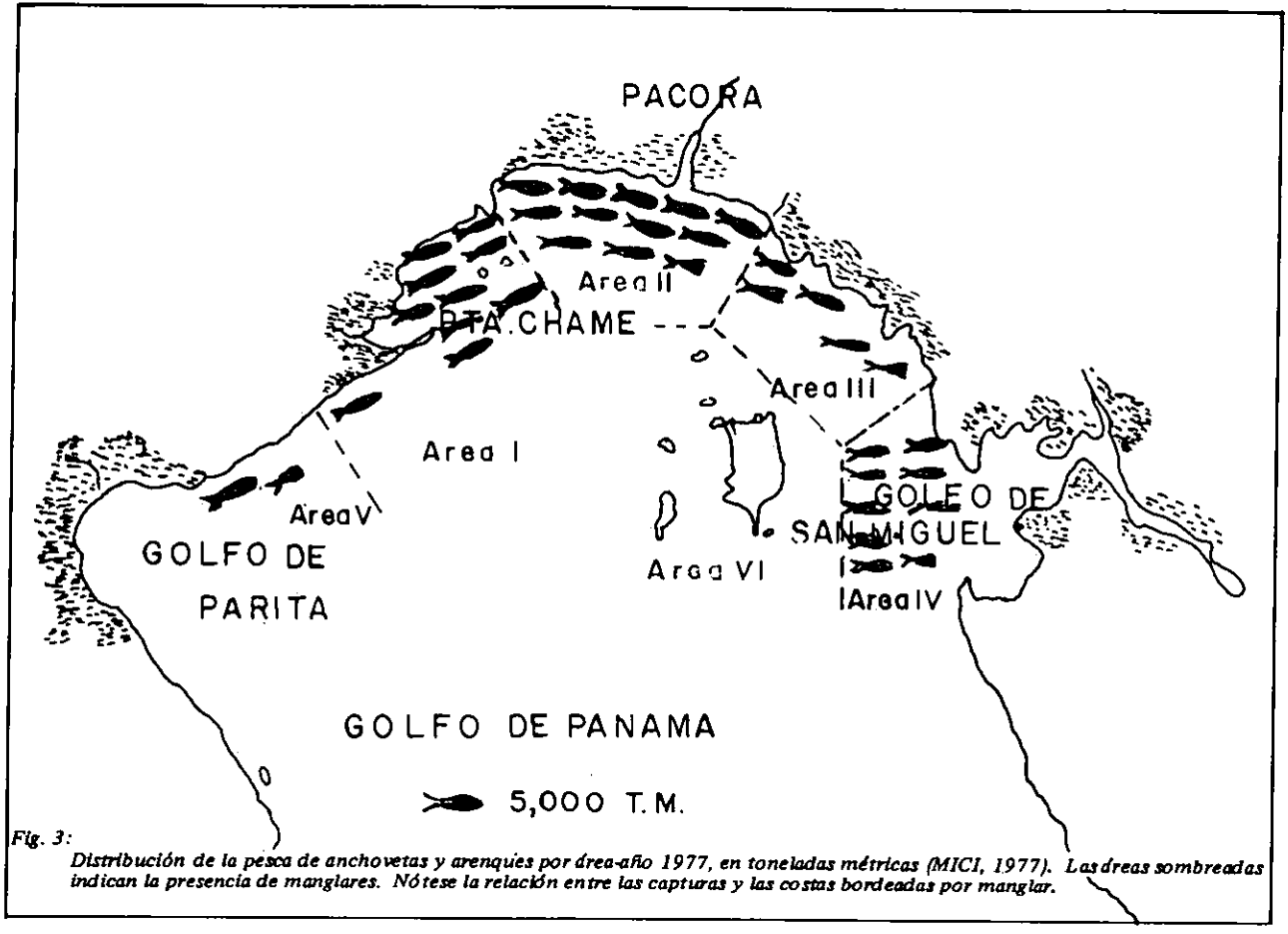


Fig. 3:
Distribución de la pesca de anchovetas y arenques por área-año 1977, en toneladas métricas (MICI, 1977). Las áreas sombreadas indican la presencia de manglares. Nótese la relación entre las capturas y las costas bordeadas por manglar.

los manglares, para que sirviera como referencia en la toma de una decisión para el área.

No escapa a los científicos, que las transformaciones e incluso destrucción de zonas de manglares y estuarios puede resultar inevitable ante ciertas circunstancias, sin embargo también es cierto que en numerosos casos esta destrucción perjudicial puede ser prevenida si las personas e instituciones involucradas en la toma de las decisiones correspondientes están conscientes del valor ecológico y económico de los manglares.

El drenaje y relleno de los manglares para usos urbanos, agrícolas e industriales, pueden resultar en una reducción real de la capacidad productiva de nuestros mares, dada la estrecha interrelación existente entre numerosas especies marinas y los manglares.

Beneficios económicos derivados de los Manglares de Juan Díaz

Según D'Croz y Kwiecinski (1980), al considerar tan sólo los beneficios derivados de la pesca y sin tomar en cuenta el valor forestal de los manglares, ni sus beneficios al evitar la erosión por el mar en la zona costera, puede inferirse lo siguiente:

Pesca del Camarón:

Conocida la dependencia de las especies de camarones del Pacífico de Panamá con las zonas estuarinas y de manglares, así como los rendimientos pesqueros del área, resulta factible conocer el valor económico de esta relación. Obarrio (1958), indicó que la mayor parte del desembarque camaronero proviene de la región oriental del Golfo de Panamá (Panamá-Darién). En base a la carta de distribución de las áreas de pesca en la República de Panamá (MICI, 1977), puede asumirse conservadoramente que no menos del 60%de la pesca de camarones de la República proviene de esta región oriental del Golfo, que tiene aproximadamente 400 km de costas bordeadas por manglares. La producción media de camarones en los últimos diez años, sin incluir *Solenocera sp.* que no tiene relación con los manglares, es de 4,817,143 kg. El precio promedio de los camarones sin distinguir la especie, es de B/.5.47/kg. Estos valores permiten estimar en cerca de 2,890,286 kg la producción camaronera en la región oriental del Golfo, de manera que cada kilómetro de costa con manglares debe rendir aproximadamente B/.39,524 anuales por concepto de producción camaronera. Para el área de manglares de Juan Díaz, definida entre los ríos Matías Hernández y Tocumen (12 km), la producción correspondiente es de cerca de B/.474,295 anuales. Este valor es conservador y muy probablemente por debajo del valor real, toda vez que no se han separado los precios de los camarones según la cla-

se y el mayor precio corresponde en realidad a los camarones blancos o langostinos, que se encuentran en mayor proporción en los manglares.

Pesca de la achoveta:
Asumiendo que efectivamente la abundancia de la anchoveta *Cetengraulis mysticetus* está asociada al aporte de detritus de los manglares a las aguas costeras y considerando que la captura de la especie en el área II (que incluye los manglares de Juan Díaz) fué de 57,580 toneladas métricas (T.M.), hemos estimado el aporte de los manglares a esta pesquería. De La información publicada en la Estadística Pesquera (MICI, 1977), se estima que se necesitan 6 toneladas de pescado industrial para elaborar una tonelada de harina de pescado. De esta misma fuente se ha calculado que el precio de la tonelada de harina de pescado es de aproximadamente B/.340.00. Los rendimientos de la pesca de la anchoveta en el área II (50 km de costas) se calculan en B/.65,164/km de manglar, correspondiendo B/.781,972 anuales al rendimiento de los manglares de Juan Días en concepto de Pesca industrial.

Pesca artesanal:
Para esta estimación se han contemplado los datos correspondientes al valor de los desembarques artesanales en la Ciudad de Panamá en 1977 (MICI, 1977), cuya pesca puede atribuirse en su totalidad a los manglares del área de Juan Díaz. Sólo las especies observadas como juveniles en los manglares se han considerado en el cómputo pesquero y son:

Corvina lona (*Micropogon* sp.):	B/. 762.00
Pargos (*Lutjanus* sp.)	35,426.00
Robalo (*Centropomus* sp.)	1,190.00
TOTAL	B/.37,378.00

Por lo que puede concluirse que por concepto de pesca artesanal el rendimiento de los manglares de Juan Díaz es B/.3,114 por kilómetro.

Los resultados obtenidos indican que anualmente la producción pesquera (camaronera, achovetas y artesanal) dependiente de los manglares de Juan Díaz es de B/.1,293,645 o de B/.107,803 por kilómetro de costa bordeada por manglares.

Efectos de la Contaminación en los Manglares

Considerando las proyecciones futuras sobre el desarrollo urbano en el área de Juan Díaz, se plantea la posibilidad de la eliminación de los manglares del área, aunque esta eliminación presenta ciertas interrogantes ecológicas, económicas y pesqueras.

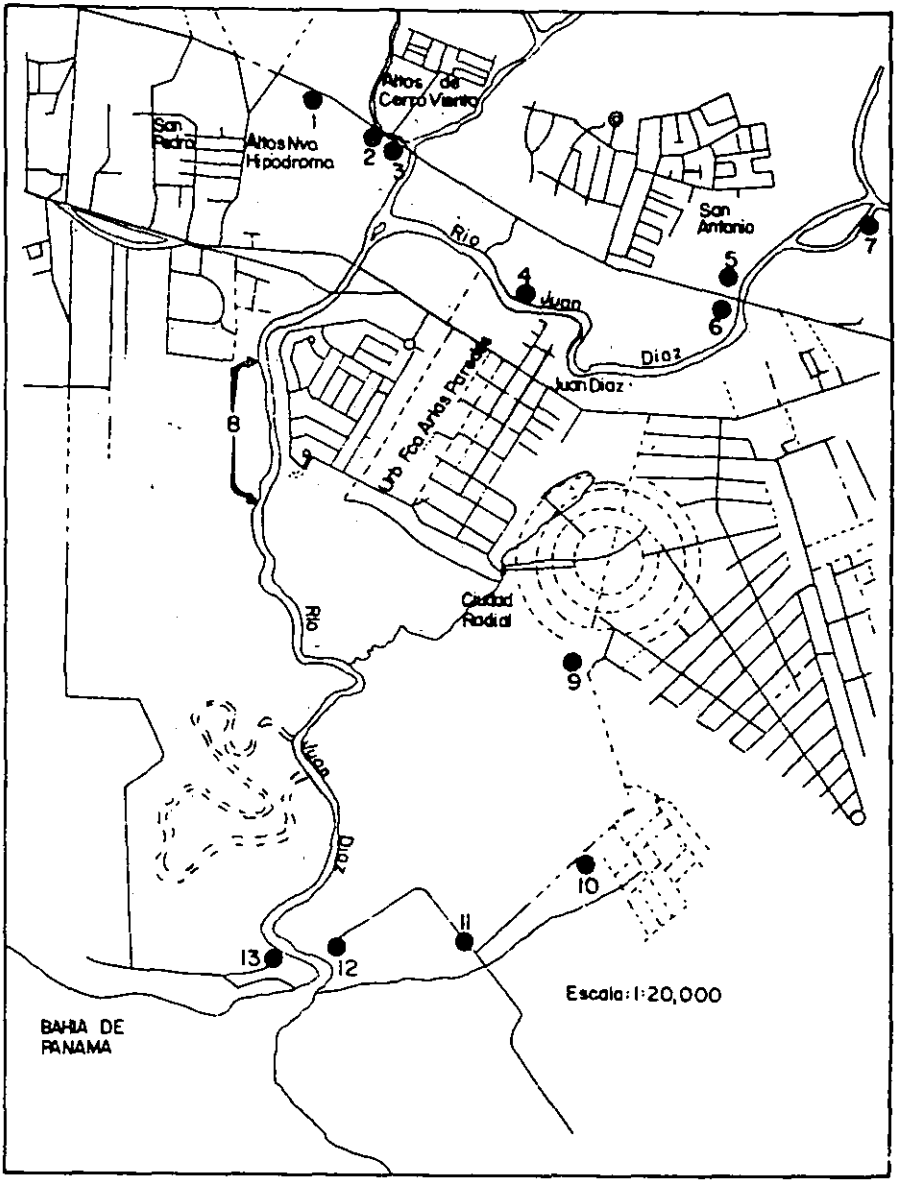


Fig. 4: Puntos de contaminación real y potencial en la cuenca del río Juan Díaz; 1 y 11, fábricas de baterías para autos; 2 y 3, fábricas de plásticos; 4 y 6, industrias papeleras; 5, industrias metalúrgicas; 7 y 9, Tenerías; 8, puntos actuales de descarga de aguas servidas; 10 y 13, industrias de la madera; 12, procesadora de mariscos.

Para garantizar el papel ecológico de los manglares y estuarios resulta indispensable la prevención de la contaminación que afectan directamente a los manglares, especialmente los herbicidas y el petróleo. Caso de contaminación de los manglares por petróleo se observó en Bahía de las Minas, durante 1969 y 1976 (Rutzler y Sterrer, 1970).

Las obras de ingeniería también pueden destruir los manglares si se les elimina el acceso al libre flujo de las aguas, ejemplo de esta destrucción de manglares se observó durante la urbanización de Punta Chame.

Las aguas servidas (negras) no afectan directamente al mangle, sin embargo introducen una carga de contaminantes orgánicos reduciendo el oxígeno disuelto en el agua con la consecuencia de reducción o eliminación de la fauna marina del área.

De acuerdo A D'Croz y Kwiecinski (1980), se reconoce què actualmente existen dos lugares de desagüe de aguas servidas en el río Juan Díaz (fig. 4), dando lugar a una seria contaminación local, que irá en aumento con el crecimiento de la población en el área. De acuerdo a los datos disponibles se estima que la población del área aumentará del nivel actual de 57,000 habitantes a cerca de 570,000 en el año 2,020, o sea un aumento de diez veces la magnitud actual. De igual forma se espera que la cantidad de plantas industriales se multiplique por diez para el año 2,020. Hoy día existen cerca de doce fábricas a lo largo del río Juan Díaz y sus afluentes (fig. 4), cuyo impacto sobre el medio ambiente varía desde aquellas que no parecían tener mayores consecuencias ecológicas, como la Fábrica de Cuadernos Escolares hasta fábricas de baterías que procesan plomo, elemento altamente contaminante, bioacumulable y de peligro real para la salud humana y ambiental. A pesar de no disponer de datos periódicos sobre la concentración de los contaminantes directamente tóxicos provenientes de estas plantas, los pocos análisis disponibles indican la presencia de serios contaminantes tóxicos.

De igual forma al aumento industrial y poblacional de Juan Díaz, se espera que la descarga de aguas servidas aumente desde el nivel actual (cerca de cinco millones de galones por día), hasta los cincuenta millones de galones diarios (mgd) en el año 2,020. Para apreciar la magnitud del problema vale la pena mencionar que los caudales promedios del río Juan Díaz en temporada seca y lluviosa se estiman en 17 mgd y 125 respectivamente. Esto significa que los caudales de aguas servidas serán tres veces mayores que el caudal actual del río en la temporada seca y llegará a ser casi la mitad del caudal actual del río durante la temporada lluviosa.

Conociendo el flujo actual del río Juan Díaz y tomando en cuenta los datos analíticos disponibles, se estima que la carga de contaminantes que vierte el río al mar tiene las siguientes características (según datos de 1977):

Contaminante	kg/día	gr/cápita/día
B.O.D.	1700	30
Sólidos suspendidos	2300	40
Nitrógeno total	850	15
Fósforo total	150	2.5

Para la estimación de la carga de contaminantes en el año 2,020 se ha tomado como referencia la actual carga de contaminantes (en gr/cápita) de la Zona del Canal, según el procedimiento utilizado por el IDAAN (1977). Esta referencia, junto a los datos sobre la población del área en el año 2,020 permiten estimar la carga de contaminante en kg/día:

Contaminante	kg/día	gr/cápita/día
B.O.D.	40,000	70
Sólidos suspendidos	31,000	55
Nitrógeno total	10,000	18

Se conoce de los anteriores estudios (IDAAN, 1977), que los dos lugares de descarga de aguas servidas en el Río Juan Díaz desarrollaron una zona permanentemente de contaminación de 1,200 metros de largo y casi carente de oxígeno disuelto. Esta zona anóxica se mueve río abajo o río arriba según el estado de la marea y se ampliará en longitud en la medida que aumenten los caudales de las aguas servidas, llegando posiblemente en el futuro a contaminar todo el río y la zona de manglares

didas en las pesquerías, que en el caso de Juan Díaz representan más de un millón de Balboas anualmente. Finalmente, se llama la atención al hecho de que la eliminación de los manglares como solución inmediata a la demanda de tierras para usos urbanos, industriales y agrícolas constituye un precedente peligroso para dar soluciones fáciles y a corto plazo, que inevitablemente conducirá a un desequilibrio ecológico y hacia graves pérdidas pesqueras.

BIBLIOGRAFIA

BAYLIFF, W.H.
1963 The food and feeding habits of the anchoveta *Centengraulis mysticetus* in the Gulf of Panama. Inter. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull., 7:397–460.

BAYLIFF, W.H.
1966 Population dynamics of the anchoveta *Cetengraulis mysticetus* in the Gulf of Panama, as determined by taqqiug experiments. Inter. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull., 11: 173–352.

CALDER, D.R., P. Eldridge, & E. Joseph.
1974 The shrimp fishery of the Southeastern United States: A management planning profile. S. Carol. Wild. Mar. Res. Dep., Tech. Rep., 5. 228 p.

D'CROZ, L
1976 Estuarios: Recurso desestimado. Conciencia, Univ. Panamá, 3: 1–7.

D'CROZ, L. y B. Kwiecinski.
1980 Contribución de los manglares a las pesquerías de la Bahía de Panamá, Rev. Biol. Trop., 28 (1): 13–29.

D'CROZ, L. J. Martínez, & J. Del Rosario.
1976 Estudio ecológico sobre las poblaciones de camarones Peneidos juveniles en los estuarios del Golfo de Panamá. III Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol. San Salvador, El Salvador. 1–5 Nov. 1976. 16 p. (Mimeo.).

HEALD, E., & W.E. Odum.
1970 The contribution of mangrove swamps to Florida fisheries. Gulf Caribb. Fish. Inst., Proc. 22 ann. sess.: 130–135.

HERNANDEZ, A., & K.P. Muellen.
1977 Observaciones preliminares sobre la productividad primaria en un ecosistema manglar–estuario (Guapi, Colombia) Men. II Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol., Univ. de Oriente, Venezuela 24–28. Nov. 1975. Tomo II: 89–98.

OBARRIO, J.L.
1958 Research on the shrimp fishery of Panama. Gulf. Caribb. Fish. Inst., Proc. 11 ann. sess' 15–18.

Panamá, Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN).
1967 Informe sobre sistemas de tratamiento de aguas negras y rehabilitación del casco viejo de la Ciudad de Panamá. Enero 1977. 208 p.

Panamá, Ministerio de Comercio e Industrias (MICI)
1978 Estadística Pesquera, Junio 1978. 69 p.

ROBAS, A.
1970 South Florida's mangrove–bordered estuaries, their role in sport and commercial fish production. Sea Grant Inform. Bull., 4: 28 p.

RUTZLER, K. & W. Sterrer
1970 demage observed in tropical commnities along the Atlantic seaboard of Panama by oil pollution. BioSciense, 20: 222–224.
SAENGER, P., E.J. Hegerl y J.D.S. Davie (Eds.).
1983 Status of mangrove ecosystems. *Commision on Ecology Papers*, N^{0}3. International Union for conservation of nature and natural resources ((IUCN).