

---

1500-2-1984

# IDENTIFICACION Y ANALISIS DE ECOSISTEMAS DEL CARIBE

JORGE ENRIQUE CORREDOR

---

Las últimas décadas han visto una virtual explosión en el estudio de la ecología del Mar Caribe. Se puede atribuir este interés a la creciente preocupación por la vulnerabilidad de los ecosistemas marinos, a las presiones causadas por el crecimiento demográfico en el área y al desarrollo de una serie de poderosos esquemas teóricos aplicables al análisis racional de las observaciones empíricas hechas en el mar. Nos encontramos en un periodo de transición en el cual suplementamos y trascendemos los clásicos estudios de ecología descriptiva con nuevos marcos conceptuales, los cuales se distinguen por su propósito primordial de efectuar un análisis funcional y dinámico de las interrelaciones de un ecosistema con el medio externo y de los procesos internos del mismo. Odum (1971) cita algunas de las estrategias de uso moderno para el análisis de los ecosistemas. En breve, se trata de identificar y cuantificar su comportamiento en términos de: el flujo de energía entre los componentes de un ecosistema y el medio ambiente; el flujo de la materia orgánica, sus transformaciones y su distribución en las pirámides tróficas; el flujo de elementos nutrientes en los ciclos biogeoquímicos; y, la diversidad de los organismos en un ecosistema y sus cambios en el tiempo y en el espacio. Disponible esta información, es posible formular modelos predictivos capaces de anticipar los cambios posibles en un ecosistema sujeto a presiones definidas. Ta-

les modelos van desde las simples analogías de circuitos eléctricos reproducibles en computadores análogos hasta los poderosos modelos matemáticos diseñados para uso con el computador digital.

Felizmente, un gran número de las investigaciones que han resultado en estos esquemas teóricos han tenido su origen en el área caribeña. Basta recordar que uno de los textos de ecología marina más difundidos en la actualidad es la conocida *Ecología Marina* de LaSalle (Ginés y Margalef, 1972) que, pudiera decirse, fue engendrada en el mismo Mar Caribe.

El presente ensayo se propone ilustrar la naturaleza de algunos de los principales ecosistemas del Caribe a la luz de la nueva disciplina de la ecología funcional. Se presenta en primer término una breve discusión de las bases teóricas de esta disciplina. Se enumeran a continuación las principales divisiones ecológicas del Caribe proponiendo criterios adecuados para su identificación. Finalmente, se discute la aplicación de los esquemas teóricos de la ecología funcional al estudio de algunos ecosistemas representativos del Caribe.

La ecología como ciencia incluye una variada gama de subdivisiones, espectro que sería difícil resumir en un solo trabajo. Así, se acostumbra diferenciar entre "autoecología", aquella que trata de las interacciones de un organismo o especie con su medio ambiente, y "sinecología", campo que se ocupa del estudio del ecosistema comple-

to como unidad de análisis. La problemática que aquí nos ocupa puede quizás estudiarse de una forma más productiva aplicando un marco sinecológico, marco al cual se limita el presente trabajo, en especial en lo que se refiere a estudios basados en teorías de trofodinámica y de informática. Como punto de referencia para los ecosistemas del Caribe, se discuten también algunos de los principales factores abióticos que regulan las comunidades biológicas en estas áreas.

## Bases Teóricas de la Ecología Funcional

Los avances modernos de la ecología funcional están basados en unos pocos conceptos fundamentales, producto de la síntesis de innumerables observaciones del comportamiento de los ecosistemas. Una de las características comunes de estos marcos teóricos es que se puede considerar cada ecosistema como una entidad independiente con una organización interna característica.

Algunos de los avances más notables de la sinecología moderna se basan en el concepto del flujo energético en las tramas tróficas. Aunque Elton fue el primero en sugerir una estructura de pirámide en las tramas tróficas, es Lindeman (1942) quien, en su trascendental trabajo *The trophic dynamic aspect of ecology*, pone de presente que la estructura piramidal es consecuencia directa de las leyes termodinámicas que rigen el flujo de energía.

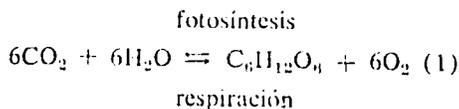
---

Jorge Enrique Corredor, colombiano, oceanógrafo, recibió su doctorado de la Universidad de Miami, Florida, Estados Unidos, en Biología Oceanográfica en 1978. Actualmente es Profesor Asociado de Química Oceanográfica en la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. Dirección: Departamento de Ciencias Marinas, Facultad de Artes y Ciencias, Mayagüez, Puerto Rico, 00708.

---

Propone por tanto que el flujo energético (y no necesariamente el contenido de energía o biomasa) en cualquier nivel trófico es siempre menor que aquél en el nivel inmediatamente inferior y viceversa; que la proporción de energía perdida en la respiración a la energía total absorbida en el alimento es progresivamente mayor para niveles superiores en la trama trófica; y que la eficiencia de conversión es progresivamente mayor en los niveles superiores. Lindeman es uno de los primeros en notar la importancia vital de los organismos descomponedores o saprófitos como elementos de reciclaje de materia y energía en el ecosistema.

Los trabajos de Odum y sus numerosos discípulos en años recientes han demostrado ampliamente la utilidad práctica de este poderoso método de estudio en el análisis del comportamiento de los ecosistemas marinos una vez definidos los parámetros operacionales necesarios. Así, aunque los ecosistemas son esencialmente sistemas abiertos que intercambian energía y materiales con el medio ambiente, pueden definirse límites precisos para el ecosistema si se cuantifican los flujos de energía y materiales a través de éstos. Dado que la energía química contenida en los compuestos orgánicos es utilizada por los organismos en sus procesos metabólicos o almacenada directamente en los tejidos durante el crecimiento, podemos expresar la biomasa interconvertiblemente en términos de masa de carbono orgánico reducido o de contenido energético en forma de calorías. Tomando la glucosa como patrón común, la proporción es tal que un gramo de carbono orgánico equivale a aproximadamente 3,6 kilocalorías. Finalmente, puesto que los procesos de respiración y fotosíntesis son imágenes inversas el uno del otro:



la cantidad de oxígeno liberado por una comunidad en un intervalo dado puede igualarse a la cantidad de carbono orgánico generado y la cantidad de oxígeno consumido puede igualarse a la cantidad de carbono orgánico oxidado a gas carbónico.

Identificando entonces los principales componentes de un ecosistema (productores, consumidores, descomponedores, etc.) y cuantificando su contenido energético (biomasa) y las ta-

sas de producción y respiración, es posible construir modelos teóricos capaces de reproducir los cambios observables en el ecosistema. Los esquemas tróficos de algunos de los ecosistemas tropicales más productivos tales como los manglares han sido cuantificados en estos términos utilizando funciones de la forma:

$$\frac{dQ}{dt} = k_1Q - k_2Q \quad (2)$$

donde  $dQ/dt$  representa el cambio neto en biomasa (o contenido energético) en el comportamiento  $Q$ , y  $k_1$  y  $k_2$  son las tasas unitarias de aporte o pérdida del comportamiento en cuestión. Definidas las funciones para cada compartimiento, y cuantificadas las constantes, se construye una red análoga de circuitos eléctricos donde las conexiones individuales representan pasos tróficos y el flujo de corriente refleja la magnitud de los coeficientes y de los compartimientos de almacenamiento.

Aunque estos modelos análogos han sido útiles en algunos casos, en otros son demasiado simples para reflejar adecuadamente procesos ecológicos. En especial, los modelos análogos adolecen de la falta de reducir todos los pasos de intercambio a funciones lineales de la biomasa de cada compartimiento. Para utilizar funciones más complejas sin embargo, debe recurrirse al computador digital.

La observación empírica de los ecosistemas nos indica que muchos de los procesos ecológicos pueden ser representados por funciones más complejas que las simples funciones lineales. Puede citarse como ejemplo el caso de la absorción de nutrientes por algas o bacterias unicelulares. En 1840, Liebig enunció su conocida Ley del Mínimo la cual nos dice que "en todo proceso ecológico, la producción primaria viene a depender de aquel factor cuya intensidad se aproxima más al mínimo". Los trabajos de Monod con bacterias y, más recientemente de Dugdale (1967) con fitoplancton marino indican que la tasa de absorción de nutrientes externos por tales organismos varía en la forma de una hipérbola rectangular en función de la concentración del nutriente limitante:

$$u = \frac{u_{\text{max}} \cdot S}{K_s + S} \quad (3)$$

donde  $u$  es la tasa de absorción,  $S$  la concentración del nutriente limitante  $K_s$  y  $K_s$  una constante característica del or-

ganismo. Este concepto junto con expresiones matemáticas para las variaciones de tasas fotosintéticas con irradiación y para tasas de pastoreo por el zooplankton han sido aprovechados por Walsh (1977) para formular modelos de los niveles tróficos inferiores en la surgencia del Perú, con un notable éxito en la predicción de cambios tanto en biomasa como en la concentración de sales nutrientes disueltas. La complejidad de estos modelos obliga a la utilización del computador digital capaz de computar con facilidad funciones no lineales.

Los esquemas teóricos desarrollados en estudios de informática nos indican que el mantenimiento de la información implica el consumo de energía. Dicho concepto ha sido aplicado con gran éxito al estudio de ecosistemas utilizando la función de diversidad desarrollada por Shannon y Weaver en el campo de las telecomunicaciones y adoptado por Pielou (1966) para la descripción de ecosistemas. La expresión:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log P_i \quad (4)$$

donde  $P_i$  es la proporción de individuos de la especie  $i$  en una comunidad de  $s$  especies, cuantifica la diversidad y por tanto la complejidad del ecosistema. Wade (1977) ha utilizado provechosamente el análisis de diversidad de especies para documentar la degradación ambiental de la bahía de Kingston en Jamaica.

En un medio aparentemente homogéneo como lo son las zonas pelágicas y los fondos abisales, pequeñas diferencias ambientales, no detectables con las técnicas disponibles, pueden regular la estructura de las comunidades. Usando muestreos limitados de los organismos presentes, es posible diferenciar comunidades individuales por medio del llamado "análisis de grupos recurrentes" desarrollado por Fager y McGowan (1963). El índice de afinidad entre dos especies se define como:

$$I.A. = \left[ \frac{J}{(N_a \cdot N_b)^{1/2}} \right] - \frac{1}{2} (N_b)^{1/2} \quad (5)$$

donde  $J$  es el número de ocurrencias,  $N_a$  es el número de ocurrencias de la especie  $a$  y  $N_b$  el número de ocurrencias de la especie  $b$ . Tomando un valor límite de afinidad mínimo, se identifican los grupos recurrentes.

Es aparente que nuestros sencillos esquemas teóricos son sólo un pálido reflejo de la realidad. Sin em-

bargo, si en algún grado nos ayudan en nuestro empeño de conservar los ecosistemas al mismo tiempo que llevamos a cabo su aprovechamiento racional, debemos esforzarnos por su continuo perfeccionamiento. Ya Margalef (1961) ha identificado un paso importante a seguir; aquel de unificar los modelos tróficos con aquellos de base informática. Lindemann noto que los organismos que ocupan los niveles más altos de la trama trófica demuestran mayor eficiencia en la transformación del alimento. Se ha notado por otro lado que a mayor contenido de información, mayor contenido energético. Estas observaciones, unidas a aquella de que el contenido de proteína generalmente aumenta a medida que se asciende por la trama trófica, nos indican que el contenido informático por unidad de biomasa es mayor en los consumidores de alto nivel. Los modelos análogos actuales hacen caso omiso de estas diferencias puesto que, comúnmente, el contenido energético se calcula en términos de equivalentes de glucosa. Se espera entonces que los modelos futuros incorporen no sólo expresiones para contenido energético, sino también expresiones para contenido informático.

### Ecosistemas del Mar Caribe

El Mar Caribe ocupa un lugar céntrico en la gran provincia zoogeográfica neotropical y, como tal, comparte numerosas características con áreas vecinas como el Golfo de México, los bancos de Bahamas, la plataforma continental de las Guayanas y de Brasil y el Océano Atlántico centro-occidental. En muchos casos entonces, los estudios ecológicos llevados a cabo en áreas vecinas tienen inmediata aplicación en ecosistemas caribeños propiamente dichos. Aún así, dentro del propio Caribe se notan marcadas diferencias faunísticas y florísticas, diferencias que se han utilizado para definir subregiones distintas. Ekman (1967) en su clásico tratado de zoogeografía marina, resalta las diferencias aparentes entre la región antillana, el arco de islas que se extiende desde Cuba y Bahamas, en el norte, hasta la Isla de Trinidad en el sur, y la región de la plataforma continental de Norte, Centro y Sur América. Voss *et al.* (1977) confirman esta observación y citan a su vez subdivisiones en la fauna de la plataforma continental identificando componentes sur y norte, el límite de los cuales forma una zona de transición en las cercanías de las costas colombianas. Cervigón (1965) hace mención de una segunda transición entre la fauna caribe-

ña y aquella de la plataforma del Brasil. Así pues, vemos que el Mar Caribe constituye un mosaico de subregiones zoogeográficas distintas. No obstante estas importantes diferencias, encontramos que muchos tipos característicos de ecosistemas tales como los arrecifes coralinos, manglares y praderas submarinas se encuentran ampliamente difundidos en la región. Si bien algunos de los organismos de estos ecosistemas ocurren sólo en ciertas áreas geográficas determinadas, en general podemos presuponer que la organización trófica de estos ecosistemas no varía significativamente en el área.

Así como los organismos se pueden clasificar en "autótrofos", aquellos capaces de sintetizar su propio alimento a partir de energía radiante o energía química y compuestos inorgánicos, y "heterótrofos", dependientes de los primeros, igualmente podemos aplicar estos criterios a los ecosistemas como unidades de estudio. Los ecosistemas neríticos sobre la plataforma continental y el medio epipelágico de las aguas oceánicas superficiales cuentan con grandes poblaciones de plantas bentónicas o planctónicas y por tanto pueden considerarse como ecosistemas autotróficos. Aquellos de las aguas profundas donde la ausencia de luz excluye la presencia de organismos fotosintéticos dependen en gran parte de la importación de materia orgánica desde otros ecosistemas y deben por tanto clasificarse como heterotróficos.

Los ecosistemas autotróficos se diferencian claramente de aque-

trientes. Por otro lado, la constante sedimentación de detritus orgánico sustrae nutrientes como fósforo y nitrógeno los cuales se pierden en los fondos abisales. En las aguas neríticas, por lo contrario, hay un constante aporte de nutrientes inorgánicos de origen terrígeno y las comunidades del bentos cercano a la superficie representan un efectivo mecanismo de reciclaje de nutrientes. La alta productividad de los ecosistemas neríticos, a más de su fácil accesibilidad, hacen de éstos un recurso natural de gran importancia. En el Caribe, los principales ecosistemas de este grupo son: las lagunas costeras, bahías y estuarios, las playas arenosas y rocosas, los manglares, las praderas submarinas de macroalgas y fanerógamas marinas, los arrecifes coralinos y los fondos fangosos y arenosos. Muchos ecosistemas están constituidos por mezclas de las categorías arriba expuestas. Así, muchas lagunas costeras están bordeadas por mangle y presentan extensas praderas de fanerógamas y algas.

En comparación con los ecosistemas neríticos, los ecosistemas oceánicos del Caribe son muy poco productivos, condición que se puede atribuir principalmente a las limitaciones impuestas por la escasez de nutrientes inorgánicos. La predominancia del alga cianofítica *Oscillatoria (Trichodesmium) thiebautii* en estas aguas se debe a su singular capacidad de utilizar directamente el nitrógeno molecular disuelto para la síntesis de productos nitrogenados; capacidad de la cual carecen las algas plane-

---

Nos encontramos en un período de transición en el cual suplementamos y transcendemos los clásicos estudios de ecología descriptiva con nuevos marcos conceptuales. . .

---

llos cercanos a las costas de continentes e islas donde la presencia de un fondo cercano a las capas superiores ejerce profunda influencia sobre las comunidades biológicas, y las aguas puramente oceánicas alejadas de los fondos. Es conveniente (aunque no siempre exacto) considerar que el borde de la plataforma continental o insular coincide con la línea de separación entre los dos medios. En las aguas oceánicas estratificadas, el aporte de nutrientes inorgánicos es limitado debido a la ausencia de mecanismos de mezcla de las aguas superiores con las capas profundas ricas en nu-

tónicas comunes de aguas más fértiles como diatomeas y dinoflagelados (Carpenter y Price, 1977).

Los ecosistemas de surgencia representan un tipo de comunidad pelágica singular debido al aporte constante de nutrientes inorgánicos por advección eólica de aguas profundas ricas en nutrientes. Su alta productividad ha sido ampliamente documentada (Cervigón, 1965; Bogdanov *et al.*, 1968; Corredor, 1977) y muchas pesquerías de importancia comercial en el Caribe dependen de ellos. Las surgencias de Margarita en Venezuela, la Guajira en Colom-

bia y Yucatán en México son representantes de este importante grupo.

La dificultad que conlleva el muestreo biológico en aguas profundas ha limitado el estudio no sólo de las comunidades abisales sino también de aquellas de la plataforma continental.

La identificación de ecosistemas o comunidades en aguas profundas es especialmente difícil debido a las limitaciones impuestas por el medio al muestreo biológico. En este sentido, un poderoso método de identificación es aquel del análisis de grupos recurrentes. Ya Voss y colaboradores (1977) han aplicado este marco teórico a la identificación de comunidades características de invertebrados en la plataforma continental del norte de Sur América.

### Análisis de Ecosistemas Característicos del Mar Caribe

En esta sección se discute la aplicación del análisis ecológico funcional a algunos de los ecosistemas representativos del área del Caribe. Se presta especial atención a los métodos de aplicación de esquemas teóricos, a la cuantificación práctica de los ecosistemas y a las diferencias en niveles metabólicos observados. Las limitaciones prácticas impuestas por el medio oceánico y la importancia inmediata de los ecosistemas costeros han hecho que las investigaciones se hayan concentrado en estos últimos.

### Ecosistemas de Manglares

Los manglares ocupan extensas áreas del litoral Caribe y constituyen uno de los tipos de ecosistemas más productivos de la zona. Los principales productores primarios son tres especies de mangle: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Estas constituyen la mayor parte de la biomasa del ecosistema lo cual en efecto las sitúa como especies diagnósticas.

Cintrón y colaboradores (1975) han descrito la zonación de las tres especies bajo distintas condiciones medioambientales y fisiográficas. Aunque se presentan numerosas variantes, generalmente se distribuyen en franjas paralelas a la costa en el orden arriba indicado con *R. mangle* ocupando la franja expuesta al mar abierto. Los manglares pueden constituir ecosistemas relativamente aislados o pueden formar subsistemas en estuarios, bahías y lagunas costeras.

El análisis funcional ecológico de los manglares ha producido sorprendentes revelaciones acerca de su importancia biológica y económica y, en muchas instancias, ha resultado en drásticas revisiones de políticas de usos y conservación a nivel gubernamental. Caso notable es el de los estudios de Odum (1971) y Heald (1971) en las costas de La Florida, en los cuales se aplicó el análisis de flujo energético demostrando la importancia vital de los manglares en el mantenimiento de poblaciones de peces y crustáceos de interés comercial. En particular, su trabajo resalta la importancia de los componentes detriticos, producto de la descomposición microbiana de hojas, flores, etc., como alimento para anfípodos y otros detritívoros los cuales a su vez constituyen el alimento principal de muchos consumidores de alto nivel.

La descomposición microbiana del detritus al transformar el material de mangle (principalmente carbohidratos) en el alimento disponible para los detritívoros incrementa la proporción de nitrógeno a carbono en este material produciendo un alimento de alto contenido proteínico. Fell y colaborado-

sistema de manglares, con el fin de estimar la magnitud de los compartimientos, de almacenaje de carbono reducido y de las tasas metabólicas de éstos en términos de flujo de energía o de carbono orgánico. Estos estudios establecen claramente que los manglares no sólo representan grandes reservorios de carbono reducido, tanto, en las partes vivas de las plantas (aproximadamente 5.5 g de carbono orgánico por metro cuadrado en los manglares de La Florida) como en los sustratos detriticos (hasta 3 gC . m<sup>-2</sup>) sino que la alta proporción de fotosíntesis total a respiración indica un vigoroso crecimiento y significativa exportación de materia orgánica hacia otros ecosistemas vecinos. Este transporte puede ser en forma de detritus suspendido en las aguas de marea que bañan el sustrato o bien en la forma de juveniles y subadultos de muchas especies de crustáceos y peces que, después de pasar sus estadios de crecimiento en el área de mangle, migran hacia aguas más profundas y ecosistemas distintos.

Lugo y colaboradores (1973) han desarrollado un interesante modelo trófico para los manglares de La Florida basado en análisis de sistemas.

---

"Felizmente, un gran número de las investigaciones que han resultado en estos esquemas teóricos han tenido su origen en el área caribeña".

---

res (1975) han estudiado detenidamente el proceso de descomposición encontrando que los principales grupos descomponedores son bacterias y hongos filamentosos y, en estados más avanzados de descomposición, protozoos, rotíferos y nemátodos. Estos organismos incorporan el nitrógeno orgánico disponible a sus estructuras celulares desechando gran parte del carbono orgánico en forma de gas carbónico y usando la energía liberada en sus procesos metabólicos. La actividad de bacterias reductoras del nitrógeno molecular en este medio es una fuente adicional de nitrógeno disponible y contribuye al enriquecimiento del detritus.

Golley y colaboradores (1962) trabajando en la costa sur de Puerto Rico y Lugo y Sendaker (1975) en La Florida, han llevado a cabo determinaciones experimentales de la biomasa y de las tasas de fotosíntesis y/o respiración en distintos componentes del eco-

Por medio de este modelo, una vez determinada experimentalmente la magnitud de cada compartimiento en términos de masa de carbono orgánico por unidad de área y de las tasas de transporte y de respiración en términos de flujo de carbono orgánico reducido por unidad de área y de tiempo, es posible simular la respuesta del ecosistema a cambios externos en aporte o sustracción de nutrientes. Este modelo representa uno de los avances más notorios en ecología funcional de ecosistemas marinos en tiempos recientes.

Canoy (1976), investigando la respuesta de manglares del sur de Puerto Rico al *stress* causado por contaminación térmica, ha dado importantes pasos en la unificación de teoría informática con teoría trófica de sistemas. Este investigador, invocando la función informática del ácido desoxirribonucleico (DNA), demuestra una correlación entre el incremento de contenido de DNA

(contenido informático) por unidad de área en manglares afectados por contaminación térmica y el aumento neto en actividad metabólica (respiración) necesario para mantener la homeostasis bajo condiciones de *stress*.

### Ecosistemas de Arrecifes Coralinos

La característica más significativa pero menos notoria a primera vista de estos ecosistemas es la ubicuidad de las algas conocidas como zooxantelas, microorganismos unicelulares, principalmente de la especie *Gymnodinium microadriaticum*, la cual se encuentra en íntima simbiosis con una gran variedad de invertebrados, en especial con los corales formadores de arrecifes (hermatípicos). Aunque existen organismos provistos de zooxantelas en otros ecosistemas distintos de los arrecifes coralinos, en ninguna otra parte florecen con tan gran profusión por lo cual podemos sin lugar a duda considerar a este organismo junto con sus simbiosites más comunes, los corales hermatípicos, como diagnósticos de los arrecifes coralinos.

La ecología descriptiva de los arrecifes coralinos del Caribe logra su más lúcida expresión en los trabajos de Goreau (1959, 1973) sobre los arrecifes de Discovery Bay, en Jamaica. En contraste con los manglares, en los arrecifes coralinos del Caribe ha habido menos avances en la formulación de modelos coherentes del ecosistema en términos trofodinámicos. Trabajos aislados de distintos grupos de investigadores analizan compartimientos específicos de ecosistemas pero ha faltado una integración del tipo de aquella generada por Odum y Odum (1955) en el atolón de Eniwetak, en el Pacífico Central.

Así, los trabajos de Rivero *et al.*, (1959) en los arrecifes del suroeste de Puerto Rico documentan las tasas metabólicas de los arrecifes como unidades metabólicas, comparando el contenido de oxígeno de las aguas circundantes antes y después de pasar sobre el arrecife. Sus cálculos indican tasas de producción netas de 1.5 a 2.0 g. m<sup>-2</sup>. día<sup>-1</sup> de oxígeno (convertible directamente a carbono orgánico como primera aproximación). Este carbono orgánico reducido debe entonces estar representado en crecimiento de la biomasa total del arrecife o en exportación a otros ecosistemas (presumiblemente en forma de peces y otros organismos depredados por carnívoros pelágicos tales como atunes y tiburones).

No existe aún un esquema comprensivo de las tramas trófi-

cas de los arrecifes caribeños, obra monumental vista la complejidad de estos ecosistemas. Existen sin embargo trabajos aislados tales como los de Randall (1965, 1967) sobre los peces de arrecife que indican algunos de los caminos que sigue el carbono reducido. Observación importante en estos trabajos es aquella de que buena parte del alimento de peces herbívoros de arrecife viene no del mismo arrecife, sino de las praderas sumergidas de fanerógamas marinas (principalmente *Thalassia testudinum*) comúnmente asociadas a los arrecifes coralinos. Por otro lado, en años recientes, se ha prestado atención a la posibilidad de que un significativo eslabón entre los corales como productores primarios, y los peces e invertebrados avanzados como consumidores, sea el de la mucosa de alto valor nutritivo que constantemente producen los corales. Una incógnita de gran interés es de cómo los arrecifes pueden mantener la alta proporción de biomasa animal a biomasa vegetal allí observada. El esquema trofodinámico de Lindemann (1942) no excluye lo que se conoce como "pirámides eltonianas invertidas" pero sí indica que el flujo energético (la productividad bruta) de la parte vegetal debe ser siempre mayor que aquel de la parte animal. Esto implica unas tasas de productividad extremadamente grandes para las zooxantelas si éstas son en efecto los principales productores primarios del arrecife. Desafortunadamente, la íntima asociación de coral y zooxantela dificulta el llevar a cabo determinaciones de las tasas metabólicas de los componentes individuales.

Los arrecifes coralinos se caracterizan por florecer en aguas notoriamente desprovistas de nutrientes inorgánicos disueltos. Esta aparente contradicción ha generado profundo interés en los mecanismos por los cuales los corales absorben y mantienen las sales de fósforo y, especialmente, nitrógeno necesarias para sus procesos biosintéticos. Los trabajos llevados a cabo en atolones del Pacífico por Webb y colaboradores (1975), por Muscatine y D'Elia (1978) y por Pilon y Betzer (1973), en los cuales se usa la técnica de medir las concentraciones de las especies químicas antes y después de pasar sobre el arrecife, han rendido resultados sorprendentes que indican que el cambio en fósforo es mínimo mientras que el cambio en nitrógeno es tal, que el arrecife mismo libera nitrógeno fijado al medio. Aunque en el Caribe no se han llevado a cabo trabajos de este tipo, los trabajos de Capone *et al.*, (1977) en los bancos de Bahamas indican que la presencia de organismos fijadores de nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>),

principalmente cianofitas epifitas sobre algas rojas, proporciona una significativa fuente de nitrógeno reducido dentro del mismo arrecife. Es probable que la íntima asociación coral-zooxantela represente un mecanismo de gran efectividad en el reciclaje de estos nutrientes de tal manera que las zooxantelas proporcionan compuestos orgánicos fosforilados y nitrógenados al coral y éste, a su vez, devuelve las sales inorgánicas de estos elementos a las zooxantelas como producto de desecho de su metabolismo.

La organización de las comunidades de corales en los arrecifes de las Islas de San Blas en el Caribe Suroccidental ha sido documentada por Porter (1972) utilizando métodos basados en el cómputo de diversidad de especies e individuos. Estos trabajos indican que la diversidad de corales en las distintas zonas del arrecife es controlada no sólo por factores ambientales sino también por interacción biológica (incluyendo depredación directa) entre los mismos corales. Los máximos en diversidad parecen ocurrir en las aristas de los acantilados formados por el arrecife donde ocurre el crecimiento más vigoroso.

Las altas tasas metabólicas de los arrecifes coralinos junto con la gran diversidad de especies presentes indican sin duda una alta tasa de productividad. No obstante, a diferencia de otros ecosistemas como aquellos de surgencia donde hay un continuo y masivo aporte externo de nutrientes inorgánicos, los arrecifes dependen en gran parte del reciclamiento interno de nutrientes. Así, las altas tasas de productividad observadas no implican que los arrecifes puedan resistir la presión de explotación comercial practicada en áreas de surgencia. Pueden compararse los arrecifes coralinos con las selvas húmedas tropicales donde se mantienen grandes poblaciones y altas tasas metabólicas gracias al reciclaje interno de nutrientes. Si sustraemos nutrientes en demasía en la forma de proteína animal, puede desequilibrarse irreversiblemente el ecosistema con la consiguiente degradación ambiental. Los estudios de trofodinámica y dinámica de nutrientes, bien pueden ayudar a cuantificar la capacidad de carga de estos prolíficos ecosistemas proporcionando los criterios necesarios para su aprovechamiento racional.

### Ecosistemas de Playas Arenosas

En el Caribe se encuentran grandes extensiones de playas arenosas, algunas de origen biogénico constituidas principalmente por fragmentos calcáreos de algas e invertebrados depositadores de carbonato de calcio, y algu-

nas de origen terrígeno cuya composición y contenido orgánico varían según la naturaleza de la hoya hidrográfica de la cual se originan. Estas playas se dividen claramente en tres franjas: supralitoral, mesolitoral e infralitoral. En general, los límites entre una y otra son bien marcados excepto en el caso del límite inferior de la franja infralitoral. Las franjas supralitoral y mesolitoral (intermareal) constituyen un hábitat bastante riguroso en el cual se observan abruptos cambios en temperatura y salinidad y donde ocurren episodios cíclicos de desecamiento. La inestabilidad del sustrato arenoso hace de éste un hábitat poco favorable para organismos sésiles los cuales están por consiguiente pobremente representados.

Gracias a los trabajos de Edwards (1973) en playas del Caribe venezolano, contamos hoy en día con un detallado esquema de la estructura trófica de estos ecosistemas y de su respuesta a presiones de eutrofización. Determinando las tasas de productividad de los principales productores primarios, las tasas de respiración de los principales consumidores, las biomásas correspondientes y la estructura de las cadenas alimenticias, el autor produce un esquema de flujo de energía a través del ecosistema en términos de kilocalorías por metro cuadrado y por año. Aunque estos ecosistemas son menos productivos que los considerados anteriormente, su valor comercial es importante debido a la demanda turística. Los esquemas de Edwards pueden ser especialmente útiles en la predicción de procesos de degradación en este tipo de ecosistema por presiones externas.

## APENDICE

### El Caribe como Medio Ambiente

Llamamos autoecología al estudio de las interrelaciones de un organismo o una especie con su medio ambiente. Gran parte de los esfuerzos en este campo se dirigen a documentar los intervalos de factores abióticos como temperatura, salinidad, etc., dentro de los cuales pueden vivir y reproducirse los organismos. Existe un gran caudal de información de este tipo, especialmente acerca de especies de importancia comercial y de aquellas que sirven como indicadores biológicos en el Caribe. La profusión de especies en nuestro medio tropical hace impráctico listar los intervalos vitales de cada especie. Sin embargo, el estudio de las condiciones abióticas imperantes da una idea general de los intervalos de magnitud de estos factores a

los cuales están sujetos los organismos allí presentes.

### Temperatura

Las aguas superficiales del Mar Caribe se caracterizan por presentar una temperatura relativamente alta durante todo el año. Así, el intervalo normal de temperaturas superficiales en el Caribe central varía sólo entre unos 25 a 29°C. Sólo en algunas áreas de surgencia costera donde afloran aguas profundas se observan temperaturas más bajas llegando éstas hasta unos 22°C en épocas de surgencia. Así, los organismos de la región se encuentran en un medio de temperaturas muy uniformes sin las rigurosas demandas adaptativas que conllevan los marcados cambios estacionales de latitudes más altas. Sólo en masas de aguas pequeñas y aisladas tales como las lagunas costeras sujetas a altas tasas de irradiación solar ocurren ocasionales incrementos significativos en temperaturas.

En organismos heterotermes, las altas temperaturas implican un metabolismo acelerado y por lo tanto un consumo continuo de energía el cual requiere una provisión constante de alimento. Así, por la simple diferencia en tasa metabólica, un organismo tropical desprovisto de alimento agota sus reservas mucho más rápidamente que un organismo comparable en aguas templadas. Para algunas especies cuyos estados larvarios dependen de un constante suministro de alimento, tal condición puede significar una rápida muerte por inanición en caso de faltar el alimento.

Los patrones de circulación de masas de agua en el Caribe son tales que la profundidad de la capa mixta superficial de aguas cálidas varía notoriamente con la latitud. Así encontramos que esta capa ocupa unos cien metros en el Caribe norte mientras que en el Caribe sur se limita a unos 50 metros y puede llegar aun a desaparecer en las zonas de surgencia. La ocurrencia de áreas de surgencia en las costas de Colombia y Venezuela puede consiguientemente ser un factor principal en la separación biogeográfica arriba mencionada entre las áreas sur y norte del Caribe.

### Salinidad

El contenido salino en las aguas superficiales del Caribe se mantiene generalmente alrededor de 36‰ (Wüst, 1969). En aguas alejadas de la costa, se observa poca variación en salinidad durante el año, pero en aguas costeras se presentan variaciones significati-

vas. Así, en las zonas de surgencia a lo largo del margen sur del Caribe, el aporte de aguas de capa inferior subtropical con salinidades de hasta 38‰ (Corredor, 1977) produce focos de alta salinidad superficial que se extienden desde la costa hasta el borde de la plataforma continental. En lagunas costeras y marismas situadas en zonas desérticas como las costas de la Guajira en Colombia y la costa sur de Puerto Rico, las altas tasas de evaporación pueden causar significativa elevación de la salinidad. En algunas regiones, estas condiciones se aprovechan para la extracción comercial de sal por evaporación.

El deslave continental causa bajas en la salinidad superficial especialmente alrededor de las bocas de los principales ríos: Amazonas, Orinoco, Magdalena, Atrato, y, en el Golfo de México, el Mississippi. En la plataforma continental del continente suramericano desde el Darién en el occidente hasta la desembocadura del río Amazonas en el oriente alternan zonas de baja salinidad atribuible al deslave continental con zonas de alta salinidad causadas por la surgencia eólica; alternación que sin duda contribuye a la formación de las subregiones faunísticas arriba mencionadas.

### Oxígeno Disuelto

Johannes y Betzer (1975) han discutido extensamente las consecuencias biológicas de las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en aguas marinas tropicales. La disponibilidad de oxígeno disuelto a los organismos marinos en estas aguas se ve severamente limitada por las altas temperaturas superficiales ya que la solubilidad de este gas es en función inversa de la temperatura. A esta baja concentración natural, se suma una demanda acelerada debido a las rápidas tasas metabólicas de los organismos heterotermes. Estas circunstancias colocan a muchos organismos, especialmente peces y crustáceos, cerca de su límite de tolerancia. Pequeños aumentos en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) causadas por eutrofización, o bajas en la solubilidad por elevaciones anormales de la temperatura pueden por consiguiente significar la muerte de gran número de peces e invertebrados. Pagán y Austin (1970) han descrito un episodio de mortandad en la laguna Joyuda en la costa occidental de Puerto Rico atribuyendo la muerte de numerosos crustáceos (*Callinectes*, *Penaeus*) y peces (*Mugil*, *Centropomus*, *Gerrres*), entre otras causas, a la casi total desaparición del oxígeno disuelto (0,5 ppm) de las aguas de la laguna.

## Nutrientes

Las aguas superficiales de los mares tropicales estratificados se caracterizan por su bajo contenido de sales nutrientes de nitrógeno, fósforo y silicio por lo cual estas aguas han sido descritas como virtuales desiertos biológicos. En las plataformas continentales, e insulares sin embargo, operan una serie de mecanismos de enriquecimiento de naturaleza física y biológica los cuales mantienen algunos de los ecosistemas más productivos de la biosfera (Bunt, 1973). En la costa norte del continente suramericano y en los márgenes de la península de Yucatán, los procesos de surgencia aportan aguas ricas en nutrientes a la superficie. Estas fértiles aguas mantienen por lo tanto ricas comunidades marinas de notable importancia comercial. El efecto de "masas de islas", discutido por Sander y Stevens (1973) crea halos de alta productividad alrededor de islas oceánicas en parte por el rompimiento de olas internas y la consecuente mezcla turbulenta de aguas superficiales con aguas más profundas. La cercanía del fondo a la superficie en aguas sobre las plataformas continentales e insulares proporciona el necesario sustrato para el mantenimiento de grandes comunidades bentónicas. En estos fondos relativamente cálidos, la regeneración de sales inorgánicas a partir de detritus orgánico por parte de microorganismos descomponedores constituye una constante fuente de nutrientes para los productores primarios. En contraste, en las aguas alejadas de la costa, el detritus orgánico con su rica carga de nitrógeno y fósforo se pierde a los fondos abisales.

Los manglares, lagunas costeras, estuarios, praderas submarinas y arrecifes coralinos no sólo constituyen trampas biológicas en las cuales los nutrientes se almacenan en forma de biomasa y detritus sino que cuentan con organismos especializados capaces de fijar el nitrógeno molecular disuelto a formas reducidas disponibles para consumidores superiores.

## RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo fue preparado como una contribución del autor al Curso-Seminario sobre el Aprovechamiento Racional de los Recursos Naturales del Mar Caribe. Dicho Curso, auspiciado por CIBCA (Centro Internacional para Formación en las Ciencias Ambientales) y CIENCIAS (Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas") se celebró en Cartagena, Colombia, en noviembre de 1979.

## REFERENCIAS

- Bogdanov, D. V. et al. (1968): Regions of high biological and commercial productivity in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Oceanology*, 8: 371.
- Bunt, J. S. (1973): Primary production: Marine ecosystems, *Human Ecol.* 1: 333.
- Canoy, M. J. (1976): Diversity and stability in a Puerto Rican *Rhizophora mangle* forest. *Proc Intl Symp on Biology Mgmt of Mangroves*, 344.
- Capone, D. G., D. L. Taylor y B. Taylor (1977): Nitrogen fixation (acetylene reduction) associated with macroalgae in a coral reef community in the Bahamas. *Mar Biol* 40: 29.
- Carpenter, E. J. y C. C. Price VI. (1977): Nitrogen fixation, distribution and production of *Trichodesmium (Oscillatoria)* in the Western Sargasso and Caribbean Seas. *Limnol Oceanogr* 22: 60.
- Cervigón, F. (1965): Distribución general y local de los peces de Venezuela y su relación con las regiones ecológicas. *Mem Soc Cien Nat La Salle*, Tomo xxv. 359.
- Cervigón, F. (ed.) (1965): El ecosistema pelágico del Noroeste de Venezuela. *Mem Soc Cien Nat La Salle*, Nos. 70, 71 y 72.
- Cintora, G., A. Lugo, D. Pool y G. Morris (1975): Los Manglares de las costas áridas de Puerto Rico e islas adyacentes. *Memorias II Simp Latinoamericano Oceanogr Biol*, 137.
- Corredor, J. E. (1977): Aspects of phytoplankton dynamics in the Caribbean and adjacent regions. *FAO Fish Report* N° 200: 101.
- Dugdale, R. C. (1967): Nutrient limitation in the sea: Dynamics, identification and significance. *Limnol Oceanogr* 12: 685.
- Ekman, S. (1967): *Zoogeography of the Sea*. Sidgwick & Jackson, London. 417 p.
- Edwards, R. R. C. (1973): Production ecology of two Caribbean marine ecosystems. I. Physical environment and fauna. II. Metabolism and Energy flow. *Est Coast Mar Sci* 1: 303.
- Fager, E. W. y J. A. McGowan (1963): Zooplankton Species Groups in the North Pacific. *Science*, 140: 453.
- Fell, J.; R. C. Cefalu; I. M. Master y A. S. Fallman (1975): Microbial activities in the Mangrove (*Rhizophora mangle*) leaf detrital system. *Proc Intl Symp Biology and Mgmt of Mangroves*, Vol 2. 661.
- Ginés, Hno. y R. Margalef (1972): *Ecología Marina*. Fundación La Salle Ciencias Naturales. (Caracas. Dossat S. A.) 711.
- Goreau, T. F. (1959): The ecology of Jamaican reefs. I. Species, composition and zonation. *Ecology*, 40: 67.
- Goreau, T. F. y N. I. Goreau (1973): The ecology of Jamaican coral reefs. II. Geomorphology, zonation and sedimentary phases. *Bull Mar Sci*, 23: 399.
- Heald, E. J. (1971): The production of organic detritus in a South Florida estuary. U. of Miami, *Sea Grant Technical Bull*, N° 6; 110 p.
- Johannes, R. E. y S. Betzer (1975): Introduction: Marine communities respond differently to pollution in the tropics than at higher latitudes. In: Ferguson Wood, E. J. and R. E. Johannes. *Tropical Marine Pollution*. Elsevier Oceanogr Ser N° 12. 1.
- Lindemann, R. L. (1942): The trophic dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 23: 399.
- Lugo, A. E.; Sell, M. y S. Snedaker (1976): Properties of a mangrove forest in Southern Florida. *Proc Intl Conference on the Biology and Mgmt of Mangroves*, 170.
- Lugo, A. E.; Sell, M. y S. Snedaker (1976): Mangrove ecosystem analysis. In: B. C. Patten (Ed.) *Systems Analysis*. Academic Press, N. Y., 1-13.
- Margalef, R. (1961): Communication of structure in planktonic populations. *Limnol Oceanogr*, 6: 124.
- Muscatine, L. y C. D'Elia (1978): The uptake, retention and release of ammonia by reef corals. *Limnol Oceanogr*, 23: 725.
- Odum, H. T. y E. P. Odum (1955): Trophic structure and productivity of a windward coral reef community at Emwetoek Atoll. *Ecol Monogr* 25: 291.
- Odum, E. P. (1971): *Fundamentals of Ecology*. W. B. Saunders Co. Philadelphia. 574.
- Odum, W. E. (1971): Pathways of energy flow in a South Florida Estuary. U. of Miami. *Sea Grant Technical Bull*, N° 7. 162.
- Pagán, F. A. y H. M. Austin (1970): Report on a fish kill at laguna Joyuda Western Puerto Rico, in the summer, 1967. *Carib J Sci*, 10: 203.
- Pielou, E. C. (1966): The Measurement of Diversity in different types of biological collections. *Theoret Biol* 13: 131.
- Pilson, M. y S. Betzer (1973): Phosphorous flux across a coral reef. *Ecology*, 54: 581.
- Porter, J. W. (1972): Patterns of species diversity in Caribbean reef corals. *Ecology*, 53: 745.
- Randall, J. E. (1965): Grazing effect on sea grasses by herbivorous reef fishes in the West Indies. *Ecology*, 46: 255.
- Randall, J. E. (1967): Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud Trop Oceanogr Miami*, 5: 665.
- Rivera, J., P. R. Burkholder y H. T. Odum (1959): Measurements of productivity of turtle grass flats, reefs, and the Bahia Fosforescente of Southern Puerto Rico. *Inst of Marine Sciences*, vi: 159.
- Sander, F. y D. Steven (1973): Organic productivity of inshore and offshore waters of Barbados: a study of the island mass effect. *Bull Mar Sci*, 23: 771.
- Voss, G. L., C. R. Robins y J. C. Staiger (1977): Study of Macrofauna of the Tropical Western Atlantic. *FAO Fisheries Rep*. N° 200. 483.
- Wade, B. A. (1977): A Review of Benthic Community research in the Caribbean and its importance to coastal management. *FAO Fish Rep* N° 200: 505.
- Walsh, J. J. (1977): A biological sketchbook for an eastern boundary current. In: E. D. Goldberg et al. *The Sea* Vol. 6. (John Wiley & Sons, N. Y.)
- Webb, K. et al. (1975): Eniwetak (eniwetok) Atoll. Aspects of the nitrogen cycle on a coral reef. *Limnol Oceanogr*, 20: 198.
- Wüst, G. (1964): *Stratification and circulation in the Antillean-Caribbean Basins*. Part I. *Spreading and mixing of the water types with an oceanographic atlas*. Columbia P. Press. N. Y. 201.

CONVOCATORIA A LA PRESENTACION DE TRABAJOS  
CALL FOR PAPERS  
CONVOCATÓRIA PARA APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS

---

COMUNICACIONES  
REPORTS  
COMUNICADOS

---

PUBLICACION DE NOTAS BREVES DE INVESTIGACION

De ahora en adelante *Interciencia* podrá publicar notas breves de investigación científica o tecnológica original. Las notas no deberán exceder las 1.000 palabras (aproximadamente cuatro páginas mecanografiadas a doble espacio) y dos tablas o figuras.

Habrà preferència por temas sobre las áreas prioritarias de la revista\*, relacionados con Latinoamérica y el Caribe y escritos en inglés. El estilo bibliográfico será el de la revista y se deberá incluir un resumen en inglés de aproximadamente 125 palabras.

\* Las áreas prioritarias de la revista son: ALIMENTOS Y NUTRICION, ENERGIA, PROBLEMAS DEMOGRAFICOS Y DE SALUD, TIERRAS ARIDAS Y BOSQUES TROPICALES, AGRICULTURA TROPICAL, ECOLOGIA Y PROBLEMAS DEL MEDIO AMBIENTE, POLITICA CIENTIFICA, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA, RECURSOS RENOVABLES Y NO RENOVABLES, EDUCACION CIENTIFICA, HIDROLOGIA, CIENCIAS DEL MAR Y DE LA TIERRA.

*Interciencia* aparece en *Current Contents* y *Science Citation Index*.

---

PUBLICATION OF SHORT RESEARCH NOTES

From now on, *Interciencia* intends to publish short notes on original scientific and technological research. The reports should not exceed 1000 words (approximately four double spaced typed pages) and two tables or figures.

Reports should preferably deal with one of the journal's priority areas\*, be related to Latin America and the Caribbean, and be written in English. The bibliography must follow *Interciencia's* style and a summary of approximately 125 words should be included.

\* Priority areas are: FOOD AND NUTRITION, ENERGY, DEMOGRAPHIC AND HEALTH PROBLEMS, ARID LANDS AND TROPICAL FORESTS, TROPICAL AGRICULTURE, ECOLOGY AND PROBLEMS OF THE ENVIRONMENT, SCIENCE POLICY, TECHNOLOGY TRANSFER, RENEWABLE AND NON-RENEWABLE RESOURCES, SCIENCE EDUCATION, MARINE AND EARTH SCIENCES.

*Interciencia* appears in *Current Contents* and *Science Citation Index*.

---

PUBLICAÇÃO DE NOTAS BREVES SOBRE PESQUISA

A partir deste momento *Interciencia* poderá publicar notas breves sobre pesquisa científica ou tecnológica original. As notas não deverão exceder 1.000 palavras (aproximadamente quatro páginas datilografadas em espaço duplo) e dois quadros ou figuras.

Preferiremos os temas sobre as áreas prioritárias da revista \*, relacionadas com a América Latina e o Caribe, e que estiverem escritos em inglês. O estilo bibliográfico será o da revista, e deverá ser incluído um resumo em inglês de aproximadamente 125 palavras.

\* As áreas prioritárias da revista são: ALIMENTOS E NUTRIÇÃO, ENERGIA, PROBLEMAS DEMOGRÁFICOS E DE SAÚDE, TERRAS ÁRIDAS E FLORESTAS TROPICAIS, AGRICULTURA TROPICAL, ECOLOGIA E PROBLEMAS DO MEIO AMBIENTE, POLITICA CIENTIFICA, TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA, RECURSOS RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS, EDUCAÇÃO CIENTIFICA, HIDROLOGIA, CIÊNCIAS DO MAR E DA TERRA.

*Interciencia* aparece em *Current Contents* e *Science Citation Index*.

---