

03067

2 ej. 8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**Colegio de Ciencias y Humanidades
Unidad de los Ciclos Profesional y de Posgrado**

**Proyecto Académico de Especialización, Maestría y
Doctorado en Ciencias del Mar**

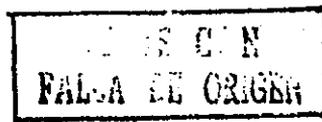
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

**"EVALUACION DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LA LAGUNA
BOJORQUEZ, CANCUN, QUINTANA ROO, MEXICO"**

T E S I S
PARA OPTAR POR EL GRADO DE
Maestría en Ciencias del Mar
(Especialidad en Oceanografía
Biológica y Pesquera)
P r e s e n t a

ENRIQUE REYES GOMEZ

1988





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

En México uno de los desarrollos turísticos con gran inversión económica está en la Isla Cancún en Q. Roo. El desarrollo ha producido alteraciones en el Sistema Lagunar Nichupté (SLN), por lo que se hizo el proyecto "Evaluación del Impacto Ambiental en la Laguna Bojórquez (Cancún, Q. Roo)" financiado por el CONACyT. La Laguna Bojórquez (LB) es la más impactada; ya que una planta de tratamiento de aguas residuales descarga en esta cuenca. El presente trabajo forma parte de este proyecto y evalúa la producción primaria en la LB y en una zona del Laguna Nichupté (LN) no afectada.

La característica ecológica básica para la región caribeña es el oligotrofismo. El SLN tiene aguas claras con poca biomasa. En la LN domina Thalassia testudinum, mientras que en la LB hay mayor diversidad de productores primarios. Se usó el método descrito por Odum y Hoskin (1958), y se hicieron estaciones simultáneas. Los muestreos diarios se realizaron a lo largo de más de un ciclo anual. Debido a que el cálculo del intercambio atmósfera-agua en el método de Odum es considerado como crítico, se propone un criterio numérico para calcular la fórmula del coeficiente de difusión. Asimismo, se sugiere una modificación para su cálculo en zonas profundas.

Los valores promedios anuales obtenidos son para producción bruta comunitaria de 18.6 g O₂/m² d; en respiración comunitaria 17.8 g O₂/m² d, y para producción neta comunitaria 0.8 g O₂/m² d.

La LB tiene una producción comunitaria muy alta para la zona en que se encuentra, ya que la LN se presenta como oligotrófica. Este contraste es atribuido a procesos de eutroficación provenientes del impacto ambiental antropogénico. La alta producción neta en la LB posibilita que sea exportada como materia orgánica hacia la LN o bien que se almacene en sedimentos que son reciclados naturalmente o resuspendidos por mezcla artificial. En particular, la zona Norte presenta un ciclo productivo distinto al resto de la cuenca y la LN; este comportamiento se asocia a una comunidad de Ruppia maritima en condiciones óptimas de desarrollo.

INDICE

1 INTRODUCCION	...1
2 AREA DE ESTUDIO	...6
2.1 Ubicación y Morfología	...6
2.2 Geología y Afluentes Continentales	...6
2.3 Clima	...7
2.4 Aspectos Biológicos y Ecológicos	...8
3 METODOLOGIA	...10
3.1 Estaciones de Muestreo	...10
3.2 Periodicidad de los Muestreos	...11
3.3 Toma de Muestras y Observaciones en el Campo	...12
3.4 Técnicas de Campo y Laboratorio	...12
3.4.1 Temperatura	...12
3.4.2 Oxígeno Disuelto	...13
3.4.3 Salinidad	...13
3.4.4 Iluminación	...13
3.4.5 Otras Observaciones	...14
3.5 Consideraciones Metodológicas	...14
3.5.1 Cálculo de la Difusión	...15
3.5.2 Cálculo de los Parámetros Comunitarios	...17
3.5.3 Consideraciones Metodológicas Particulares a las Estaciones Profundas	...18

4 RESULTADOS Y DISCUSION	...20
4.1 Parámetros Ambientales	...20
4.1.1 Meteorología	...20
4.1.1.1 Temperatura Ambiente	...20
4.1.1.2 Vientos	...20
4.1.1.3 Precipitación Pluvial	...21
4.1.2 Hidrología	...21
4.1.2.1 Temperatura del Agua	...21
4.1.2.2 Salinidad	...22
4.1.2.3 Oxígeno Disuelto	...22
4.2 Curvas de Tasa de Cambio de Oxígeno Disuelto	...23
4.2.1 Coeficiente de Difusión (k)	...26
4.2.2 Patrón Estacional del Coeficiente de Difusión	...30
4.3 Parámetros Comunitarios	...31
4.3.1 Producción Bruta Comunitaria	...32
4.3.2 Respiración Comunitaria	...34
4.3.3 Producción Neta Comunitaria	...35
4.3.4 Razón Producción Bruta / Respiración	...37
4.4 Inferencias Ecológicas Generales para la Laguna Bojórquez	...37
5 CONCLUSIONES	...42
6 LITERATURA CITADA	...44
7 ANEXO	...I
7.1 Fundamento	...I
7.2 Aplicación	...II

1 INTRODUCCION

La zona costera es una región donde se interrelacionan tres medios; el marino, el terrestre y el atmosférico, generando diversos ambientes. Es por esta interrelación que existen un sinúmero de actividades humanas dirigidas al aprovechamiento de las múltiples posibilidades de uso de los recursos que en la región confluyen. La importancia del estudio de la zona costera y en particular de las lagunas costeras radica en este uso y aprovechamiento económico y social. Esto ha sido enfatizado con anterioridad por varios autores (Foyt 1969, Clark 1977, Klose 1980, Day y Yañez-Arancibia 1982).

El establecimiento de centros de desarrollo turísticos, así como la explotación de pesquerías y recursos energéticos; son algunas de las interacciones humanas con la zona costera. Por esto la necesidad de que estudios tanto básicos como evaluadores de estas interacciones deban convertirse en una prioridad a nivel mundial (Yañez-Arancibia 1982 y 1986, Sorensen et al., 1984).

En México, el desarrollo de la extracción petrolera ha producido un renovado interés en esta región y sus recursos en los últimos años; si bien este es el rubro de mayor importancia comercial (ver tabla 1), las pesquerías monoespecíficas tanto en el Pacífico como en el Golfo y el Caribe, así como la transportación marítima son también a nivel nacional de muy alto valor. El aprovechamiento turístico y recreativo de la zona y lagunas costeras cobra gran importancia debido a la entrada de divisas que genera, llegando a ocupar el tercer puesto en valor económico entre los recursos costeros mexicanos (Merino 1987a).

Un caso particular de desarrollo turístico en la zona costera mexicana es el de la Isla Cancún, en el estado de Quintana Roo. Este conjunto poblacional está distribuido a lo largo de la Isla bordeando al Sistema Lagunar Nichupté con lo cual las instalaciones turísticas gozan de los atractivos del Mar Caribe y los de las lagunas, entre las que se encuentra la Laguna Bojórquez (Fig. 1). Esta costa es considerada como de las más importantes turísticamente en el país ya que es una región con gran atractivo estético, recreativo y climático, que en los últimos diez años ha recibido una inversión del orden de cientos de miles de dólares en infraestructura urbana y habitacional (D.G.E. 1980).

La planeación del centro vacacional planteó la necesidad de una plataforma base de parámetros hidrológicos y ecológicos que permitieran considerar a estas características dentro de un marco de desarrollo global. Por esta razón se inicia la primera serie de estudios, financiados gubernamentalmente, en

Tabla 1.- VALOR RELATIVO DE LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES
Y RECURSOS EN LA ZONA COSTERA MEXICANA

Actividad	Valor Económico*	Ingresos Monetarios*
Extracciones Petroleras	\$27,000	\$15,143
Producción Pesquera	\$1,362	\$496
Actividades de Turismo Extranjero	\$813	\$812

* Valores en millones de dolares durante el año de 1983

Tomado de Merino M., 1987. The Coastal Zone of Mexico

paralelo a los trabajos de infraestructura urbana de este complejo turístico. De esta época son los de CIFSA (1971) que es un estudio hidrológico preliminar y un modelo tentativo de circulación entre el Sistema Lagunar Nichupté y el área marina adyacente, UNAM (1972) que consistió en una prospección climatológica, hidrológica y biológica general abarcando al ambiente lagunar y terrestre, y se realizó en un periodo de tres meses; Jordán et al. (1978) presenta los resultados específicos de la prospección biológica lagunar y Nugent et al. (1978) evalúa a las poblaciones de angiospermas subacuáticas y su biomasa en la costa marina de la Isla Cancún. Esta serie de estudios permitió formar una primera aproximación general al comportamiento hidrológico y biológico del Sistema Lagunar; pero problemas administrativos y políticos impidieron la continuidad y sistematización de estos estudios.

Sin embargo, con el establecimiento y desarrollo de este centro se han producido alteraciones en los cuerpos de agua que lo rodean, principalmente en el Sistema Lagunar Nichupté; ya con indicios de un progresivo deterioro ecológico para el año de 1982 debida la inquietud social de esta zona se inicia una segunda serie de estudios; estos fundamentalmente se dividen en dos programas básicos realizados por el ICMyl durante dos épocas diferentes. El primer programa se inicia en 1982-1983 e incluyen a los de Jordán et al. (1983) consistente en una evaluación sistemática de la hidrología para todo el sistema lagunar y Merino et al. (en prensa) que realizan usando estos datos de 1982-83, un estudio de los procesos de circulación y proponen un modelo de tiempo de residencia y precipitación-evaporación con los que se completa un estudio hidrológico y de circulación para la Laguna Nichupté a nivel global.

El segundo programa en la Laguna Bojórquez, del Sistema Lagunar Nichupté, inicia en 1985 ya que el deterioro de las condiciones ecológicas que redundan en un menor atractivo estético y sobretodo recreativo así como, la creciente preocupación social de la población que reside en el centro turístico; plantearon la necesidad de realizar un estudio global a largo plazo que evaluara el impacto ambiental generado por la influencia antropogénica, y que abarcara a los parámetros hidrológicos y biológicos de importancia.

A simple vista, las alteraciones ocurridas y que están sucediendo en la Laguna Bojórquez permiten diferenciarla del resto del sistema lagunar y señalarla como una de las dos lagunas más impactadas por las actividades humanas (la otra es la Caleta del Mediteraneé), ya que alrededor de esta laguna se encuentra la mayor concentración de hoteles y comercios, su análisis y estudio son prioritarios. En la laguna se observa, frecuentemente, materia orgánica en descomposición flotando que además de ser causa de olores desagradables, afecta también al aspecto estético, e incluso se sugiere que aumenta

la demanda bioquímica de oxígeno por sobre el presupuesto normal. Por estas razones, surge el proyecto "Evaluación del Impacto Ambiental en la Laguna Bojórquez (Cancún, Q. Roo)" (IMALBO) financiado por el CONACyT (clave PCECBNA 021926) (Merino 1987b); asimismo, generados por este proyecto de investigación y como parte de los resultados obtenidos por él; específicamente para la Laguna Bojórquez se encuentran el de Cúlhuac (1987) donde analiza el comportamiento anual de las fanerógamas marinas y sus epífitas; Serviere (1986) revisa taxonómicamente y correlaciona ambientes de las macroalgas bentónicas y Collado et al. (en prensa) identifican poblaciones de escifomedusas del género Cassiopea para la zona. Por otra parte, también existe el estudio de Merino y Gallegos (1986) que evalúan los impactos ecológicos probables del dragado en una zona de la Laguna Nichupté. Esta segunda serie de estudios pretende conjuntar a los varios componentes del ecosistema lagunar permitiendo que se plantee como un siguiente paso el manejo de esta zona costera a largo plazo.

Durante el desarrollo de las investigaciones integradas en el proyecto IMALBO, se observó que una de las diferencias más conspicuas entre la Laguna Bojórquez y las cuencas principales del Sistema Lagunar Nichupté radica en sus comunidades vegetales. En la Laguna Bojórquez la producción primaria depende del efecto ecológico combinado de una gran variedad de comunidades fotosintéticas como son: asociaciones de algas filamentosas bentónicas y/o epífitas de los pastos marinos (Serviere 1986 y Cúlhuac 1987) que se caracterizan por desplazar progresivamente a las angiospermas marinas y cubren la mayor parte del fondo original de la laguna desapareciendo únicamente en los canales de navegación. Otro componente florístico, está formado por praderas de Ruppia maritima y otras angiospermas marinas, así como "parches" de Thalassia. El intenso color verdoso de la columna de agua y la turbidez sugieren la presencia de poblaciones fitoplanctónicas en los canales de navegación; además hay algas cianofitas en el fondo de los mismos. Contrastando con la Laguna Nichupté donde existe gran dominancia de Thalassia testudinum y sus poblaciones asociadas que además en sus márgenes presenta una comunidad de manglar (Jordán et al. 1978). Ambas cuencas con un aporte alóctono de nutrientes limitado por el tipo de sustrato de la región y por la ausencia de ríos.

Esta diversidad de productores primarios en la Laguna Bojórquez es indicadora de un cambio en la estructura de este ecosistema que se manifestará en una diferencia en el comportamiento funcional y que puede ser atribuido como resultado del conjunto de alteraciones que se han hecho en ella. De existir un incremento de materia orgánica (subsido al presupuesto normal) justificaría la tendencia a la eutroficación, sedimentos reductores y demanda bioquímica de oxígeno adicional; con el consecuente efecto ecológico negativo. Para probar esta hipótesis es necesario conocer la producción primaria en las localidades ya alteradas y en una

zona no alterada del sistema que sirva de término de referencia comparativo.

Como parte del proyecto IMALBO, se estableció la necesidad de identificar y evaluar la dinámica de los parámetros comunitarios básicos como son la producción primaria bruta y la respiración, ya que se resaltan las diferencias funcionales así como la capacidad productora y exportadora de las comunidades ahí presentes; al evaluar estos parámetros comunitarios así como su comportamiento estacional se pueden usar para identificar a los procesos de eutroficación o las tendencias al deterioro ecológico que se presentan en una cuenca con gran influencia antropogénica. La presente tesis de Maestría abarca así este aspecto del estudio de la Laguna Bojórquez, y tiene como objetivos particulares los siguientes:

- A) Evaluar la producción primaria lagunar en la Laguna Bojórquez y en una zona del Sistema Lagunar Nichupté no afectada por acciones antropogénicas.
- B) Estudiar las variaciones a lo largo de un ciclo anual de la producción primaria en la Laguna Bojórquez y en el área no afectada.
- C) Analizar la producción primaria estudiada en términos de los parámetros ambientales básicos determinados durante el período bajo estudio.

Con el propósito de incluir en una evaluación de la producción primaria global a la gran variedad de comunidades fotosintetizadoras de la Laguna Bojórquez, se optó por el método descrito por Odum et al. (1958, 1959, 1962 y 1963) modificado por Vollenweider (1974) y Brower y Zar (1977); que en términos generales, consiste en un monitoreo del oxígeno disuelto en la columna de agua para de este inferir el comportamiento de la producción comunitaria; una descripción detallada del método se encuentra en el Anexo del presente trabajo. Este método presenta características de fácil aplicación y desarrollo, y de contar con la instrumentación adecuada para su ejecución en la estación "Puerto Morelos" del ICMYL.

Existe una amplia variedad de métodos, equipo de campo y de laboratorio para el estudio de la productividad primaria en cada una de las poblaciones fotosintetizadoras de la Laguna Bojórquez (Gieskes y Kraay 1984). La gran mayoría implica el aislamiento de la población para efectuar mediciones de tasa de crecimiento o asimilación de productos radioactivos (ver Anexo).

Dentro de las ventajas que ofrece el método (denominado en adelante como "de Odum") sobre los métodos que se basan en el "encapsulamiento" de las poblaciones a estudiar, se encuentra que el primero está libre de los errores que resultan de

aislar de los factores ambientales a los organismos, de errores por los efectos sobre la luz debidos a la transparencia del recipiente y de que las paredes de este sean usadas como sustrato por bacterias quimio y/o fotosintetizadoras (Odum 1963, Brower y Zar 1977).

2 AREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación y Morfología

El Sistema Lagunar Nichupté se localiza en la zona NE de la península de Yucatán, en el estado de Q. Roo, México; es el complejo lagunar de mayor importancia económica en la parte norte del estado, ya que en sus márgenes está el desarrollo turístico de Cancún (D.G.E. 1980). Consta de siete cuencas y dos canales de comunicación al mar. Los tres vasos más grandes son las Cuencas Norte, Centro y Sur. El área ocupada por estas es de 42.92 kms², la batimetría de las cuencas es regular con un promedio de 2.0 m alcanzando sus profundidades máximas (2.5 a 3.0 m) hacia el centro; existen un par de bajos de menos de 0.3 m de profundidad atravesando con dirección este-oeste y separando casi en su totalidad a las tres cuencas principales; en los canales de comunicación al mar la profundidad llega a los 4.0 m debido al dragado efectuado en ellos (Canal Nizuc y Canal Cancún) (Jordán *et al.* 1983) (Fig. 1).

La posición geográfica de la Laguna Bojórquez que forma parte del Sistema Lagunar Nichupté es en los 21° 07' N y 086° 46' W (Sec. de Marina 1982) y está comunicada al resto del Sistema Lagunar Nichupté por dos canales (Canal Norte y Canal Sur) (Fig. 1). Esta laguna tiene un área de 2.47 kms² y presenta varias zonas típicas: el centro y norte con una profundidad promedio de 1.7 m, al sur la profundidad promedio disminuye hasta el 1.5 m, en las orillas E y W hay canales de navegación artificiales dragados con profundidad promedio de 4.0 m (Martín *et al.* 1983), en el extremo norte existe también un área dragada de 3.0 m con comunicación con el canal de la orilla E y una zona muy reducida al NNE con una profundidad de 0.4 m. En un transecto perpendicular al eje mayor de la cuenca se muestran estos dragados y el fondo original (Fig. 2).

2.2 Geología y Afluentes Continentales

La clasificación de Lankford (1976) ubica al Sistema Lagunar Nichupté de tipo IV-B ya que se trata de una laguna con una barrera de manglar desarrollada paralela a la costa favorecida por la aparición y crecimiento de tombolos ó espolones alrededor de la Isla Cancún durante el Holoceno (Folk 1967, Brady 1974, Ward y Wilson 1974). En la región, el subsuelo es de carbonato de calcio. El fondo lagunar del sistema lagunar es lodo aragonítico de origen biológico (Brady 1974, Aguayo *et al.* 1980). En la Laguna Bojórquez existe además una capa de varios centímetros de espesor de materia orgánica en descomposición llegando a alcanzar en el fondo de los canales hasta 0.5 m de grosor y que implica una inestabilidad del mismo dada la facilidad de resuspender a estas partículas por

Figura 1 - Mapa de Localización Geografica del Sistema Lagunar Nichupté y la Laguna Bojórquez, se muestran los canales de comunicación entre ellas y al Mar Caribe.

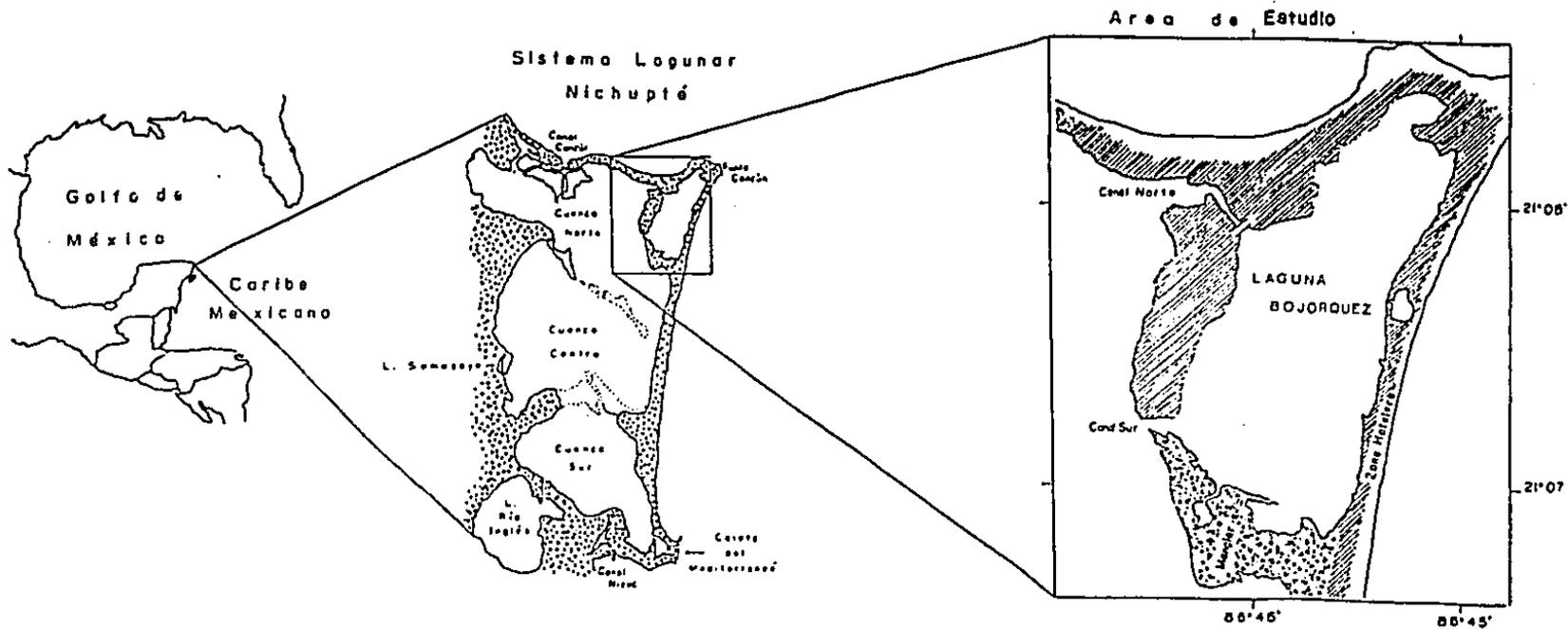
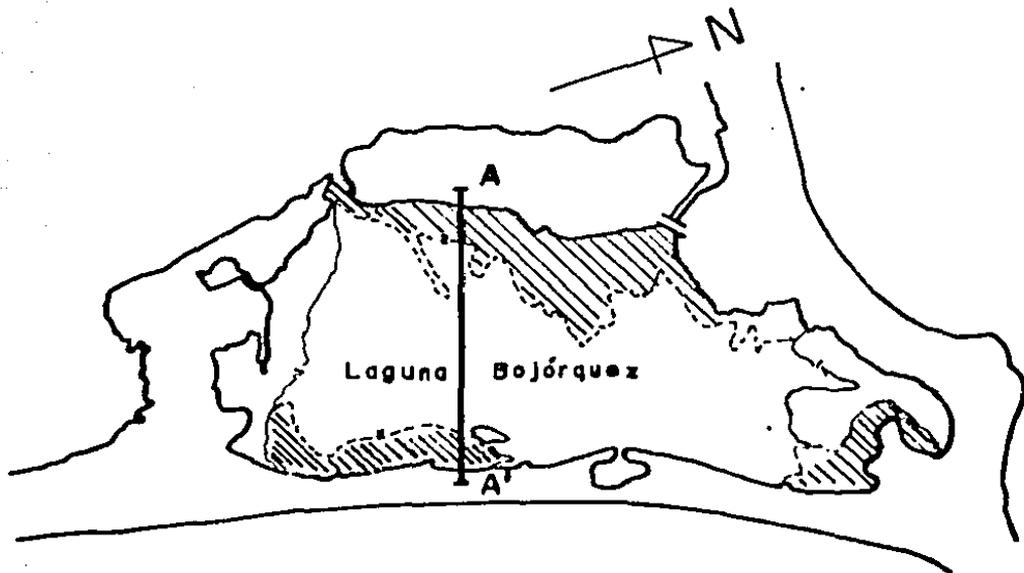
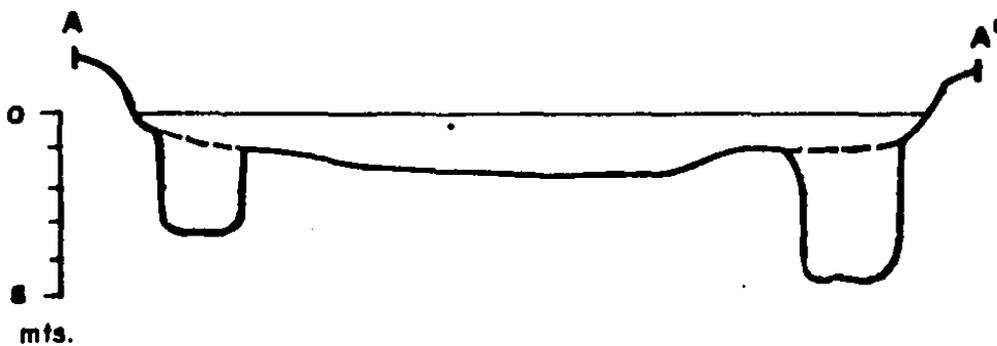


Figura 2 - Mapa Esquemático de la Laguna Bojórquez con Perfil Topográfico Típico. Se indican las zonas dragadas. La línea punteada en la figura inferior muestra el probable fondo original anterior a los dragados.



Perfil topográfico A - A'
(escala vertical exagerada)



procesos físicos de mezcla o turbulencia (Merino y Gallegos 1986).

Entre las características geológicas que diferencian a este sistema lagunar con el resto de las lagunas del país, está la naturaleza kárstica del subsuelo que impide la presencia de ríos en la región, por lo que el Sistema Lagunar Nichupté solo tiene aportes dulceacuicolas ocasionados por: escurrimientos de la llanura de inundación adyacente, lluvias y afluentes de los depósitos acuíferos subterráneos ("cenotes") (Merino et al. en prensa). La Laguna Bojórquez, al estar ubicada en el margen oriental del sistema lagunar solo tiene ingresos de agua dulce por lluvia.

La falta de descargas fluviales superficiales permite suponer que hay diferencias en las fuerzas generadoras de mezcla e intercambio de las masas de agua con respecto al común de las lagunas costeras del país, por ejemplo las de la costa del Pacífico (Mee 1977), y que esta diferencia afecte similarmente a las comunidades biológicas que viven en el Sistema Lagunar Nichupté. Merino et al. (en prensa) al analizar el patrón de comportamiento anual en 1982-83 de la temperatura y salinidad en todas las cuencas de este sistema lagunar reportan homogeneidad horizontal y vertical en el parámetro de temperatura y afirman que ésta es debida en gran parte por control climático-atmosférico; para la salinidad identifican una homogeneidad vertical y un gradiente horizontal con dirección oeste-este. Todo esto explicado por la presencia de descargas subterráneas dulceacuicolas provenientes de los escurrimientos de la zona pantanosa adyacente. Sin embargo, atribuyen a la precipitación pluvial el control más directo del cambio promedio de la salinidad del sistema y estiman el patrón de flujo para el sistema con el mar y pronostican una escala de tiempo de residencia del agua en el sistema del orden de 2 años. Con estos datos enmarcan al Sistema Lagunar Nichupté, usando la clasificación funcional de Kjerfve (1986), como intermedia entre los tipos "ahogada restringida" (choke-restricted) y "permeable" (leaky).

2.3 Clima

El clima en la región es tipo $AW_1(x')(i)g$ definido como caliente subhúmedo con temperaturas medias anuales de 26 °C y un periodo de lluvias en verano (García 1964, Sec. de la Presidencia 1970). Para la región, Merino y Otero (en prensa) reportan una temperatura media anual de 26.3 °C y una temperatura mínima durante el mes más frío en enero de 13.0 °C y la máxima para los meses de agosto y septiembre con 32.5 °C. Asimismo, la precipitación pluvial total anual la registran alrededor de 1123 mm. La mayor parte del ciclo anual las masas de aire dominantes son de origen marítimo tropical transportadas por los vientos alisios que provienen del E; existe una temporada dominada por masas de aire continental polar traídos por vientos del norte con alta velocidad y poca

duración en los meses de noviembre a enero, pudiendose extender hasta febrero y marzo con menor incidencia. Estos vientos ocasionan frentes frios con chubascos ocasionales (Merino y Otero, en prensa). Con estos datos se pueden definir tres periodos climáticos: Secas (de febrero a mayo), Lluvias (de junio a septiembre) y "nortes" (de octubre a enero); tal y como lo mencionan Yáñez-Arancibia y Day (1982) y Merino y Otero (en prensa) para las zonas costeras tropicales mexicanas en el Golfo de México y el Caribe respectivamente.

2.4 Aspectos Biológicos y Ecológicos

De manera general, las características ecológicas de las aguas caribeñas son el oligotrofismo y la ausencia de pesquerías de elevado volumen. Las aguas del mar son escasas en nutrientes; asimismo, la ausencia de ríos determina la inexistencia de aportes continentales significativos. Por lo tanto sus descargas en conjunto sugieren que el Sistema Lagunar Nichupté sea un grupo de lagunas oligotróficas de gran transparencia y poca producción neta de biomasa.

Los elementos más evidentes de las comunidades bentónicas presentes en la Laguna Bojórquez son las macroalgas bénticas de los géneros Chaetomorpha y Acetabularia que abundan y dominan en gran parte del centro y sur de la cuenca; persisten restringidas a las zonas N en mayor medida y S y E distribuidas en parches, las comunidades asociadas a las fanerógamas marinas Ruppia maritima y Halodule wrightii así como algas epifíticas de éstas (Cúlhuac 1987); también existe Thalassia testudinum en la zona S (Jordán et al. 1978). En los canales de navegación fueron removidas las poblaciones originales ocasionando con esto que únicamente haya cianofitas bentónicas del género Lyngbia y algas en desarrollos individuales del género Caulerpa (Serviere 1986). Asimismo, en las porciones del piso lagunar original donde no hay vegetales se encuentran recubiertas por medusas del género Cassiopea con la superficie oral hacia arriba lo que permite suponer que pueden tener también algas zooxantelas actuando como productores primarios (Collado et al., en prensa). Una modificación substancial en la Laguna es que originalmente estaba rodeada por una comunidad de manglar que ha sido substituida por una zona urbanizada y solo se conserva una pequeña porción de esta comunidad al sur.

La presencia de este amplio grupo de poblaciones que no se presenta en ninguna otra de las cuencas principales del Sistema Lagunar Nichupté se atribuye a que la Laguna Bojórquez al inicio del desarrollo turístico fue impactada de manera importante e instantánea por los dragados efectuados en sus orillas, esto se manifestó como un aporte de grandes cantidades de nutrientes, sulfuros y materia orgánica resuspendidos en la columna de agua que se volvieron disponibles a las comunidades presentes en esa época (Merino y Gallegos 1986) además, estos dragados posiblemente ocasionaron

una reducción en la capacidad fotosintética y reproductiva de los pastos marinos al aumentar la turbulencia disminuyendo la penetración de la luz y recubriendo con una capa de lodos a las hojas de los mismos (un fenómeno similar es mencionado por Odum 1963). Actualmente la laguna está influenciada por la descarga de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada junto al canal Norte y de drenajes pluviales y cloacales clandestinos en su orilla E. Esto se manifiesta como aporte constante de nutrientes disueltos (González, en proceso), que posiblemente actúan modificando a los diversos tipos de comunidades de la cuenca.

3 METODOLOGIA

3.1 Estaciones de Muestreo

El método de Odum propone escoger la posición de la estación de muestreo en un solo lugar representativo de todo el cuerpo de agua bajo el supuesto de homogeneidad horizontal y vertical, y así realizar el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto (Odum y Hoskin 1958, ver Anexo); en la Laguna Bojórquez existen zonas con poblaciones fotosintéticas diferentes, en habitats distintos y al considerar la posibilidad de comparar a esta variedad de zonas con una típica de la Laguna Nichupté (Cuenca Norte); se determinó efectuar observaciones simultaneas en diversos puntos, cuyo número fué limitado únicamente por la logística de los muestreos. De esta forma, se escogieron las siguientes estaciones que pretenden ser representativas para cada una de las zonas en las que se ubican:

Estación A - está en la parte Norte de la Laguna Bojórquez con profundidad promedio de 1.7 m, con comunidades de pastos marinos donde Ruppia maritima es la halofita principal y algas epifíticas de estos (Cúlhuac 1987), además debido a su posición geográfica se encuentra protegida de los vientos del Norte.

Estación B - es una zona profunda de un canal dragado en la parte Oeste con una profundidad promedio de 3.5 m, donde las macrófitas bentónicas han sido removidas y el fitoplancton se concentra en cantidades apreciables a simple vista y una comunidad de algas cianofitas distribuida en "parches" aislados de los géneros Lyngbia y Oscillatoria en el fondo (Serviere 1986). Además de ser un canal con gran intensidad de tráfico náutico, la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales aquí alcanza su mayor concentración, al encauzarse por la morfología del canal.

Estación C - se encuentra ubicada en el Sur, en una zona con profundidad promedio de 1.5 m; a diferencia de la estación A, las angiospermas principales son Thalassia testudinum y Halodule wrightii que presentan crecimientos epifíticos de algas filamentosas de gran tamaño y alta densidad. La comunidad de Thalassia testudinum particularmente en esta zona, durante el periodo de estudio fue disminuyendo de extensión siendo reemplazada por asociaciones de algas racemosas bentónicas en las que Cladophora y Caulerpa son las mas abundantes (Cúlhuac 1987). Además en esta zona los "nortes" presentan su mayor influencia en la cuenca ya que recorren toda la superficie lagunar antes de llegar aquí.

Estación D - es una estación fuera de la Laguna Bojórquez, con una comunidad típica de Thalassia testudinum; Está en un área análoga a la Laguna Bojórquez en su profundidad e hidrología (Merino et al. en prensa). Asimismo, es la zona más cercana sin indicios de los impactos o modificaciones que hay en la Laguna Bojórquez. Por estas características se considera a esta estación como "control" con respecto a los procesos que actúan en el Sistema Lagunar Nichupté y no en la Laguna Bojórquez.

En los dos últimos muestreos para ver el efecto del aislamiento de la planta de tratamientos y alejada del tráfico náutico, se realizó una estación más (estación E), que se encuentra en el lado Este de la laguna en una zona similar a la estación B en profundidad (4 m) y dragado donde no se aprecian diferencias evidentes en su comunidad (Fig. 3).

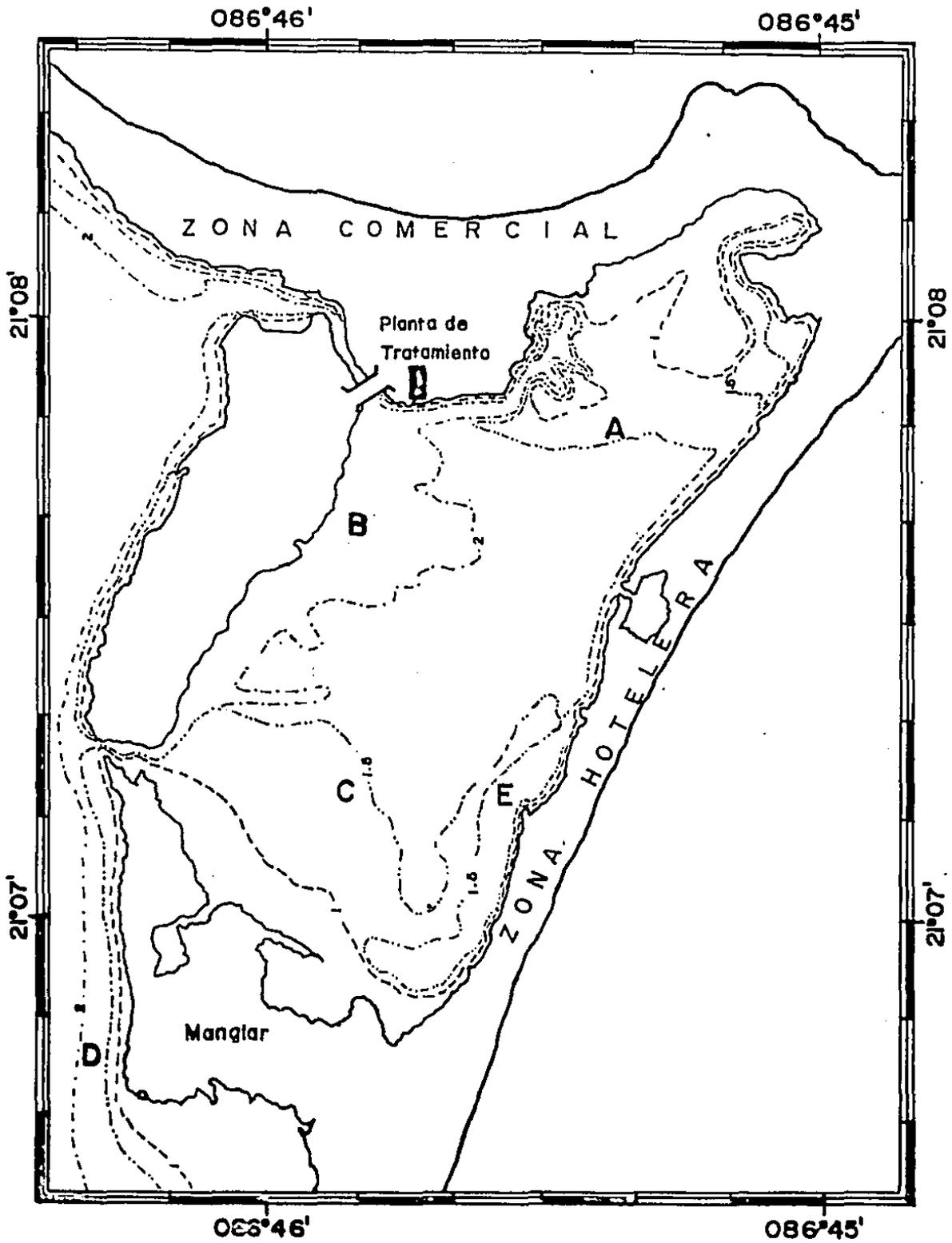
Un criterio extra usado fué que estas estaciones estuvieran incluidas por la red de estaciones que se construyó para el proyecto IMALBO, que tomaba el registro espacial de los parámetros considerados en este trabajo y algunos otros; por ejemplo: nutrientes inorgánicos y materia orgánica particulada.

3.2 Periodicidad de los Muestreos

Se intento realizar los muestreos diarios de manera sistemática y con un periodicidad de 45 a 60 días de intervalo, a lo largo de mas de un ciclo anual para cubrir así las posibles variaciones climáticas de las comunidades presentes tanto en la Laguna Bojórquez como en la Cuenca Norte del Sistema Lagunar Nichupté. De esta manera los muestreos se efectuaron en las siguientes fechas:

Fecha	Intervalo en días con respecto al muestreo anterior
Durante 1985:	
2-3 de junio	
16-17 de julio	41
26-27 de agosto	42
23-24 de octubre	57
10-11 de diciembre	50
En 1986:	
2-3 de febrero	57
18-19 de abril	71
12-13 de julio	89
19-20 de agosto	33
8-9 de octubre	51

Figura 3 - Mapa batimétrico y localización de las Estaciones de Ciclo Diurno en la Laguna Bojórquez. Se señala con un rectángulo negro la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.



3.3 Toma de Muestras y Observaciones en el Campo

El número de niveles de muestreo fue determinado por la profundidad de cada una de las estaciones y su relación con el estudio paralelo de parámetros hidrológicos. Se estableció un patrón regular, con un muestreo en superficie (0.3 m de profundidad) y los subsecuentes niveles a intervalos de 1.0 m hasta llegar a la profundidad máxima de cada estación. Con la intención de que los datos recolectados en todas las estaciones fueran lo más simultáneos posible, se utilizó una embarcación con motor fuera de borda para trasladarse entre una y otra estación. Antes del arribo a la boya que marcaba la estación se procuraba apagar el motor de la lancha para que la mezcla y burbujeo ocasionados por la propela y quilla fueran minimizados. Así la frecuencia de colecta fue definida por el número de muestras en cada estación, logrando efectuar una vuelta por las cuatro estaciones aproximadamente cada hora y media. Los muestreos se realizaron durante periodos de más de veinticuatro horas para obtener un ligero sobrelape entre un ciclo diario y el siguiente.

Debido a varias contingencias, los muestreos de agosto de 1985, así como agosto y octubre de 1986, presentan modificaciones al plan general de muestreo. Al inicio del muestreo de agosto de 1985 el motor de la lancha tuvo un desperfecto por lo que solo fue posible estudiar el ciclo diario en la estación B. El muestreo de agosto de 1986 presenta modificaciones al formato general de muestreo, con una estancia de cuatro días al área de estudio, por lo que se realizaron solo dos estaciones de ciclo diario al sur de la Laguna Bojórquez; de esta manera, se planteó que al menos una de ellas concordara con las estaciones muestreadas anteriormente (estación C), la otra es la estación E.

En octubre de 1986 se realizó el muestreo siguiendo otro criterio, para poder darle continuidad a los datos obtenidos en la estación E y poder comparar las dos zonas profundas ya registradas. Debido al tiempo requerido para muestrear todos los niveles se procedió a eliminar a la más distante del conjunto, esta fue la estación A.

3.4 Técnicas de Campo y Laboratorio

3.4.1 Temperatura

La medición de la temperatura en cada nivel se hizo con un termómetro de 0.1 °C de precisión al cual se le acondicionó una "cubeta" para mantener al bulbo sumergido mientras se obtiene la lectura. Una precaución extra fue que en tanto el termómetro no era utilizado se le sumergía en un recipiente con agua para evitar calentamiento por el sol y enfriamiento por desecación, y así conservar al termómetro con una temperatura cercana a la de la muestra reduciendo al mínimo el tiempo de estabilización antes de la lectura.

3.4.2 Oxígeno Disuelto

Para la determinación de la concentración de oxígeno disuelto se utilizó el método de Winkler (Strickland y Parsons 1972). La muestra para esta determinación fue obtenida por medio de una botella "Niskin" de 2.7 lts. marca General Oceanics, la cual muestreaba el agua en posición horizontal. La alicuota para la determinación se almacenaba en botellas DBO de vidrio. A las muestras se les fijó la concentración de oxígeno disuelto *in situ*. Las botellas DBO con las alicuotas ya fijadas se conservaron inmersas en una cubeta con agua para que cuando las variaciones de temperatura modificaran el volumen, no pudiera existir entrada de oxígeno atmosférico sino solamente de agua con un contenido de oxígeno disuelto mínimo. La fórmula usada para la determinación, propuesta por Carlberg (1972), es la siguiente:

$$[O_2] = (V_t \cdot N_t \cdot 1000 \cdot EqO_2) / ((V_b - 2) / V_b) \cdot V_a$$

Donde:

EqO₂ = Equivalente para la Conversión de Unidades; en este caso para mg/l = 8.0

N_t = Normalidad del Titulante

V_a = Volumen de la Alicuota (ml)

V_b = Volumen de la Botella con la muestra (ml)

V_t = Volumen del Titulante (ml)

La precisión obtenida para los análisis a partir del mes de julio de 1985 realizados de esta forma es de ± 0.04 ml/l. El muestreo del mes de junio de 1985 fue el más diferente entre los muestreos con una precisión menor (Desv. Estd. = ± 0.07 ml/l). Este resultado se atribuye a ser el primer muestreo donde se inició el proceso de implementación de las técnicas de campo y laboratorio.

3.4.3 Salinidad

El procedimiento de muestreo fue el mismo que el seguido para obtener las muestras de oxígeno disuelto, el envase utilizado fueron botellas de polipropileno impermeable con tapa hermética y capacidad de 250 ml. El procesamiento de las muestras fue realizado a bordo del B/O "Justo Sierra" del ICMYL mediante inmersión del bulbo del CTD oceanográfico en ellas, obteniéndose el registro promedio mediante la computadora de abordó. Con este método la precisión obtenida se estimó en ± 0.16 S.

3.4.4 Iluminación

En base a la utilidad que el parámetro de iluminación tiene para explicar el comportamiento fotosintético de las

comunidades vegetales (Brower y Zar 1977) se intentó registrarlo con un fotómetro submarino marca KAHLSICO mod. 268WA360. Durante los primeros muestreos, después de una serie de pruebas y procesamiento de datos, se demostró que este registro era poco confiable debido a la deficiente operación del aparato, por lo que se suspendió la recopilación de este parámetro. Por otra parte, las lecturas con Disco de Secchi efectuadas durante los primeros muestreos mostraron que la penetración de la luz en las estaciones profundas era de casi toda la columna de agua, por lo que este registro es de poca precisión para lo requerido en este estudio.

3.4.5 Otras Observaciones

Durante el muestreo, se registraron la hora y de manera cualitativa las condiciones meteorológicas reinantes, tales como nubosidad, dirección del viento y lluvias; así como observaciones generales, también cualitativas, sobre las condiciones ecológicas en que se encontraba la comunidad florística de la cuenca.

Posteriormente, se recopiló información ambiental para el periodo bajo estudio en diferentes dependencias gubernamentales. Los registros de precipitación pluvial diaria en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Isla de Cancún se obtuvieron en la Dirección de Proyectos y Construcción de FONATUR, y de vientos y temperatura ambiente diaria del aeropuerto de Cancún en la Dirección de Servicios Auxiliares a la Navegación de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) en la Ciudad de México.

3.5 Consideraciones Metodológicas

El método utilizado para la obtención de la productividad primaria como se menciona con anterioridad es el propuesto por Odum et al. (1958, 1959, 1962 y 1963) modificado por Vollenweider (1974) y Brower y Zar (1977). Debido a la complejidad del método y sus cálculos se adjunta una descripción detallada del mismo en el Anexo del presente trabajo, por lo que únicamente se especifican las modalidades y modificaciones aquí utilizadas.

La información se recopiló en una microcomputadora IBM PC-compatible usando el paquete comercial "Lotus 123", para generar una base de datos y facilitar su procesamiento, análisis y graficación. Con un análisis estadístico y gráfico preliminar de los datos de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto, se eliminaron a aquellos datos extremos o inconsistentes que evidentemente se originaron por errores en la toma de muestras ó en su análisis. Por ejemplo para oxígeno disuelto entre las posibles causas de estos errores podemos mencionar burbujas en la botella DBO, lo cual aumenta el contenido en la muestra, ó bien que al bajar la botella "Niskin" se tocó el fondo de la

estación resuspendiendo sedimentos y ocasionando con esto una fuerte oxidación en la muestra.

En las estaciones someras (A, C y D) se promediaron los datos entre sus niveles verticales dado que no se observaron comportamientos diferentes, por lo que se asume válida la homogeneidad vertical (Fig. 4). Para eliminar los puntos extremos que se manifiestan como "ruido" o variabilidad en la gráfica del muestreo puntual se usó una técnica de promedios corridos sugerida por Mee (1986 comunicación personal) que consiste en obtener el promedio de los valores de un momento dado, el muestreo anterior y posterior a él.

Para la obtención de la saturación teórica de oxígeno se usó el polinomio descrito por Kester (1975), el cual se define como:

$$\ln C = A_1 + A_2 * (100 / T) + A_3 * \ln (T / 100) + A_4 * (T / 100) + S * [B_1 + B_2 * (T / 100) + B_3 * (T / 100)^2]$$

Donde:

C = concentración de saturación del oxígeno disuelto en agua de mar ($\text{cm}^3 \text{dm}^{-3}$) a presión atmosférica de 760 mm Hg.

$A_1 = -173.4292$	$B_1 = -0.033096$
$A_2 = 249.6339$	$B_2 = 0.014259$
$A_3 = 143.3483$	$B_3 = -0.001700$
$A_4 = -21.8492$	T = temperatura en ° Kelvin
S = salinidad en partes por mil	

Este se aplicó para cada dato y se graficó en su ciclo diario. Con estos datos se obtuvo la gráfica de tasa de cambio del oxígeno disuelto ($\partial O_2 / \partial t$) para el ciclo de veinticuatro horas.

3.5.1 Cálculo de la Difusión

El cálculo del intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua por procesos de difusión o advección en el método de Odum es considerado por todos los autores como crítico. La selección de los puntos para evaluar este coeficiente es una de las fuentes de error más graves, ya que se desconoce la magnitud de éste (Hall y Moll 1975, Mee 1977 y Flores 1985).

Odum y Hoskin (1958) presentan una estimación cualitativa del proceso al seleccionar puntos en un lapso antes del amanecer y después del atardecer para poder calcular la siguiente fórmula:

$$k = \frac{q_m - q_o}{S_m - S_o} * 100$$

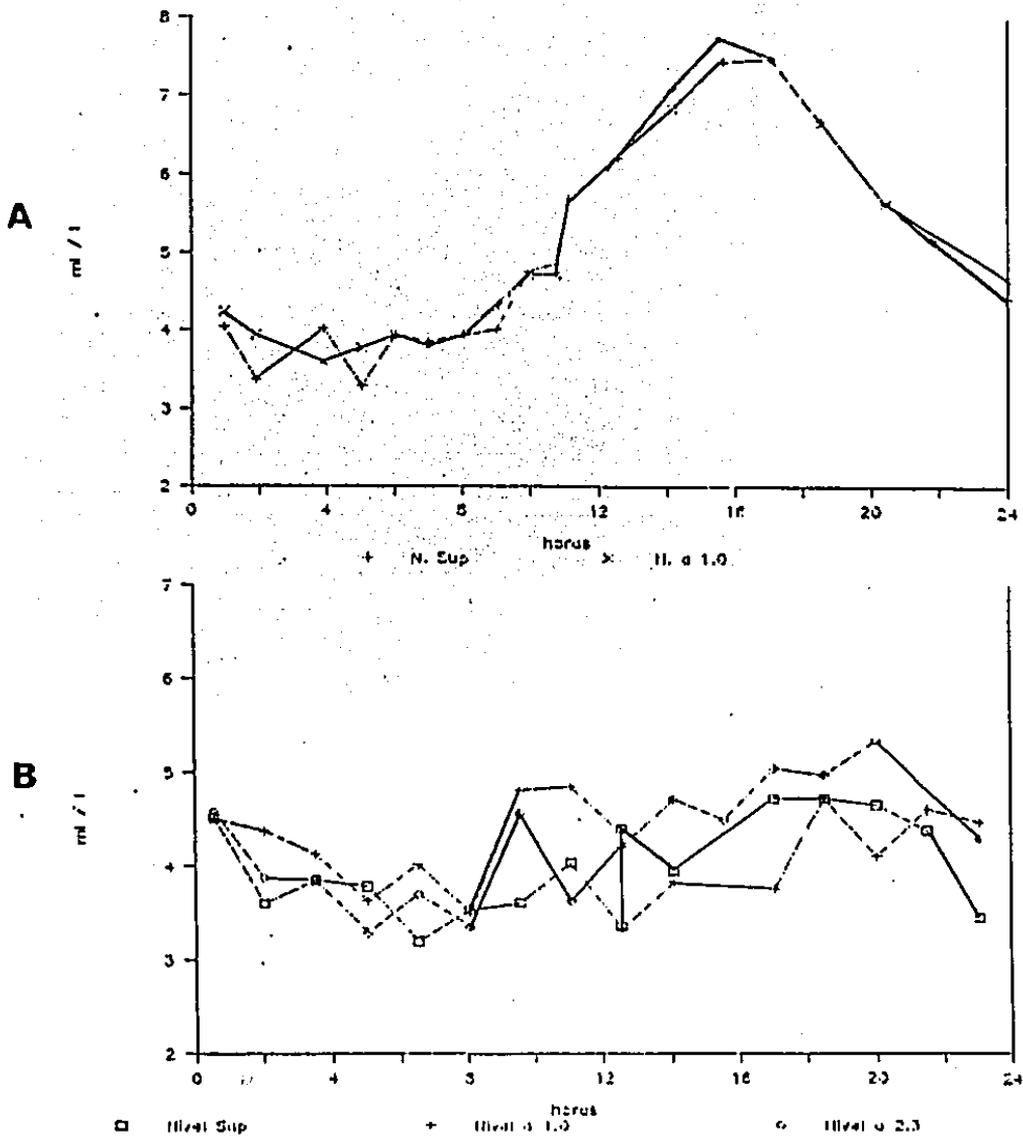


Figura 4 - Evolucion de Oxígeno Disuelto a lo largo del Día. En una estación somera con dos niveles muestreados (figura A) donde se observa la homogeneidad de la columna de agua. En una estación profunda (figura B) se observa la heterogeneidad de la columna de agua con respecto a los niveles muestreados.

Donde:

- k - coeficiente de difusión
- q_m - punto en la tasa de cambio antes del amanecer
- q_e - punto en la tasa de cambio después del atardecer
- S_m - déficit del porcentaje de saturación a la misma hora que q_m
- S_e - déficit del porcentaje de saturación a la misma hora que q_e

Este criterio en su concepto teórico se basa en la búsqueda de los instantes donde exista cambio de la concentración de oxígeno disuelto únicamente por procesos físicos, esto se optimiza cuando la producción es igual a la respiración en la evaluación de $\partial O_2 / \partial t$ corregida por el coeficiente de difusión.

De aquí que, el criterio básico utilizado para la selección de los puntos necesarios para el cálculo de k fuera la minimización de $\partial O_2 / \partial t$ corregida. Concretamente, se seleccionaron a aquellos puntos en los cuales el valor de la tasa corregida, es decir el cambio debido a procesos biológicos, fuese menor a 0.1 mg O_2 /l h. Asimismo, ya que la precisión en el cálculo de k depende de la magnitud de la diferencia entre los valores de saturación usados (Mee 1977), se vigiló también que esta diferencia fuese grande entre las parejas de puntos escogidos. Por otro lado, es claro que los puntos difícilmente tomarán el valor exacto de cero, porque el monitoreo fue puntual y no continuo. Una vez obtenidos los coeficientes se analizaron estadísticamente para comprobar su validación, si se asume que el valor de k debe ser igual para todas las estaciones, dado que están sometidas a los mismos procesos físicos.

El análisis estadístico demostró que la variabilidad de k entre las estaciones de un mismo muestreo así como, en la selección gráfica de un punto o su adyacente era muy amplia, pudiendo obtenerse valores negativos los cuales no tienen significado físico (Tabla 2). De igual manera los coeficientes resultantes en las estaciones profundas si se consideraba a toda la columna de agua homogénea, en la mayoría de los muestreos eran negativos o inconsistentes con los valores en las demás estaciones, lo cual sugiere necesario un procesado particular para este tipo de estación. Esto confirma lo descrito por Odum y Hoskin (1958) y Vollenweider (1974) acerca de la importancia de seleccionar puntos que evalúen realmente al coeficiente de difusión.

Debido a estas variaciones se seleccionaron en las estaciones someras (A, C y D) a las k con los mejores valores para los puntos corregidos. Estos valores se promediaron entre sí, y se obtuvo un coeficiente de difusión que se aplicó a todas las estaciones. Para obtener el valor del coeficiente por unidad

Tabla 2.- Valores de k en qm y qe y los obtenidos mediante la variación de una muestra antes de qm y una muestra despues de qe.

Mes	Estacion A			Estacion C			Estacion D		
	k-1	k	k+1	k-1	k	k+1	k-1	k	k+1
Jun. '85	-0.17	0.48	1.30	-0.25	0.59	1.59	0.17	0.36	1.38
Jul. '85	0.56	1.00	1.34	0.40	0.67	0.85	0.21	0.47	0.79
Oct. '85	0.17	0.66	0.97	0.44	0.46	0.86	-0.13	0.24	0.51
Dic. '85	0.78	1.03	1.47	-0.09	0.85	1.19	0.72	1.24	2.32
Feb. '86	2.50	2.32	3.17	2.11	2.40	3.38	1.17	2.58	3.92
Abr. '86	0.30	0.73	0.94	0.20	0.46	0.39	0.47	0.86	0.58
Jul. '86	0.32	0.95	1.55	0.57	1.04	1.50	0.84	1.04	1.43
Ago. '86				0.35	0.44	0.68			
Oct. '86				-0.86	0.05	0.29	-0.21	0.35	0.65
Desv. Estandar por Estación	0.78			0.84			0.90		
Desv. Estandar General	0.85								

de área se multiplicó por la profundidad de la columna de agua homogénea en cada estación.

Con estas k comunes a toda la cuenca en un muestreo dado, se suma o resta gráficamente el valor de cada dato por el de k y se obtiene la curva de $\partial O_2 / \partial t$ corregida en la que se eliminan a las variaciones por procesos físicos.

3.5.2 Cálculo de los Parámetros Comunitarios

La producción comunitaria bruta (p) se reconoce como el área existente entre la curva de $\partial O_2 / \partial t$ corregida y la línea que une a los puntos de inicio y final de la producción de oxígeno ($p = 0$) durante el día. Para calcular este área se usaron dos cálculos: a) el área entre la curva de $\partial O_2 / \partial t$ corregida y el promedio de la respiración nocturna como constante a lo largo del período con luz y b) el área entre ésta misma respiración y los dos puntos donde $p = 0$ considerando la diferencia en estas áreas si alguno de los puntos era menor a la respiración promedio nocturna. Al usar la respiración nocturna promedio que tiene siempre valores negativos, se simplifica el cálculo geométrico de estas áreas.

La respiración comunitaria (r) no se asumió constante para todo el ciclo de 24 hrs. como otros autores ya han sugerido (Odum y Wilson 1962, Odum 1963, Kelly *et al.* 1974, Hall y Moll 1975) pero no existe un mecanismo preciso que evalúe al comportamiento de r durante el día; por lo que se consideró que la mejor aproximación al valor de r se obtiene si se calcula el área definida entre los valores durante el período nocturno y el cero en la curva de $\partial O_2 / \partial t$ más el área entre los puntos seleccionados como indicadores del inicio y final del proceso de producción de oxígeno biológico ($p = 0$) y el cero, que corresponden a la respiración durante el día.

Para el cálculo del área de producción se usó un método geométrico el cual utiliza la siguiente fórmula:

$$A = (x_{+1} - x) * (y_{+1} + y - 2 * r) / 2$$

Para el cálculo del área de respiración la fórmula utilizada fue:

$$A = - (x_{+1} - x) * (y_{+1} + y) / 2$$

Estas fórmulas se explican geoméricamente en la figura 5. En ambos casos se consideró al área existente entre los puntos donde $p = 0$; para el cálculo de p se sumó considerando al valor de la respiración promedio nocturna y para el caso de r se sumó usando el cero. Este área está definida por:

$$A = - (x_r - x_1) * (y_r - y_1 - 2 * r) / 2$$

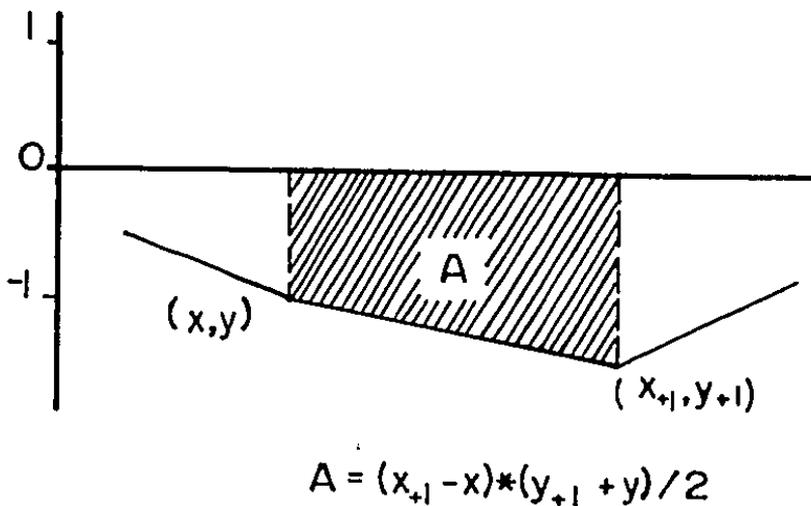
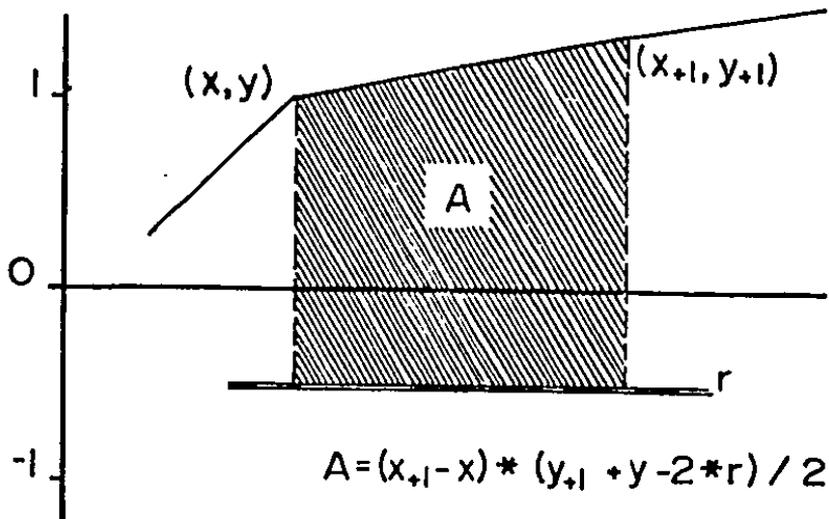


Figura 5 - Explicación Geométrica del Cálculo del Área Definida por la Curva Corregida en la Tasa de Cambio de Oxígeno Disuelto. En la figura A se muestra el área para producción para cada intervalo de muestreos puntuales. En la figura B el área para respiración.

Donde:

A = área del polígono

x = valor del punto en horas

x_i = valor del punto en horas al inicio de la producción

x_f = valor del punto en horas al final de la producción

y = valor del punto en mg O_2 /l h

y_i = valor del punto en mg O_2 /l h al inicio de la producción

y_f = valor del punto en mg O_2 /l h al final de la producción

r = valor en y de la respiración promedio nocturna en mg O_2 /l h

3.5.3 Consideraciones Metodológicas Particulares a las Estaciones Profundas

Las estaciones B y E son las estaciones con más número de niveles debido a su mayor profundidad, esto en principio condiciona a procesarlas de forma diferente que a las estaciones someras. En ellas, al menos en la escala de tiempo diaria, los procesos biológicos de producción y consumo de oxígeno disuelto permiten la existencia de un gradiente vertical en la columna de agua (Reyes 1987); En la figura 4 se puede ver la heterogeneidad entre todos los niveles muestreados. Esta situación impide la condición "de mezcla homogénea en la columna de agua" para aplicar el método de Odum en la forma descrita tanto por Odum y Hoskin (1958) como por Vollenweider (1974) y Brower y Zar (1977).

Este impedimento de aplicación para columnas estratificadas ya ha sido detectado (Odum y Wilson 1962, Odum 1963) y se han propuesto modificaciones tanto por Mee (1977) como por Tijssen y Eijgenraam (1982) y Flores (1985).

La modificación que aquí se utilizó considera para k en la estación profunda a el valor de la k promedio usada en las estaciones someras. Este dato es para el nivel de muestreo superficial que si tiene intercambio de oxígeno por difusión con la atmósfera y se corrigió para obtener una mejor aproximación, por medio de una ponderación de este promedio mensual superficial y el resto de los niveles muestrados en la columna de agua. Esto se hizo al considerar a los valores de oxígeno disuelto obtenidos en cada nivel y multiplicarlos por la distancia estadística del nivel en particular con respecto a su distribución vertical, sumandolos a la curva de $\partial O_2/\partial t$ corregida por difusión del nivel superficial (Fig. 6).

Para obtener los coeficientes de ponderación para cada nivel de muestreo se aplica la siguiente fórmula:

$$\bar{x} (1 \dots n) = \frac{x_1 d_1 + x_2 d_2 + \dots + x_n d_n}{Z_e}$$

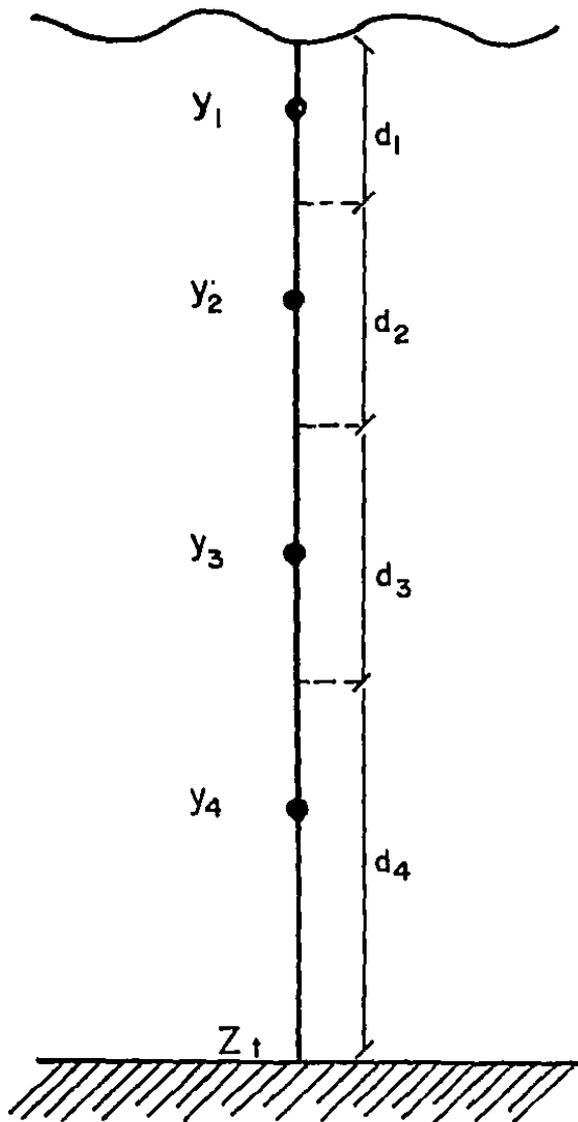


Figura 6 - Explicación Geométrica del Cálculo para la Ponderación del Muestreo Superficial y el resto de la Columna de Agua.

Donde:

$$d_1 = \frac{(y_2 - y_1)}{2} + y_1$$

$$d_{(2 \dots n-1)} = \frac{y_{2+1} - y_2}{2} + \frac{y_2 - y_1}{2}$$

$$d_n = (Z_b - y_n) + \frac{y_n - y_{n-1}}{2}$$

x = valor del punto en la gráfica de $\partial O_2 / \partial t$
 y = profundidad en metros del nivel de muestreo
 Z_b = profundidad total de la estación

4 RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 PARAMETROS AMBIENTALES

4.1.1 Meteorología

No existen registros ambientales con validez estadística para la zona de Cancún disponibles debido a lo reciente del desarrollo turístico. Por esta razón los registros ambientales recopilados en FONATUR y ASA para el periodo estudiado se compararon con datos de Puerto Morelos que es una zona cercana (32 km. al sur) y donde hay registros desde 1958 provenientes de una estación meteorológica de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

4.1.1.1 Temperatura Ambiente

Al comparar los datos de Merino y Otero (en prensa) que reportan obtenidos en la SARH para la zona de Puerto Morelos, los valores para este estudio se encuentran dentro de la variación estadística (26.3 - 27.0) con un promedio anual de 26.7 °C por lo que se considera a los dos años muestrados como normales en lo que respecta a este parámetro (Fig. 7).

4.1.1.2 Vientos

Los vientos dominantes estadísticos no muestran similitud con los datos registrados por ASA en 1985-1986. Y se reportan únicamente con fines comparativos (Tabla 3). Merino y Otero (en prensa) dudan de la representatividad para la zona de los datos registrados por la Secretaría de Marina en la Isla de Cozumel, debido a la posición geográfica de la estación meteorológica. En los datos para el área de estudio se observa la dominancia en la mayor parte de año de las masas de aire tropical marítimo provenientes del E, también se aprecia claramente la temporada de "nortes" que se registra desde noviembre hasta el mes de enero.

El análisis de los registros de velocidad (Tabla 3) muestra en el promedio anual que durante 1985-86, los vientos fueron más intensos con respecto a los registros estadísticos de la Sec. de Marina (Merino y Otero en prensa). Esta situación se atribuye principalmente a que no hubo un periodo de "calmas" o vientos de poca intensidad durante mayo a septiembre, también es de notarse que durante los meses de febrero, marzo y abril los valores son mayores que los registros estadísticos. Los únicos registros que presentan valores similares son los correspondientes a la época de "nortes" (Fig. 7). Como caso particular se debe de observar que el mes de febrero reporta una intensidad mucho mayor (más de 2 m/s) que la registrada para este mes en los datos estadísticos. En el análisis del

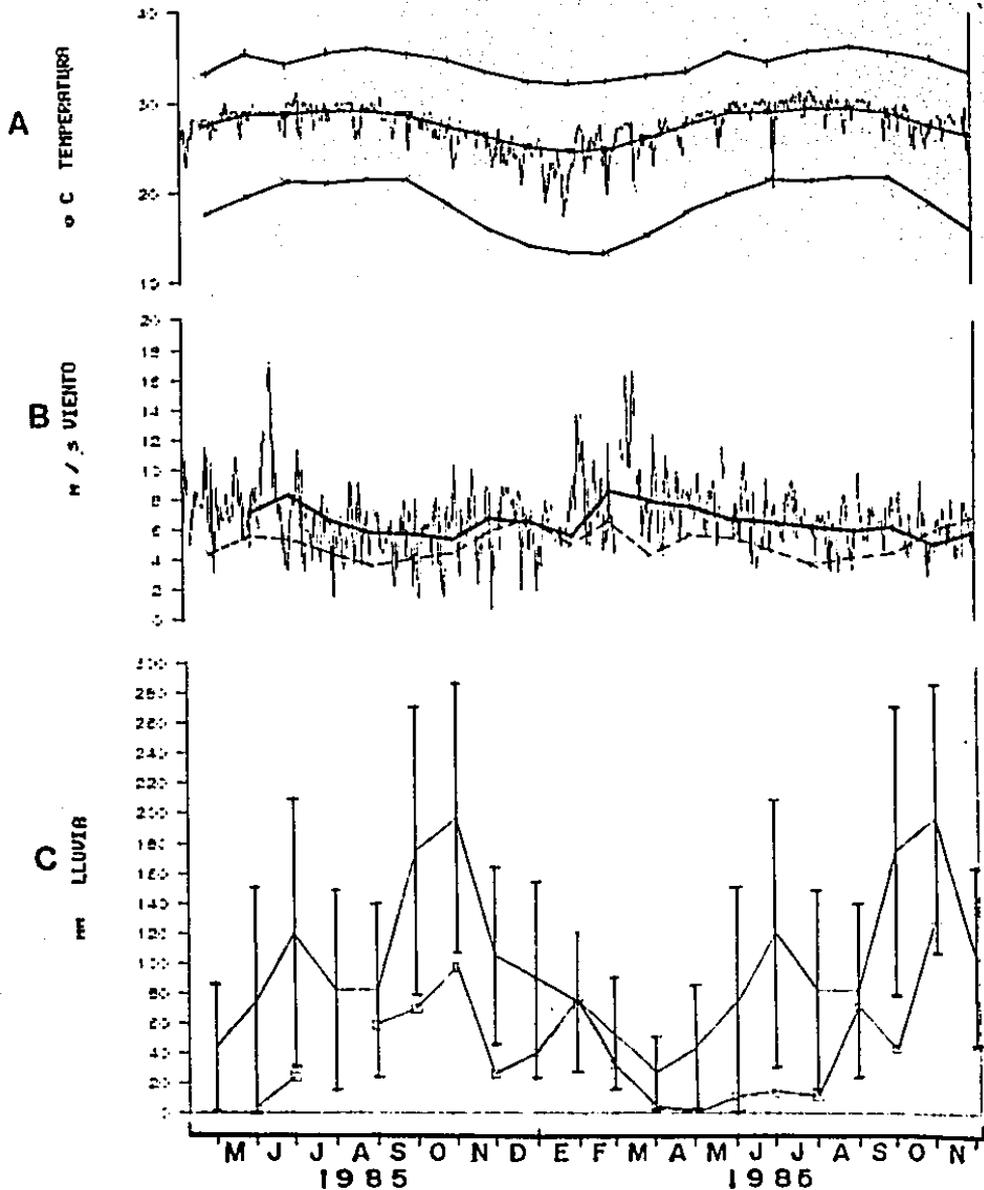


Figura 7 .- Parametros Ambientales para el Periodo 1985-1986 y Datos Mensuales Estadisticos para 1958-1980. En la figura A se muestra la temperatura promedio diaria, y la temperatura promedio mensual, el maximo y minimo estadisticos. En la figura B se muestra la intensidad del viento promedio diaria y la intensidad promedio mensual. La linea punteada muestra la intensidad del viento promedio mensual estadistica. La figura C muestra el total mensual de precipitación pluvial para el periodo bajo estudio. Además la precipitación total estadística y el rango de una desviación estandar.

Tabla 3 .- Valores Estadísticos de los Vientos

VIENTOS/MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Ncv	Dic	Anual	Fuente
Viento Dominante	SE	SE	SE	SE	SE	SE	C	C	C	Vs	N	Vs	SE	
Velocidad Media en m/s	1.9	3.4	3.4	3.7	2.7	2.6	0.0	0.0	0.0		6.5		3.0	1
Viento Dominante	N	SE	SE	E	E	E	E	E	E	E	N	N	E	
Velocidad Media en m/s	5.6	8.6	7.9	7.5	6.9	7.4	6.3	5.8	5.9	5.1	6.1	6.4	6.6	2

Las iniciales C indican periodos de calma (vientos menores a 1 m/s),
Vs a vientos variables sin dirección definida.

Fuentes:

- 1 - Datos del Sistema Meteorológico Nacional correspondientes a Cozumel para el periodo 1941-1970 (Sec. de Marina 1980, en Merino y Otero en Prensa).
- 2 - Datos para el periodo 1985-1986 obtenidos en la Dirección de Servicios Auxiliares a la Navegación de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) del Aeropuerto de Cancun.

registro diario para este mes, cuyos datos no se incluyen aquí, mostró una influencia de vientos del Norte durante los días 13 y 14, y los últimos cinco del mes.

4.1.1.3 Precipitación Pluvial

La estación meteorológica que reporta los datos de precipitación como se mencionó, se encuentra en la planta de tratamiento de aguas "negras" de la zona norte de Cancún a orillas de la Laguna Bojórquez. Esto permite asumir que el registro es resultado real de la situación climatológica prevaleciente en el área de estudio (Fig. 7).

Merino y Otero (en prensa) reportan lluvias totales anuales de 1123 mm. El dato anual recopilado en FONATUR en 1985-86, es aproximadamente de la tercera parte del valor estadístico para 20 años, con solo 457 mm. En la figura 7 también se muestra la amplitud para una desviación estandar de los valores estadísticos, lo cual indica que este periodo fue una temporada extraordinariamente seca.

Existe la duda de la validez de los datos aquí reportados dado que provienen de un contrato de FONATUR con una compañía privada especializada en control de plagas, cuya capacitación técnica para registro de parámetros ambientales se desconoce; sin embargo, la temporada de lluvias (agosto-noviembre) reportada por Merino y Otero (en prensa) es posible aquí también reconocerla.

4.1.2 Hidrología

4.1.2.1 Temperatura del Agua

Este parámetro en su variación total anual se muestra con una amplia variación (8.1 °C). Los registros más altos son en agosto de 1986 (31.6 °C) y julio de 1985, el mes con menor registro es febrero de 1986 (23.5 °C). No existen diferencias significativas (más de 1 °C) entre las estaciones en un mismo mes; siendo la variación anual mucho mayor que las variaciones entre estaciones (Tabla 4). Estos datos sugieren una homogeneidad térmica tanto horizontal como vertical para toda la cuenca, a pesar de presentar áreas más profundas que pudieran tener registros más bajos que los de las zonas someras.

Al comparar los registros de temperatura del agua por estación con la temperatura del aire promedio diaria, se observa que en los datos llega a existir hasta un traslape (Fig. 8), solo en las épocas más cálidas los registros de temperatura del agua son mayores. Esto evidentemente atribuible al comportamiento de "almacén" de energía calorica del agua con respecto al aire. Cabe mencionar que en cuanto al patrón anual de este parámetro presenta un comportamiento ciclico de alza en la temperatura a partir de los meses de marzo-abril para alcanzar

Tabla 4 .- COMPORTAMIENTO DE LA TEMP PROMEDIO (°C)

Mes						Estadísticos	
	Est A	Est B	Est C	Est D	Est E	Prom.	D.Std.
Jun85	31.1	31.0	31.0	30.9		31.0	0.08
Jul85	31.1	31.1	31.5	30.9		31.1	0.21
Ago85		29.7					
Oct85	28.3	28.6	28.2	28.2		28.3	0.14
Dic85	25.5	25.4	25.4	25.5		25.4	0.06
Feb86	23.7	23.5	23.6	23.5		23.6	0.09
Abr86	28.8	28.8	28.8	28.8		28.8	0.02
Jul86	31.0	30.7	30.8	30.7		30.8	0.12
Ago86			31.6		31.5		
Oct86		29.4	29.4	29.4	29.1	29.3	0.15
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----							
Estadísticos							
Prom.	28.5	28.7	28.9	28.5			
D.Std.	2.72	2.46	2.66	2.52			

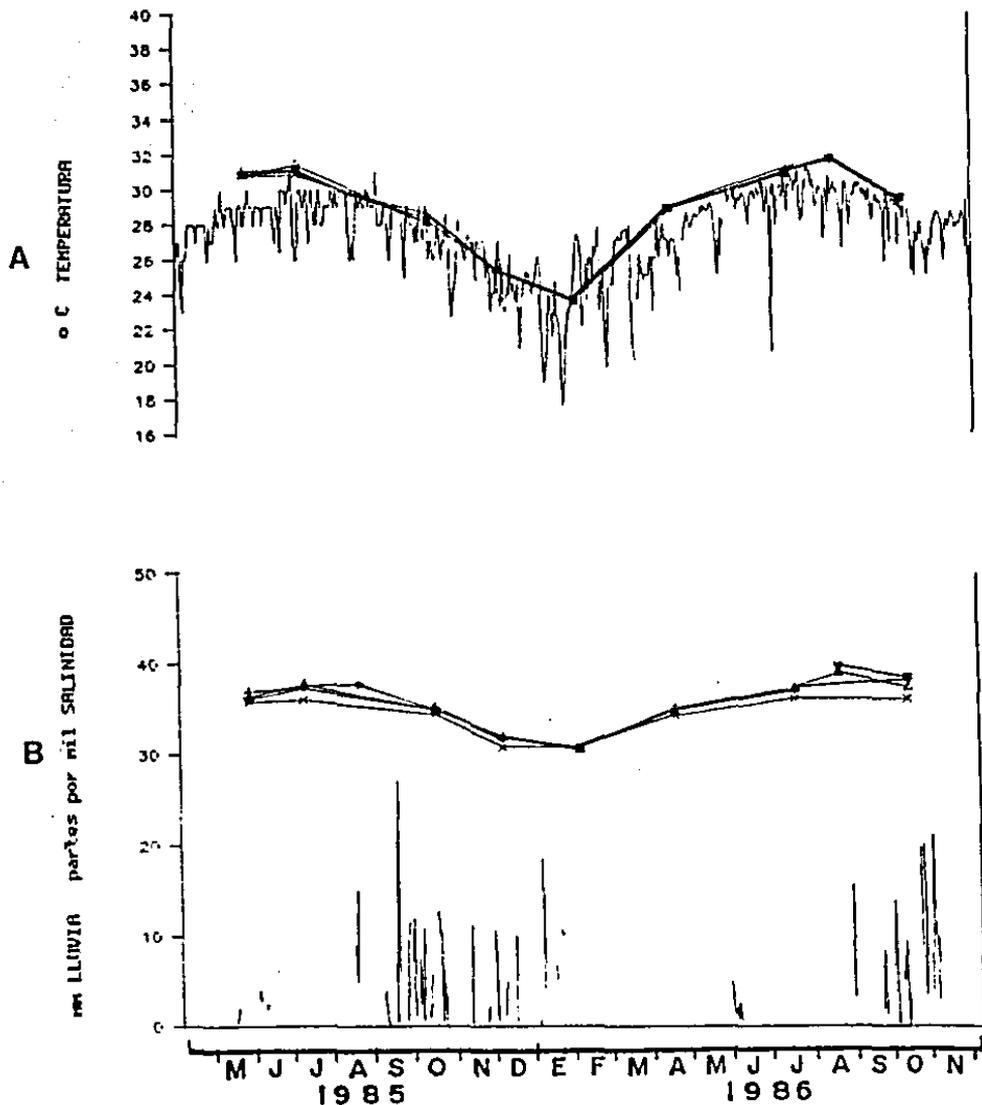


Figura 8 .- Parámetros Hidrológicos y su Relación con los Parámetros Ambientales para 1985-1986.

En la figura A se muestra la temperatura promedio del agua en cada una de las estaciones para el ciclo diario y la temperatura promedio diaria del aire.

En la figura B se muestran la salinidad diario para cada estación y la precipitación pluvial diaria durante el periodo muestreado.

el máximo durante junio-julio y disminuir hasta sus mínimos en enero-febrero.

4.1.2.2 Salinidad

En su ciclo anual se muestra con una variación significativa (7.7 S); presenta en los meses de junio, julio, agosto de 1985 y agosto y octubre de 1986 salinidades por encima del valor promedio del mar (35 S) y en los meses de octubre y diciembre de 1985, febrero y abril de 1986 salinidades por debajo de este valor. Los valores por encima de la salinidad promedio del mar sugieren que se trata de cuencas aisladas, dominadas por procesos de evaporación y lluvia mas que por procesos de mezcla oceano-lagunar, esta hipótesis también es mencionada por Jordán *et al.* (1978) autores que encuentran en la Laguna Bojórquez sus registros más altos de salinidad (37 S), y por Merino *et al.* (en prensa) al analizar el patrón espacial en todo el sistema lagunar.

La estación D, que es la estación fuera de la Laguna Bojórquez, tiene consistentemente menor salinidad lo que presupone una circulación restringida entre la Laguna Bojórquez y la Laguna Nichupté e indica una diferencia en la hidrología de ambas cuencas. En lo referente a las estaciones dentro de la Laguna Bojórquez las diferencias observadas entre ellas son mínimas (Tabla 5). Lo que confirma también para este parámetro la homogeneidad del cuerpo de agua y su mezcla horizontal.

Al registro de salinidad se le comparó con los registros de precipitación pluvial. Al considerar la existencia de una relación muy estrecha entre estos dos parámetros según lo establecido por Merino *et al.* (en prensa). El comportamiento entre estos dos parámetros muestra un patrón inverso, así se observa que la salinidad empieza a disminuir de manera considerable (2.8 ppm de un muestreo al siguiente) despues del mes de agosto para alcanzar sus mínimos en diciembre y febrero, y reiniciar su ascenso durante abril y julio. Para la segunda mitad del año de 1986, la salinidad se mantiene con poca variación hasta el mes de septiembre. Este comportamiento es atribuido, como ya se mencionó, a ser este año uno de los más secos registrados para la zona (Fig. 8).

4.1.2.3 Oxígeno Disuelto

La variación de la concentración de oxígeno disuelto es atribuible principalmente a las características biológicas de las comunidades presentes en la cuenca, por esta razón su comportamiento, aunque influenciado en cierto grado por los factores climáticos, es diferente a los patrones mostrados por los parámetros hidrológicos (temperatura, salinidad). La variación anual de este parámetro se muestra en la figura 9 y tabla 6.

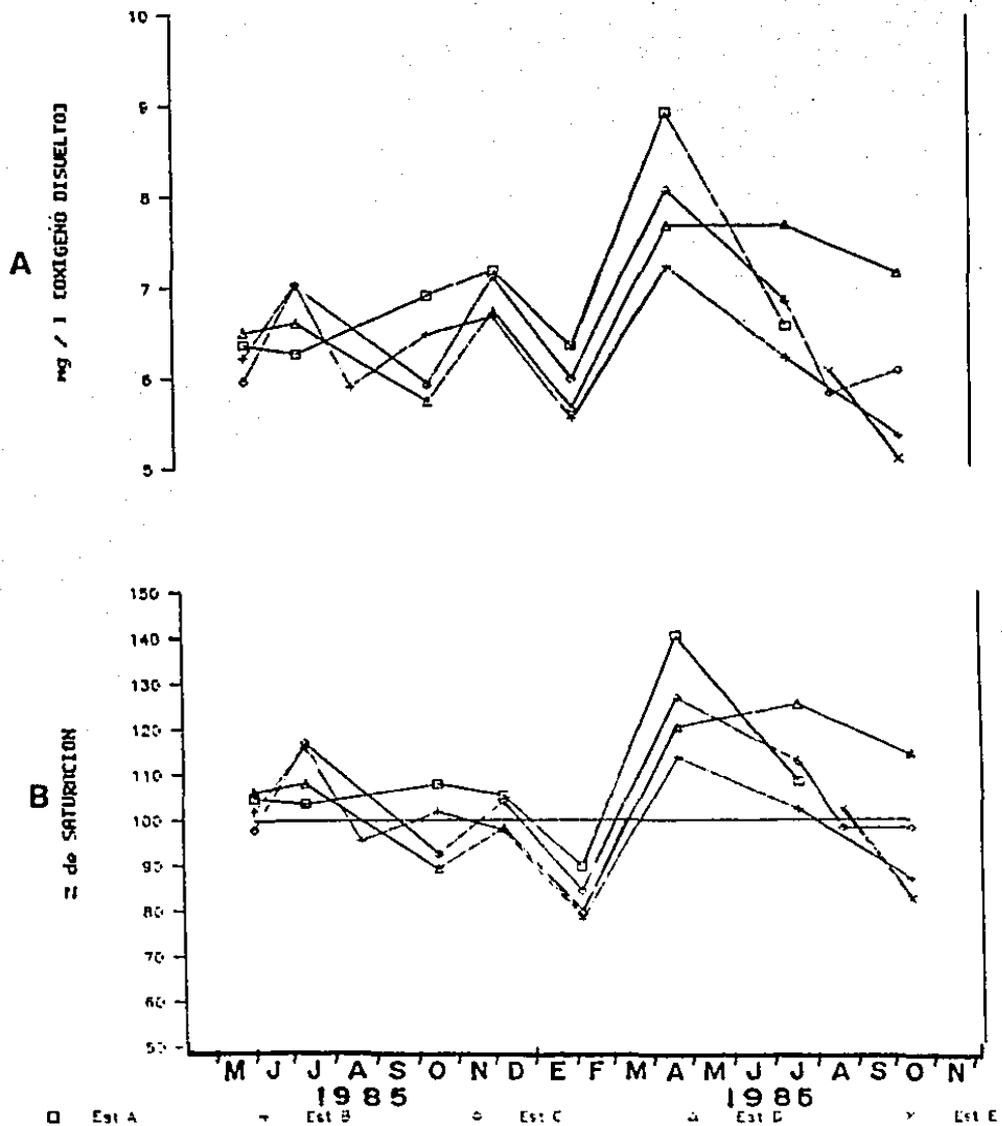


Figura 9 .- Variaciones de la Concentración de Oxígeno Disuelto y la Saturación para 1985-1986. En la figura A se presenta la variación de la concentración de oxígeno disuelto con respecto a los meses muestreados. La figura B es el porcentaje de saturación de oxígeno a lo largo del periodo bajo estudio.

Tabla 6 .- COMPORTAMIENTO DEL O2 DISUELTO (mg/l)

Mes	Estadisticos					Prom.	D.Std.
	Est A	Est B	Est C	Est D	Est E		
Jun85	6.4	6.2	6.0	6.5		6.3	0.20
Jul85	6.3	7.0	7.0	6.6		6.7	0.32
Ago85		5.9					
Oct85	6.9	6.5	5.9	5.7		6.3	0.46
Dic85	7.2	6.7	7.1	6.7		6.9	0.23
Feb86	6.4	5.6	6.0	5.7		5.9	0.31
Abr86	8.9	7.2	8.1	7.7		8.0	0.62
Jul86	6.6	6.2	6.9	7.7		6.8	0.54
Ago86			5.8		6.1		
Oct86		5.4	6.1	7.2	5.1	5.9	0.79
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----							
Estadisticos							
Prom.	6.9	6.3	6.5	6.7			
D.Std.	0.87	0.59	0.73	0.72			

Durante los primeros muestreos no es posible distinguir un patrón por estaciones, ni una tendencia general, la variación mensual enmascara este reconocimiento. A partir de diciembre de 1985 se presenta un patrón generalizable en el que existe un mínimo en febrero de 1986 y un máximo en abril de 1986 para posteriormente presentar una disminución constante en el resto de los muestreos. A lo largo del periodo muestreado la estación A permanece constantemente con los valores más altos hasta julio de 1986 donde se aprecia una disminución en el contenido de oxígeno disuelto en todas las estaciones de la Laguna Bojórquez. Para verificar que este comportamiento no es resultado del factor físico de difusión sino a los procesos biológicos, se reporta la variación anual de saturación (Fig. 9) donde se confirma la existencia de esta tendencia decreciente. En todo el ciclo anual los valores más bajos se dan en las estaciones profundas (B y E).

4.2 Curvas de Tasa de Cambio de Oxígeno Disuelto

Las curvas de $\partial O_2 / \partial t$ obtenidas en cada estación se muestran en las figuras 10 a la 19. En ellas se presentan la evolución de la curva original de $\partial O_2 / \partial t$ y la curva corregida para compensar el proceso de difusión ($\partial O_2 / \partial t$ corr.); asimismo, se señalan los puntos de inicio y final de la producción en el ciclo diario ($p = 0$). La línea que los une se asume como el comportamiento de la respiración durante el día y se indican con flechas los puntos en los que $p = r$ una vez corregidos por difusión.

En el mes de junio de 1985 las gráficas para las estaciones someras presentan una evolución diaria con algunas particularidades. En ellas la variación brusca que se presenta alrededor de las 1600 h se atribuye al efecto de incremento en la intensidad del viento. Una característica común a todas las estaciones es el patrón de la respiración durante el día, el cual va aumentando (descenso a números negativos) hacia el inicio de la noche. Este comportamiento es explicado porque al final del día la respiración se incrementa cuando los niveles de oxígeno disuelto y temperatura son mayores (Odum y Wilson 1962, Hall y Moll 1975)(Fig. 10).

Durante el mes de julio de 1985 el comportamiento se modificó en términos de la amplitud de las curvas la cual ha disminuido. Se observa que las curvas de las estaciones A, C y D presentan la forma que Odum y Hoskin (1958) califican como típica. En este tipo de curvas es sencillo identificar los puntos de $p = r$ así como de $p = 0$. Y no es posible reconocer efectos de viento generalizables a todas las estaciones. La estación D (fuera de la Laguna Bojórquez) no presenta variaciones bruscas en su desarrollo diario. La estación B tiene una disminución a las 1400 h, en las anotaciones simultáneas se registró el paso de una embarcación que causó turbulencia y resuspendió gran cantidad de sedimentos, este tráfico es una actividad turística que ocurre dos veces al día

2 - 3 de J U N I O de 1 9 8 5

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

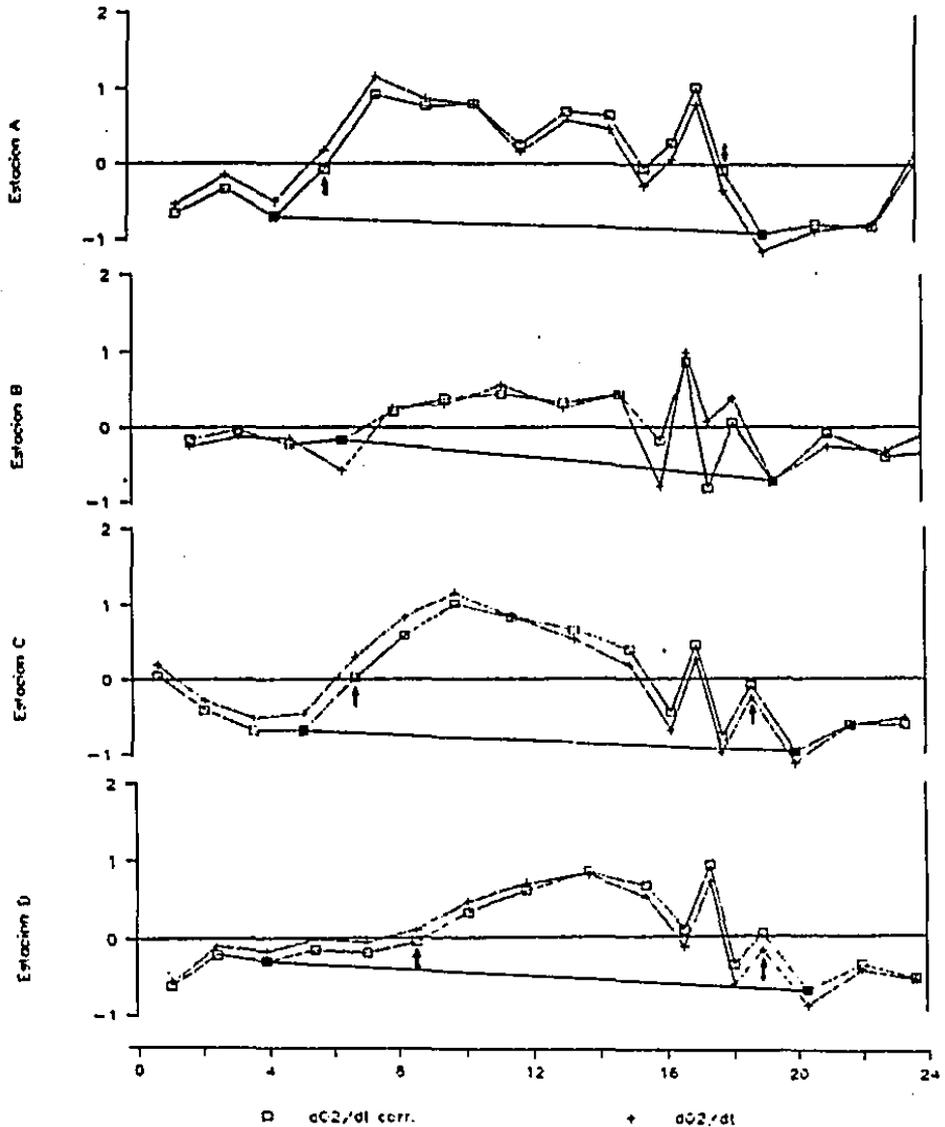


Figura 10 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones A, B, C y D, durante el muestreo del 2 al 3 de junio de 1985. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

16 - 17 de JULIO de 1985

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

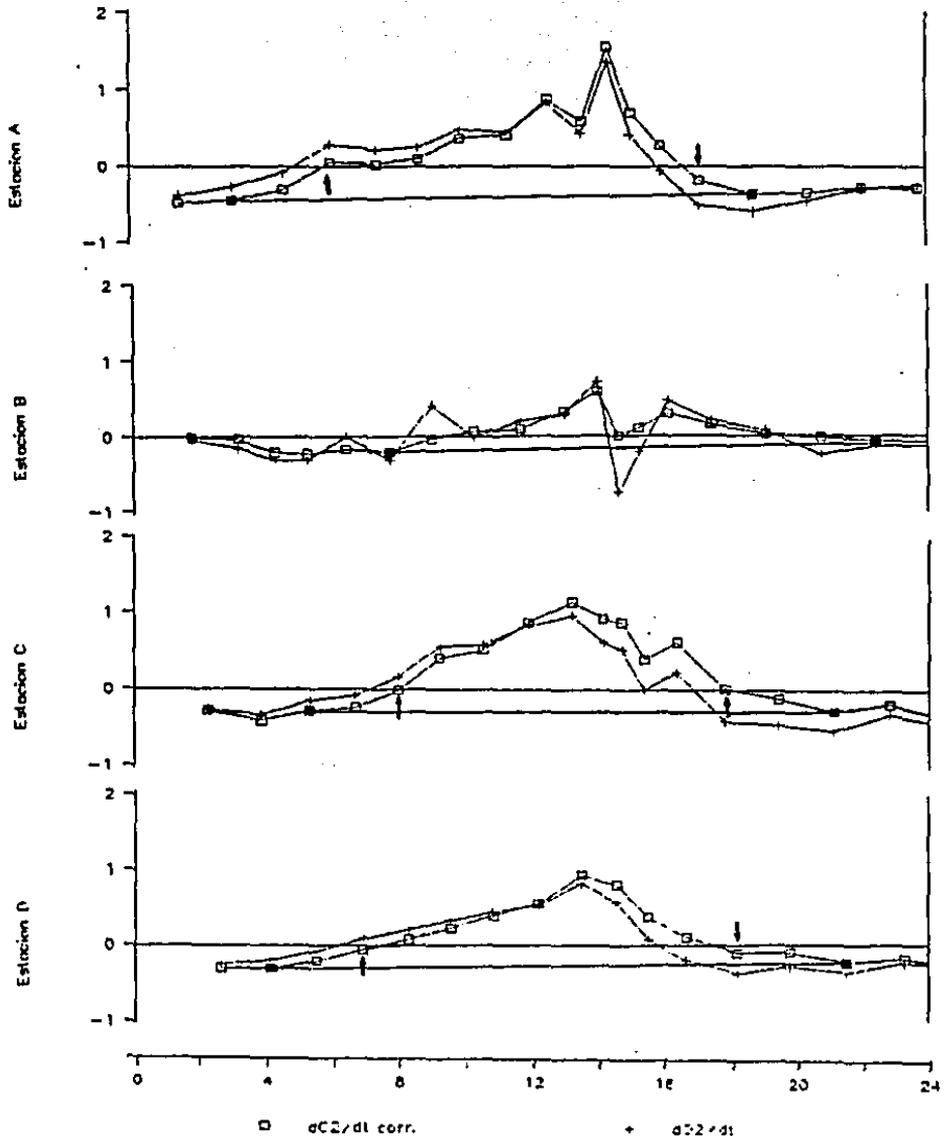


Figura 11 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones A, B, C y D, durante el muestreo del 16 al 17 de julio de 1985. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

26 - 27 de A G O S T O de 1985
 (Estacion B)

$d[O_2]/dt$
 (mg/l h)

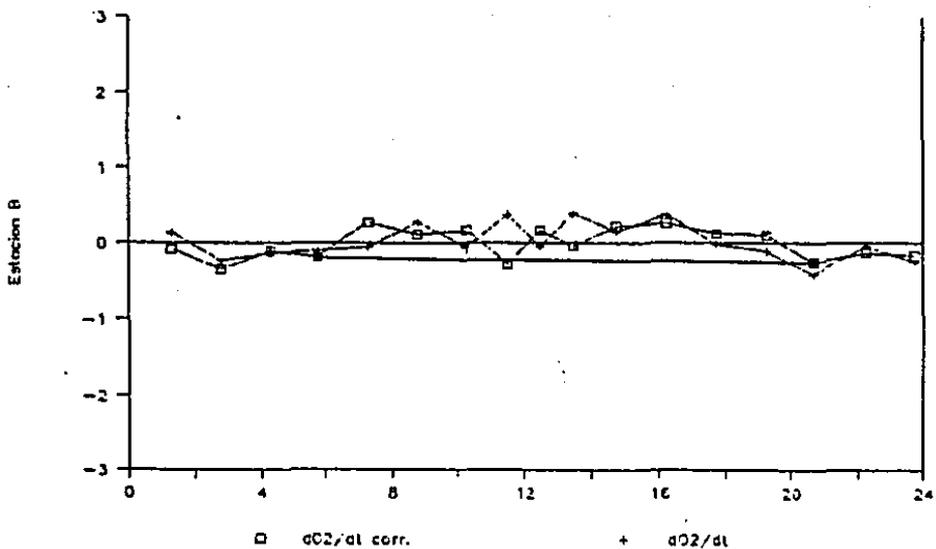


Figura 12 .- Evolucion de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusion para la estacion B durante el muestreo del 26 al 27 de agosto de 1985. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la produccion $p = 0$. La linea que los une se asume como representativa de la respiracion durante el dia.

2 · 3 - 2 4 de O C T U B R E de 1 9 8 5

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

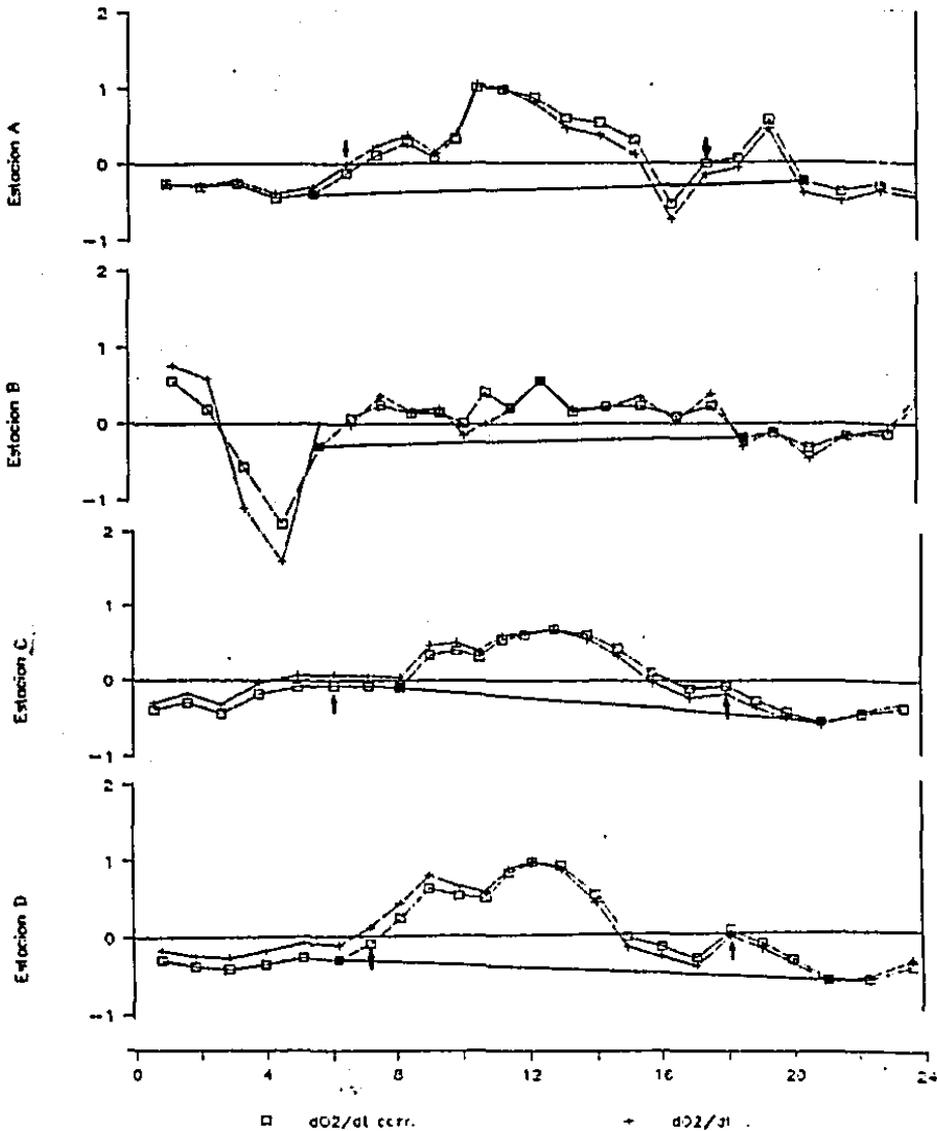


Figura 13 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones A, B, C y D, durante el muestreo del 23 al 24 de octubre de 1985. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

1 0 - 1 1 de D I C I E M B R E de 1 9 8 5

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

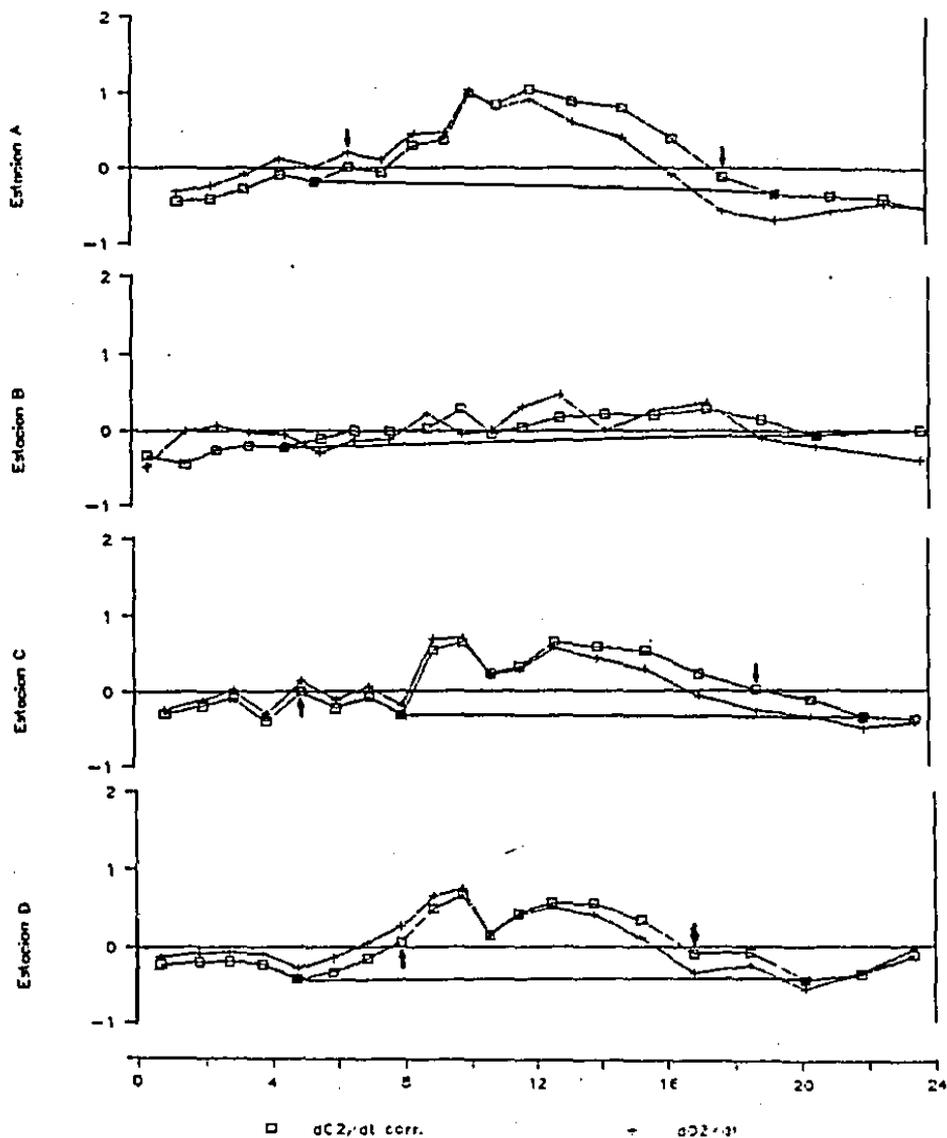


Figura 14 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones A, B, C y D, durante el muestreo del 10 al 11 de diciembre de 1985. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

2 - 3 de F E B R E R O de 1 9 8 6

$d[O_2]/dt$
(mg/l·h)

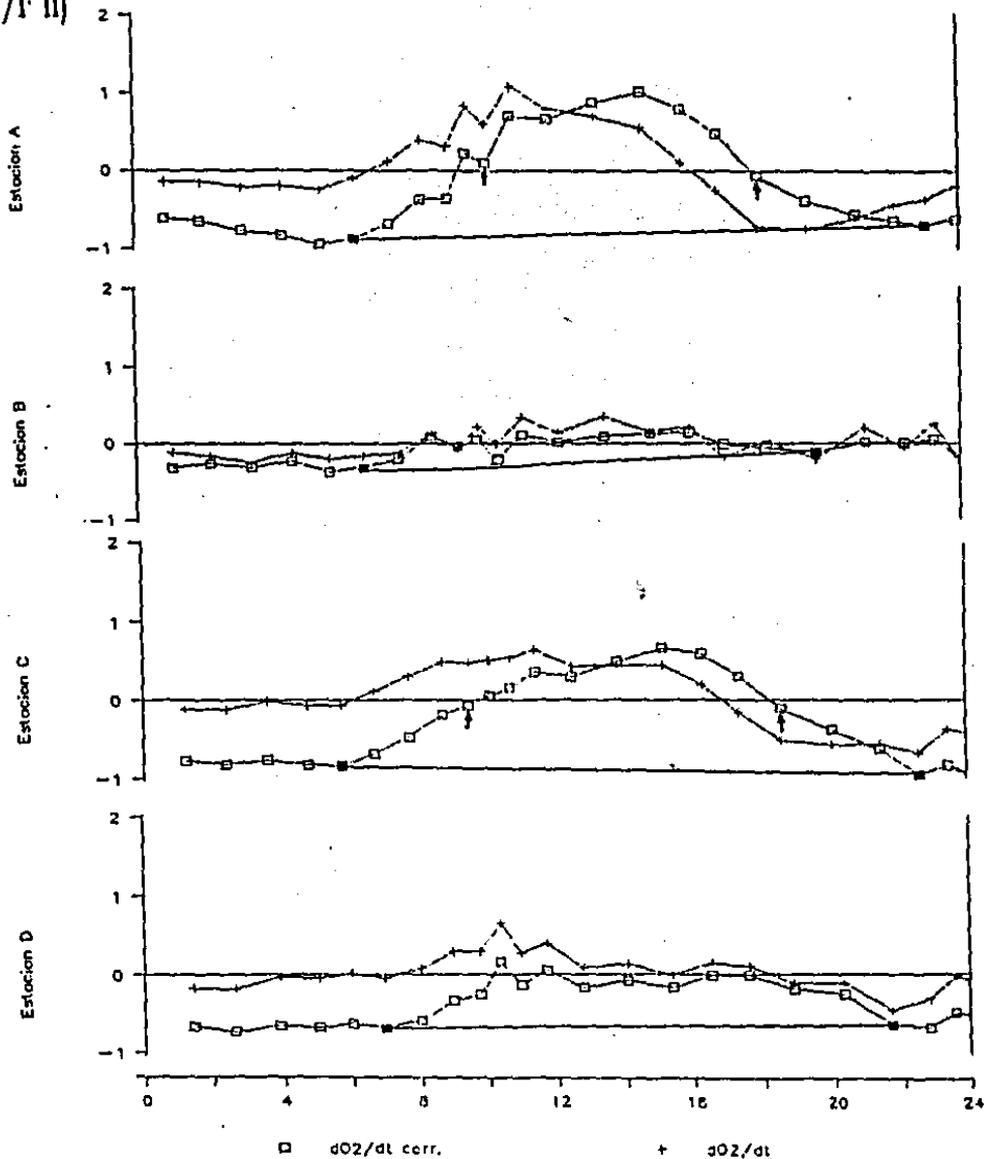


Figura 15 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones A, B, C y D, durante el muestreo del 2 al 3 de febrero de 1986. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

18 - 19 de ABRIL de 1986

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

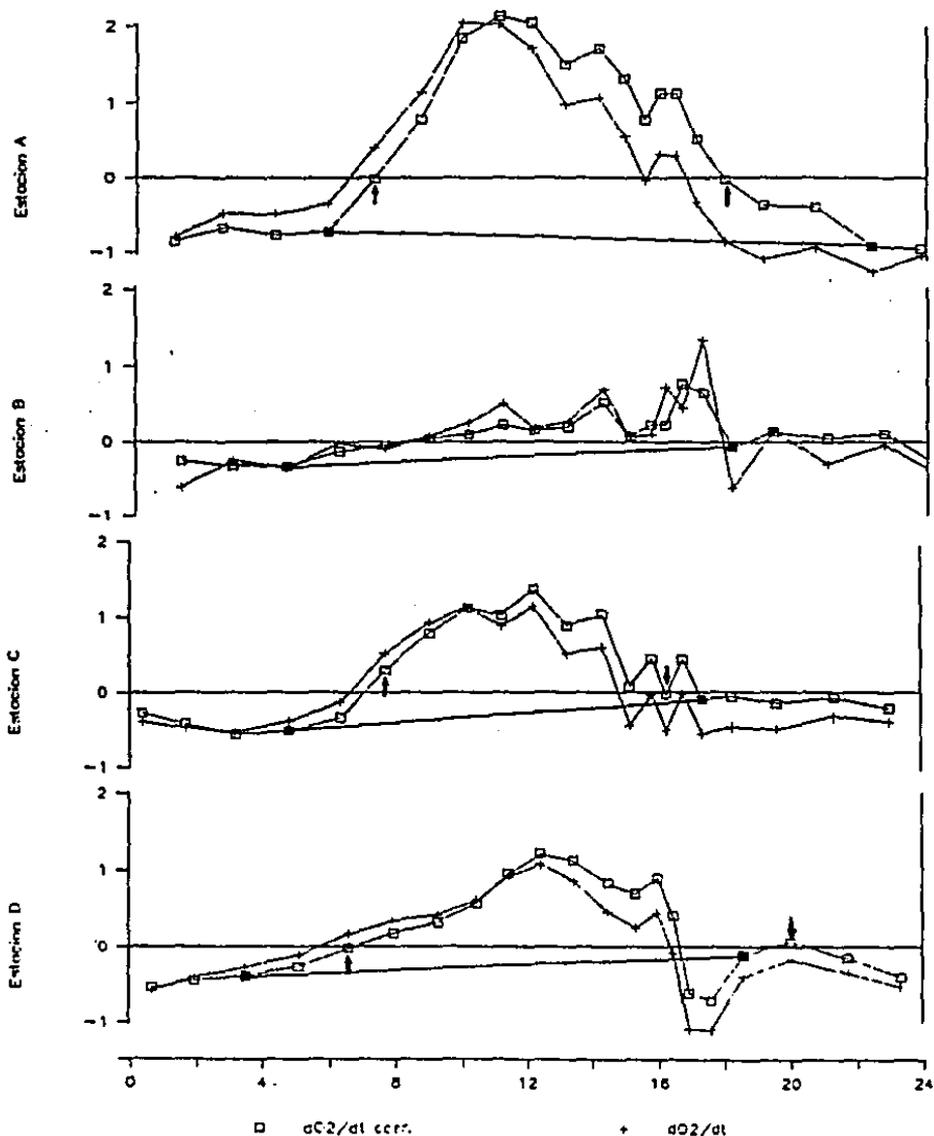


Figura 16 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones A, B, C y D, durante el muestreo del 18 al 19 de abril de 1986. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

1 2 - 1 3 de J U L I O de 1 9 8 6

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

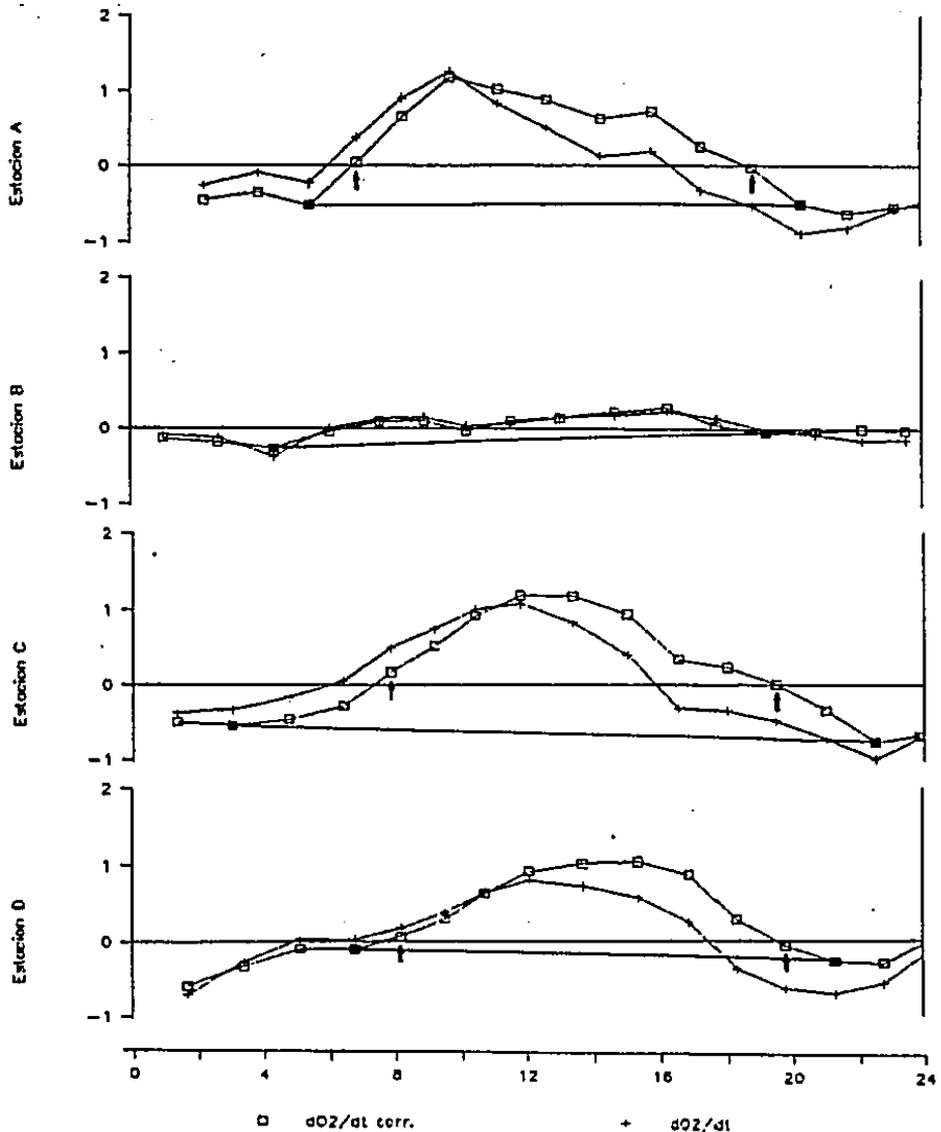


Figura 17.- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones A, B, C y D, durante el muestreo del 12 al 13 de julio de 1986. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

19 - 20 de A G O S T O de 1986
(Estaciones C y D)

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

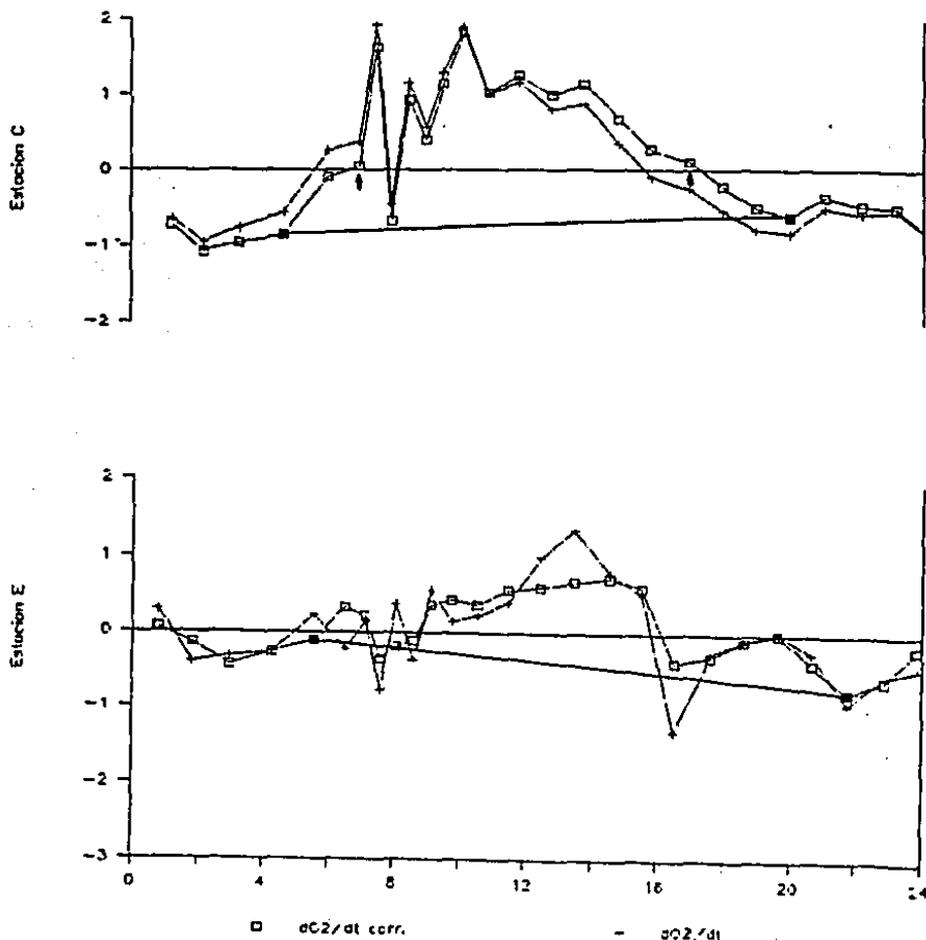


Figura 18 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones C y E, durante el muestreo del 19 al 20 de agosto de 1986. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en la estación somera (menor a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

8 - 9 de O C T U B R E de 1 9 8 6
 (Estaciones B, C, D y E)

$d[O_2]/dt$
 (mg/l h)

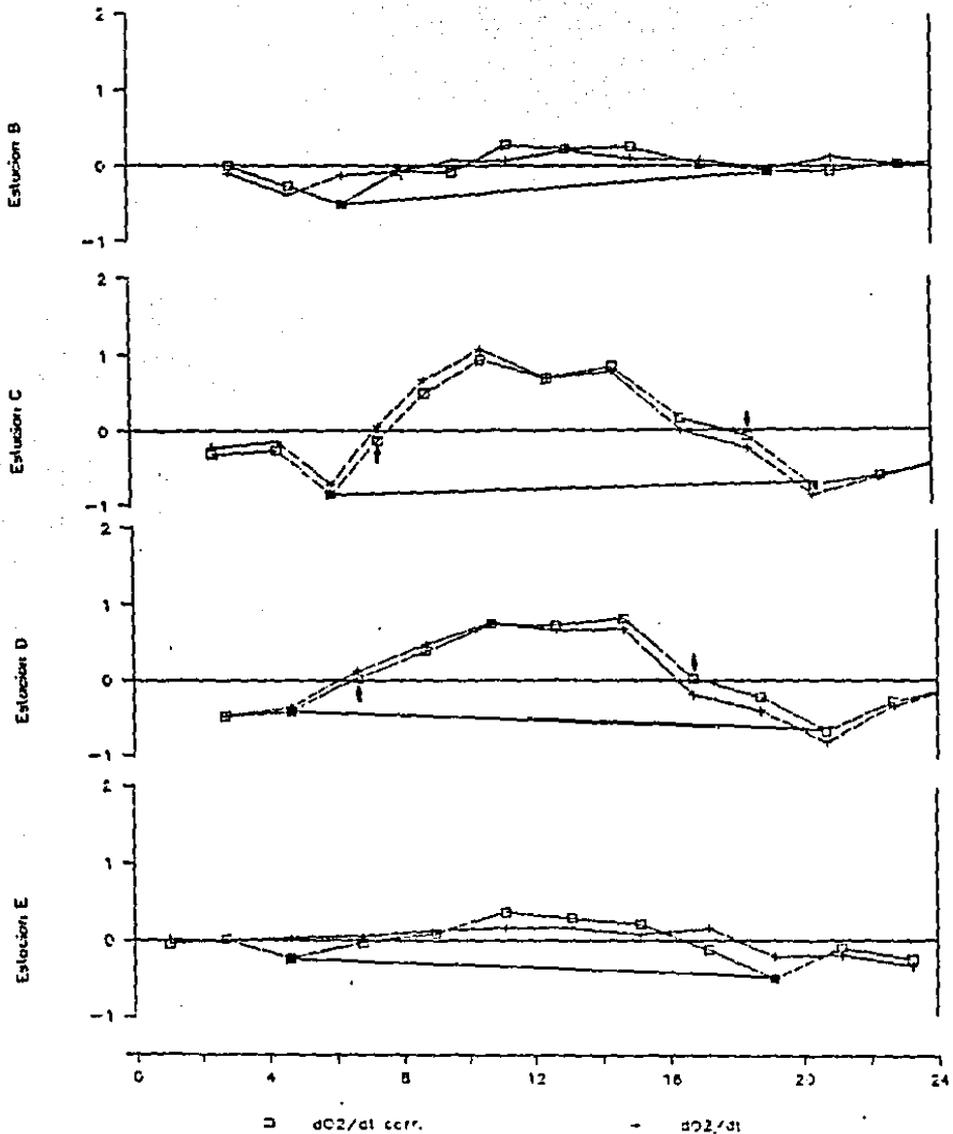


Figura 19 .- Evolucion de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusion para las estaciones B, C, D y E, durante el muestreo del 8 al 9 de octubre de 1986. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la produccion $p = 0$. La linea que los une se asume como representativa de la respiracion durante el dia. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusion (k) donde ocurre $p = r$.

19 - 20 de A G O S T O de 1986
 (Estaciones C y D)

$d[O_2]/dt$
 (mg/l h)

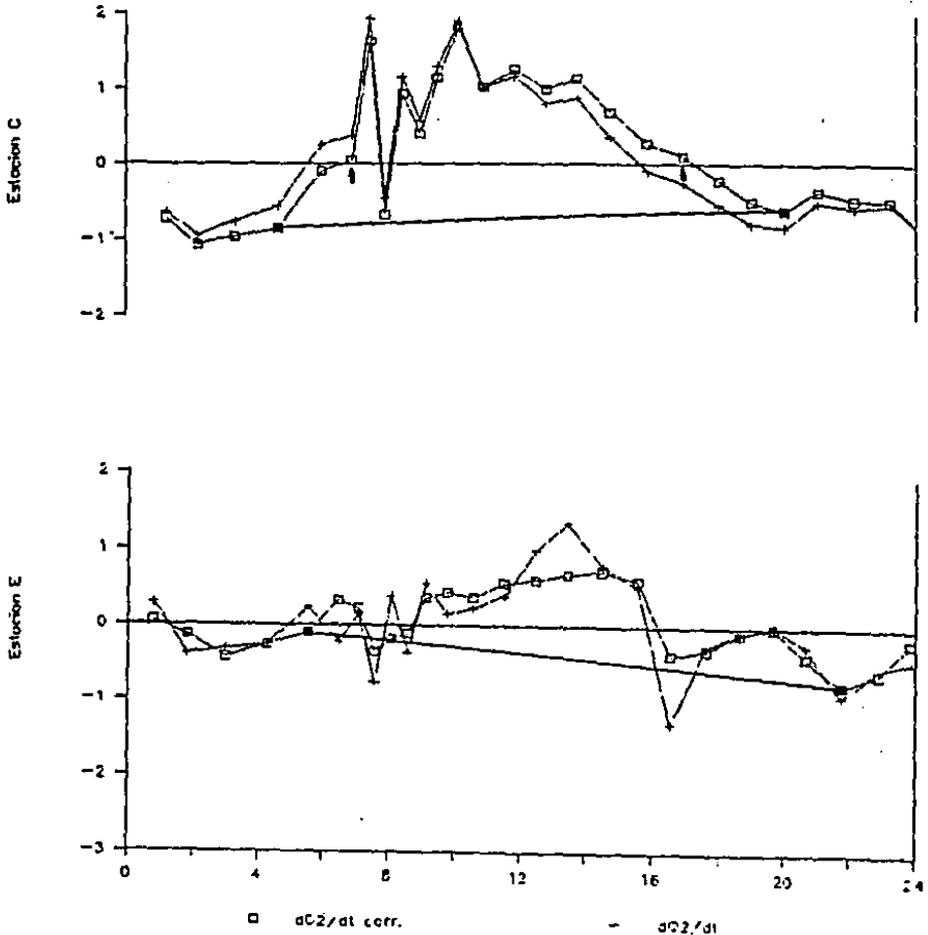


Figura 18 .- Evolución de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusión para las estaciones C y E, durante el muestreo del 19 al 20 de agosto de 1986. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la producción $p = 0$. La línea que los une se asume como representativa de la respiración durante el día. Las flechas indican los puntos escogidos en la estación somera (menor a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusión (k) donde ocurre $p = r$.

8 - 9 de O C T U B R E de 1 9 8 6

(Estaciones B, C, D y E)

$d[O_2]/dt$
(mg/l h)

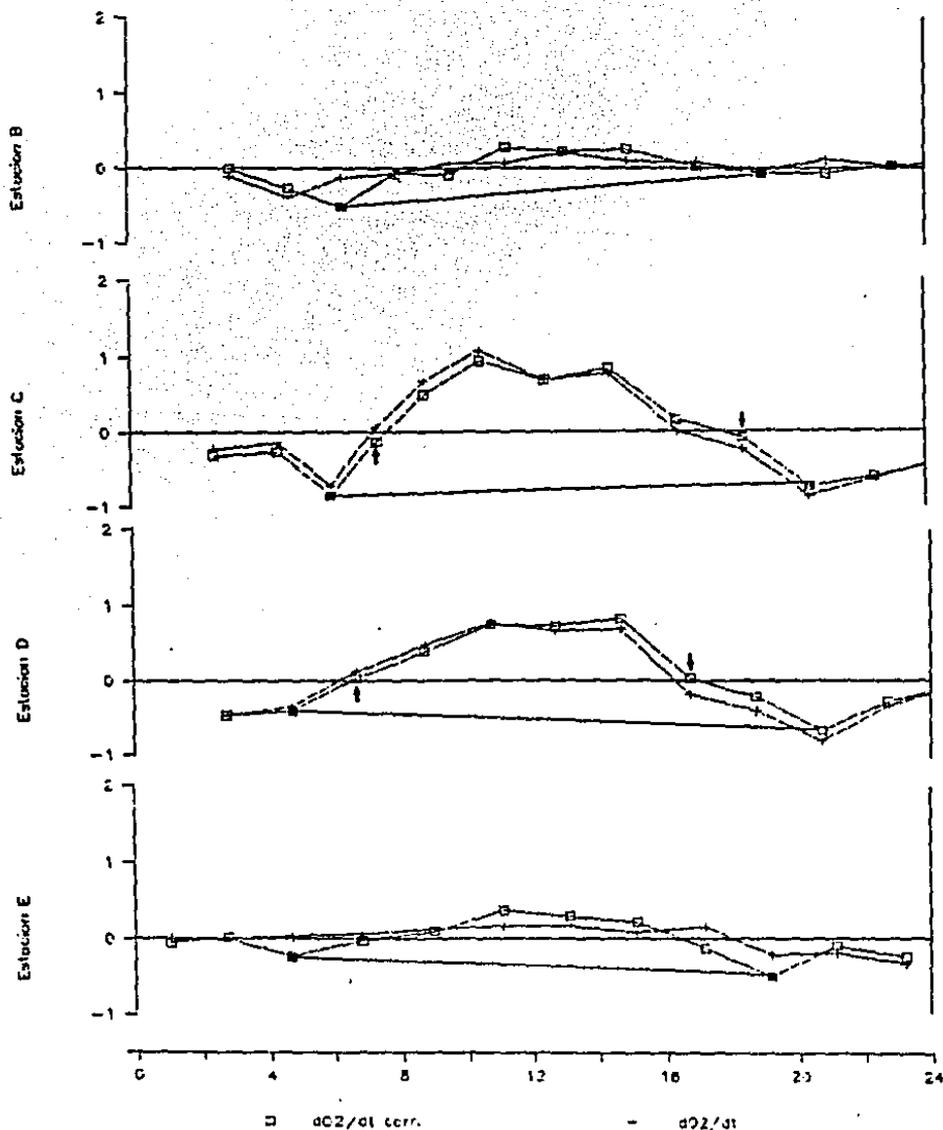


Figura 19 .- Evolucion de $d[O_2] / dt$ y $d[O_2] / dt$ corregida por difusion para las estaciones B, C, D y E, durante el muestreo del 8 al 9 de octubre de 1986. Se marcan los puntos donde se considera que se inicia y termina la produccion $p = 0$. La linea que los une se asume como representativa de la respiracion durante el dia. Las flechas indican los puntos escogidos en las estaciones someras (menores a 2 m) para el cálculo del coeficiente de difusion (k) donde ocurre $p = r$.

exclusivamente para esta zona. La respiración durante el día es casi constante con una desviación hacia arriba muy pequeña para todas las estaciones, solo en la estación B esto se acentúa (Fig. 11).

El siguiente monitoreo fué en agosto de 1985 el cual como se menciona en la sección 3.3, únicamente se realizó en la estación B que continua presentando una curva de poca amplitud. En este tipo de curvas la dificultad es muy grande para poder identificar con precisión los puntos de $p = 0$ y $p = r$. La respiración durante el día permanece constante (Fig. 12).

Para octubre de 1985 se pueden apreciar variaciones en las curvas de tasa de cambio por efecto del viento en la mañana (0500 a 0700 h) y tarde (1700 a 1900 h). Este muestreo pertenece a la temporada con lluvias lo que también influye en las comunidades fotosintetizadoras dado que el cielo nublado limita la cantidad de luz y por lo tanto afecta disminuyendo la fotosíntesis. Sin embargo, la respiración durante el día en las estaciones someras se presenta con el descenso "normal" al inicio de la noche (Odum y Wilson 1962, Odum 1963). La estación B continua con una curva de poca amplitud pero durante el amanecer existe un gran consumo de oxígeno disuelto y una producción posterior de igual magnitud. Se elimina la posibilidad de error en la alicuota que se usó para la determinación de oxígeno disuelto dado que este descenso ocurre en un periodo de aproximadamente 4 h e incluye varios muestreos puntuales. Se ignora que sucedió en este lapso, probablemente ocasionado por una resuspensión de sedimentos ocasionada por el paso de una lancha de pesca deportiva (Fig. 13).

En el muestreo de diciembre de 1985 se observa que las curvas de tasa de cambio permanecen cercanas al cero. En las estaciones someras al amanecer (0300 a 0600 h) y alrededor de las 1000 h se presenta una variación al comportamiento común de estas horas, estas disminuciones se atribuyen a un incremento en la intensidad del viento provocando un aumento en la difusión y con esto minimizan la concentración de oxígeno disuelto. En estas estaciones el aumento de la respiración al final del día es el ya antes descrito. A la estación profunda se le identifica con un mínimo de producción lo que también afecta al proceso de respiración que disminuye al atardecer (Fig. 14).

El mes de febrero de 1986 muestra en términos generales, una menor saturación de oxígeno en todas las estaciones (Fig. 15). Es en la estación A donde la influencia del viento del N es menor, dada la situación geográfica con respecto a la Isla de Cancún que la "protege". Debido a esto la curva de tasa de cambio de esta estación presenta un comportamiento diferente al resto, tiene una gran amplitud y respiración durante el día constante. En las otras estaciones someras los efectos del

viento son mayores siendo la estación D la que solo en un punto (1000 h) sobresale del cero; lo que indica su escasa producción. La estación B mantiene sus valores alrededor del cero con poca amplitud y respiración durante el día con ascenso al final del mismo.

Durante el muestreo en abril de 1986 se dan las curvas con mayor amplitud para todo el ciclo anual muestreado. En este mes se observan los registros mínimos de vientos y total ausencia de lluvias. La estación A se mostró con los valores más altos de todas las estaciones, con una respiración durante el día constante. Esta situación de alta producción fue apreciada durante una inmersión en la zona, notándose gran cantidad de burbujas en la superficie de las hojas de los pastos marinos. Las demás estaciones presentan curvas menos amplias donde se nota influencia del viento al atardecer (1700 h). Para este muestreo en la estación B se produce un incremento en la amplitud de la curva diaria, situación que no se había observado en el resto de los monitoreos. En la estación D se dan valores anómalos en las alicutas de las 1620 y 1740 h que no se pueden atribuir a ningún fenómeno meteorológico o de tránsito de embarcaciones, de igual manera no se considera que provienen de errores en el análisis ya que la duración de la variación es de más de un muestreo puntual; por lo que se eliminaron del cálculo del área de producción y se consideró al momento anterior y posterior a estas dos alicutas (Fig. 16).

El mes de julio de 1986 en su amplitud de curvas y descenso al final del día en la respiración es similar al mes de julio de 1985. Las estaciones someras presentan una gran producción (valores altos por encima de cero). Únicamente en la estación B se dan valores cercanos al cero que dificultan la identificación precisa de los puntos de inicio y final de la producción. Una vez más se reconocen las curvas "típicas" descritas por Odum et al. (1958, 1962 y 1963) para lagunas costeras y arrecifes tropicales (Fig. 17).

El mes de agosto presenta modificaciones al contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua atribuidos al incremento en la intensidad de los vientos. Esto se identifica particularmente alrededor de las 0800 h disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto de forma aguda (estación C), sin embargo las curvas tienen gran amplitud; la estación E presenta una alta capacidad productiva con una respiración durante el día que aumenta al atardecer, contrastando con la estación B que en todo el periodo anteriormente muestreado ha presentado poca capacidad productora. En la estación C la respiración parece seguir una tendencia inversa sin que se pueda reportar la causa de esta situación (Fig. 18).

Para el último muestreo en octubre de 1986 las curvas de tasa de cambio de las estaciones someras disminuyen en amplitud presentándose en la estación C una tendencia evidente de la

respiración durante el día a disminuir para el final del mismo. Las curvas de las estaciones profundas (B y E) son las caracterizadas por poca amplitud y dificultad para identificar el inicio y final de la producción comunitaria. La respiración en la estación B tiene también una tendencia a disminuir durante el día indicando que es en las primeras horas con luz donde la población fitoplanctónica está en su máxima tasa de producción; en la estación E el proceso es inverso y normal a lo descrito por Odum y Hoskin (1958) (Fig. 19).

En términos generales el comportamiento mensual de algunas estaciones es el mismo para todo el ciclo anual; p. e. la amplitud de la curva en la estación B es siempre menor que en el resto de las estaciones. Esto refleja la menor capacidad productora de las comunidades unicelulares bénticas y plantónicas que en ella residen. Este menor metabolismo es consecuencia entre otros factores de la descarga de la planta de tratamientos que contribuye con sustancias que pueden ser tóxicas o inhibidoras del metabolismo comunitario tales como pesticidas o detergentes (Clark 1977). Asimismo, la estación A se le identifica como una zona donde la comunidad de halofitas (*Ruppia maritima*) presentan un metabolismo óptimo para las condiciones ambientales de la zona, con un desarrollo intenso de biomasa que solo disminuye durante la época de floración en febrero de 1986 (Cúlhuac 1987), y en el último mes muestreado para esta estación existe una disminución en la amplitud de la curva y un aumento en el área correspondiente a la respiración. Este comportamiento se atribuye al inicio del deterioro biológico de esta zona; en los registros de anotaciones ecológicas cualitativas se señala la presencia de materia orgánica en descomposición flotando en la superficie, así como suspendida en toda la columna de agua.

4.2.1 Coeficiente de Difusión (k)

En las figuras 10 a 19 se señalan con flechas los puntos seleccionados para el cálculo del coeficiente de difusión. Como se menciona en la sección de metodología el criterio básico para esta selección es que los puntos una vez corregidos por difusión correspondan a momentos en los cuales el cambio en la concentración de oxígeno se deba únicamente a procesos físicos ($p + r = 0$); esto expresado en términos gráficos equivale a que el punto corregido se encuentre lo más cercano al cero en la gráfica diaria de $\partial O_2 / \partial t$ corregida. Un dato resultante se aceptaba como válido solo si su valor era no mayor a 0.1 mg O_2 /l h; dado que la precisión en la técnica de determinación de la concentración de oxígeno aquí realizada no es mayor a 0.06 mg O_2 /l (Strickland y Parsons 1972). El valor promedio de la concentración de oxígeno disuelto para el total de muestras recabadas en este estudio es de 6.5 mg O_2 /l, en base a este valor el porcentaje de error en la precisión de la técnica es de 1.0 %, y dado que la concentración de saturación media para estos mismos datos

fue de 6.8 mg O₂/l, el error sobre la saturación se considera del orden de 0.9 %.

Por otro lado, Mee (1977) establece que la principal fuente de error en la estimación de k consiste en el aumento del valor relativo del error inherente a los valores de saturación cuando la diferencia entre S_m y S_e (fórmula de k) es pequeña, por lo que recomienda utilizar valores con una diferencia lo más grande posible. En el presente trabajo se utilizó también este criterio. Tomando en cuenta el error en el cálculo de la saturación, mencionado en el párrafo anterior, la diferencia mínima entre S_m y S_e aceptada fue de 40.0; de tal forma que el error introducido por este concepto en el cálculo de k fuese menor al 2.25 %.

La pareja de puntos para la selección de k solo se analizaron en las estaciones someras (A, C y D) debido a lo condicionado por Odum y Hoskin (1958) que argumentan la necesidad de existencia de homogeneidad vertical para que la difusión sea una condición igual en la columna de agua, por esto, las estaciones con profundidades mayores a 2.0 m (B y E) que presentan indicios de estratificación impiden el cálculo real del coeficiente de difusión para toda la columna de agua. Se calculó el coeficiente de difusión para el nivel superficial en estas estaciones y el dato obtenido para el punto corregido constantemente fue mayor al valor mínimo establecido como necesario para aceptarlo.

En el examen del resultado obtenido para cada estación, se observó que la selección de cada punto era crítica. Se realizó un experimento que consistió en obtener los valores para k con los puntos que mejor representaban a la situación de $p = r$. Por otra parte, se calculó el valor de k si se tomaban para su evaluación al punto anterior al denominado q_m y al punto siguiente de q_e , de esta manera se obtuvieron valores de k con los puntos anterior y posterior. Los resultados así como la desviación estandar para cada estación y total se reportan en la tabla 2. La desviación estandar es de ± 0.85 lo que indica una amplitud de error del orden dos veces el valor de k reportado. En base a este análisis se consideró que al usar un criterio cuantitativo como es el que el punto resultante en la curva corregida de $\partial O_2 / \partial t$ fuera menor a 0.1 mg O₂/l h se minimiza esta posibilidad de error.

Con base a los resultados del análisis estadístico, se consideró que el error introducido por la selección de puntos equivocados o no fácilmente identificables era sumamente grande. Debido a lo cual, por ejemplo, Odum (1963) y Flores (1985) toman un valor promedio obtenido en la literatura y lo usan para todos sus datos; en el presente trabajo se analizaron todas las curvas obtenidas para cada muestreo mensual y se identificaron los puntos donde la evaluación era sencilla, esto permite asegurar que el valor de k estaba optimizado. Asimismo, Odum y Hoskin (1958) proponen que se

efectue un solo nivel y una sola estación de muestreo para todo el cuerpo lagunar. Además cabe suponer que las condiciones de los procesos físicos para una cuenca del tamaño de la Laguna Bojórquez sean los mismos y de la misma magnitud en toda su superficie. Estas consideraciones se usaron para optar por promediar los valores óptimos de k obtenidos en cada estación y este promedio aplicarlo a todas las estaciones muestreadas para cada mes. El valor promedio así obtenido se reporta en la tabla 7. Para el mes de agosto de 1985 en vista de que no se realizó ninguna estación somera, el valor utilizado es el promedio de todos los muestreos excluyendo al valor de febrero de 1986 por considerar a este muestreo como una situación particular la cual se comenta más adelante.

Entre los autores que argumentan la dificultad de evaluar la tasa de intercambio aire-agua y proponen diferentes soluciones a este problema, están: Odum *et al.* (1959) que después de analizar 123 curvas de ciclo diario en diferentes localidades, obtienen un valor promedio de $1.0 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ h}$. Este valor es usado por Odum (1963) para sus datos en Laguna Madre, Texas y no reporta si intento medir al coeficiente a partir de sus datos. Odum y Wilson (1962) reconocen que el método solo puede aplicarse en aguas someras muy mezcladas. Ante esta situación sugieren el uso de diferentes coeficientes en un mismo ciclo diario para poder representar mejor al fenómeno de difusión-advección en un solo día. Lo cual implica una tecnificación del sistema de muestreo incrementando su complejidad y costo económico.

En la tabla 7 al observar los datos se resalta la existencia de dos conjuntos de valores: el primero que incluye a todos los muestreos con excepción al efectuado en febrero y el segundo siendo solo el dato generado en el mes de febrero de 1986 que es el valor más alto. Esta situación fue examinada comparando a los valores con algunos de los parámetros ambientales que influyen en los procesos de difusión y que podrían afectar el valor de k en un momento dado, lo que se corroboró como consecuencia de los vientos de gran intensidad que ocurrieron dos días antes del muestreo y que persistieron en forma de ráfagas de poca duración en los días muestreados. Odum y Hoskin (1958) sugieren una clasificación donde los valores entre 0.1 a 1.0 pertenecen a aguas someras, tranquilas sin corrientes; de 1.0 a 3.0 como aguas en bahías con olas y corrientes suaves, con circulación moderada y para valores mayores a 3.0 a aguas con olas altas, con burbujeo ocasionado por agitación de la superficie ó aguas estratificadas. Usando esta clasificación la Laguna Bojórquez en los días 2 y 3 del mes de febrero funcionó como una cuenca muy mezclada pudiendo revolverse hasta los niveles más profundos. Sin embargo, se debe señalar que este fenómeno no es representativo para todo el mes sino esporádico y fue casual el haber efectuado el muestreo en esos días, por lo que la extrapolación de datos representativos para esta época debe ser realizada con mesura.

Tabla 7 .- COMPORTAMIENTO DE k (mg/l h)

Mes	k
2-3 junio de 1985	0.48
16-17 de julio de 1985	0.71
26-27 de agosto de 1985	0.62
23-24 de octubre de 1985	0.46
10-11 de diciembre de 1985	0.89
2-3 de febrero de 1986	2.03
18-19 de abril de 1986	0.72
12-13 de julio de 1986	0.88
19-20 de agosto de 1986	0.49
8-9 de octubre de 1986	0.35

Valores promedio utilizados para el Coeficiente de Difusión en todas las estaciones muestreadas.

Para analizar los valores de k con los parámetros ambientales, se realizaron regresiones estadísticas de diferentes tipos. Así por ejemplo, el análisis de k y la temperatura ambiente no mostro ningún tipo de patrón identificable; con una regresión lineal se obtuvo un coeficiente de regresión (r^2) de 0.0001. Downing y Truesdale (In: Kester 1975) reportan una relación lineal entre k y la temperatura si bien, su experimento lo realizan con temperaturas de 5.0 a 25.0 °C que en el caso de la Laguna Bojórquez el máximo de temperatura de estos autores solo sucede durante tres meses (diciembre, febrero y abril) siendo el mínimo para el total aquí reportado. Del comportamiento de k y la lluvia se obtuvo un coeficiente $r^2 = 0.0719$ lo cual también indica que no hay una relación lineal entre estos datos. Lo que si se identifica a nivel cualitativo es una disminución en el valor de k cuando se incrementan las lluvias; esto sucede en los dos años muestreados.

Con objeto de verificar la validez de los valores de k se recopiló la información disponible sobre el tema. Liss (1988) al hacer una revisión de la velocidad del flujo de transferencia entre mar-aire para diferentes gases, reconoce la dificultad para efectuar mediciones instantaneas de k con las técnicas actuales y recomienda la búsqueda de algún tipo de relación entre parámetros meteorológicos u oceánicos y k que permita una mejor evaluación de este flujo. De igual manera, reconoce que mediante la extrapolación de datos de tuneles de viento se han propuesto diferentes ecuaciones predictivas para k y que estas son posiblemente la mejor aproximación a la fecha, pero pueden diferir significativamente de los datos observados en el oceano y lagunas costeras.

En base a esta búsqueda de parametrización de k y una variable meteorológica, Downing y Truesdale (In: Kester 1975) en un análisis en laboratorio miden el flujo de oxígeno agua-aire con respecto a la velocidad del viento. Este experimento resulta en una relación exponencial. Obtienen que la velocidad de difusión permanece casi constante para velocidades de 0.0 a 6.0 m/s y se incrementa rapidamente en presencia de vientos entre 6.0 y 26.0 m/s. Al efectuar una relación gráfica de este tipo para nuestros datos (Fig. 20) se observaron 2 situaciones: a) que los valores presentan un comportamiento similar con un coeficiente de regresión (r^2) de 0.48 si bien el dato que a simple vista presenta un valor atípico es el correspondiente al mes de junio de 1985; y b) si el dato para este mes se le elimina ya que proviene de un grupo de datos con poca precisión, el coeficiente r^2 obtenido para esta regresión es de 0.82. La diferencia entre las curvas ajustadas para ambos conjuntos de datos puede deberse a que los datos de Downing y Truesdale se originaron en un tunel de viento y estos no reflejen un ambiente natural, sin embargo, cabe mencionar que los valores de viento usados en el análisis para el presente trabajo como se menciona en la sección 4.1.1.2,

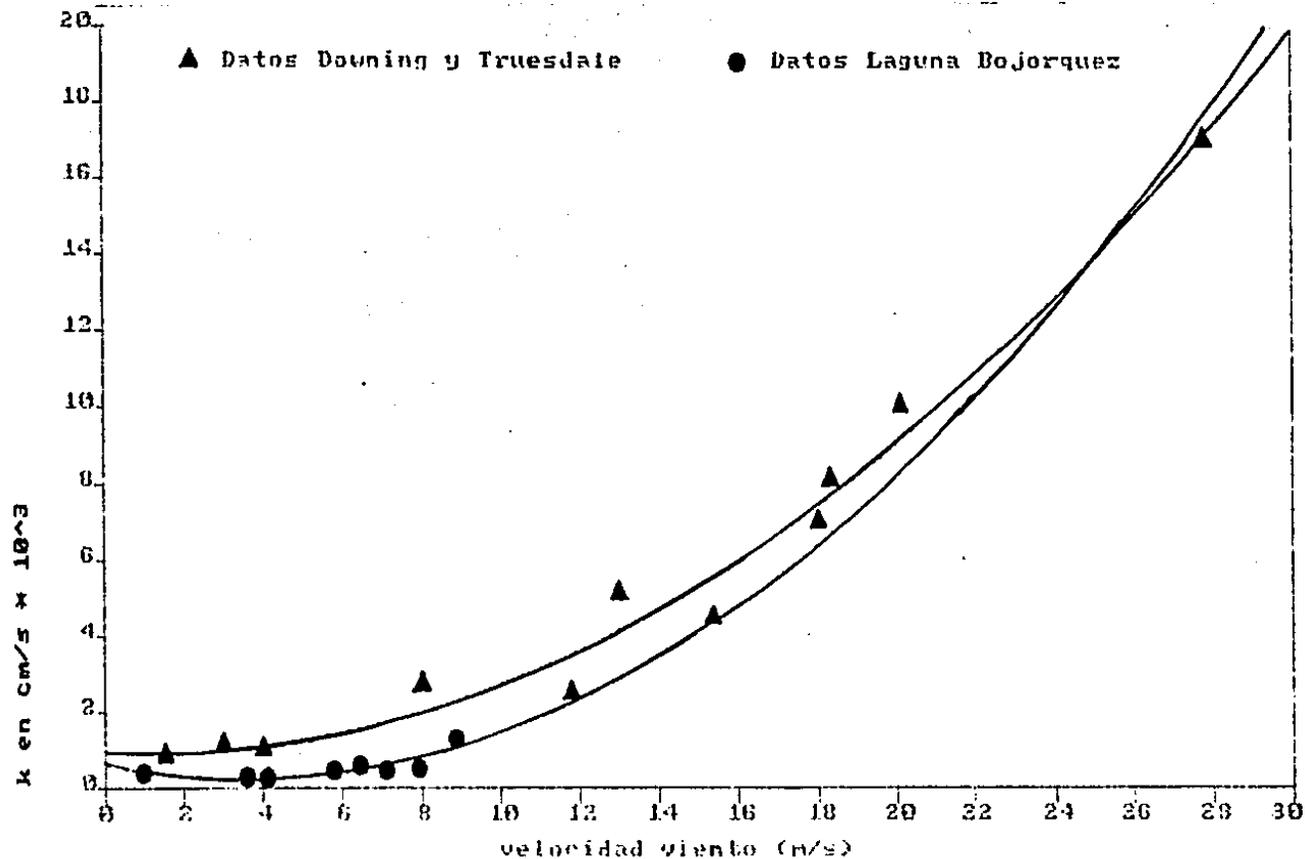


Figura 20 .- Regresión Lineal de los Coeficientes de Difusión k (cm/s) y la velocidad promedio diario del viento (m/s). Se muestran los datos de Downing y Truesdale (1955) y los obtenidos en el presente trabajo. El coeficiente de regresión (r^2) para estos es 0.82.

tienen valores más altos que los registros estadísticos por lo que es posible un error en esta estimación.

En otro experimento Tijseen y Eijgenraam (1982) reportan una relación lineal entre el coeficiente K expresado en 10^{-3} cm/s y el cuadrado de la velocidad del viento (m^2/s^2). Esta relación la identifican utilizando únicamente 3 datos: a) condiciones promedio en el océano mundial, b) valores del Pacífico norte y c) sus datos recopilados en un crucero oceanográfico en el Mar del Norte. Para obtener el valor de k en términos de unidad de área se multiplica por la profundidad de la capa de mezcla; a este coeficiente se le denomina K. Se realizó esta regresión para los datos de la Laguna Bojórquez cuyo resultado se presenta en la figura 21. El valor de r^2 obtenido usando los datos de todos los muestreos es de 0.44. Al efectuar la regresión eliminando al mes de junio de 1985, el coeficiente de correlación es de 0.75 lo que permite aseverar que los cálculos de k reflejan una situación real de intercambio agua-aire y que el mes de junio de 1985 presenta errores. En base a estos análisis de regresión exponencial y lineal de la relación entre k y el viento y el de precisión de la técnica de determinación de oxígeno disuelto se descartan los valores del mes de junio de 1985.

4.2.2 Patrón Estacional del Coeficiente de Difusión

En términos cualitativos, el comportamiento a lo largo del ciclo anual de K solo refleja las condiciones de viento diario. Esto se aprecia en la figura 22 donde es posible el señalar que este coeficiente disminuye si disminuye el viento; esta situación se ejemplifica en octubre de 1985, abril, agosto, y octubre de 1986. Los valores altos de diciembre de 1985 y julio de 1986 son ocasionados por un incremento del viento en el día muestreado. En febrero de 1986 se observa que este máximo es consecuencia de un periodo de seis días donde el viento alcanza valores de hasta 14 m/s, y proviene del N-NE dando características climatológicas particulares. Al observar el comportamiento del viento durante marzo de 1986 sugiere la posibilidad de que el valor de K fuera también extremo, si bien, los vientos de este período provienen del E. Este análisis evidencia que el valor del coeficiente de difusión es consecuencia inmediata del viento durante el día muestreado representando condiciones específicas de los días monitoreados.

Para corroborar la validez de los datos obtenidos expresados en unidades de área (tabla 8), se comparan con valores de diversos ambientes en la tabla 9. La variación de K es la más amplia con respecto a los reportados por los demás autores; siendo los datos del mes de febrero los que influyen en mayor medida. Sin embargo, el promedio, que es el promedio total anual (1.03) es muy cercano al promedio reportado por Odum et al. (1959) de $1.0 \text{ g O}_2/m^2 \text{ h}$, si se elimina al dato para el mes de junio. Con lo cual se asume que el coeficiente representa

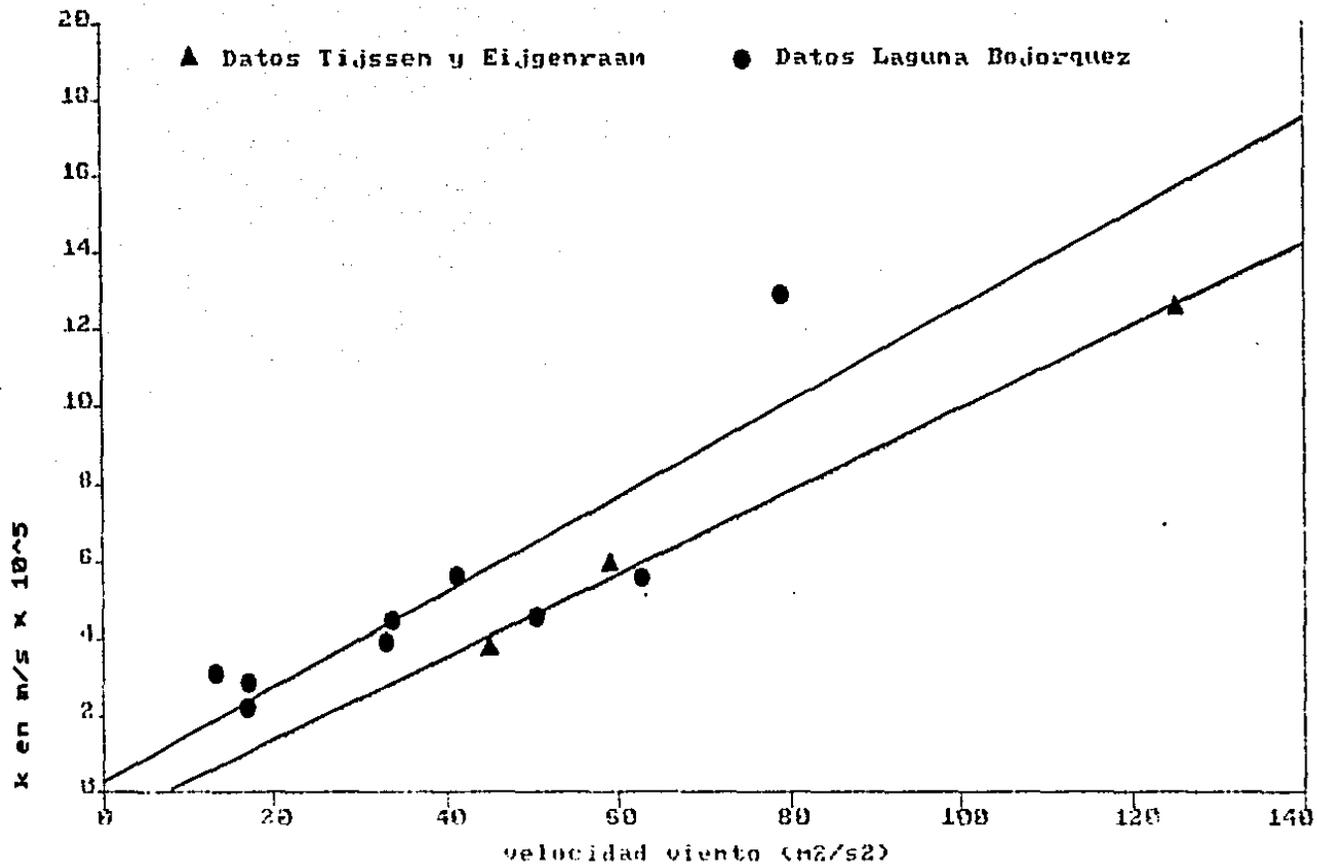


Figura 21.- Regresión Exponencial de los Coeficientes de Difusión K (cm/s) y la velocidad promedio diario del viento (m^2/s^2). Se muestran los datos de Tijssen y Eijgenraam (1982) y los obtenidos en el presente trabajo. El coeficiente de regresión (r^2) para estos es 0.75.

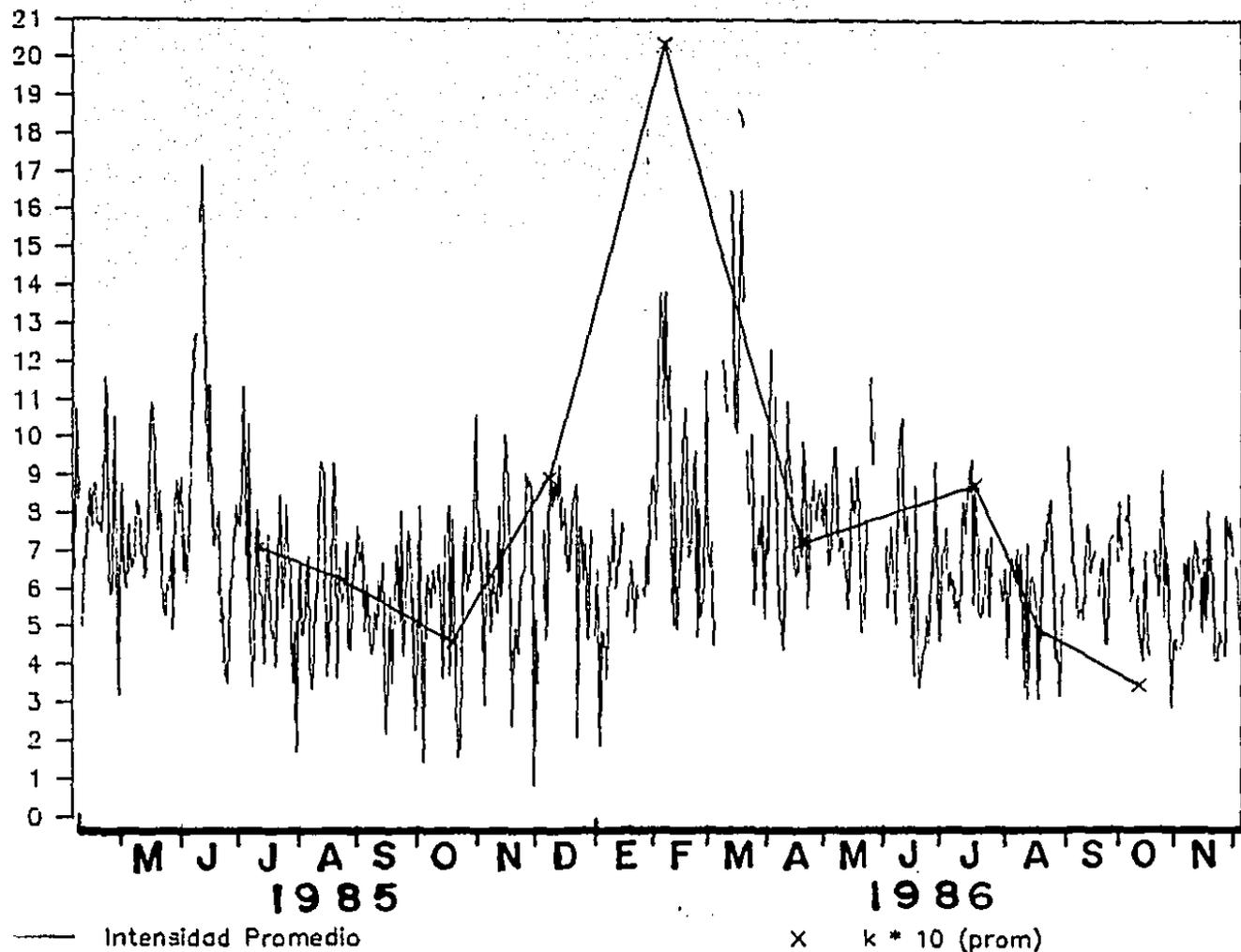


Figura 22 .- Evolución Anual del Coeficiente de Difusión (k) y el Viento Promedio Diario.

Tabla 8 .- COMPORTAMIENTO DE K (g O₂/m² h)

=====							
Estadísticos							
Mes	Est A	Est B	Est C	Est D	Est E	Prom.	D.Std.
=====							
Jul85	1.2	0.5	1.1	1.2		1.0	0.31
Ago85		0.4					
Oct85	0.8	0.4	0.7	0.8		0.7	0.15
Dic85	1.5	0.6	1.3	1.5		1.2	0.38
Feb86	3.5	1.3	3.1	3.5		2.8	0.88
Abr86	1.2	0.5	1.1	1.2		1.0	0.31
Jul86	1.5	0.6	1.3	1.5		1.2	0.38
Ago86			0.7		0.3		
Oct86		0.2	0.5	0.6	0.2	0.4	0.17
+++++							
Estadísticos							
Prom.	1.6	0.6	1.2	1.5			
D.Std.	0.86	0.31	0.74	0.87			

Tabla 9 .- Intervalos y Datos Promedios para K (g O₂/m² h) en diversos ambientes Usando el Método de "Odum"

Lugar	Dinámica Ambiental	K		Fuente	
		Intervalo	Prom.	n	
Laguna Bojórquez, Cancún, Mex.	Cuenca somera con olas suaves generalmente	0.23 a 3.45	1.03	35	1
Laguna Madre, Texas	Cuenca somera con olas y vientos fuertes	0.2 a 1.4			2
Parte Sur de la Laguna Madre, Tx. (S%. = 36 a 41)	Cuenca somera con olas y vientos, con influencia marina	0.6 a 1.4	0.95	6	3
Redfish Bay, Texas	Cuenca protegida de los vientos con circulación	0.6 a 1.7			2
Redfish Bay, Texas	Zona somera cercana a un canal de comunicación al mar		0.50	7	4
Laboratorio	Tunel de Viento y Canal sin flujo	1.0 a 1.3	1.06	2	5
Arroyos de Laboratorio	Canales con flujo de agua y sin comunidades vegetales	0.038 a 1.19	0.46	23	6
Lagunas para Descarga de Aguas Residuales, Tx. (S%. = 0)	Cuencas someras con flujo continuo por descargas	0.5 a 1.7	0.98	4	3
Fosas de Concreto en Port Aransas, Tx.	Cuencas expuestas y sin circulación, olas suaves	0.0 a 0.5	0.25	5	5
Laguna Arrecifal, Bimini WI	Orilla protegida del Mar con circulación intensa		0.75		2
En Mar Abierto (52 oN 3 oE)	Profundidades de 20 a 30 m olas y circulación fuerte	En gO ₂ /m ² d 0.8 a 1.7	1.25	4	7

Fuentes:

- | | |
|--|----------------------------|
| 1 - El Presente Trabajo | 2 - Odum y Hoskin (1958) |
| 3 - Odum y Wilson (1962) | 4 - Odum (1963) |
| 5 - Copeland y Duffer (1964) | 6 - McIntyre et al. (1964) |
| 7 - Tijssen y Eijgenraam (1982); uno de los muestreos lo efectuan durante un "bloom" de Phaeocystis poucheti | |

características de una zona arrecifal caribeña (Odum y Hoskin 1958) y entra dentro de los intervalos establecidos para promedios de todos los autores comparados. Esto permite asegurar que los valores reportados en la tabla 9 son válidos y representativos para la zona y fenómenos meteorológicos que en ella ocurren.

4.3 Parámetros Comunitarios

A partir de los resultados obtenidos en las curvas de $\partial O_2 / \partial t$ corregidas, siguiendo los criterios y modificaciones al método de Odum anteriormente descritos, se obtuvieron los valores de producción bruta, producción neta y respiración comunitarios y estos datos se analizan en su patrón temporal y espacial en unidades por volumen ($g O_2/m^3 d$) y en unidades por área ($g O_2/m^2 d$). También se calculó la precisión para los datos de cada uno de estos parámetros.

El error probable en estas mediciones es obtenido de la siguiente manera:

El error en PB ($\pm E P$) o en R ($\pm E R$) es estimado como:

$$E P = \pm \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

Donde:

$a = A$ la precisión de la técnica de determinación de oxígeno disuelto e igual a 1.0 %.

$$b = \frac{\Delta P}{P'} * E_k$$

siendo b el error probable en la medición de k , ΔP es la diferencia promedio entre el área de la curva de $\partial O_2 / \partial t$ corregida por difusión y el área de la curva sin corregir, P' es el valor promedio total para la producción bruta cuyo valor es $9.5 g O_2/m^3 d$; y E_k es el error inherente a k proveniente de la saturación e igual a 2.25 %. El valor de b en este caso fue de ± 0.0067 para P . Substituyendo P por R se obtiene el valor para b de R y es igual a ± 0.0096 . En términos de porcentajes corresponden a 0.72 y 1.10 % respectivamente.

$$c = \frac{\Delta P''}{P'}$$

estimando c como el posible error en la selección de la línea base para el cálculo del área de producción, $\Delta P''$ es el promedio de la diferencia en el área calculada al cambiar de puntos donde $p = 0$ que son los que definen la línea base, y P' es el mismo dato que en el párrafo anterior. En esta parte de la ecuación se obtuvieron valores de ± 0.16 % para la producción bruta y de ± 0.21 % para c de respiración.

Con estos datos se calculan los E P y E R en términos de g O₂/m³ d y porcentajes. Los valores para el E P son ± 0.1178 y 1.24 %, y para E R de ± 0.1335 y 1.5 %. El error total (E T) es igual a la suma de E P y E R cuyo valor es ± 0.2513 g O₂/m³ d. Asimismo, el error estandar (RSD) es:

$$RSD = \frac{(E P + E R)}{(P' - R')} * 100$$

que para los valores anteriores es de ± 41.88 %.

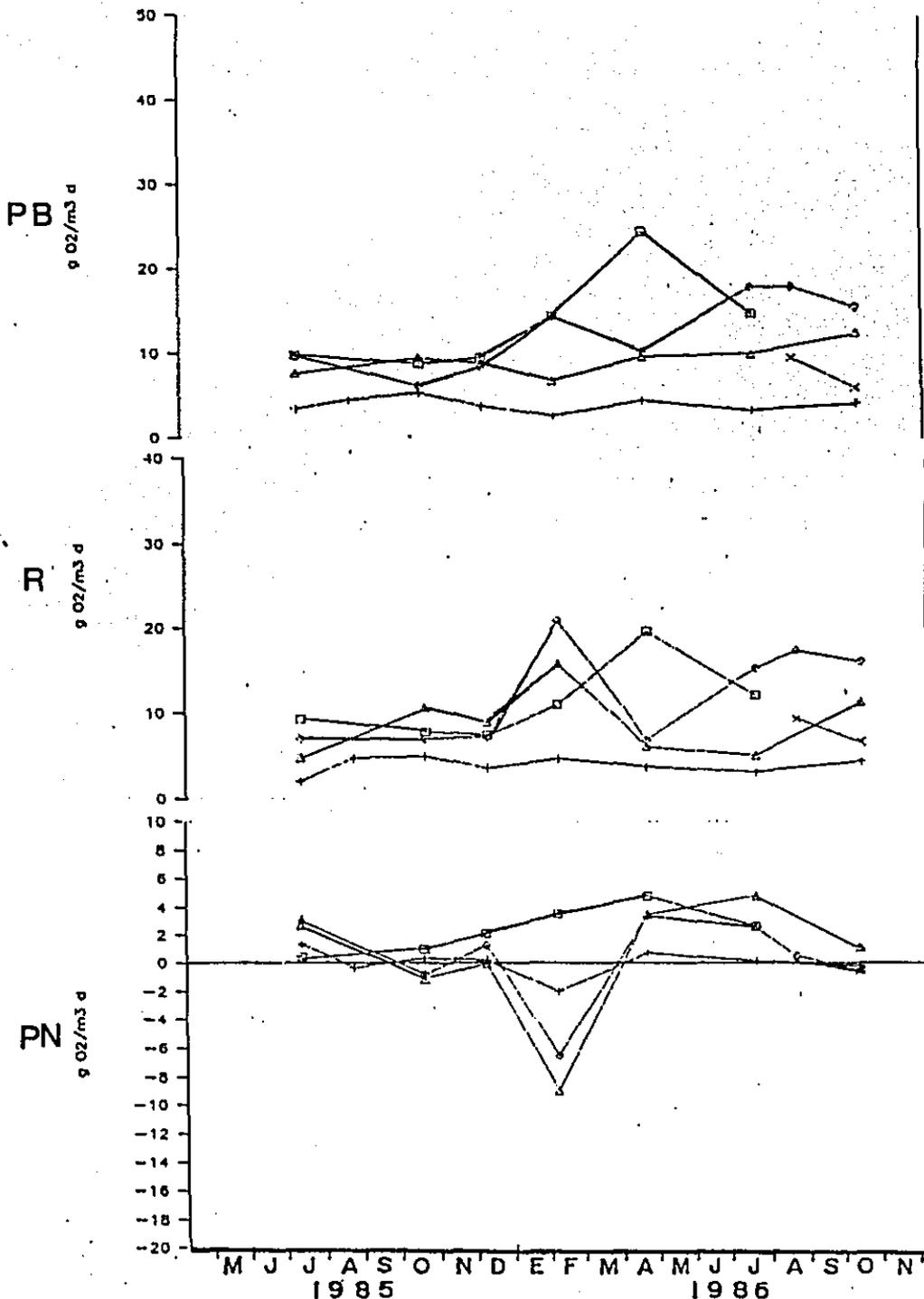
4.3.1 Producción Bruta Comunitaria

La evolución de la producción bruta por volumen (p) y de la producción bruta por área (P) durante el periodo muestreado se muestran en las tablas 10 y 11 y en las figuras 23 y 24.

Al observar los valores en unidades de volumen y área se aprecia como la estación A presenta el dato máximo (24.4 g O₂/m³ d y 41.5 g O₂/m² d) en el mes de abril, y la estación B el mínimo (2.8 g O₂/m³ d y 8.3 g O₂/m² d) en febrero. La amplitud entre estos datos es de 21.6 g O₂/m³ d. El promedio mensual más alto fue en abril, pero de igual manera es el que tiene la mayor desviación estandar. En los promedios por estaciones la estación A es la de mayor valor en los datos por volumen y por área.

Se comparan los datos de producción bruta por área de la Laguna Bojórquez con otros trabajos donde se usó el método de Odum en la tabla 12; se observa que la variación es similar a la de las lagunas para descargas de aguas residuales (Odum y Wilson 1962) y en algunas épocas del año a los arrecifes de Puerto Rico reportados por Rogers (1979). El promedio obtenido para la Laguna Bojórquez es el más alto que los reportados para comunidades de Thalassia testudinum en Bahía Fosforecente, Puerto Rico (Odum et al. 1959) y la parte sur de la Laguna Madre en Texas U.S.A. (Odum y Wilson 1962). Este es de dos ordenes de magnitud mayor que el reportado para mar abierto (Tijssen y Eijgenraam 1982) como era de esperarse, dado que las comunidades en mar abierto, por lo regular, tienen poca biomasa y abundancia, lo que evidencia que el dato para la Laguna Bojórquez es resultado del conjunto de poblaciones que en ella residen. Sin embargo es similar al dato de las comunidades arrecifales y praderas de Zoostera.

La característica más evidente en este parámetro comunitario durante el periodo muestreado es el comportamiento de la estación A que se distingue del resto. Esta mantiene un patrón similar a las otras estaciones durante los meses de julio, octubre y diciembre de 1985, a partir de este mes presenta un incremento llegando a alcanzar el máximo en abril de 1986. En el siguiente muestreo (julio de 1986) se reporta un descenso acentuado que puede estar relacionado con que en el mes



□ EstA + EstB • EstC △ EstD × EstE
 Figura 23 .- Parámetros Comunitarios y su Evolución durante el
 Periodo de 1985-86 en unidades por Volumen (g O₂/m³ d).
 En la figura PB se muestra el comportamiento de la producción
 bruta comunitaria.
 En la figura R se muestra el comportamiento de la respiración
 comunitaria.
 En la figura PN se muestra el comportamiento de la producción
 neta comunitaria.

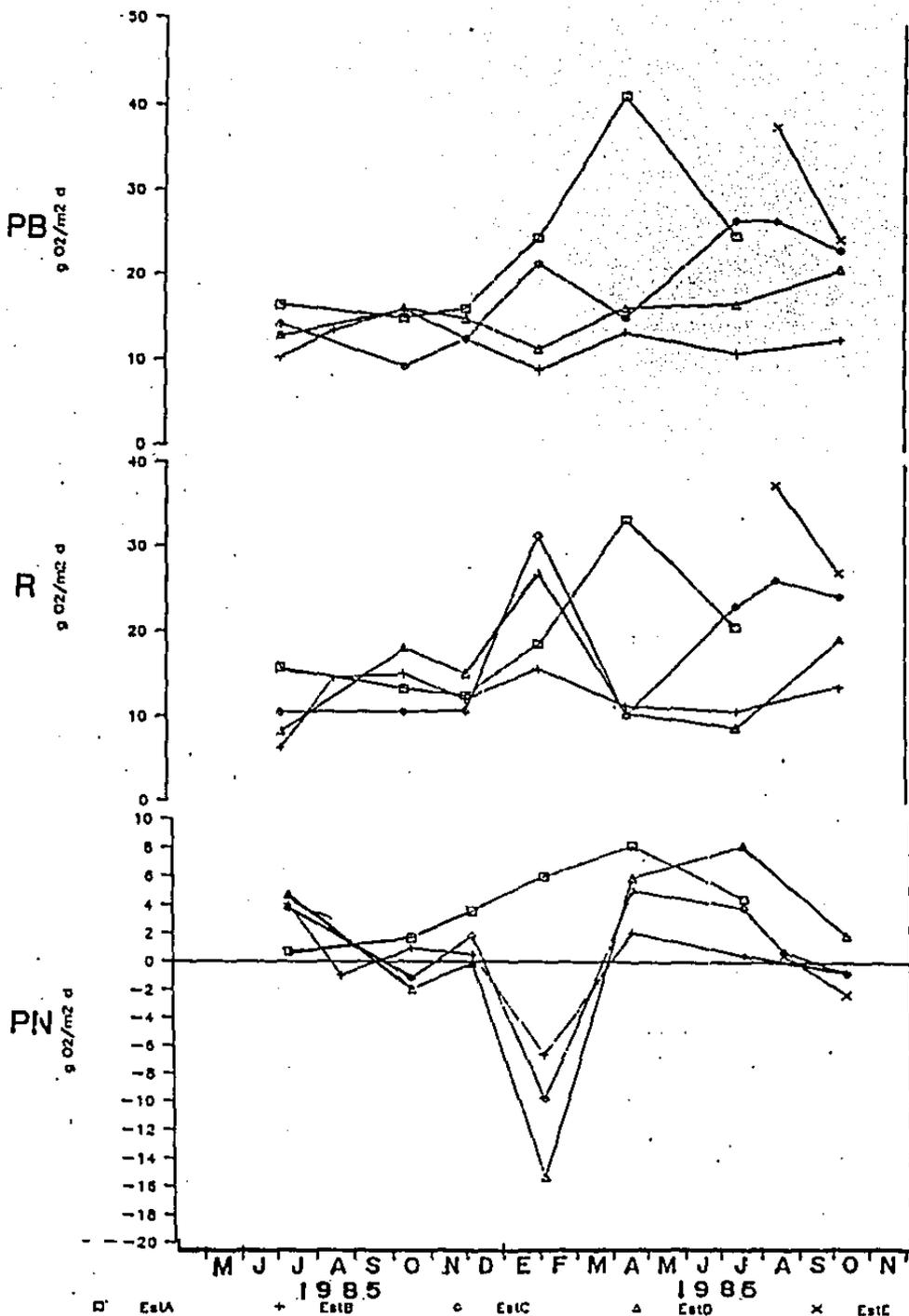


Figura 24 .- Parámetros Comunitarios y su Evolución durante el Periodo de 1985-86 en unidades por Area ($g\ O_2/m^2\ d$).
 En la figura PB se muestra el comportamiento de la producción bruta comunitaria.
 En la figura R se muestra el comportamiento de la respiración comunitaria.
 En la figura PN se muestra el comportamiento de la producción neta comunitaria.

Tabla 12 .- Amplitud y Datos Promedio de PB, R y PN (g O₂/m² d)
Usando el Método de "Odum"

Lugar	Tipo de Comunidad	PB		R		PN		Fuente n
		Amplitud	Prom.	Amplitud	Prom.	Amplitud	Prom.	
Laguna Bojórquez, Cancún, Mex.	Macroalgas Bentónicas, Pastos Marinos, Halofitas	8.3 a 41.5	19.0	6.4 a 37.6	18.3	-15.3 a 0.2	0.7	35 1
Redfish Bay, Texas	Praderas de Thalassia spp.		11.4		17.0		-5.6 *	2
Canal Norte de Isla Magueyes, Pto. Rico	Praderas de Thalassia spp.	10.5 a 14.0	11.8	12.5 a 14.5	13.2		-1.3 *	3 3
Bahía Fosforecente, Puerto Rico	Praderas de Thalassia spp.		15.0		18.0		-3.0 *	3
Redfish Bay, Texas	Praderas de Thalassia spp.	4.0 a 30.0	14.5	4.3 a 19.7	10.3		4.2 *	7 4
Arrecife La Gata, Puerto Rico	Porites y Thalassia		8.6		11.3		-2.7 *	3
Orilla Sur de Isla Magueyes, Pto. Rico	Porites y Thalassia		12.0		18.0		-6.0 *	3
Arrecifes de Todo el Mundo	Praderas de Pastos y Diversos tipos de coral	2.6 a 44.0	19.6	0.06 a 1.5	0.7	0.11 a 1.6	1.1	12 5
Parte Sur de la Laguna Madre, Tx. (S.L. = 36 a 41)	Praderas de Zoostera spp.	11.7 a 30.0	21.7	4.3 a 21.4	14.3		7.5 *	6 6
Laguna Arrecifal, Bimini WI	Praderas de Pastos Marinos		2.8		1.8		1.0 *	2
Costa Sur de California, U.S.A.	Comunidad de Macrosystis pyrifera		2.5	3.8 a 3.9	3.9		-1.4 *	2 7
Lagunas para Descarga de Aguas Residuales, Tx. (S.L. = 0)	Fitoplanton y Algas Bentónicas	17.0 a 46.0	29.0	14.0 a 27.0	22.8		6.3 *	4 6
Laguna Mitla Guerrero México	Fitoplanton Dominante	20.6 a 35.3	28.2	25.3 a 36.1	30.0	-10.9 a 1.8	-1.6	6 8
Laguna Chautengo Guerrero México	Fitoplanton Dominante		10.9		10.2		0.9	2 8
En Mar Abierto (S2 ON 3 OE)	Fitoplanton Dominante	2.0 a 14.2	8.1			0.9 a 11.8	6.4	4 9

Fuentes:

- 1 - El Presente Trabajo
 2 - Odum y Hoskin (1958)
 3 - Odum, Burkholder y Rivero (1959)
 4 - Odum (1963)
 5 - Rogers (1979) citando a 8 autores más
 6 - Odum y Wilson (1962)
 7 - Mc Farland y Prescott (1959)
 8 - Mee (1977)
 9 - Tijssen y Eijgenraam (1982); uno de los muestreos lo efectuan durante un "bloom" de Phaeocystis poucheti

* Se calculó la Productividad Neta (PN) como la diferencia entre PB y R, los autores originalmente no la reportan.

anterior a este muestreo comenzó a trabajar en esta zona una podadora de malezas subacuáticas por decisión de FONATUR en un intento de controlar las condiciones ecológicas agresivas al turismo. El uso de esta podadora provocaba, además de la remoción total de la vegetación, la resuspensión de sedimentos con un incremento en la turbidez que perduraba varias horas. Posiblemente esta resuspensión ocasionó que la materia orgánica que se hallaba depositada en el fondo se oxidara disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto. El incremento en turbidez también afecta a las poblaciones vegetales cercanas a la zona de operación de esta maquina disminuyendo su capacidad fotosintética. Odum (1963) en un análisis del estado de los pastos marinos en un área cercana a un canal de reciente dragado reporta una capa de sedimento en las hojas de los mismos que afecta de manera negativa su capacidad productora. Esta situación de recubrimiento de las hojas por lodo también fue apreciada en la Laguna Bojórquez en su parte norte. No fue posible el registrar la actividad diaria de la operación de poda en términos de días de uso, cobertura diaria y volumen extraído de vegetales.

El resto de las estaciones se comportan de manera similar entre si, con tendencia a alcanzar los valores máximos al final del periodo muestreado (octubre de 1986). La estación C tiene un incremento parecido a la estación A en el mes de febrero de 1986, que en abril disminuye de manera acentuada; es en este mes, con base a las anotaciones de campo, se reporta el inicio de una situación de incremento en el número de pastos colonizados por algas epifitas que, sugiriere un fenómeno ecológico de substitución dado que al morir por la gran biomasa de algas que los cubren, son removidos y empiezan a ser reemplazados por algas filamentosas bentónicas. A partir de este mes vuelve a aumentar la producción bruta comunitaria; esta tendencia corresponde a la temporada de máximas temperaturas y ausencia de lluvias. En cuanto a la estación D se observa que tiene menos variaciones agudas atribuidas a la estabilidad ecológica y ambiental de toda la Cuenca Norte de la Laguna Nichupté que no presenta influencias antropogénicas notorias. Las estaciones profundas (B y E) en sus valores por volumen son las más bajas registradas. Esto es importante en vista de que su columna de agua es la mayor y se puede asumir que efectivamente son las menos productivas. Los valores en unidades por área demuestran que a pesar de tener una mayor columna de agua, la producción bruta fitoplanctónica no es comparable con la capacidad productiva comunitaria asociada a las poblaciones vegetales que originalmente se encontraban en estas áreas. Esta situación en particular no ocurre en la estación E que presenta valores de tres veces el orden de los de la estación B; aquí la comunidad tiene un ambiente más estable y homogéneo; es importante señalarla, ya que se atribuye la menor producción en la estación B a la influencia antropogénica constante en la zona (tráfico náutico y descarga provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales). Sin embargo, la pérdida de vegetación bentónica y el aumento

en turbidez y deterioro de? aspecto estético de la zona no compensan la ganancia potencial hacia mayor producción, en la zonas dragadas aisladas de la influencia humana directa.

4.3.2 Respiración Comunitaria

Las variaciones en la respiración comunitaria por volumen (r) y por área (R) se reportan en las tablas 13 y 14, y figuras 23 y 24. Los valores máximos por volumen se registraron en el mes de febrero en la estación C (20.9 g O₂/m³ d), y por área en la estación E para el mes de agosto de 1986 (37.6 g O₂/m² d). Los mínimos fueron en la estación B durante el mes de julio de 1985 por volumen así como por área, implicando con esto el escaso metabolismo que ocurre en esta zona dragada. La variación es de 18.8 g O₂/m³ d y de 31.2 g O₂/m² d. El valor promedio mensual más alto se presenta en febrero tanto en unidades por volumen como por área. La estación C presenta el dato máximo promedio anual con una desviación de 5.7.

La comparación de los datos con los valores reportados en la tabla 12 muestra que la amplitud de los datos de la Laguna Bojórquez en su mínimo esta entre los valores de una comunidad no perturbada (Laguna Madre (Odum y Wilson 1962) y Redfish Bay (Odum 1963)) y una laguna artificial con descarga de aguas residuales (Odum y Wilson 1962). Sus valores más altos son mayores que los máximos reportados pero similares a la Laguna Mitla que es una cuenca distrófica (Mee 1977); esto implica la existencia de una variación extrema y un metabolismo comunitario muy activo durante algunos meses en este caso particular, el mes de febrero tiene los valores extremos. El valor del promedio es similar al de praderas de Thalassia testudinum en Redfish Bay, Texas (Odum y Hoskin 1958), una comunidad de corales y Thalassia testudinum en Puerto Rico y Bahía Fosforecente con praderas de Thalassia testudinum (Odum et al. 1959). En la comparación con los arrecifes reportados por Rogers (1979) se observa que los valores de R para estas zonas son mucho más bajos (la diferencia es de 17.6 g O₂/m² d) con respecto a la Laguna Bojórquez implicando de esta forma un gran consumo de lo producido en la cuenca.

En su variación anual se observan también dos patrones; el comportamiento de la estación A que presenta su valor máximo en abril de 1986, y que es similar al seguido por esta misma estación para la producción bruta, y el resto de las estaciones que alcanzan sus máximos en febrero de 1986. Este incremento es explicado en gran medida a los nublados y vientos fríos e intensos que se registraron en estos días, propiciando una disminución de la producción y la respiración de las comunidades fotosintetizadoras. Esta situación climática particular provocó mayor difusión con la atmósfera, resuspendió sedimentos y aumentó la turbidez en la columna de agua. Una manera de corroborar este fenómeno es comparando con el orden de magnitud con que se ven afectadas las estaciones por su posición geográfica o morfométrica; la estación B es

Tabla 13 .- COMPORTAMIENTO DE r (g O2/m3 d)

Mes	Estadísticos					Prom	DesvStd
	Est A	Est B	Est C	Est D	Est E		
Jul85	9.3	2.1	7.0	4.9		5.8	2.64
Ago85		4.9					
Oct85	7.8	5.0	7.0	10.7		7.6	2.02
Dic85	7.4	3.7	7.2	8.9		6.8	1.92
Feb86	11.0	4.8	20.9	15.8		13.1	5.96
Abr86	19.6	3.8	6.9	6.2		9.1	6.17
Jul86	12.2	3.3	15.4	5.2		9.0	4.95
Ago86			17.4		9.4		
Oct86		4.6	16.2	11.4	6.8	9.7	4.48
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----							
Estadísticos							
Prom.	11.2	4.0	12.3	9.0			
D.Std	4.11	0.93	5.44	3.67			

Tabla 14 .- COMPORTAMIENTO DE R (g O2/m2 d)

Mes	Estadísticos					Prom.	D.Std.
	Est A	Est B	Est C	Est D	Est E		
Jul85	15.8	6.4	10.5	8.3		10.2	3.52
Ago85		14.6					
Oct85	13.3	15.1	10.6	18.1		14.3	2.74
Dic85	12.6	12.1	10.8	15.1		12.7	1.58
Feb86	18.6	14.3	31.4	26.9		22.8	6.70
Abr86	33.4	11.5	10.3	10.5		16.4	9.80
Jul86	20.7	10.8	23.1	8.9		15.9	6.12
Ago86			26.2		37.6		
Oct86		13.7	24.3	19.4	27.1	21.1	5.11
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----							
Estadísticos							
Prom.	19.1	12.3	18.4	15.3			
D.Std.	6.99	2.67	8.16	6.24			

una estación profunda con mayor estabilidad al efecto de mezcla que no llega resuspender sedimentos y por tanto su valor de respiración para este mes es el mínimo, le sigue la estación A que es la zona más protegida del viento por su posición geográfica y después están los valores de las estaciones C y D que son las más afectadas por los vientos del Norte. Sin embargo, la producción bruta en las estaciones someras también se incrementa, lo que puede ser atribuido a que esta resuspensión de sedimentos libera al agua substancias limitantes (vitaminas o micronutrientes) favoreciendo un aumento en el proceso productivo.

Al reconocer al muestreo de febrero de 1986 como una situación climática específica para los días en los que se efectuó el monitoreo; se le puede eliminar para buscar un patrón más claro de comportamiento en los dos parámetros comunitarios hasta ahora discutidos. Se observa que el comportamiento anual de la respiración es muy similar al de la producción bruta. Los aumentos y decrementos en la producción bruta son reflejados en la misma magnitud por la respiración; lo cual sugiere que estas variaciones son atribuidas al metabolismo comunitario básico de productores primarios y consumidores. Para cuantificar esta relación se realizó una regresión lineal de la cual se obtuvo un coeficiente r^2 de 0.88 para el promedio de todas las estaciones. Y esto permite suponer que la dinámica en los componentes tróficos que se estimula durante febrero posiblemente es el de los descomponedores, al presentarse una mayor cantidad de materia orgánica en suspensión disponible para estos.

4.3.3 Producción Neta Comunitaria

Este valor resulta de la resta aritmética de los valores de producción bruta y respiración. Los valores se presentan en las tablas 15 y 16 así como en las figuras 23 y 24. Para los valores en unidades por volumen; el dato máximo se presenta durante los muestreos de abril y julio de 1986 para las estaciones A y D respectivamente, con un valor similar de 4.8 y el mínimo en febrero en la estación D (- 9.0 g O_2/m^3 d). La variación que presenta esta zona de la Laguna Nichupté es de 13.8 g O_2/m^3 d. En los datos en unidades por área el comportamiento de máximos y mínimos es similar al de los valores en unidades por volumen, el intervalo de variación es de 23.5 g O_2/m^2 d. Se debe notar que la única estación que es significativamente diferente en su promedio anual al resto de las estaciones es la estación A. Esto basado en el error total el cual no permite que se aprecien diferencias entre los valores de las estaciones B, C y D.

El valor promedio de la producción neta para la Laguna Bojórquez y Cuenca Norte comparado con las cuencas con comunidades de Thalassia testudinum es de los más altos (tabla 12). Este dato corrobora la situación de una producción neta mayor originada por la gran diversidad de grupos

fotosintetizadores que pueden comportarse de diferente manera funcional en la Laguna Bojórquez. Sin embargo, es el mínimo con respecto a los reportados para las cuencas que tienen un producción neta positiva; por ejemplo los datos de arrecifes, así como, el del florecimiento fitoplanctónico en el Mar del Norte muestran la alta capacidad productiva de estos sistemas. Contrariamente a lo establecido por varios autores (Ferguson-Wood et al. 1969, Lassere 1979, Yáñez-Arancibia 1986) donde se identifica a las lagunas costeras como áreas de alta producción, la Laguna Bojórquez se muestra como una cuenca que tiene una producción neta mínima.

Para poder hacer inferencias globales del comportamiento de todos estos parámetros comunitarios se optó por hacer evaluaciones por área total; estos resultados se reportan en la sección 4.4.

Asumiendo que estos datos provienen de una zona tropical donde los cambios estacionales se presentan de manera paulatina, por lo tanto no se deben de reconocer en los parámetros comunitarios variaciones bruscas en periodos de días o semanas sino que la escala para estas variaciones es del orden de meses. En las gráficas de este parámetro es posible distinguir un comportamiento anual de manera más clara que los presentados por la producción y respiración comunitarios. Implicando con esto una mejor representatividad estacional, debido a que los datos de producción bruta y respiración al procesarse para obtener el parámetro de producción neta disminuyen sus variaciones ocasionadas por el día muestreado, y de esta manera "suavizan" su patrón mensual o temporal lograndose apreciar un desarrollo cíclico.

En la estación A se mantiene constante durante los primeros meses, despues presenta una curva ascendente a partir de octubre de 1985 que permanece durante el final del año calendario, como se hizo notar en la sección de producción bruta decrece durante julio de 1986. En las demás estaciones el patrón de comportamiento es distinto. En ellas se aprecia un ciclo estacional con un déficit en la producción al iniciarse la parte fria del año alcanzando su mínimo en febrero de 1986. A partir de este mes se vuelve a incrementar la producción neta que puede considerarse como a la capacidad exportadora de las estaciones a otras áreas o bien que ésta sea convertida a materia orgánica e incorporada en los sedimentos, creando así un "almacen" de productos orgánicos en espera de ser reciclados a la columna de agua ya sea por procesos biológicos (bacterias) (Capone y Taylor 1980) o físicos (perturbación del fondo) (Mee 1977, Merino y Gallegos 1986). La estación D mostró la mayor variación entre sus puntos ($23.5 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$) en gran medida atribuido a su comportamiento extremo durante febrero. Las estaciones profundas expresadas en volumen no muestran una periodicidad, su variación es menor ($3.4 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \text{ d}$) en comparación con el resto de las estaciones (el intervalo máximo en la estación D

es de 13.8 g O₂/m³ d) y sus valores se conservan cercanos al cero; solo el mes de febrero se distingue, generalizable a las estaciones C y D, por la poca capacidad productiva de estas zonas.

4.3.4 Razón Producción Bruta / Respiración

El valor numérico para esta relación se presenta en la tabla 17. El concepto implicado en ella es que es una medida de la capacidad productora de una comunidad sobre su consumo global. Expresado en términos numéricos las comunidades de comportamiento autótrofo neto presentarán valores mayores de 1.0 y las de comportamiento heterótrofo se identificarán con valores por debajo de 1.0. La figura 25 se utiliza el logaritmo decimal de este valor para dar una mejor apreciación gráfica de las proporciones entre P y R. Sin embargo, dada la precisión obtenida para estos parámetros no es posible determinar diferencias significativas en todos los muestreos.

Durante todo el período muestreado la estación A presenta valores mayores de 1.0. Esto permite identificar a esta zona como compuesta con una comunidad continuamente autotrófica y señalarla definitivamente como distinta del resto de las estaciones. Asimismo, su comportamiento es reflejo del patrón ya antes reconocido con incrementos en los meses de diciembre de 1985 y febrero y abril de 1986 y una disminución en julio de 1986. En las demás estaciones el patrón cíclico anual se muestra con un descenso conforme disminuye la temperatura y aumentan las lluvias, y un ascenso durante la época con temperaturas altas y baja intensidad de vientos, y reinicio del descenso en relación con la aparición de las lluvias. Es importante mencionar que el comportamiento como una comunidad heterotrófica solo se da en la parte fría (o menos calida) del año. La amplitud de los valores en este grupo de estaciones es de 1.5 indicando una gran variación en la actividad metabólica de las poblaciones presentes en la Laguna Bojórquez.

En esta misma figura 25 se identifica una vez más la situación particular de julio de 1986 en la estación A con una disminución atribuida a la presencia de la maquina podadora que afectó la capacidad productiva de esta zona. De igual forma la estación C que presentaba valores similares a la estación D a partir de abril comienza a diferenciarse de esta y muestra un deterioro en su producción que podría deberse a la substitución de la comunidad de Thalassia y Halodule originales por algas racemosas bentónicas de los géneros Cladophora y Caulerpa.

4.4 Inferencias Ecológicas Generales para la Laguna Bojórquez

Con el fin de analizar su comportamiento de manera global e integrada así como, comparar a los valores aquí obtenidos no solo con algunos de los trabajos realizados con el método de Odum (tabla 12); se realizó una evaluación del área

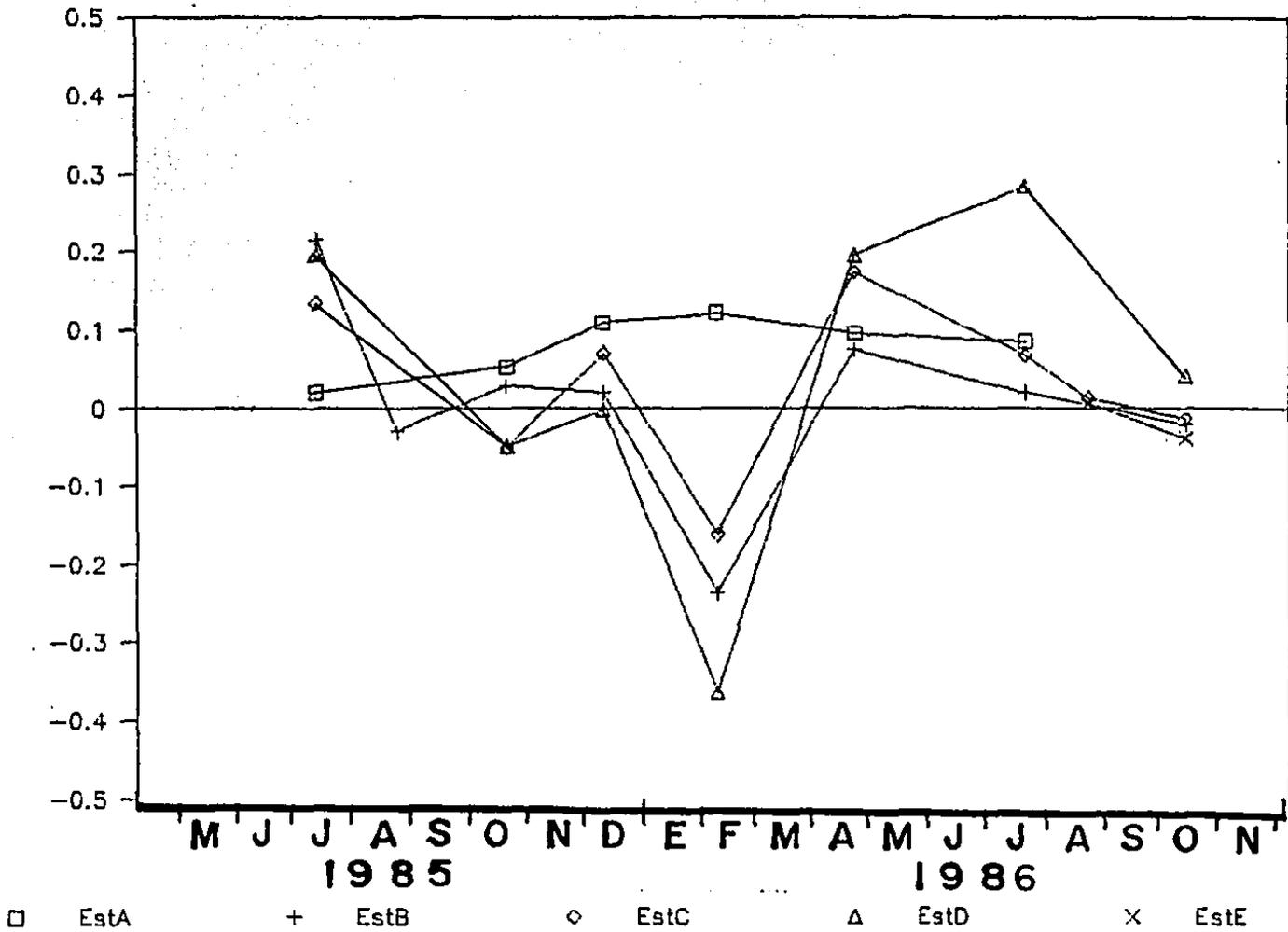


Figura 25 .- Comportamiento de el Logaritmo de la Relación P/R durante el Periodo Muestreado.

representada por cada estación de muestreo y se hizo un promedio ponderado para toda el área lagunar, de esta forma se obtuvo el valor promedio total para toda la cuenca. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 18, y se comparan a estos datos con los de la estación en la Laguna Nichupté asumiendo que esta es representativa de la Cuenca Norte (Figs. 26 y 27).

De este análisis gráfico se puede observar que en la Laguna Bojórquez hay un incremento en la producción bruta a partir de diciembre de 1985, para alcanzar su valor más alto ($22.2 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$) en agosto de 1986. La Laguna Nichupté muestra un comportamiento diferente, se aprecia con una variación más estrecha (13.0 a $21.3 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$) que el de la Laguna Bojórquez (10.4 a $22.2 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$) y presenta una tendencia a un ciclo anual que disminuye en agosto y octubre de 1985, llegando a sus mínimos en febrero de 1986, para ascender en abril del mismo año (Fig. 26). Este comportamiento es similar al presentado por los parámetros de temperatura del aire y del agua. Se debe considerar que la Laguna Bojórquez no muestra un patrón estacional discernible sino que tiene una tendencia hacia mayores producciones todo el tiempo.

Esto implicaría que continua existiendo un desequilibrio de las comunidades que posiblemente alcance un máximo para permanecer en este o bien que al llegar a este máximo se presente un proceso distrófico general que cambie radicalmente la composición comunitaria.

En cuanto al comportamiento de la respiración en la Laguna Bojórquez en el año de 1985 se mantiene casi constante, ya en febrero de 1986 existe un incremento muy marcado (la diferencia entre diciembre y febrero es de $11.8 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$) y a partir de este muestreo la respiración se incrementa en una proporción aproximadamente del 60% con respecto a los valores de 1985. Este aumento puede ser reflejo del aumento en el metabolismo lagunar ocasionado por la evolución de procesos de eutroficación (Fig. 26). En la Laguna Nichupté la respiración presenta una variación muy amplia (8.9 a $26.9 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$) con un máximo en febrero de 1986 similar al sucedido en la Laguna Bojórquez, para luego descender agudamente hasta el mínimo en abril de 1986. Tanto en el patrón de producción como el de la respiración presentan un comportamiento en las dos cuencas que es opuesto en el tiempo; durante 1985 la Laguna Bojórquez tiene valores mínimos y en 1986 la Cuenca Norte de la Laguna Nichupté es la que los presenta.

En la figura 26 se señala también a la producción neta en Laguna Bojórquez que se mantiene por encima del cero, significando una cuenca productiva con capacidad exportadora, siendo los valores negativos febrero de 1986 ($-3.1 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$) y octubre de 1986 ($-0.8 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$). Durante febrero se atribuye este valor a la época que corresponde a la temporada de vientos intensos ("nortes"), lluvias y nublados, (con una

Tabla 18 .- Parámetros Comunitarios para toda la Laguna Bojórquez

-- Areas en Kilometros Cuadrados --	
Area Total de la Laguna Bojórquez	2.47
Area Representada por la Estación A	0.79
Area Representada por la Estación B	0.15
Area Representada por la Estación C	1.17
Area Representada por la Estación E	0.32
Area de la Zona Dragada al Norte	0.04

Parámetros Comunitarios (g O₂ /m² d)

Mes	Producción	Respiración	Prod. Neta	Relación P/R
Julio '85	12.8	10.5	2.3	1.2
Agosto '85				
Octubre '85	10.4	10.3	0.1	1.0
Diciembre '85	12.1	10.0	2.1	1.2
Febrero '86	18.7	21.8	-3.1	0.9
Abril '86	21.5	16.4	5.2	1.3
Julio '86	21.6	18.3	3.3	1.2
Agosto '86	22.2	21.6	0.6	1.0
Octubre '86	18.8	19.6	-0.8	1.0

Estadísticos				
Promedio	17.2	16.1	1.2	1.1
Desviación Est.	4.48	4.78	2.41	0.15

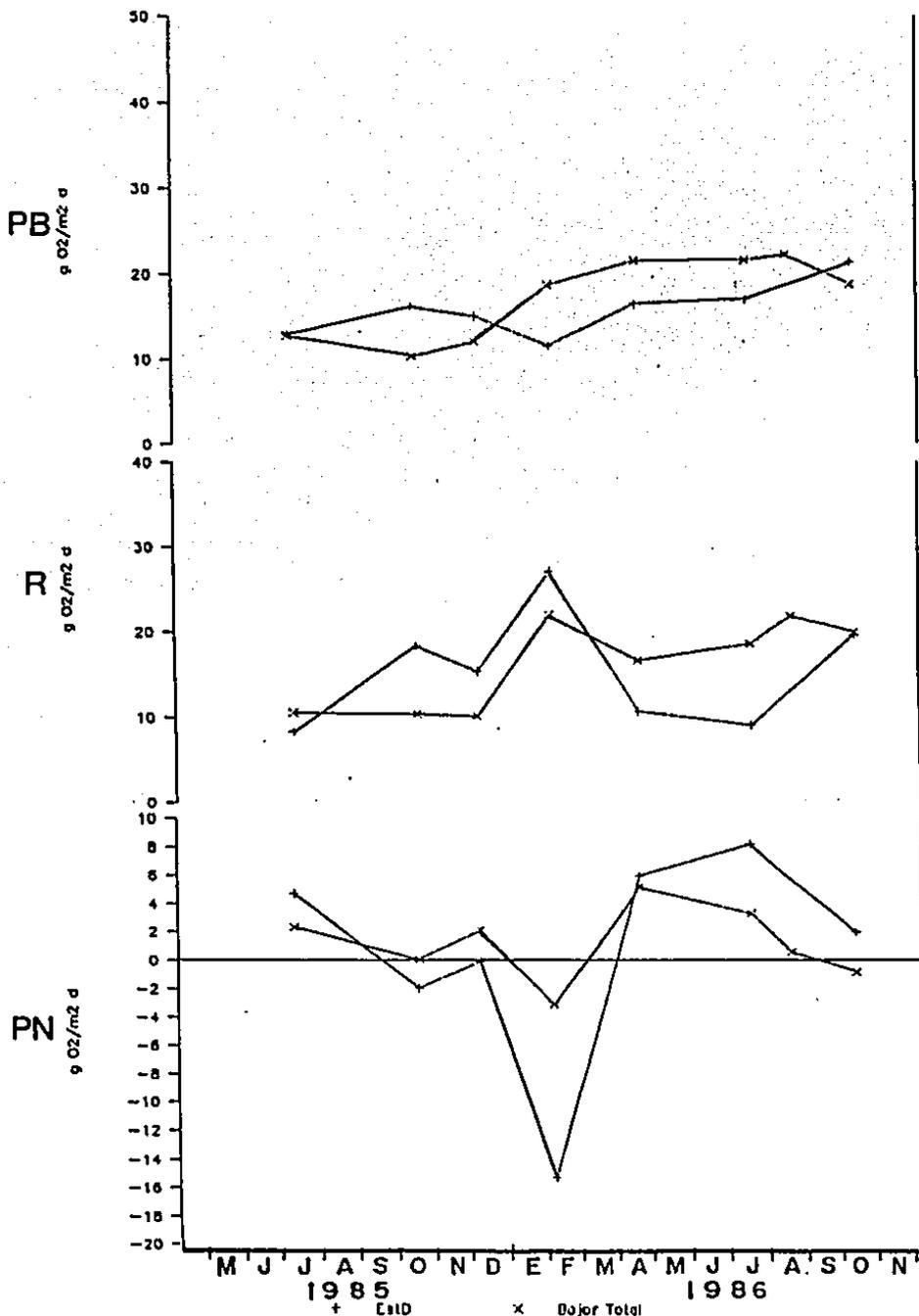


Figura 26 .- Parámetros Comunitarios Ponderados para Toda la Laguna Bojorquez y la Laguna Nichupté Durante 1985-1986. En la figura PB se muestra el comportamiento de la producción bruta comunitaria en las dos cuencas. En la figura R se muestra el comportamiento de la respiración comunitaria en ambas cuencas. En la figura PN se muestra el comportamiento de la producción neta comunitaria. Las unidades para las tres gráficas son en g O₂/m² d.

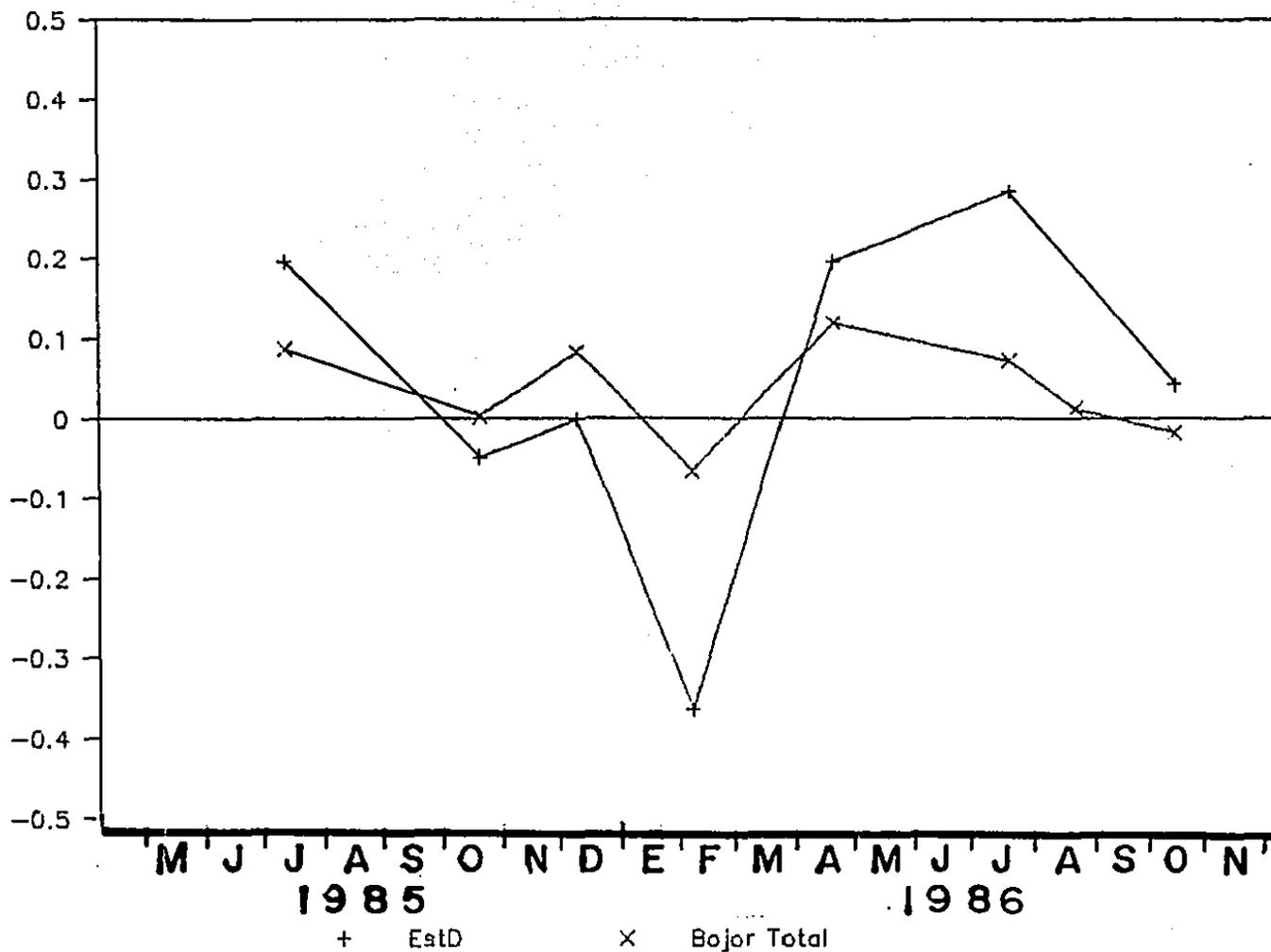


Figura 27 .- Comportamiento de el Logaritmo de la Relación P/R durante el Periodo Muestreado.

situación análoga en la Laguna Nichupté) y en octubre a los procesos de deterioro ecológico ocasionados tanto por el continuo aporte de nutrientes provenientes de la planta de tratamiento como por el uso de una podadora subacuática que funcionaba en la zona N de la laguna que además de extraer vegetación, resuspendía sedimentos a su alrededor ocasionando un aumento en la oxidación en la columna de agua. Las variaciones en la Laguna Nichupté son atribuidas al ciclo anual de la comunidad vegetal que disminuye en febrero y aumenta durante los meses calidos del año. Si se considera a la Laguna Nichupté con una sola comunidad, un análisis cualitativo del comportamiento anual de este parámetro permite observar con un patrón cíclico muy acentuado, mientras que en la Laguna Bojórquez debido a la gran diversidad de comunidades se presenta lo que Odum *et al.* (1974) clasifican como "programación estacional" (seasonal programming) que es definido como una sucesión de máximos de producción poblacional entre los diferentes productores primarios que al analizarlos en su conjunto, enmascaran a los patrones estacionales de cada una de estas poblaciones.

El logaritmo de la relación P / R (Fig. 27) muestra que en la Laguna Bojórquez existe una comunidad autótrofa que en febrero de 1986 presenta su mínimo debido a su ciclo metabólico anual. Este comportamiento empieza a cambiar hacia el heterotrofismo conforme transcurre el año de 1986, obteniendose valores cercanos o menores a 1.0 en agosto y octubre de 1986. En la Laguna Nichupté el comportamiento es netamente estacional, durante los meses sin lluvias la comunidad es autótrofa y a partir del inicio de las lluvias y continuando con la temporada de "nortes" la comunidad adquiere características de heterotrofismo alcanzando sus mínimos en febrero de 1986.

El tipo de unidad más común en la literatura es de $g\ C/m^2\ d$; los valores obtenidos en los parámetros comunitarios en la Laguna Bojórquez se transformaron a estas unidades para poder efectuar una comparación junto con algunos otros de zonas tropicales. Estos datos se reportan en la tabla 19.

Para convertir de unidades de oxígeno a unidades de carbón se consideró una relación molar de 1:1 ($C:O_2$) y se obtuvo un coeficiente de 0.375, este resultado proviene de utilizar un coeficiente fotosintético (PQ) de 1.0, a pesar de ser el valor más común de 1.2 debido a que este último dato se reporta en comunidades con dominancia de poblaciones fitoplantónicas (Brower y Zar 1977). El coeficiente respiratorio (RQ) se utiliza para los cálculos de respiración y también se asumió con valor de 1.0 (Strickland y Parsons 1972). El PQ es una razón de proporcionalidad de intercambio gaseoso entre el oxígeno producido y el bióxido de carbono fijado durante la fotosíntesis ($PQ = O_2/CO_2$). Este PQ adquiere valores cercanos a la unidad cuando el bióxido de carbono fotosintetizado es transformado en glucosa, su valor se incrementa si en vez de glucosa se obtienen proteínas y lípidos. Asimismo, el RQ es la

Tabla 19 .- Datos de Produccion Bruta (g C/m² d)

Lugar	Coaunidad	Produccion Intervalo	Produccion Promedio	Metodo Utilizado	Fuentes
Laguna Bojorquez, Cancun, Mex.	Macroalgas, Pastos Marinos y Fitoplancton	3.88-8.32	6.47	Odum	1
Cuenca Norte de la Laguna Michupte, Cancun, Mex.	Thalassia testudinum	4.36-8.00	5.93	Odum	1
Estero "El Verde", Sinaloa, Mex.	Ruppia maritima		5.67	Odum	2
Estero "El Verde", Sinaloa, Mex.	Fitoplancton		5.08	Botellas Cla- ras y Oscuras	2
Laguna Mitla, Guerrero, Mex.	Fitoplancton (S%. = 4)	1.10-2.8		C14	3
Laguna Chautengo, Guerrero, Mex.	Macroalgas y Fitoplancton	0.32-1.40		C14	3
Planicies Marinas, Florida U.S.A.	Thalassia testudinum	0.41-0.42		C14	4
Planicies Marinas, Florida U.S.A.	Thalassia testudinum		0.64	Zieman	4
Lagunas y Zonas Costeras, Florida U.S.A.	Thalassia testudinum	0.90-16.00		Odum	5
Lagunas y Zonas Costeras, Cuba	Thalassia testudinum	0.60-7.20		Zieman	5
Zonas Costeras, en Puerto Rico	Thalassia testudinum	2.50-4.50		Odum	5
Zonas Costeras, en Jamaica	Thalassia testudinum	1.90-3.00		Zieman	5
Zonas Costeras, Barbados	Thalassia testudinum	0.50-3.00		Medicion de Talla	5
Zonas Costeras, en Bimini, W.I.	Thalassia testudinum	0.85-2.36		C14	6
Laguna de Terminos, Campeche, Mex.	Thalassia testudinum	0.70-5.1	2.6	Zieman	7

Fuentes:

- 1 - El Presente Trabajo 2 - Flores (1985) 3 - Mee (1977) 4 - Bittaker e Iverson (1976)
 5 - Zieman (1982) en un analisis global con datos de otros autores 6 - Capone et al. (1979)
 7 - Day et al. (1982)

razón inversa al PQ. Asumiendo que es generalmente la glucosa la principal fuente de energía para el catabolismo de los organismos heterótrofos se obtiene el valor unitario para este coeficiente (Flores 1985).

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

a) Para la Laguna Bojórquez el valor anual de producción es de 2.23 Kg C/m² año con un promedio anual diario de 6.1 g C/m² d. Para la Laguna Nichupté el valor anual es de 2.06 Kg C/m² año y el promedio diario de 5.6 g C/m² d.

b) Los valores de respiración anuales son para la Laguna Bojórquez de 2.01 Kg C/m² año con promedio diario de 5.5 g C/m² d; en la Laguna Nichupté es de 2.08 Kg C/m² año y el promedio anual diario de 5.7 g C/m² d.

c) La productividad neta anual en la Laguna Bojórquez es de 0.22 Kg C/m² año con un promedio anual diario de 0.6 g C/m² d y en la Laguna Nichupté el valor anual es de -0.02 Kg C/m² año con un promedio diario de -0.07 g C/m² d.

La precisión de estos datos es para los valores de producción de ± 0.04 g C/m² d, para los de respiración de ± 0.05 g C/m² d y el error total para estos es ± 0.9 g C/m² d.

Comparando los valores de las lagunas Bojórquez y Nichupté se observa que son los datos más altos (tabla 19) y que los provenientes del estero "El Verde" solo en el promedio y las comunidades de Thalassia testudinum en Florida en su variación dan valores similares. Zieman (1982) argumenta que los valores obtenidos por el método de Odum serán más altos que los resultantes por otros métodos (p. e. método de Zieman y C¹⁴) debido a que incluyen a toda la comunidad (tanto fitoplancton como pastos y macroalgas bentónicas). Sin embargo, cabe señalar que los valores reportados por Flores (1985) son para una comunidad de plácton en un estero tropical, donde si se utiliza el método de Odum para evaluar a los parámetros comunitarios. En los datos originados por el método de C¹⁴ lo que se obtiene es una mezcla entre productividad bruta y neta que hacen que los valores para estos datos sean intermedios entre los reportados por el método de Odum y los fundamentados en el aislamiento de las comunidades plantónicas (Westlake 1974 y Zieman 1982).

Los valores de la Laguna Bojórquez con respecto a los de la Cuenca Norte de la Laguna Nichupté, no son significativamente mayores; sin embargo son probablemente resultado de la gran variedad de impactos y modificaciones que se han presentado en la Laguna Bojórquez. Entre los que se consideran de mayor importancia están los dragados y tala masiva del manglar circundante efectuados al inicio del desarrollo turístico, lo que provocó una resuspensión de sedimentos e incremento en la materia orgánica y turbidez que perduraron por un período

prolongado (Jordán 1988, comunicación personal). Aunado a esta alteración de carácter agudo existe la alteración crónica ocasionada por la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales que funcionalmente actúa como una fertilización de las aguas de la cuenca al aportar nutrientes y materia orgánica disuelta. Una modificación de menor magnitud es la resuspensión de sedimentos diaria ocasionada por el tráfico de embarcaciones principalmente en el canal de navegación al Oeste. Todas estas alteraciones ocasionan que en la Laguna Bojórquez se presente una comunidad muy diferente a la de la Laguna Nichupté y permite identificar un proceso hacia mayores producciones que finalmente se manifestaran como un sistema eutroficado y posiblemente distrófico.

La alta producción en la Laguna Bojórquez en relación a los sistemas oligotróficos escasos en nutrientes que son el común en las cuencas aledañas, tiene diversas formas de utilización entre las que se encuentran: transferencia a niveles tróficos superiores como alimento y formación de biomasa en estos niveles; almacenamiento como biomasa en las poblaciones vegetales que puede ser exportada como materia orgánica particulada o disuelta al efectuarse el proceso de degradación; almacenamiento en sedimentos de esta materia orgánica que está disponible por procesos mecánicos de resuspensión de sedimentos principalmente o bien por reciclamiento natural (bacterias y rizomas).

En la Laguna Nichupté a pesar de ser un ecosistema dominado por una comunidad de Thalassia testudinum que se considera como de baja producción neta, presenta valores muy altos con respecto a los reportados por la literatura (tabla 19). Esto parece indicar que esta laguna puede ser modificada hacia una mayor eutroficación si continúan los impactos como los dragados y la descarga de materia orgánica. En algunas zonas cercanas a la orilla W existen poblaciones de Ruppia maritima y extensiones importantes de macroalgas bentónicas que pueden ser indicadoras de un avance en el deterioro ecológico de esta laguna en algunos de sus vasos.

5 CONCLUSIONES

- 1) El periodo bajo estudio en sus parámetros ambientales muestra un comportamiento diferente a el registrado estadísticamente. Se le identifica como una época extremadamente seca con lluvias de menos de la tercera parte que el valor promedio reportado para 20 años. La temporada de "nortes" se extendió hasta febrero.
- 2) El método de Odum presenta dificultad de aplicación en columnas poco mezcladas, por lo que se propone una modificación mediante la ponderación de toda la columna de agua.
- 3) Una de las características que restringen el uso del método de Odum es la dificultad para determinar con precisión la tasa de intercambio agua-aire. Para facilitar esta evaluación se usa un criterio cuantitativo donde el comportamiento de la tasa de producción corregida por difusión ayuda a esta evaluación. Se busca que $p + r = 0$. Se propone para evaluar la respiración durante el día, cuando inicia y finaliza la producción ($p = 0$). Esto se define en la curva de tasa de cambio de oxígeno disuelto que se utiliza para obtener a los parámetros comunitarios.
- 4) Se registran diferencias espaciales en los valores de producción bruta, neta y respiración. La zona Norte de la Laguna Bojórquez presenta un ciclo anual de producción, respiración y producción neta distinto al resto de la cuenca y de la Laguna Nichupté. Se asocia este comportamiento con una comunidad de Ruppia maritima con condiciones óptimas de desarrollo. Asimismo, este comportamiento evidencia a los procesos funcionales que se traslapan a todo lo largo del año para manifestarse con una producción neta global constantemente alta.
- 5) La Laguna Bojórquez presenta una producción comunitaria significativamente mayor para la zona de aguas escasas en nutrientes y comunidades oligotróficas en que se encuentra. Esta diferencia es atribuida a procesos de eutroficación por impacto ambiental de origen antropogénico. Como ejemplo de la posible forma en que actúan estas alteraciones se observó que la estación B presenta una inhibición de su capacidad productora al compararla con una zona similar sin influencia directa de la descarga de la planta de tratamientos.
- 6) La Laguna Nichupté es una cuenca con valores menores a los de la Laguna Bojórquez pero con respecto a los reportados en otros sitios, son más altos lo que sugiere que es una cuenca susceptible a las posibles influencias antropogénicas que están ocurriendo en cuerpos de agua comunicados con ella.

7) La alta producción neta en la Laguna Bojórquez indica, en base a las observaciones aquí realizadas, la posibilidad de que se almacene en sedimentos que pueden ser reciclados mediante una resuspensión física de los mismos o bien que se exporte en forma de materia orgánica hacia la Cuenca Norte de la Laguna Nichupté.

8) La desaparición de las comunidades originales en la Laguna Bojórquez, así como la substitución de las angiospermas marinas que ahora se encuentran en esta cuenca únicamente han redituado en un deterioro de los atractivos estéticos y recreativos de la misma. En base a esto se recomienda no continuar con la descarga de aguas tratadas, así como evitar el efectuar dragados en las zonas cercanas a la laguna.

6 LITERATURA CITADA

- Aguayo C.J.E., R.M. Bello, M.A. del Vecchio, J.M. Araujo, M.A. Basañes, 1980. Estudio Sedimentológico en el área de Tulum-Cancún-Isla Mujeres, estado de Quintana Roo. Bol. Soc. Mex. Tomo XLI, Nos. 1 y 2. 15-32 pp.
- Bittaker H.F., R.L. Iverson, 1976. Thalassia testudinum Productivity: a field comparison of measurements methods. Mar.Biol. 37: 39-46 pp.
- Brady M.J., 1974. Sedimentology and Depositional History of Coastal Lagoons, Northeastern Quintana Roo, Mexico. Field Trip 2. Annual Meeting of the New Orleans Geol. Soc. 148-175 pp.
- Brower J.E., J.H. Zar, 1977. Aquatic Productivity In: Brower J.E., J.H. Zar (eds.), Field and Laboratory Methods for General Ecology. C.B. Brown Co. 156-160 pp.
- Capone D.G., P.A. Penhale, R.S. Oreland, B.F. Taylor, 1979. Relationship Between Productivity and $N_2(C_2H_2)$ Fixation in a Thalassia testudinum Community. Limnol. Oceanogr. 24(1): 117-125 pp.
- Capone D.G., B.F. Taylor, 1980. Microbial Nitrogen Cycling in a Seagrass Community. In: Kennedy V.S. (ed.), Estuarine Perspectives. Academic Press. N. York. 153-161 pp.
- Carlberg S.R. (ed.), 1972. New Baltic Manual - with methods for sampling and analyses of physical, chemical and biological parameters. International Council for the Exploitation of the Sea. Cooperative Research Report, Series A No. 29. Denmark. 145 pp.
- CIFSA, 1971. Prospección Hidrológica de la Laguna Nichupté. Informe elaborado para Infratur. México.
- Clark J.R., 1977. Coastal Ecosystem Management - a technical manual for the conservation of coastal zone resources. John Wiley and Sons Pu. Co. New York. 928 pp.
- Collado V.L., L. Segura, M. Merino, En prensa. Observaciones sobre Dos Escifomedusas del Género Cassiopea en la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, México. Enviado para su publicación en la Rev. Inves. Mar. Univ. Habana. Cuba.
- Copeland B.J., W.R. Duffer, 1964. Use of a Clear Plastic Dome to Measure Gaseous Diffusion Rates in Natural Waters. Limnol. Oceanogr. 9(4): 494-499 pp.

- Cúlhuac S.S., 1987. Importancia Ecológica de las Algas Epifitas de las Fanerógamas Marinas en la Laguna Bojórquez, Quintana Roo. Informe Final de Servicio Social. UAM-I, México. 33 pp.
- Day J.W., A. Yáñez-Arancibia, 1982. Coastal Lagoons and Estuaries, Ecosystems Approach. Ciencia Interamericana (Mar. Sci.), OEA Washington D.C. Vol 22(1-2): 11-26 pp.
- Day J.W., R.H. Day, M.T. Barreiro, F. Ley-Lou, C.J. Madden, 1982. Primary Production in the Laguna de Terminos, a tropical estuary in the southern Gulf of Mexico. In: Lasserre P., H. Postma (eds.), Coastal Lagoons. Oceanologica Acta Vol. Spec. 5(4): 269-276 pp.
- Departamento de Geografía Económica, 1980. Quintana Roo: organización espacial. Instituto de Geografía de la UNAM-Centro de Investigaciones de Quintana Roo. México. 203 pp.
- Downing y Truesdale, 1955. In: Kester D.R., 1975. Dissolved Gases other than CO₂. In: Riley J.P., R. Chester (eds.), Chemical Oceanography. 2nd Ed. Academic Press. London. Vol. 1. Chap. 8. 497-556 pp.
- Ferguson-Wood E.J., W.E. Odum, J.C. Zieman, 1969. Influence of Seagrasses on the Productivity of Coastal Lagoons. In: Ayala-Castañares A., F.B. Phleger (eds.), Lagunas Costeras - un simposio. UNAM-UNESCO. México. 495-502 pp.
- Flores F.J., 1985. Aporte de Materia Orgánica por los Principales Productores Pimarios a un Ecosistema Lagunar Estuarino de Boca Efimera. Tesis Doctoral. ICMYL UNAM. México. 184 pp.
- Folk R.L., 1967. Carbonate Sediments of Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico and Vecinity. In: Yucatan Field Trip Guidebook. Annual Meeting, Geol. Soc. of America. 100-123 pp.
- Foyn E., 1969. Waste Disposal and Pollution in Coastal Lagoons. In: Ayala-Castañares A., F.B. Phelger (eds.), Lagunas Costeras - un simposio. UNAM-UNESCO. México. 281-289 pp.
- García E., 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Kopen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Offset Larios. México. 246 pp.

- Gieskes W.W., G.W. Kraay, 1984. State-of-the-Art in the Measurement of Primary Production. In: Fasham M.J. (ed.), Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems - theory and practice. NATO Conference Series. IV Marine Sciences. Plenum Press. N. York. Vol. 13: 171-190 pp.
- Goldman C.R., R.A. Vollenweider, 1974. Apparatus In: Vollenweider R.A. (ed.), A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. 2nd Ed. Blackwell Sci. Pub. IBP Handbook No. 12, London. Cap. 3.21, 62-65 pp.
- González L.A., En proceso. Hidrología y Nutrientes de la Laguna Bojórquez. Tesis de Maestría. ICMYL-UNAM. México.
- Hall C.A.S., R. Moll, 1975. Methods of Assessing Aquatic Primary Productivity. In: Lieth H., R.H. Whittaker (eds.), Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag. N. York. Chap. 3. 19-53 pp.
- Jordan D.E., M. Angot y R. de la Torre, 1978. Prospección Biológica de la Laguna Nichupté, Cancún, Quintana Roo, México: nota científica. An. del Centro de Cienc. del Mar y Limnol., UNAM. México 5(1) 179-188 pp.
- Jordan D.E., E. Martin, P.O. Thome, 1983. Circulación e Hidrología del Sistema Lagunar Nichupté. Convenio celebrado entre la UNAM a través del ICMYL y el Fondo Nacional de Fomento al Turismo. México. 72 pp.
- Jordan D.E., 1988. Comunicación personal en la reunión de asesoría académica para el semestre 87-II. México.
- Kelly M.G., G.M. Hornberger, B.J. Cosby, 1974. Continuous Automated Measurement of Rates of Photosynthesis and Respiration in an Undisturbed River Community. Limnol. Oceanogr. 19(2): 305-312 pp.
- Kester D.R., 1975. Dissolved Gases other than CO₂. In: Riley J.P., R. Chester (eds.), Chemical Oceanography. 2nd Ed. Academic Press. London. Vol. 1. Chap. 8. 497-556 pp.
- Klose P.N., 1980. Quantification of Environmental Impacts in the Coastal Zone In: Kennedy V.S. (ed.), Estuarine Perspectives. Academic Press. New York. 27-35 pp.
- Kjerfve B., 1986. Comparative Oceanography of Coastal Lagoons. In: Merino I.M., E. Jordan, E. Martin, P. Thome, O. Moreno, S. Czitrom, En Prensa. Hydrology and Rain Flushing of the Nichupte Lagoon System, Cancun, Mexico. Enviado para su publicación a Estuar. Coast. Shelf Sci. Academic Press U.K.

- Lankford R.R., 1976. Coastal Lagoons of Mexico. In: Willey K. (ed.), Estuarine Processes. Academic Press. New York. Vol. II 182-215 pp.
- Laserre P., 1979. Coastal Lagoons - sanctuary ecosystems, cradles of culture, targets for economic growth. *Nature and Resources*, 15(4): 1-21 pp.
- Liss P.S., 1988. Tracers of Air-Sea Gas Exchange. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 325: 93-103 pp.
- Martin C.E., M. Merino, 1983. Carta Batimétrica del Sistema Lagunar Nichupté. Informe Final de "Circulación e Hidrología del Sistema Lagunar Nichupté". Convenio celebrado entre la UNAM a través del ICMYL y el Fondo Nacional de Fomento al Turismo. México.
- McFarland W.N., J. Prescott, 1959. Standing Crop, Chlorophyll Content and in situ Metabolism of a Giant Kelp Community in Southern California. *Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Tex.* 6: 109-132 pp.
- McIntyre C.D., R.L. Garrison, H.K. Phinney, C.E. Warren, 1964. Primary Production in Laboratory Streams. *Limnol. Oceanogr.* 9(1): 92-102 pp.
- Mee L.D., 1977. The Chemistry and Hydrography of Some Tropical Coastal Lagoons - Pacific Coast of Mexico. Ph. D. Thesis. University of Liverpool. Dept. of Oceanography. England. 125 pp.
- Mee L.D., 1986. Comunicación Personal en la Reunion de Asesoría Semestral "Semestre 86-I", México.
- Merino I.M., M. Gallegos, 1986. Evaluación del Impacto Ambiental Generable sobre el Sistema Lagunar Nichupté por el Dragado Programado Para Rellenar el Lote 18-A en Cancún, Q. Roo. Informe Final del Convenio de Asesoría Técnica PIADISA-UNAM. México. Nov. 1987. 87 pp.
- Merino I.M., 1987a. The Coastal Zone of Mexico. *Coast. Managem.* 15: 27-42 pp.
- Merino I.M., 1987b. "Evaluación del Impacto Ambiental en la Laguna Bojórquez (Cancún, Q. Roo)" CLAVE CONACyT PCECBNA-021926. Informe Final. Marzo de 1987. 20 pp.
- Merino I.M., L. Otero. En Prensa. Marco Ambiental Base de la Zona Costera de Puerto Morelos, Quintana Roo. Enviado para su publicación a los An. del ICMYL UNAM. México.

- Merino I.M., E. Jordan, E. Martin, P. Thome, O. Moreno, S. Czitrom, En Prensa. Hydrology and Rain Flushing of the Nichupte Lagoon System, Cancun, Mexico. Enviado para su publicación a Estuar. Coast. Shelf Sci. Academic Press U.K.
- Nugent R.S., E. Jordan, R. de la Torre, 1978. Investigaciones Preliminares de la Biomasa de Thalassia testudinum Konig, en la costa del Caribe Mexicano. An. Cen. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM. México. 5(1): 247-254 pp.
- Odum H.T., C.M. Hoskin, 1958. Comparative Studies on the Metabolism of Marine Waters. Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Tex. 5: 16-46 pp.
- Odum H.T., P. Burkholder, J. Rivero, 1959. Measurements of Productivity of Tuttle Grass Flats, Reefs and the Bahía Fosforecente of Southern Puerto Rico. Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Tex. 6: 159-170 pp.
- Odum H.T., R.F. Wilson, 1962. Further Studies on Reaeration and Metabolism of Texas Bays, 1958-1960. Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas (8): 20-55 pp.
- Odum H.T., 1963. Productivity Measurements in Texas Turtle Grass and the Effects of Dredging an Intracoastal Channel. Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Tex. 9: 48-58pp.
- Odum H.T., B.J. Copeland, E.A. McMahan, 1974. Coastal Ecological Systems of the United States. The Conservation Foundation (ed.). NOAA. U.S.A. Vol. III 410 pp.
- Reyes G.E., 1987. Variaciones Diarias a lo Largo de un Ciclo Anual de Algunos Parámetros Físico-Químicos en la Laguna Bojórquez, Cancún, Q. Roo. Reporte Final de la Materia "Problemas de Investigación". Semestre 87-I. ICMYL UNAM. México. 30 pp.
- Rogers C.S., 1979. The Productivity of San Cristobal Reef, Puerto Rico. Limnol. Oceanogr. 24(2): 342-349 pp.
- Sand-Jensen K., C. Prahl, H. Stokholm 1982. Oxygen Release from Roots of Submerged Aquatic Macrophytes. Oikos 38: 349-354 pp.
- Secretaría de Marina, 1982. Carta Batimétrica No. 924 - isla Mujeres a isla Cozumel - México costa este. Sec. Marina, Dir. Gral. de Oceanografía, Dir. de Hidrografía. México.
- Secretaría de la Presidencia, 1970. Carta de Climas - Cozumel 160-IV. Dir. de Planeación, Comisión de Estudios del Territorio Nacional. UNAM-Inst. de Geografía. México.

- Serviere Z.E., 1986. Ficoflora de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. México. 253 pp.
- Sorensen J., S. McCreary, M. Hershman, 1984. Institutional Arrangements for Management of Coastal Resources. Renewable Resources Information Series. Coastal Management Publication no. 1, Research Planning Institute, Inc. U.S.A.
- Strickland J.D.H., T.R. Parsons, 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull 167. Fish. Res. Board. Canada. 306 pp.
- Tijssen S.B., A. Eijgenraam, 1982. Primary and Community Production in the Southern Bight of the North Sea Deduced from Oxygen Concentration Variations in the Spring of 1980. Neth. Jour. Sea Res. 16: 247-259 pp.
- UNAM, 1972. Estudio Ecológico de Prospección de la Laguna de Cancún, Quintana Roo. Informe al Banco de México. Inst. Biol. UNAM., 68 pp.
- Vollenweider R.A. (ed.), 1974. A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. 2nd Ed. Blackwell Sci. Pub. IBP Handbook No. 12, London. 223 pp.
- Ward W.C., J.L. Wilson, 1974. General Aspects of the Northeastern Coast of the Yucatan Peninsula - Field Trip 2. In: Annual Meeting of the Geol. Soc. of America. 96-105 pp.
- Westlake D.F. 1974. Macrophytes In: Vollenweider R.A. (ed.), A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. 2nd Ed. Blackwell Sci. Pub. IBP Handbook No. 12, London. Cap. 2.2, 32-42 pp.
- Yáñez-Arancibia A., 1982. Usos, Recursos y Ecología de la Zona Costera. Ciencia y Desarrollo. Año VIII. 43: 58-63 pp.
- Yáñez-Arancibia A., J.W. Day, 1982. Ecological Characterization of Terminos Lagoon - a tropical lagoon-estuarine system in the Southern Gulf of Mexico. In: Lasserre P., H. Postma (eds.), Coastal Lagoons. Oceanological Acta Vol. Spec. 5(4):431-440 pp.
- Yáñez-Arancibia A., 1986. Ecología de la Zona Costera - análisis de siete tópicos. AGT Editor S.A., México. 189 pp.

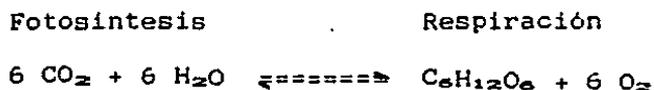
Zieman J.C., 1974. Methods for the Study of the Growth and Production of Turtle Grass, Thalassia testudinum (Koning). Aquaculture. 4: 139-143 pp.

Zieman J.C., 1982. The Ecology of the Seagrasses of South Florida: a community profile. U.S. Fish and Wildlife Services. U.S.A. 158 pp.

Anexo

Fundamento

El método de Odum (Odum et al., 1958, 1959, 1962 y 1963) se basa en la consideración general de que en una cuenca estuarino-lagunar la actividad fotosintética durante el día produce alimento y oxígeno que en el transcurso de la noche es consumido por los organismos aerobios. Este razonamiento se afirma en la ecuación básica de la fotosíntesis y respiración la cual es:



De donde se desprende que la fotosíntesis producirá 6 moléculas de oxígeno que serán absorbidas por el medio exterior. De esta manera es posible relacionar a la tasa de actividad fotosintética proporcionalmente con la producción y de igual forma a la tasa de respiración con el consumo.

Una forma de monitorear y evaluar a estos dos tipos de actividades (producción y respiración (consumo)) es el muestrear a lo largo del ciclo diario las variaciones en la concentración de oxígeno disuelto. Estas variaciones son influenciadas además de las actividades biológicas por procesos físicos (difusión y advección). Es necesario considerar que dichos procesos son controlados en gran medida por las condiciones meteorológicas (vientos y lluvias) que actúan fundamentalmente a nivel de la tasa de difusión y en la mezcla y estratificación de la columna de agua. La evaluación de los procesos físicos no es posible de manera precisa debido a la multitud de factores que los influyen, por lo que se recurre a estimaciones matemáticas de ellos. Esto se muestra claramente más adelante al explicar el cálculo del coeficiente de difusión (k).

El método de Odum permite incluir en una evaluación de la producción primaria global a todas las comunidades fotosintetizadoras subacuáticas presentes en la cuenca, lo cual facilita la interpretación del comportamiento general de los parámetros comunitarios como son: producción bruta, respiración y producción neta para todo el cuerpo de agua bajo estudio.

Para el estudio de la productividad primaria en cada una de las poblaciones vegetales marinas existe una amplia variedad de métodos, equipo de campo y de laboratorio (Gieskes y Kraay 1984). Por ejemplo, para efectuar estudios de biomasa en pastos marinos y macroalgas es necesario procesar a las hojas,

limpiándolas de epibiontes, secarlas y hornearlas hasta obtener su peso seco y peso seco sin cenizas (Westlake 1974). Otro método consiste en usar grapas metálicas para papel para marcar las hojas en un cuadrante con área definida, se miden estas hojas y después de determinado tiempo se extraen, se vuelven a medir y se obtiene su peso seco, de esta forma se calcula la tasa de crecimiento y es posible inferir la productividad de los pastos (Zieman 1974). Para los estudios de cuantificación de la tasa de producción para el fitoplanctón el método de mayor precisión es el propuesto por Steemann y Nielsen el cual parte de la medición de la tasa de incorporación de carbono radioactivo ($\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ generalmente). La aplicación de este método requiere equipo especializado como contadores de centelleo y soluciones estándar con actividad radiológica (Goldman y Vollenweider 1974).

Dentro de las ventajas que ofrece el método de Odum sobre los métodos que se basan en el "encapsulamiento" de las poblaciones a estudiar se encuentra que el primero está libre de los errores que resultan de aislar de los factores ambientales a los organismos, de errores por los efectos sobre la luz debidos a la transparencia del recipiente y de que las paredes de este sean usadas como sustrato por bacterias químicas y/o fotosintetizadoras (Odum 1963, Brower y Zar 1977).

Dentro de las desventajas del método de Odum, la principal es la presencia de errores debidos a procesos físicos (p.e. difusión y advección) que modifiquen el contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua utilizado para el cálculo de la productividad primaria, también existe una polémica alrededor del posible almacenamiento de oxígeno y posterior expulsión en los tejidos vacuolares de las angiospermas marinas que enmascaran la tasa instantánea de producción y alteran las inferencias del monitoreo (Bittaker e Iverson 1976, Sand-Jensen et al. 1982). Un error común en todos los métodos para medir la tasa de producción primaria es la imposibilidad de medición precisa de la respiración durante el día (Hall y Moll 1975).

Aplicación

El método consiste en la determinación de la concentración de oxígeno disuelto durante periodos de 24 horas, además se registra la temperatura del agua durante este mismo lapso y la salinidad de la zona al inicio y final del muestreo. Tanto Vollenweider (1974) como Brower y Zar (1977), recomiendan el registro del parámetro de iluminación el cual ayuda al análisis del comportamiento fotosintético de las comunidades vegetales. La determinación de la concentración de oxígeno disuelto puede ser con sensor galvánico (oxímetro) o mediante el método de Winkler (Strickland y Parsons 1972).

El muestreo se efectúa cada dos ó tres horas durante un ciclo diario. Se anotan simultáneamente, las condiciones ambientales

atmosféricas y las variaciones en las comunidades acuáticas presentes en la estación de muestreo (Hall y Moll 1975); también, la profundidad de la estación y una estimación de la corriente.

Ya con los datos de la concentración de oxígeno disuelto, de temperatura y salinidad ordenados y eliminados los valores atípicos por procedimientos estadísticos, se grafican a lo largo del ciclo diario los dos primeros parámetros (Fig. I). Usando los datos de temperatura y salinidad se obtiene el porcentaje de saturación del agua; ya sea usando el nomograma de Strickland y Parsons (1972), ó el polinomio de Kester (1975). Comparando estos valores con los datos de oxígeno disuelto se obtiene la saturación en su variación diaria (Fig. I).

La siguiente gráfica por hacer es la tasa de cambio en la concentración de oxígeno disuelto ($\partial O_2 / \partial t$). Los valores resultan de la resta entre cada par de observaciones consecutivas y su división entre el intervalo de ellas; las unidades de esta gráfica son mg O_2 /l h. (Fig. I). En esta gráfica se escogen dos puntos en los que teóricamente se considera que la producción es aproximadamente igual a la respiración, y por tanto la variación en la concentración se debe únicamente a los procesos de difusión y advección. Esta condición generalmente sucede un poco antes del amanecer y un poco después del anochecer. Con los dos puntos seleccionados se calcula el coeficiente de difusión.

Para el cálculo de este coeficiente se aplica la fórmula siguiente:

$$k = \frac{q_m - q_e}{S_m - S_e} \cdot 100$$

Donde:

k - coeficiente de difusión en mg O_2 /l h

q_m - es el punto en la tasa de cambio antes del amanecer en mg O_2 /l h

q_e - es el punto en la tasa de cambio después del atardecer en mg O_2 /l h

S_m - es el déficit del porcentaje de saturación antes del amanecer y a la misma hora que q_m

S_e - es el déficit del porcentaje de saturación después del atardecer y a la misma hora que q_e

Las unidades resultantes son g O_2 /m³ h al 0% de saturación. Para convertir a unidades de área se multiplica por la

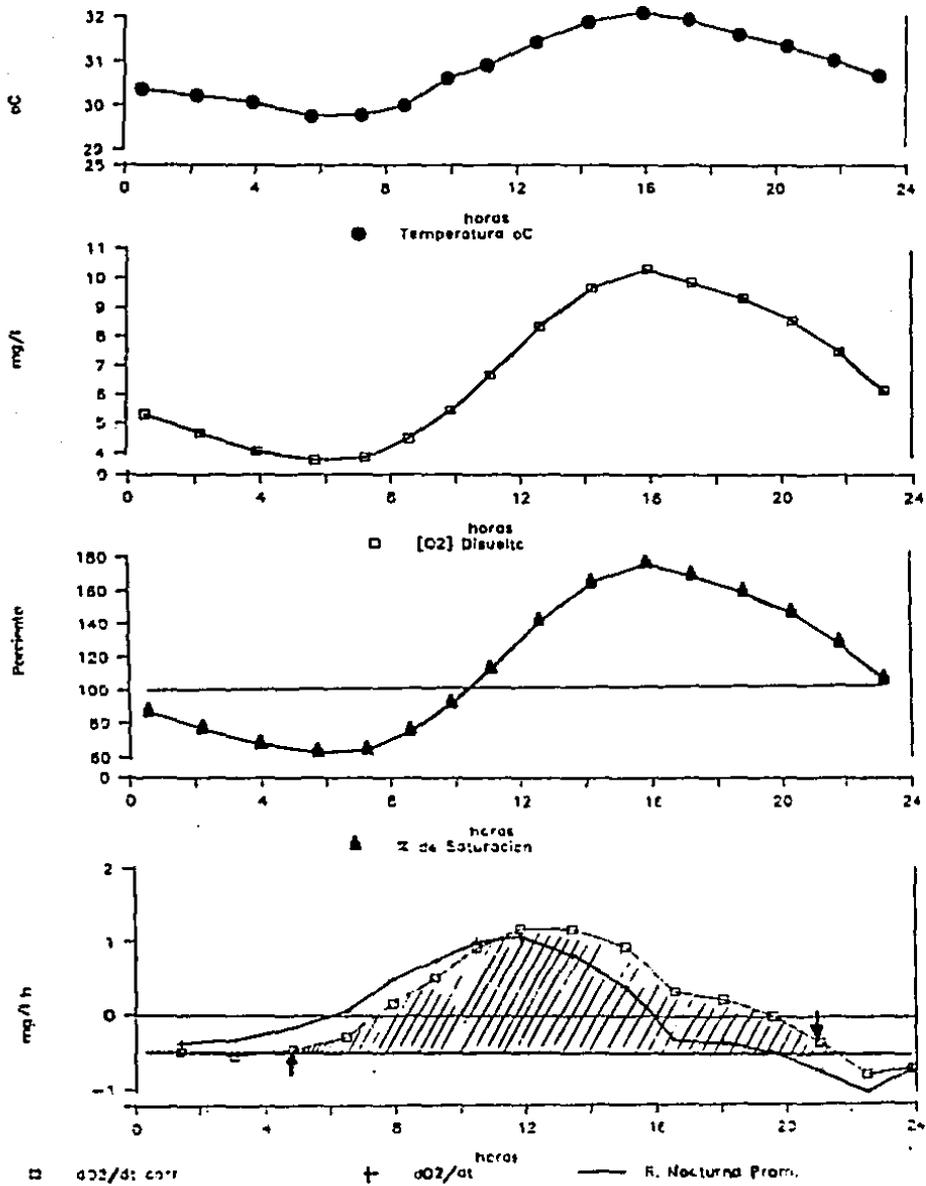


Figura I .- Gráficas Requeridas por el Método de Odum para la Evaluación de la Productividad Primaria Comunitaria. En la figura se muestran los ciclos diurnos de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Oxígeno Disuelto (mg/l), Porcentaje de Saturación de Oxígeno en la Columna de Agua y la Tasa de Cambio de Oxígeno Disuelto ($\frac{\partial O_2}{\partial t}$) en $\text{mg } O_2/\text{l h}$. Las flechas indican los puntos seleccionados para el cálculo de k y el área sombreada es equivalente a la producción bruta comunitaria ($\text{mg } O_2/\text{l d}$).

profundidad de la estación (Z) y se obtiene K que es el coeficiente de difusión en $g\ O_2/m^2\ h$.

Las letras mayúsculas se utilizan para indicar valores en unidades de área, las minúsculas para los valores en unidades de volumen. Un ejemplo de los cálculos realizados se encuentra en la tabla I.

El coeficiente (k) se aplica sumando o restando gráficamente a la curva de $\partial O_2/\partial t$ y se obtiene la $\partial O_2/\partial t$ debida únicamente a procesos biológicos, esto es, es la curva corregida eliminando a los procesos físicos. Asimismo, se traza una línea igual al promedio de los valores durante el periodo nocturno (r) y que una a los 2 puntos escogidos en la curva corregida (Fig. I).

Al multiplicar el valor de r en $g\ O_2/m^3\ h$ por Z y por el número de horas (24) se obtiene la tasa de respiración comunitaria (R) en $g\ O_2/m^2\ d$. Lo cual asume que R es constante durante todo el ciclo diario. Odum y Hoskin (1958) recomiendan no convertir estos valores a gm de carbón ó glucosa ya que esta manipulación es ficticia si no se cuenta con coeficientes respiratorios ni con datos sobre la composición de la materia orgánica comunitaria.

Mediante la medición del área resultante por debajo de la curva corregida y por arriba de r se obtiene la producción bruta comunitaria (p) (Fig. I). Para obtener la producción bruta por área (P) se multiplica por Z obteniéndose $g\ O_2/m^2\ d$ como unidad. La evaluación del área bajo la curva de tasa de cambio diario puede ser mecánica (con un planimetro), matemática (si se usa papel milimétrico y se cuenta el número de cuadritos ocupados por esta área) ó por método geométrico.

Como es evidente la precisión del método radica en la selección de los puntos para el cálculo del coeficiente de difusión, ya que esto puede modificar significativamente a la curva corregida y dar valores de p y P totalmente erróneos.

Es importante considerar que la curva para una estación no representará el metabolismo de la misma si el agua en ella no es estacionaria. La hipótesis básica en este análisis de curvas diarias es: el agua obtenida en la estación tiene una historia metabólica reciente. Para cotejar esta hipótesis se necesita muestrear al menos una vez por duplicado ó triplicado. Una recomendación más que Odum y Hoskin (1958) sugieren, es que en algunas curvas se presentan tasas de cambio irregulares durante la noche claramente asociadas con variaciones en la velocidad del viento que deben ser registradas. Generalmente algo de suavizado en la curva diaria es posible mediante el promediado de puntos; esto se requiere para que exista alguna base para interpretar los puntos irregulares.

Tabla I .- Calculo de los Valores para Producción Primaria
segun el Método de Odum

$$k = 100 * \frac{(-0.17 - -0.73)}{(100 - -33.3) - (100 - 43.5)} = 0.73 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \text{ h}$$

Para obtener el valor de K

$$K = 0.73 * 1.5 \text{ m} = 1.094 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ h}$$

al 100 % de Saturación

La respiración es el promedio de los valores nocturnos

$$r = (-0.47) + (-0.5) + (-0.41) + (-0.41) + (-0.8) + (-0.69) / 6$$

$$= -0.55 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \text{ h}$$

Para obtener el valor de R

$$R = (-0.55) * 1.5 \text{ m} * 24 \text{ h} = 19.68 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$$

La producción bruta comunitaria es el área bajo la curva corregida y
el valor de la respiración constante durante el día

$$p = \text{cálculo del área} = 15.38 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \text{ d}$$

Para obtener el valor de P

$$P = 15.38 * 1.5 \text{ m} = 23.07 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$$

Para obtener los valores de PN y P/R

$$PN = P - R = 3.39 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \text{ d}$$

$$\text{Indice de P/R} = P / R = 1.17$$