



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
SECRETARÍA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA
ZOOPLANCTÓNICA FRENTE A LA
DESEMBOCADURA DEL SISTEMA
GRIJALVA-USUMACINTA UTILIZANDO
UN PERFILADOR ACÚSTICO DOPPLER

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

P R E S E N T A

ANA LIGIA LARA LÓPEZ

287246



DIR. DR. DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN



FACULTAD DE CIENCIAS
SECRETARÍA ESCOLAR



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
"Determinación de la biomasa zooplanctónica frente a la desembocadura del
Sistema Grijalva - Usumacinta utilizando un Perfilador Acústico Doppler"

realizado por Ana Ligia Lara López

con número de cuenta 9653306-8, pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario Dr. David Alberto Salas de León

Propietario Dr. Xavier Chiappa Carrara

Propietario Dr. Samuel Gómez Aguirre

Suplente Dra. María Adela Monreal Gómez

Suplente Dra. Marina Sánchez Ramírez

[Handwritten signature]

Adela Monreal

Marina Sánchez R

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología

Edna María Suárez Díaz

Dra. Edna María Suárez Díaz



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

*A ti mamá por haberme apoyado
tantas veces en todas mis locuras
y sobre todo en esta última. Sin ti
este trabajo no sería realidad.
Te amo.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente al Dr. David Alberto Salas de León por dirigir esta tesis, por su gran apoyo y paciencia, pero sobre todo por su amistad, gracias David. A la Dra. Adela Monreal Gómez por las valiosas aportaciones que hizo a este trabajo y porque junto con lo integrantes del Laboratorio de Oceanografía Física, hicieron muy agradable el tiempo que duró este estudio.

Al Dr. César Flores Coto por haberme proporcionado el material necesario para llevar a cabo parte importante de este trabajo y a todos los integrantes del Laboratorio de Zooplancton por brindarme su amistad.

A los doctores Xavier Chiapa Carrara, Samuel Gómez Aguirre y Marina Sánchez Ramírez, por sus comentarios al revisar esta tesis.

Al Capitán de Altura del B/O "Justo Sierra", Leobardo Ríos Mora por haberme ayudado en la calibración del ADCP.

A Javier Aldeco por su orientación y valiosa crítica para el trabajo y a todos mis compañeros y amigos de laboratorio y del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO	11
ANTECEDENTES	12
<i>La Zona de Estudio y sus Características</i>	12
<i>Características de la Distribución del Zooplancton</i>	14
<i>Estudios de Zooplancton en el Sur del Golfo de México</i>	17
<i>Consideraciones sobre la Hidroacústica y los ADCP</i>	20
<i>Estudios de la Biomasa de Zooplancton usando ADCP</i>	25
MÉTODO Y MATERIALES	30
<i>Selección de los Períodos y Estaciones de Muestreo</i>	31
<i>Escala Temporal</i>	31
<i>Escala Espacial</i>	32
<i>Trabajo de Campo</i>	34
<i>Consideraciones para la Correlación de la Biomasa Zooplanctónica y la IAA</i>	39
<i>Procesamiento de Datos</i>	40
RESULTADOS.....	42
<i>Resultados de la Regresión Lineal entre la IAA y la Biomasa Zooplanctónica en Peso Seco</i>	48
DISCUSIÓN.....	49
CONCLUSIONES	54
REFERENCIAS	55

RESUMEN

Se presentan resultados del uso de un ADCP de 75 kHz para estimar la distribución de la biomasa zooplanctónica frente a la desembocadura del Sistema Grijalva – Usumacinta. La intensidad acústica absoluta es correlacionada con datos de biomasa en peso seco obtenidos de muestras de redes de apertura – cierre de 500 μm . La correlación lineal da un valor de r^2 de 0.65. Los diagramas de distribución vertical de intensidad acústica absoluta y de biomasa zooplanctónica coinciden y revelan las regiones de máximos y mínimos de concentración de zooplancton, los cuales se distribuyen sobre la termoclina y la piconclina. Por el rápido muestreo que se hace con los perfiladores acústicos de corrientes basados en el principio Doppler estos equipos muestran un gran potencial en el estudio del zooplancton.

INTRODUCCIÓN

En un principio gran parte del trabajo sobre el plancton estaba dedicado a la identificación y clasificación de estos organismos, hoy en día se da gran importancia al estudio del plancton como entidad dinámica. En general la investigación sobre organismos zooplanctónicos, en últimas fechas, tiene como objetivo principal el descubrir de qué modo los cambios en los diversos factores ambientales afectan al zooplancton y qué cambios cabe esperar en los organismos como consecuencia de las variaciones en dichos factores (Wickstead, 1979). Por otro lado, hay investigaciones que se han centrado en el estudio de las interacciones biológicas que se dan entre los organismos que conforman el zooplancton y de estos con organismos de otras comunidades.

Para el estudio de una comunidad, conocer la estructura trófica que ésta posee es de gran importancia, ya que con base en ella podemos entender las interacciones que se dan entre los organismos; como es la competencia, la depredación, el forrajeo, y es posible también analizar la forma en que dicha comunidad se autorregula, pues sabemos que esta estructura está condicionada por la disposición de recursos y relaciones intra e interespecíficas (Currie *et al.*, 1984). La estructura trófica que poseen los ambientes acuáticos consta de 4 a 5 niveles, y el nivel más cercano a la base es ocupado por el zooplancton, lo cual nos da una idea de la importancia que tienen dichos organismos en la transferencia de energía (Pimm, 1982; Lalli y Parsons, 1993).

Ecológicamente, se tiene que la fracción más abundante del zooplancton está compuesta por consumidores primarios, constituida por crustáceos principalmente. Por otro lado, tenemos a los consumidores secundarios, dentro de los que destacan cnidarios, ctenóforos y quetognatos, aunque también se encuentran algunas especies de copépodos. El zooplancton se encuentra muy próximo a la base de la pirámide trófica, por lo cual juega un papel fundamental en el balance del ecosistema, ya que representa el elemento que asimila,

convierte y transfiere la energía obtenida de la materia vegetal, a niveles tróficos superiores.

El plancton se organiza como una respuesta de la vida a la evolución del ecosistema, los principales mecanismos de forzamiento de su comportamiento, son físicos y corresponden fundamentalmente a la naturaleza del fluido en el cual se encuentra inmerso (Margalef, 1989).

El zooplancton se encuentra integrado por una gran variedad de organismos de casi todos los taxa de la escala zoológica, vive suspendido en el agua y es transportado pasivamente por los movimientos de las masas de agua (Gasca *et al.*, 1996). Cabe mencionar que la mayor parte de los organismos zooplanctónicos son nadadores activos; sin embargo, sus movimientos no los llevan demasiado lejos comparado con la distancia que recorren al ser transportados por las corrientes. Debido a esta característica de su comportamiento, el zooplancton es influenciado por los diversos procesos físicos alterando su patrón de distribución y biomasa tanto en escala temporal como espacial, en función de las condiciones hidrodinámicas de su entorno. De aquí que la hidrodinámica sea primordial en el estudio de la estructura de los ecosistemas acuáticos, ya que las interacciones físico-biológicas en el océano controlan la transferencia de energía del medio físico a los organismos.

El zooplancton no solo consume fitoplancton sino también bacterias, consume un poco más del 50 % de la producción bacteriana en las zonas costeras, por lo que si se considera el total de la comunidad zooplanctónica bacteriófaga, esta tendrá una mayor importancia como depredador de bacterias que los protistas (Hwang y Healt, 1999). Así mismo se pueden encontrar omnívoros, carnívoros y detritívoros, lo que le da ecológicamente hablando una gran importancia.

Estos organismos son muy importantes tanto desde el punto de vista ecológico como económico, pues hay especies de importancia comercial que se alimentan de ellos, y como

está conformado por organismos de casi todas las taxas, incluye larvas de organismos de importancia comercial.

Entre los organismos zooplanctónicos más abundantes se encuentran los copépodos, abarcando entre el 50 y el 80 % del total del zooplancton en zonas neríticas y costeras (Gasca *et al.* 1996), y los eufásidos que pueden formar grandes acumulaciones que representan biomásas muy elevadas.

Existen varias clasificaciones que se han utilizado para estudiar los diversos grupos de zooplancton en función de su forma, tamaño, afinidad ecológica, distribución, ciclo de vida, etc.

Uno de los aspectos de mayor importancia en el estudio del zooplancton es la cuantificación e identificación de los organismos que lo conforman. Existen diversas técnicas que se han desarrollado para su estudio y obtención; tomando en consideración el tamaño variable de estos organismos que va desde unas cuantas micras hasta varios centímetros (Tabla I). Su tamaño no solo posee relevancia por el papel trófico que representa sino porque hace posible seleccionar fácilmente la fracción del zooplancton que se desea estudiar. El método de recolección variará según las necesidades de estudio.

Tabla I
Clasificación del zooplancton por tamaño según Dussart (1965)

Tipo	Tamaño	Organismos que lo componen
Nanoplancton	< 0.002 mm	Algunos protozoarios
Ultramicrozooplancton	De 0.002 a 0.02 mm	Algunos radiolarios y tintínidos
Microzooplancton	De 0.02 a 0.2 mm	Foraminíferos, algunos radiolarios y tintínidos
Mesozoplancton	De 0.2 a 2 mm	Miscidáceos, quetognatos, copépodos y ostrácodos
Megazoplancton	> 2 mm	Ictioplancton, eufásidos, sifonóforos, larvas de decápodos, hidromedusas

En general, la talla del zooplancton puede establecerse entre los 0.5 y 5 mm; sin embargo, existen seres planctónicos de tamaño excepcional, como algunos sifonóforos cuyas colonias llegan a medir más de 30 m (Gasca *et al.*, 1996).

Los métodos utilizados para la obtención de material planctónico del medio natural, así como su manejo posterior, son aspectos importantes que deben considerarse para poder llevar a cabo los objetivos que se plantean en una investigación.

Las redes constituyen el método más utilizado para efectuar estudios de tipo cualitativo y cuantitativo del zooplancton. Con base en la apertura de malla se determina el intervalo de talla de los organismos que se recolectarán. Si a la red se le adiciona un contador de flujo entonces es posible determinar la densidad de organismos por unidad de volumen. No obstante, se presentan inconvenientes como variaciones en la eficiencia de filtración, evasión de los organismos a las redes, pérdida de organismos a través de la red, obstrucción de la red (Schack, 1973; UNESCO, 1979; Omori, 1984; Heath y Dunn, 1990) así como el alto costo, el pequeño número de muestras que se toman, y el requerimiento de tiempo para obtener y procesar dichas muestras.

En el estudio del material zooplanctónico se utilizan análisis de tipo cuantitativo y cualitativo. Los métodos cuantitativos se refieren, en primera instancia, a la medición de su biomasa. La determinación de ésta es de gran importancia pues nos brinda información sobre la productividad de la zona y representa un factor descriptivo, ya que las diferencias entre biomasa y productividad pueden asociarse a factores tales como gradiente de salinidad, temperatura, y fotosíntesis entre otras. Su determinación en el zooplancton incluye componentes no vivos (seston), así como el contenido de agua y estructuras esqueléticas. De esta forma se pueden obtener datos relevantes sobre el comportamiento del sistema. Los métodos clásicos para determinar la biomasa zooplanctónica son cuatro: gravimétricos, volumétricos, químicos y bioquímicos (Gasca *et al.*, 1996; Omori, 1984).

El método gravimétrico determina el peso o masa de los organismos, éste puede ser el peso húmedo, el peso seco o el peso seco libre de cenizas. El primero proporciona una medida total de los organismos vivos, incluyendo sus constituyentes orgánicos e inorgánicos, así

como el contenido normal de agua de los organismos. El peso seco permite estimar la cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, una vez eliminado el contenido de agua, y el peso seco libre de cenizas proporciona una medida del contenido orgánico libre de agua y materiales inorgánicos como la ceniza (Omori, 1984).

El método volumétrico consiste en la determinación del volumen desplazado por el plancton, incluyendo el agua ambiental y estructural (Omori, 1984).

En cuanto a los métodos químicos y bioquímicos se hace un análisis para determinar el contenido de carbono, nitrógeno y fósforo, y la cantidad y proporción de componentes bioquímicos como proteínas, lípidos, carbohidratos, ARN y ATP (Omori, 1984).

Dentro de los métodos de determinación de biomasa, el gravimétrico y el volumétrico siguen siempre el principio de eliminar el agua intersticial. Aun así, la cantidad de agua que puede quedar entre los organismos del zooplancton es considerable, sobre todo en la determinación de peso húmedo, con lo cual la biomasa es sobrestimada hasta en dos ordenes de magnitud (Zhou *et al.*, 1994). El método químico nos puede arrojar datos mucho más precisos, sin embargo, es muy costoso, destruye la muestra completamente, es muy específico y se necesita material fresco para su análisis (Gasca *et al.*, 1996; Omori, 1984; Boltovskoy, 1981).

Con el desarrollo de la tecnología, se ha visto facilitada la obtención de la biomasa de zooplancton y ha permitido disminuir el costo de este tipo de estudio, proporcionando datos mucho más finos y precisos, con la ventaja de tratarse de métodos no invasivos; es decir que no penetran la columna de agua al momento del muestreo y por lo tanto no interfiere en las actividades y comportamiento de los organismos, como es el caso de la hidroacústica, la cual ha abierto una amplia gama de posibilidades en el estudio de los océanos (Gómez *et al.*, 1998).

Los avances tecnológicos han generado nueva información que ha contribuido sustancialmente al entendimiento de ciertos procesos oceánicos a diferentes escalas. Uno de

estos avances se ha dado en el dominio de la hidroacústica, el cual se basa en la percepción remota mediante el sonido, debido a la propiedad que éste tiene de viajar grandes distancias con poca atenuación en el océano.

La era moderna de la hidroacústica inicia en 1960 cuando se comienzan a emplear los ecointegradores para la detección de bancos de peces. Es en la década de los 80's que los estudios comienzan a centrarse en el reflejo del sonido en volúmenes de agua que contenían muchos organismos y en la correlación del eco con la biomasa del zooplancton (Galarza, 1998; Boltovskoy, 1981; Gómez *et al.*, 1998).

La ventaja que ofrece la hidroacústica en el estudio del zooplancton, con respecto a los métodos tradicionales, radican en que se puede obtener una rápida y amplia cobertura de la zona, proporcionando datos más finos, completos y precisos en lo que a distribución y abundancia en biomasa se refiere. Es además, una buena herramienta para dirigir otros métodos de muestreo invasivos y tiene la capacidad de producir datos del tamaño de estos organismos.

Para extraer datos del tamaño de los organismos que conforman el zooplancton, se han seguido dos caminos independientes; los dos son de tipo multifrecuencial, el primero es un transductor que emite ondas a varias frecuencias y el segundo es un sistema que consta de dos haces o transductores donde cada uno emite a frecuencia diferente, en ambos casos se tiene la capacidad de estimar la distribución del tamaño de los organismos por unidad de volumen (Green y Wiebe, 1990).

Desde hace más de dos décadas hay métodos hidroacústicos que se han desarrollado para el estudio de la abundancia y patrones de distribución del zooplancton, pero su uso en un principio no fue muy difundido ya que la reducción y análisis de datos era complejo, haciendo a éste método costoso y difícil de llevar a cabo, además de que los datos acústicos que se obtenían de ellos excluían análisis dinámicos de interés ecológico. (Flagg y Smith, 1989).

El desarrollo de perfiladores acústicos basados en el efecto Doppler abreviado como ADCP por sus siglas en inglés (Acoustic Doppler Current Profiler), ha abierto nuevas formas de utilizar la acústica en ecología marina, pues es capaz de estudiar al zooplancton de una forma diferente, al generar datos biológicos y físicos simultáneamente, dándonos una buena estimación de su abundancia y de como interactúan las estructuras físicas y biológicas (Flagg y Smith, 1989). Cabe señalar que sistemas como las redes MOCNESS, que consisten en un mecanismo de arrastre con 9 redes rectangulares de 1*1.4m que abren y cierran por medio de comandos enviados desde la superficie y que poseen sensores ambientales para medir temperatura, conductividad y profundidad, así como para medir el flujo de agua y el ángulo de la red con respecto a la vertical (Wiebe *et al.*, 1976) también proporcionan datos físicos y biológicos de forma simultanea, pero sus muestreos son puntuales en la columna de agua, mientras que los perfiladores acústicos pueden muestrear en forma casi continua hasta 550 m de profundidad.

Los perfiladores acústicos o ADCP, fueron diseñados para medir la velocidad de las corrientes. Para llevar esto a cabo usan el cambio de frecuencia del sonido reflejado entre una fuente en movimiento y otra receptora, la cual también puede estar en movimiento. El predecesor de estos perfiladores fue un instrumento que medía la velocidad de los barcos en el agua, el primer ADCP comercial que se vendió fue producido en la década de los 70's (RD Instruments, 1992).

Debido a que la gran mayoría de las partículas que rebotan la señal acústica son organismos zooplanctónicos, este instrumento puede ser utilizado para la obtención de información sobre el zooplancton, aunque también se tiene gran cantidad de material suspendido y burbujas de aire que puede generar interferencia en los datos. Este aparato hace posible medir la biomasa del zooplancton, aunque para ello se requiere medir la variación de la intensidad de la señal y no de la frecuencia. Esta propiedad se descubrió al observar que la señal del eco recibida por el perfilador acústico poseía información de la densidad de las partículas en la columna de agua cuando a principios del siglo se registraban reverberaciones suaves que se desplazaban verticalmente (Dietz, 1962).

Al tratar de cuantificar el zooplancton por medio de este método se tienen problemas dentro de los que destacan el ruido producido por las burbujas de gas disueltas en el agua, partículas orgánicas (seston) y sedimento de tamaño pequeño. Para eliminar este problema hay que definir la frecuencia a utilizar, pues de ella depende el tamaño de los objetos que se puedan detectar. Como parte del zooplancton es de tamaño mayor al de las burbujas de gas, seston y sedimento fino, el utilizar una frecuencia baja facilita eliminar ese ruido, por otro lado un perfilador de baja frecuencia posee un poder de penetración mayor, es decir a mayor longitud de onda mayor profundidad alcanzará el haz de sonido, permitiendo perfilar a grandes profundidades.

Para estudios de tipo biológico el ADCP es un instrumento con gran potencial ya que además de la ventaja de su gran área de muestreo en comparación con la de una red de plancton, produce registros casi continuos, puede dejarse funcionando por largo tiempo sin necesidad de una vigilancia constante, toma datos a intervalos de tiempo muy pequeños, y es posible obtener series de tiempo de concentración de zooplancton por tiempos largos, sin perturbar la columna de agua que se está estudiando; además proporciona datos en la vertical dándonos la posibilidad de observar las migraciones que efectúan estos organismos en la columna de agua (Flagg y Smith, 1989), y en caso de ser un ADCP multifrecuencial, es posible obtener datos de biomasa zooplanctónica por grupos de especies ya que cada grupo de acuerdo a su constitución, refleja mejor cierto tipo de frecuencia, por lo que en comparación a la cantidad de datos de biomasa y la fineza de estos, un ADCP es mucho mejor que una red. La combinación de ambas técnicas nos puede brindar un estudio considerablemente más completo del zooplancton, ya que un ADCP no nos da información de la composición específica del zooplancton.

Como el ADCP no fue diseñado para medir el reflejo acústico presenta el problema de la calibración, que en un principio es bastante elaborado y difícil, pero debido al éxito que ha tenido para estudios de tipo biológico se han popularizado fórmulas desarrolladas por los fabricantes de ADCP para poder obtener la intensidad del eco, que para este tipo de estudios es de primordial importancia.

Los perfiladores acústicos pueden ser muy útiles también en estudios preliminares de abundancia, ya que dan una rápida y fina cobertura del área. Por lo general estos métodos no son convenientes para la identificación de los organismos, pero la información puede ser eficiente para diseñar un muestreo más efectivo para el estudio del zooplancton a una escala más fina en una región más pequeña. Por otro lado, se pueden utilizar para medir las características de las distribuciones en parches, típica de estos organismos, lo cual es sumamente difícil de hacer con redes.

OBJETIVO

El objetivo principal de este estudio es la determinación de la distribución vertical de la biomasa zooplanctónica frente al sistema Grijalva – Usumacinta a partir de información obtenida con un Perfilador Acústico Doppler (ADCP) de RDI de 75 kHz durante la campaña oceanográfica PROMEBIO – I.

ANTECEDENTES

La Zona de Estudio y sus Características

El Golfo de México se encuentra situado en la zona subtropical entre las latitudes 18° y 30° N y las longitudes 82° y 98° W, es una cuenca semicerrada que se comunica con el Océano Atlántico y con el Mar Caribe, por el Estrecho de Florida y por el Canal de Yucatán, la batimetría varía considerablemente y alcanza profundidades cercanas a los 4,000 m en su región central.

Sobre el Golfo se presentan intercambios de aire frío y seco que provienen del continente y las masas de aire propias del Golfo de origen marítimo y tropical, lo que provoca fuertes frontogénesis, comúnmente llamadas "Nortes", principalmente entre los meses de octubre a abril (Tápanes y González-Coya, 1980).

La Bahía de Campeche está situada al sur del Golfo de México; su dinámica está influenciada por procesos físicos a diferentes escalas como son: un giro ciclónico que se extiende a lo largo de la bahía, la corriente que entra al golfo por el Canal de Yucatán, así como los ríos y las mareas que son importantes cerca de la costa (Monreal Gómez y Salas de León, 1990). Las lluvias en verano, dan lugar a un gran aporte de agua dulce proveniente de los ríos, principalmente de la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta dicha descarga corresponde a un tercio del aporte total de los ríos en México (Carranza Edwards *et al.*, 1993), estas descargas influyen las aguas costeras disminuyendo su salinidad y modificando su temperatura.

Dentro de la bahía, la circulación es ciclónica (Nowlin, 1972; Vázquez de la Cerda, 1979; Monreal Gómez y Salas de León, 1990) dominada por un giro que se forma en la parte Este y que se desplaza hacia el Oeste. La circulación es también influenciada por una corriente proveniente del Banco de Campeche, formada por aguas de la corriente y la surgencia de Yucatán (Hernández Téllez *et al.*, 1993).

La parte de la bahía situada frente a la Laguna de Términos, es una zona altamente dinámica condicionada por los factores propios de la zona costera la cual es influenciada por los aportes de aguas epicontinentales. Las características de la porción oceánica se hacen presentes en la región nerítica. Las masas de agua costera producen turbulencias y mezcla (Villalobos y Zamora, 1975).

La intensidad de la marea en el Golfo de México es en general débil, y en la Bahía de Campeche la periodicidad es predominantemente diurna (Rossov, 1967; Grijalva, 1971; Salas de León, 1986).

La distribución de la temperatura en la superficie oscila entre 24 y 29 °C, sin diferencia profunda en cuanto a cambios estacionales (Villalobos y Zamora, 1975; Padilla Pilotze *et al.*, 1986), existen también aportes de aguas continentales por lo general más frías, estableciendo gradientes térmicos verticales en la zona costera (Villalobos y Zamora, 1975; Czitrom Bauss *et al.*, 1986).

Las variaciones espacio - temporales en los valores de salinidad son más intensas que las de la temperatura. Aguas de bajas salinidades llegan al Banco de Campeche en primavera y verano desde el Noreste con la Corriente de Yucatán (Bogdanov, 1969). La zona costera adyacente a la Laguna de Términos, es una región de alta salinidad originada por la evaporación (Lizárraga Partida y Sainz-Hernández, 1984; Czitrom Bauss *et al.*, 1986; Padilla Pilotze *et al.*, 1986).

En la zona nerítica, debido al aporte de los ríos, se forman frentes halinos a lo largo de la cual los desechos flotantes pueden acumularse, así como nutrientes importantes para el fitoplancton. Uno de estos frentes es el que se forma en la desembocadura del sistema Grijalva - Usumacinta que presenta una variación anual. Este tipo de estructuras pueden inducir una circulación que converge en el frente (Czitrom Bauss *et al.*, 1986).

La descarga de agua dulce al mar por los ríos da lugar a la formación de frentes costeros que pueden ser observados en primavera (Czitrom Bauss *et al.*, 1986), en otoño (Monreal Gómez *et al.*, 1992) e incluso después del paso de un norte (Alatorre Mendieta *et al.*, 1988).

La intensidad de la corriente costera produce un desplazamiento del frente del sistema Grijalva – Usumacinta, el cual es coherente con el desplazamiento del giro ciclónico de la Bahía de Campeche (Monreal Gómez *et al.*, 1992).

Características de la Distribución del Zooplancton

El zooplancton no se encuentra repartido de manera uniforme en el océano, de hecho establece un gradiente que va de las zonas costeras hacia océano abierto, teniendo una mayor riqueza y abundancia en las zonas costeras (Gasca *et al.*, 1996).

Las diferentes masas de agua juegan un papel importante en la distribución del zooplancton, si la diferencia entre los factores que separan las masas de agua son de poca importancia gran parte del zooplancton podrá pasar libremente de una masa de agua a otra, pero el efecto acumulativo de las pequeñas barreras puede dar lugar al establecimiento de un límite en su distribución. En casos extremos, las comunidades del zooplancton se dividen muy marcadamente, esto va a depender de la tolerancia al estrés fisiológico que estos organismos puedan tener. Por estas razones existen especies que pueden indicarnos por su sola presencia, las condiciones físicas prevalecientes en una zona (Wickstead, 1979).

Se ha visto que la distribución horizontal del zooplancton tiende a concentrarse formando parches de diferentes dimensiones que se distribuyen azarosamente, teniendo que estos parches se dan tanto a pequeña como a gran escala (Parsons *et al.*, 1984). Las principales causas de la distribución en parche de los organismos marinos son físicas o biológicas, en el caso del zooplancton se puede considerar a los factores físicos como los principales mecanismos de forzamiento que rigen esta distribución. Dentro de estos procesos físicos destacan la advección y la turbulencia. La diferencia en la productividad biológica asociada a procesos costeros también puede generar asociaciones en parches, pero mucho más

marcados comparado con las zonas oceánicas. Estas diferencias en la productividad costera se puede deber a varios factores que incluyen mareas, descarga de ríos, y otros procesos físicos de influencia no costera (Platt *et al.*, 1972), ya que la entrada de energía mecánica (energía auxiliar) por medio de estos procesos aumenta la posibilidad de almacenar la energía solar (primaria) por parte del fitoplancton y de su transmisión a los heterótrofos. Se ha propuesto que los florecimientos de fitoplancton generalmente ocurren en zonas de transición espacio-temporales de condiciones inestables a condiciones estables, como frentes generados por marea, nutriclinas, interfaces hielo-agua, sedimento-agua, agua dulce-agua marina, etc. (Legendre *et al.*, 1986). Estos florecimientos y la alta productividad traen consigo como consecuencia, el aumento en la abundancia de heterótrofos, dentro de los que se encuentra el zooplancton.

Los frentes o ergoclinas, son interfaces acuáticas que involucran gradientes en donde los procesos físicos establecen estructuras que acrecientan la productividad biológica (Legendre *et al.*, 1986). En la desembocadura del sistema Grijalva - Usumacinta se presenta la formación de una ergoclina por la existencia de un frente halino derivado del encuentro de agua de los ríos con la del mar, como consecuencia se tiene una alta productividad relacionada con esta zona.

El zooplancton dentro de su comportamiento presenta migraciones verticales diarias; para explicar este comportamiento se han planteado varias hipótesis dentro de las que destacan la huida de los depredadores, búsqueda de alimento y ahorro de energía metabólica (Forward, 1988). Se ha observado que en aguas someras la migración de los organismos depredadores y de las presas potenciales tienden a ser inversas, es decir que las presas permanecen en el fondo en las noches mientras sus depredadores suben a buscar alimento (Gasca *et al.*, 1996).

La hipótesis que ha tenido mayor aceptación con respecto a las migraciones, es la de la evasión a la depredación, pues a pesar de que en la superficie encuentran alimento y una temperatura más adecuada esta región es más peligrosa por la exposición a los depredadores. La oscuridad les brinda protección al impedir que sean vistos fácilmente, por

lo que el cambio en su distribución en la vertical la realizan cada 12 horas y el patrón más común que se presenta es el ascenso al anochecer y el descenso al amanecer, aunque hay especies que presentan una migración inversa (Heywood, 1996).

Wiebe (1992) observó que los organismos que se encontraban a una profundidad intermedia migraban más rápido que los que estaban en alguno de los extremos, por otro lado observó que los eufásidos se mueven en conjunto mientras que los copéodos se mueven en grupos de diferentes proporciones. Se plantea que el mecanismo que controla esta migración es principalmente la luz. La presión de depredación, el alimento y la temperatura son factores importantes que también influyen en este comportamiento, pero en menor grado (Han y Straskraba, 1998).

Existe evidencia empírica en donde se muestra que el zooplancton tiene mayor tendencia a migrar cuando hay abundancia de alimento. Cuando el alimento es escaso pone más atención a la búsqueda de alimento que a la evasión de sus depredadores, ya que su estado fisiológico obedece a la disponibilidad de alimento y la temperatura, por lo que su capacidad de percibir la presión de los depredadores se ve regulada por estos factores. Las bajas temperaturas por su parte pueden limitar la intensidad de la migración del zooplancton al tratar de evitarlas (Han y Straskraba, 1998).

Para que el zooplancton pueda mantenerse a flote en la superficie con un gasto mínimo de energía, éste desarrolla una serie de modificaciones físicas o fisiológicas; presenta extensiones en su cuerpo que aumentan su superficie, un ejemplo de esto es la presencia de cerdas, glóbulos de aceite o algún otro fluido menos denso para regular su flotación. Se ha visto que la naturaleza gelatinosa de algunos organismos como lo son medusas, ctenóforos, sifonóforos, etc. tiene función de flotación en donde el mecanismo implicado es una alteración del equilibrio iónico de los fluidos corporales (Wickstead, 1979).

Si bien se dice que el zooplancton se forma por nadadores débiles, esto en el sentido vertical es muy discutible ya que son capaces de desplazarse grandes distancias en comparación con su tamaño. Por ejemplo eufásidos de gran tamaño son capaces de nadar

hasta 400 m h^{-1} y los copépodos de tamaño mediano hasta 60 m h^{-1} . El descenso lo realizan con mayor rapidez ya que éste es favorecido por la fuerza de gravedad de la Tierra (Wickstead, 1979).

Estudios de Zooplancton en el Sur del Golfo de México

Los estudios que se han realizado en la zona del Sur del Golfo de México han sido enfocados en su gran mayoría al ictioplancton y han estado a cargo principalmente, del Laboratorio de Zooplancton del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. La asociación ictioplanctónica la dividen en cuatro grupos bien definidos de acuerdo a la zona de su localización: costeros, neríticos y oceánicos el cuarto grupo es definido como de transición (Sanvicente Añorve *et al.*, 1998).

Según estudios realizados por Sanvicente Añorve (1990) existe una variación anual en la biomasa zooplanctónica en el suroeste del Golfo de México presentando 2 núcleos de alta concentración en invierno ($> 50 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$) localizados en la zona nerítica decreciendo conforme se aproxima a la Laguna de Términos. En primavera registraron los valores más altos en aguas neríticas entre los 18 y 36 m y los más bajos al borde de la plataforma. Para el verano se encontraron los valores más altos de biomasa en aguas costeras en las isobatas de los 20 y 60 m y frente a los ríos, dentro de los que destaca la región de influencia del Grijalva – Usumacinta; hacia el borde continental y zona oceánica, los valores de biomasa mostraron una tendencia a la disminución. Estos datos fueron obtenidos en los años 1983, 1984 y 1987.

En los trabajos reportados por Collins Pérez (1990) y Huitrón Flores (1992) realizados en otoño y verano respectivamente, se registran para el otoño las mayores biomásas en áreas con profundidades entre 20 y 60m y ligadas a zonas con influencia fluvio lagunar, mientras que en áreas con profundidades de 100m o más la biomasa disminuye considerablemente, obteniendo la misma tendencia para el verano pero en valores mayores puesto que la descarga fluvial se incrementa en esta época del año.

Dentro de los principales grupos zooplanctónicos observados en el sur del Golfo de México podemos encontrar copépodos calanoides, que casi sin excepción son el grupo más dominante, quetognatos, eufásidos, carideos, misidáceos, hidromedusas, salpas, pterópodos, sifonóforos, sergéstidos y larvas de crustáceos bentónicos, entre otros (Boltovskoy, 1981).

En cuanto a la distribución zooplanctónica en el sur del Golfo de México, se ha visto que el giro ciclónico de la Bahía de Campeche modula su distribución espacio - temporal a mesoescala (Salas de León *et al.*, 1998). El ictioplancton, que forma parte de la comunidad de zooplancton, se subdivide, según la zona fisiográfica en la que se encuentre en: nerítico, oceánico y fluvio lagunar (Sanvicente-Añorve *et al.*, 1998), comprendiendo especies pertenecientes a aproximadamente 90 familias y 16 ordenes (Flores Coto *et al.*, 1989).

Se observa que los valores más altos de distribución del zooplancton e ictioplancton están en la zona nerítica y los más bajos en el talud continental y la zona oceánica. En la provincia nerítica las concentraciones mayores se encuentran a proximidad del sistema Grijalva - Usumacinta, como resultado del aporte de nutrientes de estos ríos (Flores Coto, 1989; Sanvicente Añorve, 1990; Salas de León *et al.*, 1996).

La distribución de las comunidades ictioplanctónicas está marcada por el régimen de circulación general y por el costero. La formación de un giro en la parte sureste da lugar a una ruptura en la comunidad nerítica y una distribución más homogénea de la comunidad de influencia fluvio - lagunar que se extiende desde el Sistema Grijalva - Usumacinta hasta el Este de la Laguna de Términos (Flores Coto, 1989; Sanvicente Añorve, 1990; Salas de León *et al.*, 1996).

Dentro de su variación estacional se ha visto que en primavera debido a la corriente que entra por el canal de Yucatán y se extiende hacia el oeste de la bahía, existe un desplazamiento de los frentes ribereños hacia el oeste y como consecuencia se tienen núcleos de mayor abundancia zooplanctónica e ictioplanctónica con el mismo patrón de distribución (Flores Coto, 1989; Sanvicente Añorve, 1990; Salas de León *et al.*, 1996).

En verano se observan las abundancias más altas frente a la desembocadura del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta, ya que durante esta época la corriente costera se vuelve débil y el caudal de los ríos aumenta debido a las lluvias, formando un frente muy intenso y con gran aporte de nutrientes (Flores Coto, 1989; Sanvicente Añorve, 1990; Salas de León *et al.*, 1996).

Durante el invierno el caudal es débil, sin embargo, el frente halino persiste, es en esta estación en donde se encuentra la menor abundancia de zooplancton en el frente. La abundancia más grande se localiza en los bordes del giro ciclónico que comienza a formarse en verano, pero que para esta época se encuentra ya bien desarrollado y ubicado hacia el Oeste de la bahía (Flores Coto, 1989; Sanvicente Añorve, 1990; Salas de León *et al.*, 1996).

Dentro de los movimientos y migraciones que presenta el zooplancton, los más evidentes son las migraciones verticales que realizan a diario la mayor parte de las especies que lo forman (Heywood, 1996). Son muy pocos los estudios efectuados en cuanto a la distribución y abundancia del zooplancton en la vertical, en el sur del Golfo de México, y mucho menos los trabajos relativos a sus migraciones.

Sin duda la luz juega el papel más importante en esta migración tanto temporal como espacial, pero también influyen cambios en la salinidad, la temperatura así como la búsqueda de alimento, evasión a la depredación y ventajas metabólicas que están relacionadas con ciclos endógenos rítmicos de actividad (Hutchison, 1967; Longhurst, 1976; Forward, 1988).

Las agregaciones del zooplancton en sentido horizontal presenta patrones de distribución que varían en diversos grados de organización, dependiendo de la especie, estadios de desarrollo, ciclos de vida, lo mismo que en su respuesta a las condiciones ambientales y en sus interacciones biológicas con otros organismos (Wiebe *et al.*, 1985).

Los procesos advectivos juegan un papel importante en el acoplamiento de las comunidades zooplanctónicas, puesto que las migraciones verticales del zooplancton responden a los cambios en la distribución de las variables hidrológicas y al régimen de corrientes provocados por estos procesos advectivos (Wiebe *et al.*, 1985). La variabilidad del zooplancton, en función de los intensos gradientes que se presentan en los frentes, fue puesta de manifiesto en el trabajo desarrollado por Barange (2000).

Una fuerte variabilidad de las condiciones ambientales corresponde siempre a una producción media elevada, la cual a escalas temporales pequeñas es también fuertemente variable, mientras que las regiones más constantes en el océano son por lo general oligotróficas (Margalef, 1989). Las regiones de influencia de la descarga de los ríos en el océano es una muestra de dicha variabilidad, como es el caso de la desembocadura del Sistema Grijalva -- Usumacinta, por lo que es de esperar fuertes diferencias en la distribución vertical del zooplancton en dicha región.

Una serie de estudios de la distribución vertical de zooplancton cerca de la boca del sistema Grijalva -- Usumacinta, se están desarrollando en el ICMYL de la UNAM, en los cuales se reportan altas biomásas en verano, que corresponde a la época de lluvias (comunicación personal, integrantes del Laboratorio de Ictioplancton del ICMYL, 2000). Flores Coto *et al.* (2000) reportan estudios de 24 horas efectuados en un punto en el borde del talud continental, frente al Grijalva -- Usumacinta, en donde las larvas de peces fueron más abundantes en otoño que en primavera y de igual forma en las capturas realizadas de noche que las obtenidas de día, infiriendo un comportamiento estacional y un patrón de migraciones verticales.

Consideraciones sobre la Hidroacústica y los ADCP

El agua es un medio muy eficiente para la transmisión del sonido. El sonido en el mar viaja mucho más rápido y tiene menor atenuación que otros tipos de radiaciones. Esta característica ha tenido como consecuencia el fuerte desarrollo de la hidroacústica.

La propagación del sonido en un medio depende principalmente de su elasticidad o capacidad de regresar a su estado original y la densidad del medio, por lo que en el océano dependerá también de la salinidad, la temperatura y la presión, que son las variables que determinan la densidad. En ausencia de absorción o difracción por materiales o sustancias inmersas en el agua, el sonido se atenúa inversamente proporcional al cuadrado de su distancia, esto es, tendrá un decaimiento exponencial con la distancia.

Las ondas de sonido de menor frecuencia tienen mayor penetración y longitudes de onda mayor, mientras que las de frecuencia alta tienen menor penetración y longitudes de onda corta (Tabla II, Fig. 1). En el sonido la amplitud de las ondas corresponde a un proceso de expansión y contracción de las distancias intermoleculares, por ser una onda de presión, este proceso está directamente relacionado con la frecuencia y la longitud de onda con que se produzca. No obstante se pueden producir ondas de distintas frecuencias y longitudes que las mostrada en la Tabla II y la Fig. 1, pero eso requiere una mayor inversión en términos de energía. Por ejemplo para generar ondas cortas o de alta frecuencia y alta penetración se necesita mucha energía y solo se hace para estudios muy especializados por instituciones que cuentan con grandes embarcaciones, ya que los generadores de energía para este tipo de equipos son voluminosos.

Debido a la eficiente forma en que se propaga el sonido en el mar éste se usa para estudiar el océano y los organismos que en él se encuentran.

Tabla II
Frecuencias y longitudes de onda del sonido en el océano
Modificado de Sverdrup (1970)

Frecuencia (Hertz) de Onda de Sonido	Longitud de la Onda de sonido (m) S = 34.85 ⁰ / ₁₀₀ , Temperatura Potencial = 20 °C Presión = 1 atm, Velocidad del Sonido = 1,518.5 m s ⁻¹
10	151.8
100	15.18
1000	1.52
10,000	0.152
40,000	0.038
75,000	0.018
100,000	0.0152

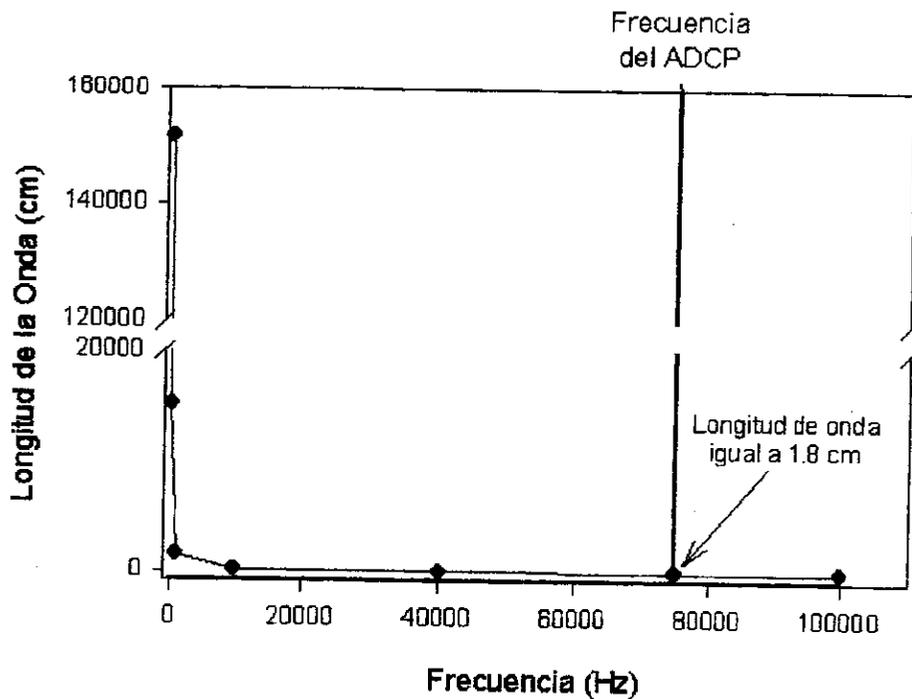


Figura 1.- Variación de la longitud de las ondas del sonido como función de la frecuencia cuando las condiciones del agua son: salinidad 34.85 ‰, temperatura potencial 20° C, presión 1 atmósfera y velocidad del sonido 1518.5 m s⁻¹.

La ecosonda, por ejemplo, se utiliza para conocer la profundidad del océano y ésta se obtiene de una manera muy sencilla ya que la velocidad del sonido por el tiempo que tarda la onda en ir y regresar nos da el espacio recorrido, así la mitad de la distancia calculada será la profundidad a la que se encuentra el fondo. En zonas profundas se usan ondas de baja frecuencia por su gran penetración, pero para conocer los detalles del fondo se usan ondas de alta frecuencia que solo es posible utilizarlas en regiones de poca profundidad.

El sonar es una ecosonda que tiene la capacidad de mover sus sensores o transductores para dirigir la onda acústica, así podemos direccionar el haz para detectar objetos que se encuentren en el agua, este tipo de equipos es frecuentemente usado en prospección pesquera para localizar cardúmenes y decidir su pesca.

En años recientes, mediados de los 70's, se desarrollaron equipos para medir las corrientes oceánicas usando la propiedad del corrimiento aparente de la frecuencia en las ondas de sonido cuando el emisor y/o el receptor se encuentran en movimiento, llamado principio Doppler; estos equipos son conocidos como perfiladores acústicos Doppler o ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Los ADCP mandan un haz de sonido el cual es reflejado por partículas pequeñas que en promedio se mueven con la velocidad de la corriente, y estas partículas en el océano son en su mayoría plancton.

Existen perfiladores acústicos de corrientes (ADCP) de varios tipos, algunos están diseñados para dejarse anclados, otros para instalarse en los medidores de salinidad, temperatura y presión (o CTD) y otros para fijarse en los buques.

El ADCP utilizado durante este estudio es uno especialmente diseñado para fijarse en un barco y consta de 4 transductores los cuales tienen una inclinación en sus vértices de 30° con respecto a la vertical (Fig. 2), cuenta con un solo amplificador de poder y 4 canales de recepción.

El número de transductores que posee dicho instrumento permite que cada uno de estos mida una componente de la velocidad por separado; si uno de los transductores apunta en una dirección y el otro en dirección perpendicular, entonces el ADCP va a ser capaz de medir la velocidad de la corriente en el plano formado por la proyección de los transductores. Si otro de los transductores mide la velocidad vertical, entonces se tienen las componentes de la velocidad en las tres dimensiones. El cuarto transductor que tiene el equipo mide también la velocidad vertical, finalmente se tienen dos componentes horizontales y dos mediciones en la vertical, esto último es utilizado para calibrar y corregir las mediciones, ya que un error en la velocidad se detecta en una diferencia de las dos mediciones verticales (RD Instruments, 1989).

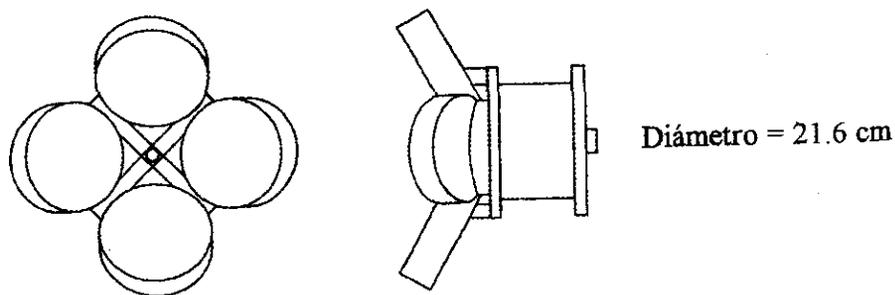


Figura 2. Esquema de transductores de ADCP - RDI de 75 kHz para fijar en buques.

Como su nombre lo indica el ADCP usa el efecto Doppler al transmitir el sonido a una frecuencia dada, y registrarlo de regreso en los ecos provocados por la dispersión del sonido en el agua. El efecto Doppler es un cambio aparente en la frecuencia del sonido transmitido, provocado por el movimiento relativo de la fuente y/o del observador. Entonces, si se tiene la frecuencia y se sabe cuanto cambia, o el corrimiento de frecuencia, se puede calcular la velocidad a la cual se desplazan las partículas (Galarza Macías, 1998).

La dispersión del sonido en el agua es ocasionada por las partículas que se encuentran en ella, que en su mayoría son plancton, de éste, es el zooplancton quien regresa el sonido al ADCP, dependiendo de la longitud de onda utilizada. El zooplancton en promedio se mueve a la misma velocidad que el agua (Wickstead, 1979; RD Instruments, 1992), entonces al enviar un haz de sonido, si las partículas se dirigen hacia el ADCP se percibe una frecuencia más alta en el reflejo, y más baja si las partículas se alejan, por lo que el efecto Doppler solo funciona cuando la fuente y/o el receptor se acercan o se alejan uno de otro.

El ADCP fue diseñado en un principio, para medir la velocidad de las corrientes por lo que, al no ser diseñado para medir la intensidad acústica absoluta del reflejo o eco, presenta el problema de la calibración. Esta intensidad acústica absoluta o *IAA* es la que interesa en este estudio pues si suponemos que cada eco es el producto del reflejo de la onda en cada organismo zooplanctónico, entonces al contar el total de ecos tendremos el número de organismos o bien al medir la diferencia entre la intensidad de la onda emitida y la reflejada sabremos cuanto de ella ha sido "rebotada" por los organismos.

Es posible comparar el reflejo acústico del ADCP contra una ecosonda bien calibrada, en la cual se presenta una relación lineal, por ejemplo con el canal de 200 kHz de una SIMRAD EK500 (Griffiths y Díaz, 1996); o con mediciones de biomasa obtenidas con redes (Flagg y Smith, 1989), para esto último se requiere efectuar correlaciones entre la biomasa obtenidas por redes y la intensidad del eco de la onda de sonido.

Estudios de la Biomasa de Zooplancton Usando ADCP

La importancia de las relaciones entre el zooplancton y las condiciones físicas del océano es un tema que atrajo la atención de los oceanógrafos, biólogos y físicos desde principios de los 90's, a tal grado que se desarrollaron proyectos nacionales e internacionales como GLOBEC por los Estados Unidos de América y los proyectos que tienen lugar en el Mar Báltico por la Comunidad Económica Europea BALTEX (Meywerk, 1998). Mason y Pinel-Alloul (1998) mencionan que la heterogeneidad en la distribución espacial del zooplancton es atribuida a la variación de los factores abióticos y bióticos, así como a sus interacciones en cascada intra e interespecíficas. Por otro lado, quedaba la duda de la existencia de la heterogeneidad en la distribución espacial del zooplancton ¿es ésta real o producto de los métodos de muestreo? A partir de mediados de los '90 los grandes proyectos o programas de investigación se enfocaron preferentemente a estudiar la distribución del zooplancton y su relación con las variables abióticas, esto trajo implícitamente la necesidad de desarrollar metodologías de muestreo más eficaces como el ADCP.

Los resultados de las investigaciones de los grandes programas o proyectos han proporcionado información para entender de manera general pero suficiente, las propiedades estructurales y las relaciones funcionales entre el zooplancton y su entorno (Calbet *et al.*, 1996), lo que ha permitido proponer modelos del comportamiento del sistema en un contexto ecológico. Estos modelos incluyen nitrato, amonio, fitoplancton, zooplancton, detritus y una aproximación física muy sencilla (Loukos *et al.*, 1997). Conforme la información que se proporciona es mejor, los modelos son más completos.

En estudios de distribución, abundancia y biomasa del zooplancton de distintos lugares, el ADCP se ha utilizado como herramienta principal y junto con redes de arrastre ha servido para la realización de correlaciones entre las biomasa obtenidas por éstas y las intensidades que arroja el ADCP. Dentro de los trabajos realizados con estos fines se encuentran los de Flagg y Smith (1989), Lyons *et al.* (1994), Zimmerman y Biggs (1999) y Galarza – Macías (1998) entre otros, en los cuales la correlación realizada entre la biomasa obtenida a partir de muestras de redes y la intensidad del reflejo de los ADCP mostró buenos resultados (Fig. 3). Un trabajo de especial importancia fue el que realizaron Flagg y Smith (1989) debido a que su objetivo principal fue evaluar la utilidad del ADCP para estimar la abundancia zooplanctónica y una de las principales aportaciones es que dio a conocer que los organismos del zooplancton y principalmente los gelatinosos poseen diferentes propiedades acústicas, donde estos últimos no contribuyen al reflejo del sonido sino por el contrario, lo absorben, fenómeno que se presentó de igual forma en el trabajo de Galarza – Macías (1998), y que puede ser resuelto al aplicar la fórmula de transformación de peso húmedo a peso seco propuesto por Wiebe (1988).

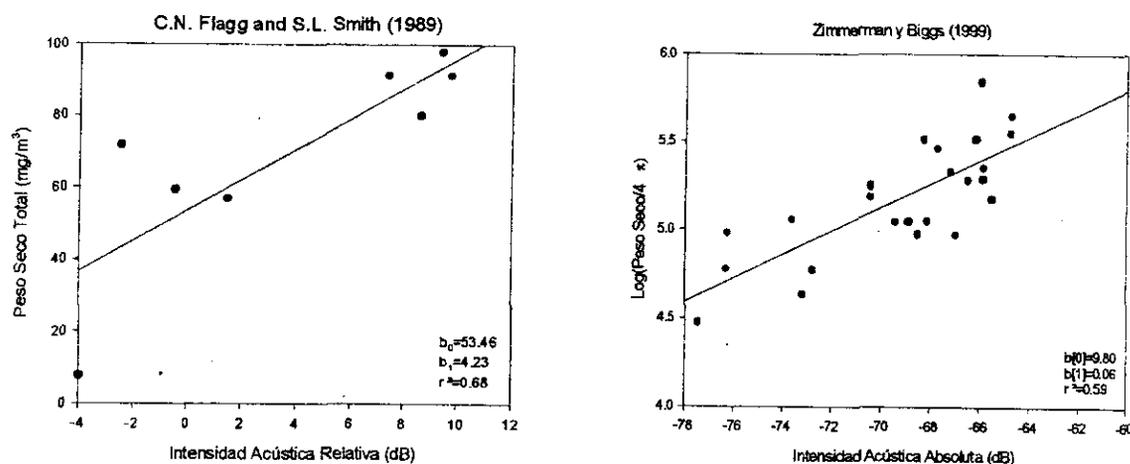


Figura 3. Correlaciones entre la biomasa zooplanctónica y la intensidad acústica de los ADCP obtenidas por Flagg y Smith (1989) y Zimmerman y Biggs (1999).

En el Golfo de México, Zimmerman y Biggs (1999) comparan la productividad de los giros ciclónicos y anticiclónicos que se dan en esta zona al obtener las diferencias en biomasa del zooplancton de estos giros utilizando un ADCP.

Dos de los aspectos importantes en el estudio y muestreo del zooplancton que se deben considerar son la estimación en abundancia de especies y el entendimiento de las interacciones entre el zooplancton y su entorno, la rápida integración vertical y horizontal de su distribución puede aumentar la precisión en los estudios zooplanctónicos. La capacidad del ADCP para integrar estas escalas ha permitido la observación incluso de las migraciones verticales realizadas por estos organismos, como lo muestra el trabajo de Smith *et al.* (1989). Es por ello que el ADCP se está convirtiendo en una de las herramientas básicas para la oceanografía biológica ya que da una gran posibilidad de estudiar el zooplancton en relación con su ambiente.

Se han realizado trabajos en los cuales combinan no solo el ADCP con redes de plancton sino también con VPR's (Video Plankton Recorder) para poder identificar las especies que se encuentran en las diferentes profundidades ya que la estructura física de la columna de agua puede causar una redistribución de la biota por la mezcla, o puede aislar comunidades biológicas de masas de agua vecinas (Gallager *et al.*, 1996).

Por otro lado, se tienen estudios de las propiedades acústicas de los diferentes organismos. Para el reconocimiento acústico del plancton se requiere como primer paso establecer la diferencia entre lo que es y lo que no es zooplancton, y como el segundo la caracterización de las tallas de los organismos, lo que nos permite evaluar su volumen y abundancia. Para tallas pequeñas y frecuencias bajas, el blanco es visto como un punto difuso, los detalles de su forma no tienen importancia, mientras que si la talla es muy grande con respecto a la longitud de onda, la frecuencia no tiene importancia, el eco depende esencialmente de la impedancia acústica del reflector y de la incidencia. A los organismos se les divide dependiendo de su constitución en pseudofluidos como los eufásidos, de superficie dura como los gasterópodos, y que contienen gas como los sifonóforos, estos organismos se pueden separar utilizando un ADCP multifrecuencial, el cual permite hacer la separación de dichos organismos tanto por tallas como por constitución (Lebourges - Dhaussy, 1996).

La Tabla III muestra la relación entre las longitudes de onda y los organismos por tallas que son susceptibles de observarse mediante hidroacústica.

Tabla III

Distribución de organismos por tallas y longitudes de onda, y frecuencias que se usan para su observación (modificado de Medwin y Clay, 1997).

Frecuencia para una resonancia radial como equivalencia a una burbuja de aire en la superficie	Animal L=radio cilíndrico equivalente al cuerpo de un pez A _{es} = radio esférico equivalente a zooplancton pequeño
?	Mamíferos y peces grandes L>2m
15-60 Hz 150-600 Hz	Necton grande 200-20 cm
150-600 Hz 1500-6000 Hz	Necton pequeño 20 cm Macrozooplancton 2 cm
1.5-6 kHz 15-60 kHz	Zooplancton, larvas de pez, anfipodos y eufásidos de 20-2 mm
> 60	Copépodos 2-0.2 mm

Otro aspecto importante del ADCP es que puede programarse para dividir el perfil de velocidades y de intensidades de reflejo en segmentos uniformes, denominados celdas, a través de la columna de agua, o sea medir a diferentes profundidades con un solo haz emitido (Fig. 4). Esto es muy útil ya que es similar a si se tomarán muestras de zooplancton a profundidades regulares y uniformes. Al poder programar las capas se puede hacer que coincidan con las profundidades de muestreo de las redes estratificadas, o programar los arrastres con redes a las profundidades establecidas en el ADCP.

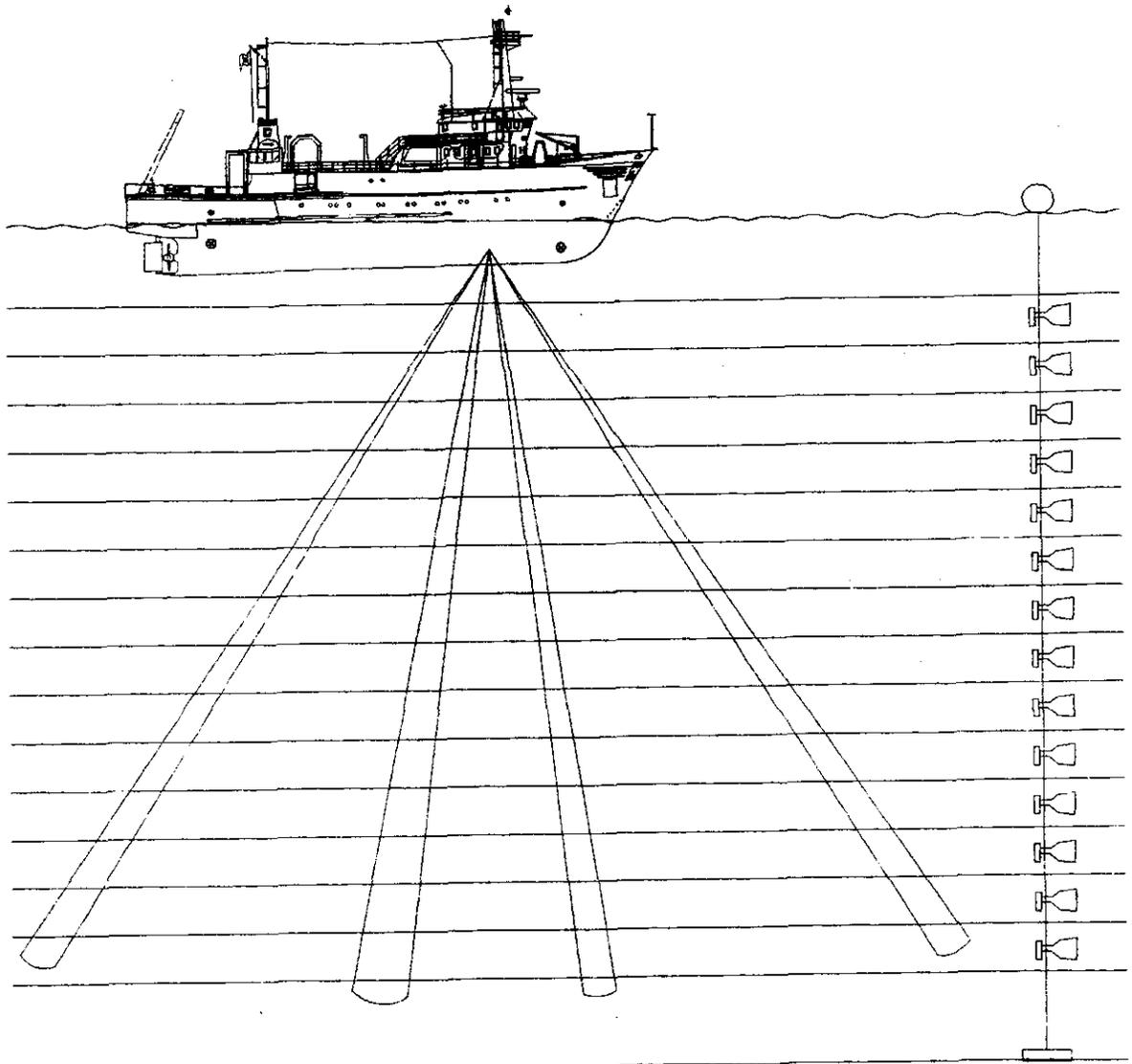


Figura 4. Esquema de la distribución vertical del sondeo de un ADCP, las líneas representan los límites de las capas sobre los que promedia el equipo (Modificado de RD Instrument, 1991)

Por el gran número de posibilidades que nos proporciona un ADCP para el estudio del zooplancton, este equipo es en la actualidad, uno de los aparatos más exitosos en estudios oceanográficos.

MATERIAL y MÉTODOS

Para poder cumplir el objetivo establecido en este estudio, lo primero es tener una idea clara de las escalas dentro de las cuales se producen los eventos que se quieren estudiar. En este caso se tienen dos grandes partes, una que corresponde a las características del sonido y su propagación en el mar y la otra que corresponde a la biomasa zooplanctónica; los organismos que la componen, y la forma en que se distribuye en las regiones costeras influenciadas por las descargas de los ríos. La figura 5 muestra una distribución de los procesos oceánicos en tiempo y espacio; la región en gris es la ventana espectral que delimita las escalas características de los eventos que interesan en el presente estudio.

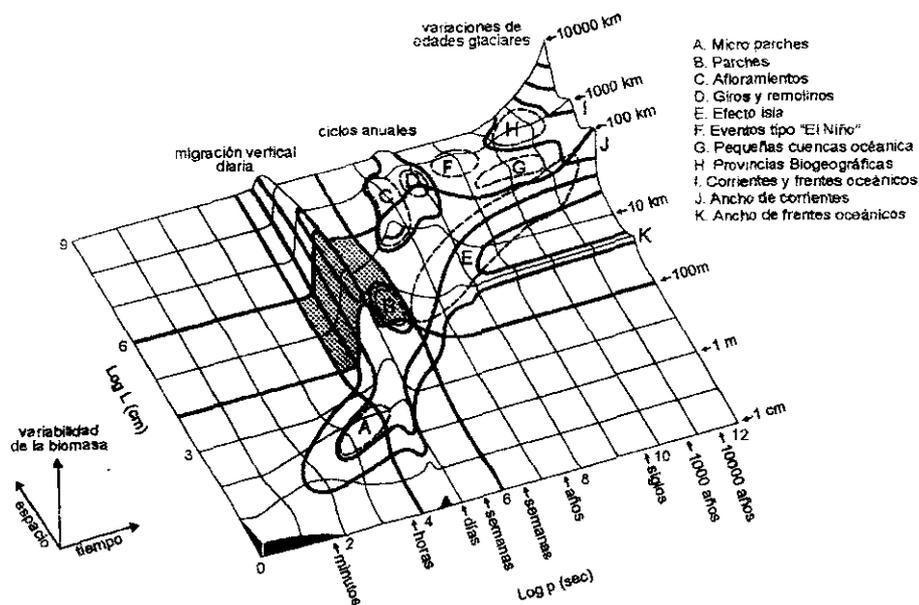


Figura 5. Escalas espacio - temporales de algunos procesos oceánicos. Las bandas grises corresponden a las ventanas espectrales dentro de las cuales ocurren los procesos en los que estamos interesados en este estudio (Modificado de Haury *et al.*, 1978).

En este trabajo se correlacionan las biomazas obtenidas con redes con la magnitud de la intensidad acústica absoluta (IAA), ya que una cosa importante es poder comparar los

el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM se tiene gran experiencia y estudios de determinación de biomasa zooplanctónica usando redes. Entonces de acuerdo con los objetivos de este estudio lo que nos interesa es la distribución vertical del zooplancton estimada por un ADCP.

Selección de los Periodos y Estaciones de Muestreo

Escala Temporal

El objetivo principal del proyecto de investigación dentro del cual se desarrolló este trabajo es el estudio de los procesos oceánicos y los mecanismos de producción biológica en el sur del Golfo de México. Las principales variaciones a mesoescala de la producción biológica en el sur del Golfo de México, ocurren a escala temporal estacional. De aquí que se requiera medir parámetros biológicos y físicos a las escalas de los procesos oceánicos y de las descargas de los ríos que puedan influir en la producción biológica en periodos estacionales.

El sur del Golfo de México presenta una variación estacional regida por Nortes, estiaje y lluvias (Yañes Arancibia *et al.*, 1999). De acuerdo al teorema de Nyquist, el cual dice que si se quiere obtener información de un evento que tiene una escala característica E_c , la cual puede ser el periodo (T) o la longitud de onda (λ), entonces se deben realizar mediciones con una frecuencia no menor a f , donde f estará dada por (Papoulis, 1978):

$$f = \frac{\pi}{E_c}$$

Entonces con muestreos estacionales es posible detectar procesos cuya variabilidad o escala temporal característica mínima sea de un año, pero no variaciones estacionales. Sin embargo, como las fluctuaciones más importantes en las descargas de los ríos son intra

anuales, como se puede ver de la figura 6; la resolución necesaria para ver los efectos de los principales mecanismos de forzamiento en el zooplancton frente al Grijalva – Usumacinta, sería también intra anual.

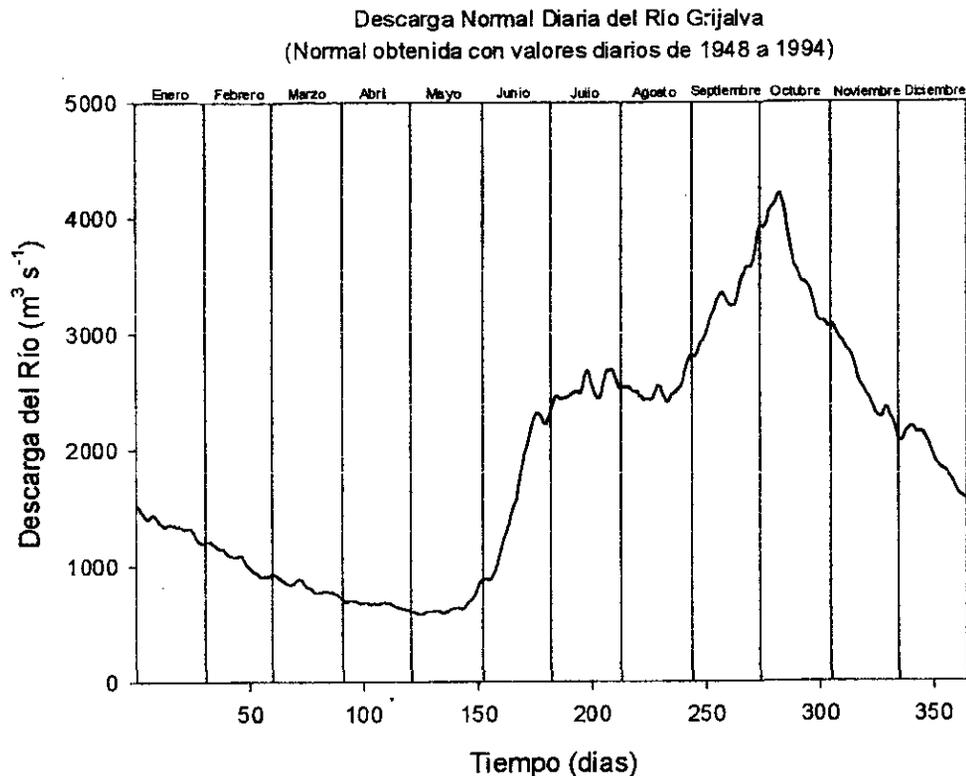


Figura 6. Descarga normal del sistema de ríos Grijalva – Usumacinta, elaborada a partir de información de la base de datos SIAS de la Comisión Nacional del Agua (Salas de León y Monreal Gómez comunicación personal, 2000)

Escala Espacial

Las variaciones horizontales de la pluma del Sistema Grijalva – Usumacinta van desde algunos kilómetros en temporada de estiaje, hasta más de 100 km en lluvias. Por otro lado, a partir de los trabajos de Salas de León *et al.* (1998), Flores Coto (1989) y Sanvicente Añorve (1990) se puede ver que los gradientes de distribución de la abundancia zooplanctónica e ictioplanctónica tienen efecto significativo en forma perpendicular a la

costa hasta una distancia que va de los 30 a los 150 km y paralelo a la línea de costa entre 75 y 200 km (Tabla IV).

Tabla IV

Distancias hasta las cuales son observables los gradientes de la abundancia ictioplanctónica y zooplanctónica frente a las desembocaduras de los ríos Grijalva – Usumacinta.

Dirección con respecto a la línea de costa	Estación (Tiempo)	Distancia (Km) de la influencia de la pluma del río en el gradiente de abundancia ictioplanctónica	Distancia (Km) de la influencia de la pluma del río en el gradiente de abundancia zooplanctónica
Perpendicular	Primavera	50	30
Perpendicular	Verano	75	150
Perpendicular	Invierno	73	98
Paralelo	Primavera	178	153
Paralelo	Verano	75	140
Paralelo	Invierno	100	200

Distancias calculadas a partir de las figuras de Salas de León *et al.* (1998)

De acuerdo con el teorema de Nyquist la resolución de las estaciones de muestreo debe estar limitada a una distancia entre estación y estación de 9 km en dirección perpendicular a la costa y de 23 km en dirección paralela.

Por lo anterior se estableció una red de estaciones con una resolución perpendicular a la costa de 5 km para las dos primeras y de 16 km a partir de la tercera y paralelo a la línea de costa, la distancia entre estación y estación fue de 17 km.

En la vertical la falta de información y el hecho de que la estructura del plancton es muy variable así como su tendencia a formar parches le añade un grado de dificultad mayor para establecer una metodología de muestreo basada en el teorema del Nyquist. Por lo anterior se estableció un diseño de muestreo vertical basado en la profundidad de la termoclina y en

la profundidad total de la estación de muestreo. El ADCP se programó para que tomara datos en celdas de 8 m.

Trabajo de Campo

Los datos analizados en el presente estudio se obtuvieron en la campaña oceanográfica PROMEBIO I efectuado del 5 al 21 de agosto de 1999, a bordo del B/O Justo Sierra de la Universidad Nacional Autónoma de México. De acuerdo con los intereses del proyecto se muestreo principalmente en dos zonas, en el Cañón de Campeche, y en la zona costera frente a la desembocadura de los ríos Grijalva – Usumacinta (Fig. 7). En el caso de este estudio la región costera frente a la desembocadura del Grijalva – Usumacinta (Fig. 8) permite comparar los resultados que se obtengan con información generada por otros investigadores, como por ejemplo con los numerosos trabajos publicados por el grupo del Laboratorio de Zooplancton del ICMyL.

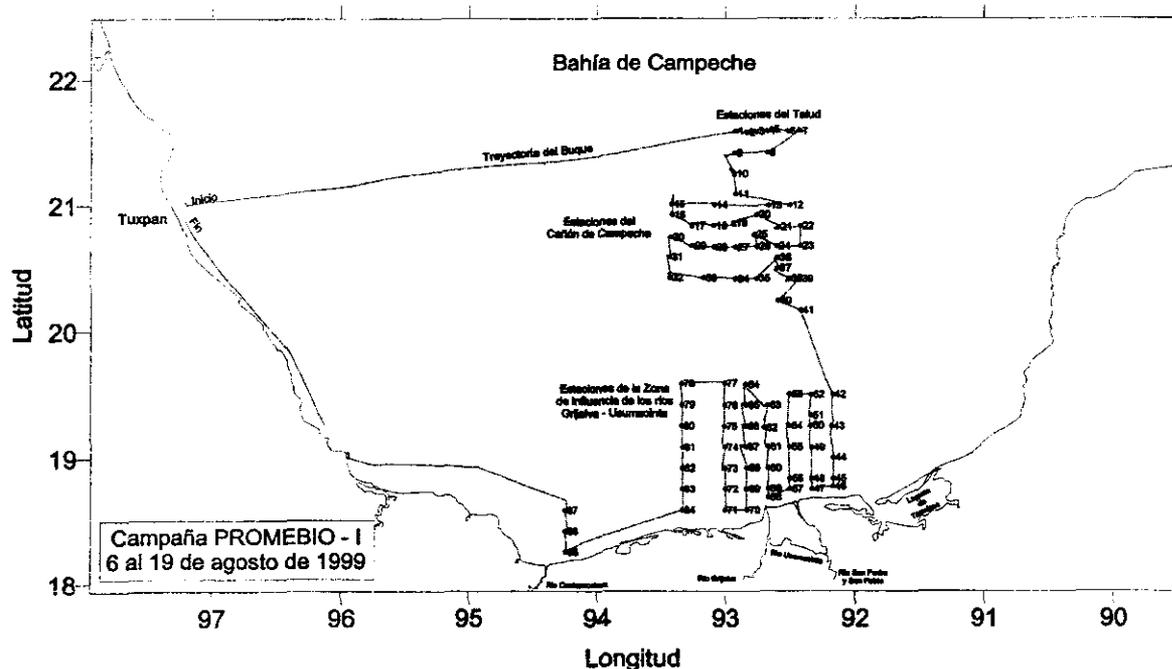


Figura 7. Distribución de estaciones y trayectoria del buque durante la campaña oceanográfica PROMEBIO I.

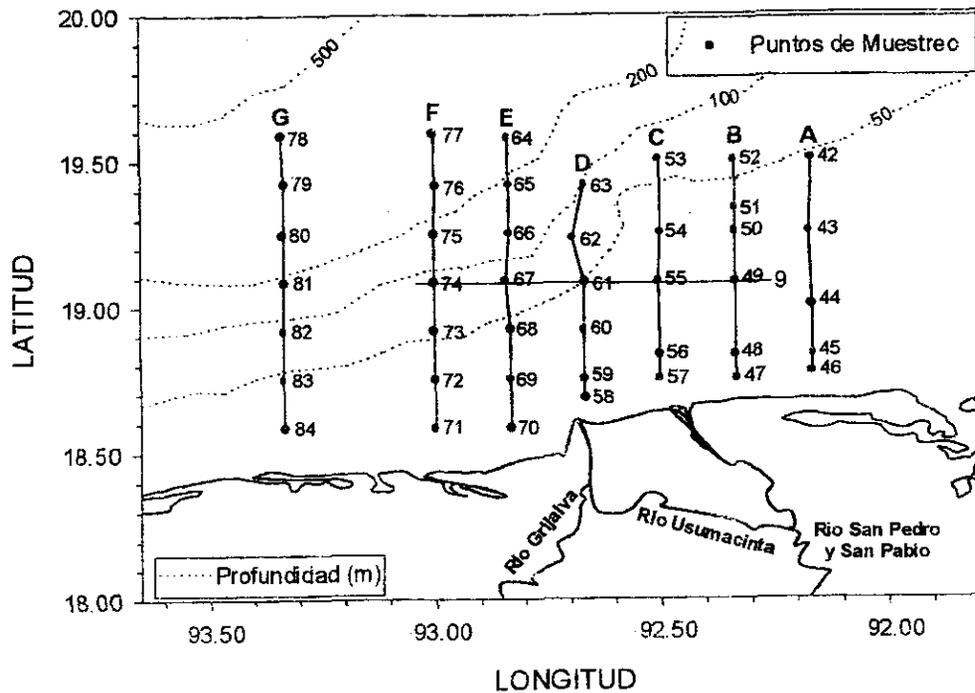


Figura 8. Distribución de estaciones en la región de influencia de la descarga de los ríos Grijalva - Usumacinta. Las líneas corresponden a la trayectoria del buque, los números a las estaciones, las letras a los transectos.

Para este estudio se utilizó un ADCP modelo RD - VM0075 Mark II, diseñado para instalación fija en buques, con una frecuencia de la onda de sonido de 75 kHz, fabricado por la compañía RDI, el cual emite 0.7 pulsos por segundo con 16 m de longitud. Los 8 primeros metros son considerados de incertidumbre por el ruido que genera el buque; por lo que los datos son confiables después de los primeros 8 m. El equipo es capaz de perfilar o medir hasta 665 m de profundidad para la velocidad, con un mínimo de 8 celdas, un máximo de 128 celdas y una resolución de 0.25 cm s^{-1} en la velocidad. Para la intensidad del eco posee una precisión de $\pm 8 \text{ dB}$ antes de calibrarse y de $\pm 3 \text{ dB}$ al calibrarse, una incertidumbre estadística de $\pm 5 \text{ dB}$ y es capaz de perfilar hasta 550 m de profundidad, con un rango dinámico de 80 dB y una resolución típica de 0.45 dB (dependiendo de la temperatura del sistema).

El ADCP se calibró siguiendo los lineamientos impuestos por la compañía RDI (Technical Manual, 1992, Apéndice V) para poder eliminar el nivel de ruido térmico del aparato, posteriormente se programó para que los pulsos emitidos cada 0.7 de segundo se promediaran cada cinco minutos. Debido a la capacidad que tiene de dividir la columna de agua en capas de profundidad determinada, se fijaron las celdas superficiales a 4 y 8 y las restantes cada 16 m, dependiendo de la profundidad del fondo. Finalmente los datos fueron almacenados junto con la posición y la temperatura promedio de los transductores y del agua circundante a ellos.

Para efectuar la transformación de la amplitud del eco de la señal acústica en intensidad acústica absoluta (IAA) se aplicó la siguiente fórmula (proporcionada por RD Instruments, 1992):

$$IAA = 10 \text{ Log}_{10} \left\{ \frac{4.47 \times 10^{-20} K_2 K_s (T_x + 273) \left(10^{\frac{K_s(E-E_r)}{10}} - 1 \right) R^2}{c^2 P K_1 10^{\frac{-2\alpha R}{10}}} \right\}$$

Donde:

K_2 = factor de ruido del sistema

K_s = constante del sistema

T_x = temperatura real del transductor (°C)

K_c = factor de conversión para la intensidad del eco (dB)

E = intensidad del eco (conteo)

E_r = ruido térmico electrónico de referencia del instrumento durante la calibración (conteo)

R = direccionamiento del rango a la profundidad de la celda

c = velocidad del sonido en cada celda (m s^{-1})

P = longitud del pulso transmitido

K_I = potencia real del sonido en el agua

α = coeficiente de absorción del sonido por el agua (dB m^{-1})

La primera implicación de esta ecuación es que al darle una calibración cuidadosa al ADCP y una atención particular a la medición del nivel de ruido de cada uno de los emisores, se pueden dar estimaciones de la intensidad acústica absoluta con un 95 % de confianza ($\pm 1.5\text{dB}$).

Dos componentes son fundamentales para la calibración de la *IAA*, por un lado está la estimación del nivel de ruido en las cabezas de los transductores del instrumento, y por otro la determinación de la atenuación de la señal acústica con la profundidad en la columna de agua. La compañía RDI, que es el fabricante del equipo utilizado, da una explicación clara del nivel de ruido existente, ya que la *IAA* es sensible a la temperatura de los componentes electrónicos y de los transductores del ADCP.

Como se puede ver de la formula anterior, para la obtención de la *IAA* es necesario tomar en cuenta como varía la velocidad del sonido en la vertical conforme cambia la densidad. RDI proporciona un valor de la velocidad del sonido, el cual es un promedio de los valores obtenidos en aguas templadas, que es la región en donde se encuentra la compañía (California, EUA). Para tener mejores resultados de *IAA* se usaron valores de la velocidad del sonido para las zonas costeras del sur del Golfo de México (Tabla V y Fig. 9), siguiendo el trabajo realizado por Ruíz Rentería (1978).

Tabla V

Velocidades de propagación del sonido
en aguas costeras del sur del Golfo de México

Profundidad (m)	Velocidad del sonido (m s^{-1})
100	1534.4
200	1526.2
300	1520.0
400	1514.9
500	1510.8
600	1507.4
700	1504.3
800	1502.4
900	1500.8
1000	1499.5
1100	1498.4
1200	1497.4
1300	1496.8
1400	1496.3
1500	1496.1

Según Ruíz Rentería (1978)

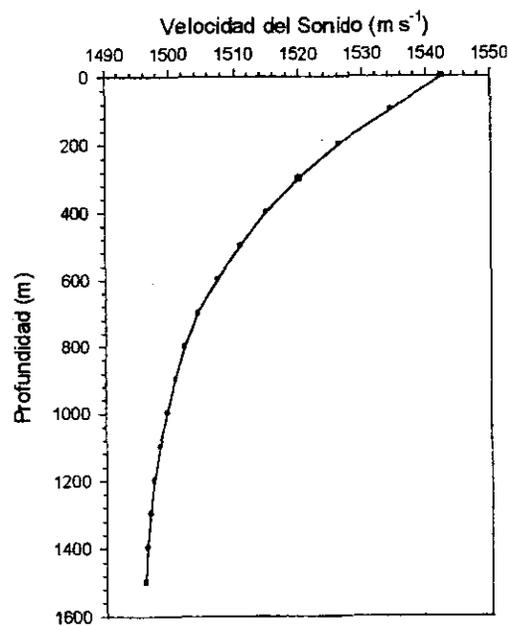


Figura 9. Variación de la velocidad promedio del sonido en el sur del golfo de México. Gráfica construida a partir de los datos de Ruíz Rentería (1978).

Para las muestras de zooplancton se utilizaron redes de apertura cierre estratificadas de 500 μm . Las muestras se tomaron a profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 y 80 metros, con un tiempo de muestreo de 15 minutos en arrastres circulares. A todas las redes se les colocó un contador de flujo para determinar la cantidad de agua filtrada y de esta forma poder obtener la densidad de organismos recolectados por unidad de volumen. Los organismos se fijaron con formaldehído al 4 % y 24 horas después se trasvasaron a alcohol al 70 % para preservarlas.

Hay cuatro formas de medir la biomasa que son utilizadas comúnmente; peso húmedo, volumen desplazado, peso seco y cantidad de contenido de carbón. Dentro de estas cuatro medidas, la determinación del peso seco y cantidad de contenido de carbón, son las más precisas pues eliminan el agua intersticial (Wiebe, 1988), pero implican la destrucción de las muestras inutilizándolas para realizar otro tipo de análisis. Por lo general dichas muestras son usadas también para otro tipo de estudios como lo son: composición específica, abundancia por especie, entre otras. Es por ello que Wiebe (1988) desarrolló un intenso trabajo para encontrar la relación que existe entre el peso húmedo, el volumen desplazado, el peso seco y la cantidad de carbón, y determinaron fórmulas que permiten hacer conversiones entre las variables antes mencionadas.

Para la conversión de peso húmedo a seco se utilizó la formula de Wiebe (1988):

$$\text{Log}_{10}(DW) = 2.107 + 1.053\text{Log}_{10}(WW)$$

donde DW es el peso seco y WW el peso húmedo

Consideraciones para la Correlación de la Biomasa Zooplanctónica y la IAA

Flagg y Smith (1989) muestran que la correlación entre el peso húmedo y la IAA es negativa, cuando lo que debe esperarse de una correlación entre la biomasa zooplanctónica y la IAA es que sea positiva, es decir, a mayor biomasa mayor intensidad del eco, la

correlación entre el peso seco y la *IAA* es positiva, lo que muestra que el agua que queda en los organismos hace que su biomasa sea alterada y se introduzca un error. Con el uso de la ecuación de transformación de peso húmedo a peso seco podemos evitar los problemas mencionados, como lo muestra el trabajo de Zimmerman y Biggs (1999), en el cual la correlación da positiva, como es de esperar.

Procesamiento de datos

Durante la campaña oceanográfica se utilizó el programa DAS, programa de adquisición de datos de la compañía RDI, el cual permite controlar las funciones del ADCP y los parámetros del perfil. Para el procesamiento de datos del ADCP, se convirtieron los archivos de binario a ASCII con el programa LOGDAS (versión 1.03) para crear una matriz que contuviera los datos de AGC (Acoustic Gain Control), tiempo, profundidad, número de celda y otros parámetros de control. Esta matriz se procesó en un programa escrito en Turbo Basic para obtener la intensidad acústica absoluta usando la fórmula descrita en las consideraciones teóricas, finalmente se generaron matrices que contenían *IAA*, latitud, longitud, hora, fecha y profundidad.

Se obtuvo el peso húmedo de 35 muestras pertenecientes a 10 estaciones, de las cuales se utilizaron únicamente 20 para realizar la regresión con la *IAA*, esto debido a la eliminación de todas las muestras superficiales por recomendación de la compañía RD Instruments, la cual señala que para ADCP del tipo del utilizado en este trabajo se deben eliminar los datos de los primeros 8 m, por las razones mencionadas anteriormente. Posteriormente se calculó la biomasa en peso seco para cada una de las muestras usando la ecuación de Wiebe (1988).

Una vez limpios, transformados y arreglados los datos de *IAA*, se realizó una regresión para establecer la relación que guardan la biomasa obtenida por redes, en peso seco y la *IAA* del ADCP, la regresión que se obtuvo fue lineal.

Se construyeron gráficos de perfiles de distribución de *IAA* para cada uno de los transectos. Los archivos que contiene *IAA* dan información sobre la hora, día, latitud, profundidad,

distancia en km y dirección de navegación, lo que nos permite observar como se distribuye la biomasa del zooplancton en la columna de agua y su cambio con el tiempo y el espacio. Así mismo se realizaron gráficos de la distribución de biomosas obtenidas de las muestras de las redes para el transecto D, frente a la desembocadura del Sistema Grijalva – Usumacinta y a una sección paralela a la línea de costa marcada con el número 9.

Debido a que en un futuro se continuará enriqueciendo el trabajo de correlacionar la *IAA* del ADCP de 75 kHz del B/O Justo Sierra con las biomosas zooplanctónicas obtenidas de las muestras de las redes, se decidió presentar los resultados de la *IAA* por transectos y no los de la biomasa directamente. Para obtener la biomasa se presenta la ecuación resultante de la correlación de la intensidad con la biomasa en peso seco, de esa forma si en un futuro se obtiene una correlación más precisa al aumentar el número de datos de biomasa obtenida mediante redes, se tendrá la información de la *IAA* que nos permita efectuar estudios históricos de la variación de la biomasa zooplanctónica, en la región de influencia de las descargas de los ríos Grijalva – Usumacinta. En adelante será equivalente hablar de *IAA* (dB) o de biomasa zooplanctónica en peso seco (mg m^{-3}).

RESULTADOS

La distribución de las biomazas en peso húmedo obtenidas a partir de las capturas de organismos efectuadas con las redes muestra para el transecto D, que las biomazas más altas están próximas a la costa, encontrándose los valores máximos cercanos al fondo (Fig. 10). En la estación 61, que se encuentra a 40 km de la costa aproximadamente, se puede observar en la superficie valores más altos de biomasa que en los siguientes 2 niveles (20 y 30 m de profundidad), sin embargo, esta biomasa es menor que la que se encuentra a 40m de profundidad en la misma estación. En la estación 62, a 60 km de la costa aproximadamente, se tienen valores pequeños a lo largo de toda la columna de agua y en la estación 63, a 80 km aproximadamente, se observa que la biomasa aumenta con la profundidad. Los intervalos van de 13.65 g m^{-3} como máximo en la estación 60 a 20 m de profundidad, y 0.20 g m^{-3} a 30 m de profundidad en la estación 62.

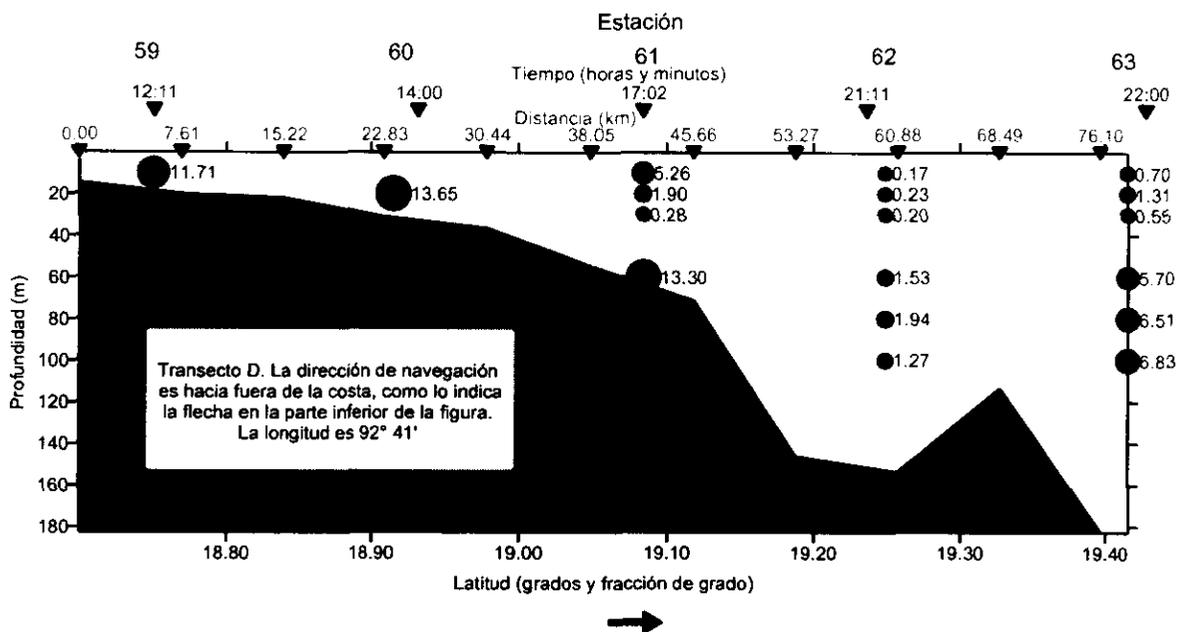


Figura 10.- Distribución de la biomasa zooplanctónica obtenida con redes (g m^{-3}), transecto D.

En la sección paralela a la línea de costa, sección 9 (Fig. 11), se puede ver que la distribución de la biomasa obtenida a partir de las muestras de las redes presenta valores máximos próximos al fondo en las estaciones 49, 55 y 61, mientras que en las estaciones 67 y 74 las biomazas más altas están en a 20 m de profundidad. Las biomazas son máximas en

a 30 m en la estación 55 con 15.08 g m^{-3} , y mínimas a 40 m en la estación 74, con 0.15 g m^{-3} .

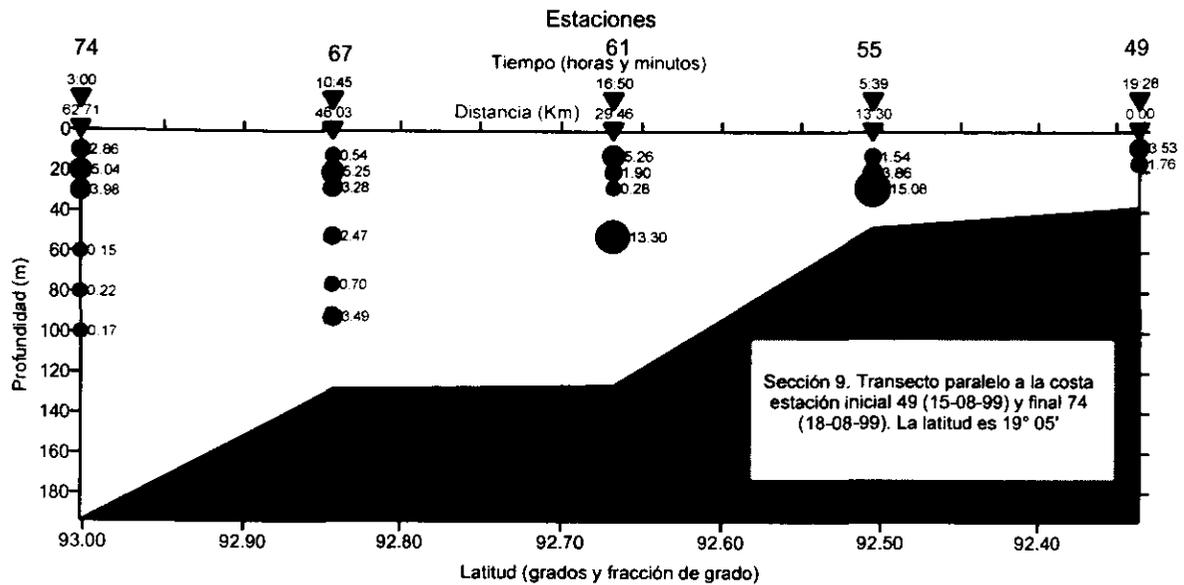


Figura 11. Distribución de la biomasa zooplanctónica obtenida con redes (g m^{-3}), estaciones en un transecto paralelo a la costa

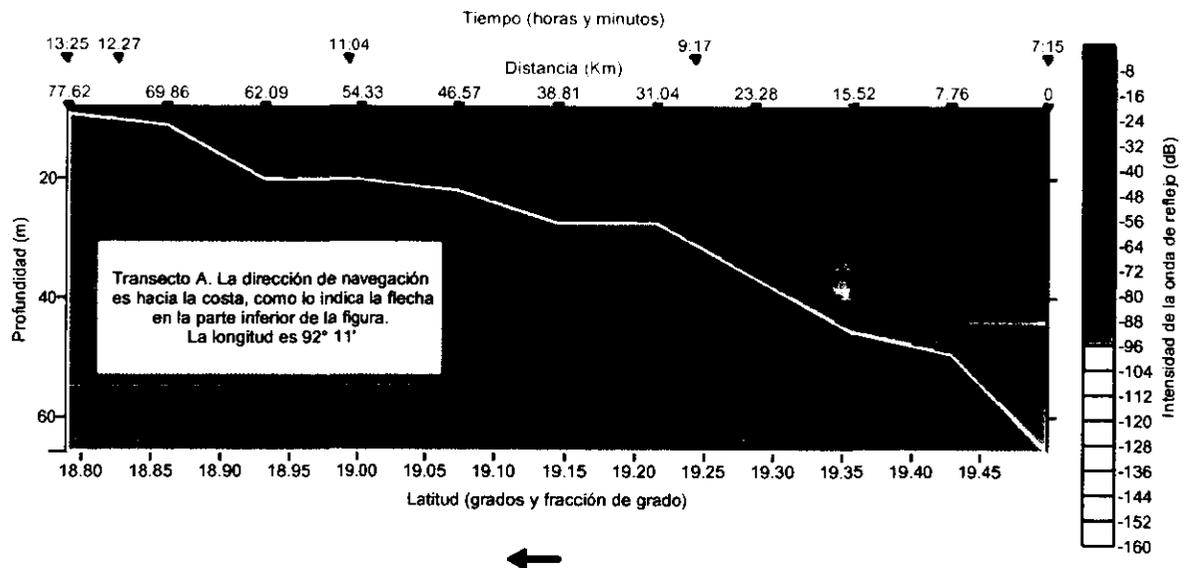


Figura 12. Distribución de la intensidad acústica absoluta, transecto A.

En el transecto A (Fig. 12) se puede ver altos valores de intensidad acústica absoluta o alta concentración de biomasa zooplanctónica en la parte más cercana a la costa, esto probablemente debido al frente que se genera por la introducción de agua dulce del sistema Grijalva-Usumacinta. La mayor concentración de zooplancton se encuentra más cerca del

fondo que en la superficie a excepción de la parte más alejada de la costa en donde se observa una zona de baja intensidad, que se traduce en bajas biomazas, a los 40 m aproximadamente, mientras que a mayor profundidad se encuentran valores más altos.

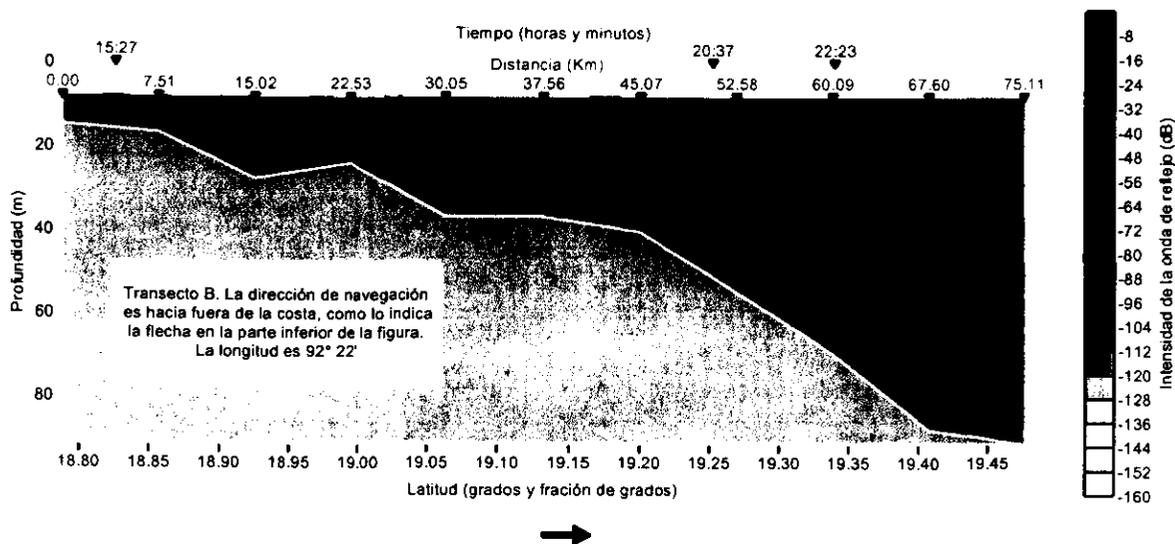


Figura 13. Distribución de la intensidad acústica absoluta, transecto B.

El transecto B presenta valores muy altos de intensidad, en general en toda la columna de agua (Fig. 13). Al igual que en el transecto anterior, se tienen valores altos cerca de la costa, y a pesar de que la diferencia entre las zonas de alta intensidad y baja intensidad en este transecto no es grande, los núcleos de alta concentración se encuentran en una región intermedia entre la superficie y el fondo. La zona de bajas intensidades, es la región cercana al fondo, y únicamente en áreas pequeñas en comparación con el resto de la columna.

En el transecto C (Fig. 14) las mayores concentraciones se distribuyen de manera diferencial, encontrándose los núcleos de mayor intensidad en la zona costera, y conforme nos alejamos de la costa a partir del kilómetro 53.82, los valores de mayor intensidad se van acercando al fondo. Se pueden apreciar dos zonas de baja concentración; uno en la parte más alejada de la costa entre los 50 y 60 m de profundidad y otro en la superficie en el kilómetro 30.75 aproximadamente.

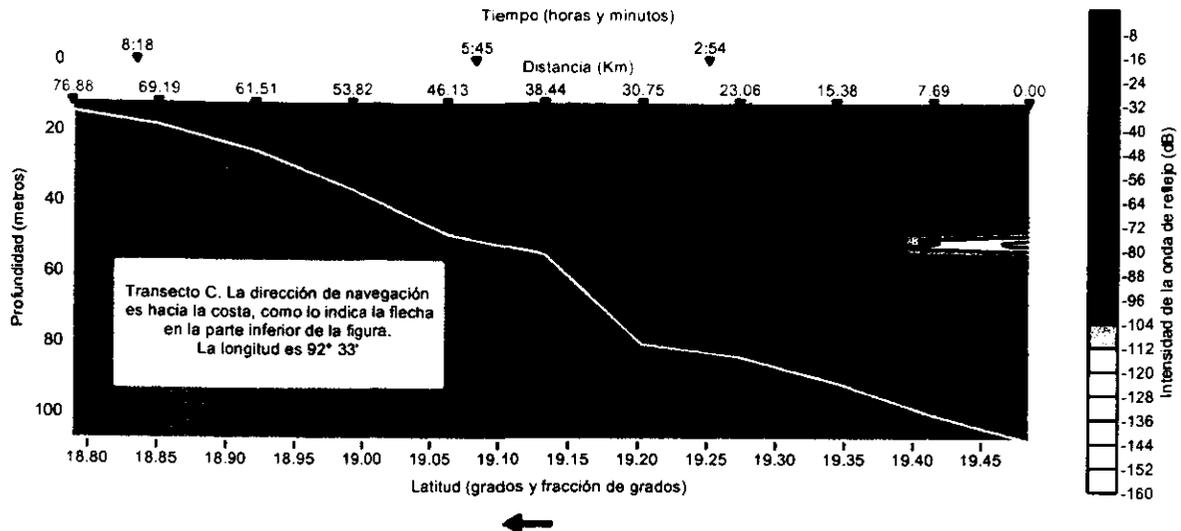


Figura 14. Distribución de la intensidad acústica absoluta, transecto C.

Al igual que en los transectos anteriores se puede observar una alta concentración cerca de la costa en el transecto D, notándose que entre más crece la distancia a la costa los organismos tienden a concentrarse en el fondo, dejando grandes zona en donde se presentan valores bajos de intensidad acústica (Fig. 15).

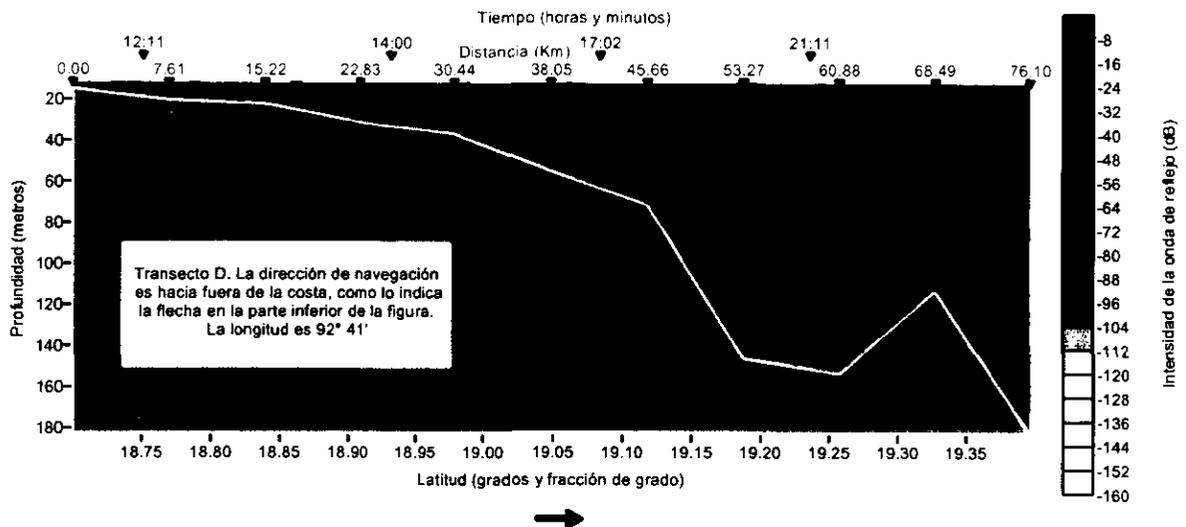


Figura 15. Distribución de la intensidad acústica absoluta, transecto D.

Si se compara la Fig. 10 con la Fig. 15, que es la gráfica de intensidades registradas por el ADCP para el mismo transecto, podemos observar una fuerte coincidencia entre las biomazas obtenidas con redes y las intensidades. Se puede ver que la estación 62, que está a 60 km, en donde se registran las biomazas más bajas en toda la columna de agua, coincide

con una zona de baja intensidad acústica. De la misma forma vemos que los núcleos de mayor intensidad se encuentran en la zona costera, en el fondo, coincidiendo con lo que se observa de la figura de distribución de biomazas obtenidas con muestras de redes.

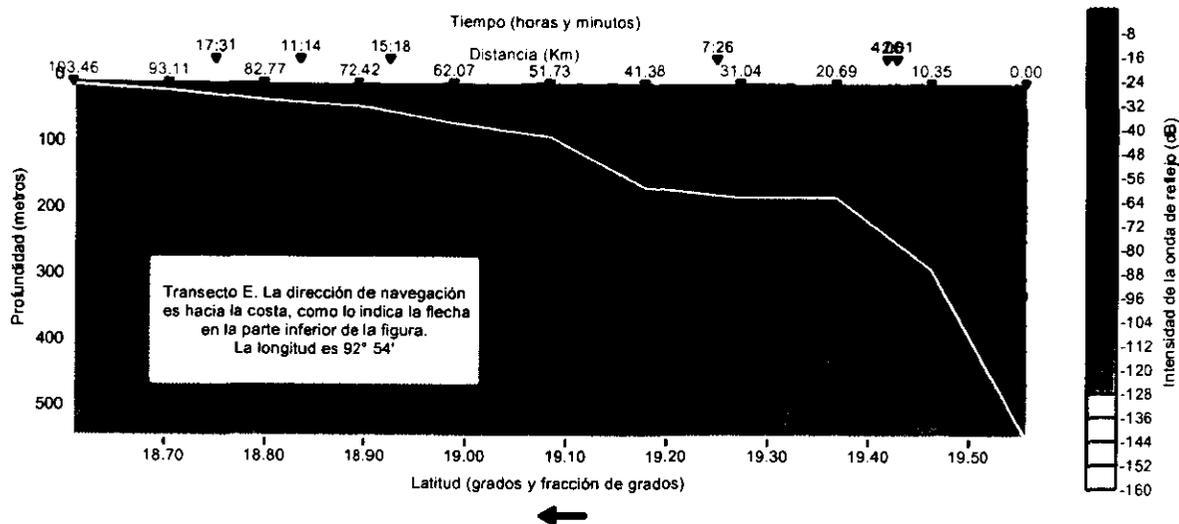


Figura 16. Distribución de la intensidad acústica absoluta, transecto E.

La distribución de la intensidad acústica absoluta en el transecto E (Fig. 16), muestra que se tienen los valores altos cerca de la costa y algunos núcleos de baja concentración a lo largo del transecto. Se puede observar regiones de alta concentración cercanos a la superficie, sin embargo, a partir del kilómetro 31.04 se puede ver que los núcleos de mayor concentración se encuentran próximos al fondo. En la zona más lejana a la costa se presenta una gran concentración de organismos en la parte más profunda

El transecto F posee en su mayor parte valores altos de intensidad acústica absoluta cerca de la superficie, mientras que en la parte más alejada de la costa las altas concentraciones se encuentran cerca del fondo (Fig. 17). Se puede observar una zona de baja intensidad en la región más alejada de la costa a 150 m de profundidad aproximadamente. Entre los kilómetros 54.19 y 65.03 se puede ver el descenso de una lengua de alta concentración de organismos. Cabe señalar que es difícil apreciar migraciones verticales en estos gráficos debido a que el área que se abarca es grande y esto hace que se pierda resolución, pero es posible inferirlas.

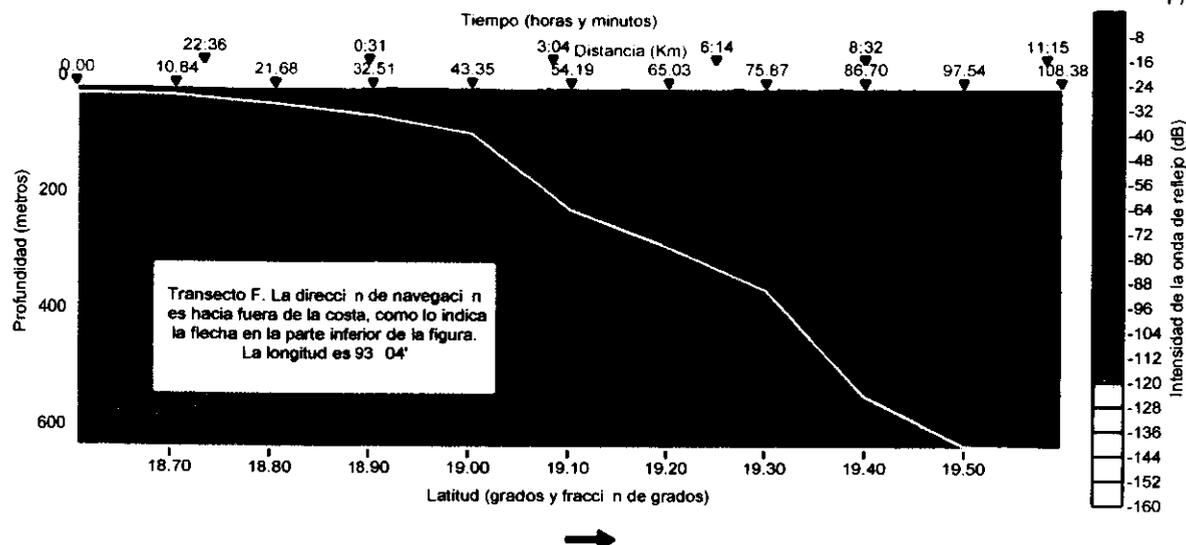


Figura 17. Distribución de la intensidad acústica absoluta, transecto F.

En el transecto G al igual que en el resto de los transectos se puede observar valores altos de intensidad acústica absoluta o biomasa en la zona costera (Fig. 18). La intensidad acústica muestra valores altos cerca de la superficie que van disminuyendo conforme aumenta la distancia con la costa. Se observa también, valores altos cerca del fondo en la zona lejana a la costa a 600 m de profundidad aproximadamente. Entre los kilómetros 52.51 y 63.01 a 200 m de profundidad aproximadamente, se presenta un núcleo de organismos zooplanctónicos que aparentemente asciende, si se sigue la dirección de navegación. De la misma manera que en la gráfica anterior se puede ver una zona de baja intensidad o concentración a 200 m de profundidad aproximadamente.

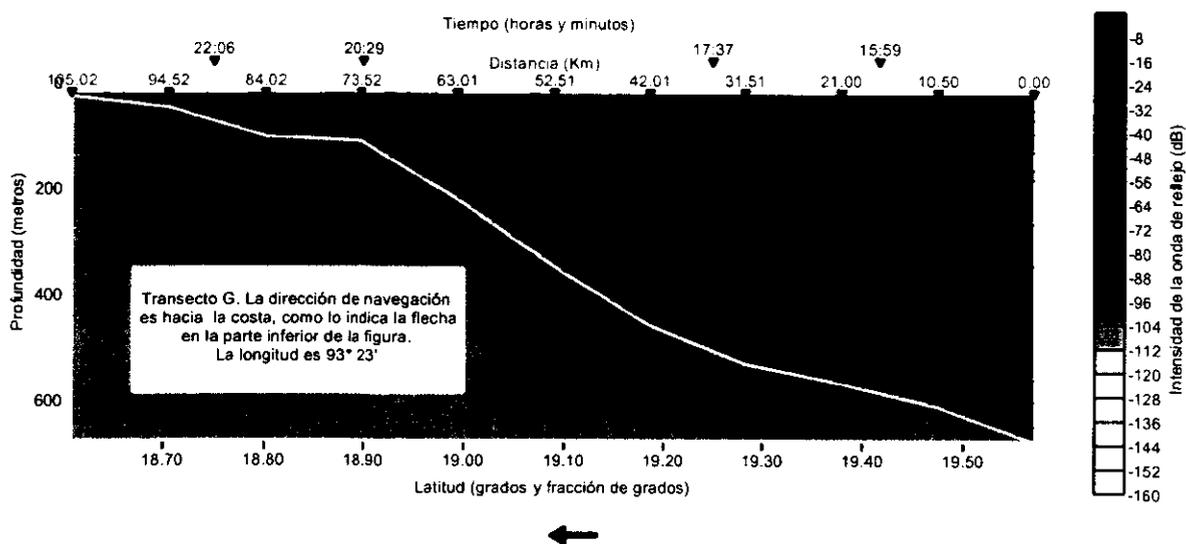


Figura 18. Distribución de la intensidad acústica absoluta, transecto G.

Resultados de la Regresión Lineal entre la IAA y la Biomasa Zooplanctónica en Peso Seco

A diferencia de las regresiones realizadas por otros autores (Flaggs y Smith, 1989, Zimmerman y Biggs, 1999;), la dependencia entre la biomasa en peso seco y la intensidad acústica absoluta obtenida en este trabajo muestra una relación lineal directa y no del Log_{10} del Peso Seco contra la IAA. En una primera aproximación los valores parecen indicar una configuración exponencial, sin embargo, la función que mejor explicó la dependencia de una variable con la otra es de tipo lineal. La ecuación que se obtuvo de esta regresión es:

$$DW (\text{mg m}^{-3}) = 64213.34 + 732.96 \times IAA (\text{dB})$$

Con una $r^2 = 0.64$

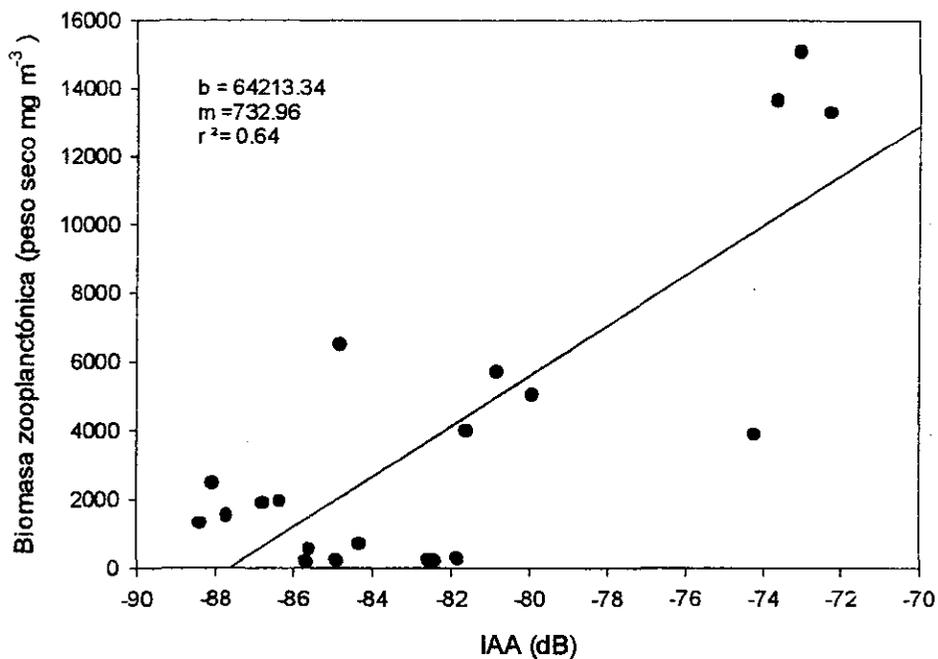


Figura 19. Regresión lineal entre la biomasa zooplanctónica (peso seco mg m^{-3}) y la IAA (dB).

DISCUSIÓN

La coincidencia existente entre el perfil de muestreo con redes (Fig. 10) y el perfil de intensidades acústicas del transecto D (Fig. 15) se podría interpretar como una muestra de la efectividad del ADCP para detectar abundancia de organismos en áreas más extensas y con mayor resolución en comparación con las redes. Esto queda demostrado en trabajos que se han ido realizando en las últimas 3 décadas dentro de los que destacan el de Flagg y Smith (1989), Heywood, (1991), Lyons *et al.* (1994), Smith *et al.* (1989), Zimmerman y Biggs (1999), entre otros.

Se puede observar de igual forma en la regresión lineal realizada entre la biomasa en peso seco y la *IAA* en donde se obtuvo una r^2 de 0.64, que si comparamos con los trabajos de Zimmerman y Biggs (1999) y Flagg y Smith (1989) se encuentra dentro del intervalo en que ellos obtuvieron sus regresiones, a pesar de las diferencias existentes en las áreas que se trabajaron, oceánica para los trabajos citados y costera para el presente; y el tipo de ADCP utilizado: 150 kHz para los primeros, 307 kHz para los segundos y 75 kHz para el presente trabajo. Esta diferencia con respecto a trabajos anteriores, en el tipo de relación que se hizo de *IAA* y biomasa puede deberse a que los otros estudios fueron realizados en zonas oceánicas y este se llevó a cabo en un área costera, lo que incluye mayor variabilidad en el comportamiento del zooplancton y de los parámetros físicos. Así mismo el ADCP utilizado posee una frecuencia más baja que los ADCP utilizados en los otros estudios, por lo que la relación que se da entre la biomasa expresada en peso seco y la *IAA* es directa y no logarítmica, según lo que reportan los autores mencionados anteriormente, así como los resultados obtenidos por Galarza Macías (1998).

Para el perfil de la sección 9 (Fig. 11) podemos observar que a diferencia de lo que citan Salas de León *et al.* (1998), la mayor biomasa se encuentra hacia el este y va disminuyendo al oeste, esto podría deberse a que el muestreo de esta sección se encuentra a 55 km de la costa aproximadamente, y en el trabajo citado se tiene que la influencia de la pluma en el gradiente perpendicular de abundancia alcanza los 30 km. Cabe mencionar que se comparan los resultados de este trabajo con los datos de primavera de Salas de León *et al.*

(1998)), puesto que en las fechas en que se efectuó este estudio aún no comenzaba la época de lluvias y como se mencionó anteriormente las fluctuaciones anuales en abundancia de zooplancton en esta zona se rige por tres períodos: lluvia, estiaje y Nortes, por lo que la influencia de la pluma de agua dulce proveniente del Sistema Grijalva-Usumacinta no posee gran importancia a esa distancia en época de sequía. A la distancia en que se encuentra la sección 9 (Fig. 11) podría ser un efecto de la plataforma lo que concentra a los organismos en la parte este, ya que esta zona es más somera.

Para los transectos A, B y C (Figs. 12, 13 y 14), abarcando una distancia de 30 km de la costa hacia afuera, entre las latitudes 18.80 y 19.05 N, se puede observar que hay mayor abundancia de organismos, en proporción, que la que hay después de esta latitud. Esto se debe a la influencia del río, la cual de acuerdo a los resultados de Salas de León *et al.* (1998) alcanza hasta 30 km fuera de la costa. El aporte del Sistema Grijalva-Usumacinta (equivalente a un tercio de la descarga total de los ríos mexicanos) a la zona costera genera un frente halino, que provoca que ésta sea un área de alta productividad por quedar atrapada gran cantidad de nutrientes (ya sea acarreados por el río o por resuspensión del sedimento) y por el aporte de energía auxiliar utilizada por los organismos (Legendre, 1986), provocando mayor abundancia en esta zona en comparación con la oceánica. Este patrón es igualmente observable para los transectos D, E, F y G (Figs. 15, 16, 17 y 18).

Para el área más alejada de la costa, de los transectos A, B y C, (Figs. 12, 13 y 14) se observa que la distribución de la biomasa presenta discontinuidades en la vertical que pueden explicarse por la presencia de una picnoclina, la cual representa una barrera física estable (Pickard y Emery, 1990) capaz de aislar comunidades biológicas. Se ha demostrado en trabajos como el de Weeks *et al.* (1995) que la concentración vertical del zooplancton es más importante cerca de la superficie y debajo de la picnoclina. Este tipo de barrera inhibe la mezcla vertical y es necesaria gran cantidad de energía para poder romperla (Libes, 1992), sin embargo, existen procesos que pueden llegar a romperla, como son las ondas internas, que ocurren en la interfase de dos capas de diferente densidad debido a la presión hidrostática y gravitacional que genera esta diferencia de densidad (Pond y Pickard, 1978).

Existe una correlación entre la estructura física y la biológica. La estructura biológica incluye el comportamiento de los organismos en respuesta a la composición química, biológica y a la estructura física de la columna de agua (localización de presas y nutrientes, y presencia de fuertes gradientes físicos). Se conoce que la estratificación de la columna de agua y como consecuencia la presencia de picnoclinas, evita que exista movilidad de los organismos que migran a capas más profundas (Calaban y Makarewicz, 1982) y la profundidad máxima a la que puede llegar cada especie depende de su tolerancia a los cambios drásticos de las condiciones físicas (Han y Straskraba, 1998).

La presencia de una marcada picnoclina es muy evidente en el transecto A (Fig. 12) en donde se observa a 40 m de profundidad un área de baja intensidad, en cuyos límites superior e inferior se encuentran zonas de alta intensidad. Es notable de la misma forma, la presencia de una estructura que parece indicar la existencia de una onda interna a 62 km de la costa y 35 m de profundidad aproximadamente. Para los transectos B y C (Figs. 13 y 14) la zona de picnoclina no es muy clara, sin embargo, se ve una ruptura en las intensidades a la misma profundidad que en el transecto A, posiblemente a una profundidad un poco más grande (50 m aproximadamente) para el transecto B (Fig. 13). No es posible observar este proceso de estratificación en el resto de los transectos debido a que su profundidad es mayor a los 100 m y por consecuencia se pierde resolución para este tipo de características.

Es interesante observar en las figuras 12 y 13, transectos A y B respectivamente, una variación vertical de la intensidad acústica, en forma de ondas cuadradas, que corresponden en amplitud y período con el patrón de comportamiento de ondas internas reportado por Rubenstein (1999). Este autor muestra la existencia de paquetes de ondas internas en la plataforma del Golfo de México que se caracterizan por tener amplitudes entre 2 y 10 m y períodos de 2 a 3 h, propagándose hacia la parte interna del talud, hacia la costa, cuyo mecanismo de forzamiento es a ribuido a la marea. Las variaciones verticales observadas de la figura 12 y 13 muestran amplitudes promedio de 5 m y aparentes repeticiones cada 2 horas. Este patrón de ondas explica también en gran manera el patrón de distribución de los organismos en estos transectos.

Las gráficas del transecto D, figuras 10 y 15, muestran coincidencia entre los patrones de distribución de biomasa obtenidas por redes con las intensidades. Se puede apreciar una distribución escalonada de los organismos conforme se alejan de la costa, este tipo de distribución se debe al patrón que siguen la termoclina y la picnoclina, las cuales presentan el mismo comportamiento escalonado (Fig. 20), lo que nos indica que los núcleos de mayor biomasa de zooplancton se encuentra sobre la termoclina o la picnoclina, que es el lugar en donde existe mayor acumulación de nutrientes al funcionar como barrera para el transporte de estos nutrientes a zonas más profundas.

En la estación 62 se encuentra una zona de baja intensidad acústica y se obtuvieron de igual forma las menores biomazas para este transecto, si se analiza la estructura de los gráficos en la figura 20 se podría suponer la existencia de un pequeño giro anticiclónico, el cual se caracteriza por ser un giro con centro cálido que hunde la termoclina, por tratarse de una zona de convergencia, aportando aguas cálidas al núcleo (Monreal Gómez, 1997). Dentro de los primeros 100 m de este tipo de giro hay ausencia de nitratos y poca clorofila por lo que la producción primaria y la biomasa zooplanctónica es bastante baja en ellos (Biggs, 1992).

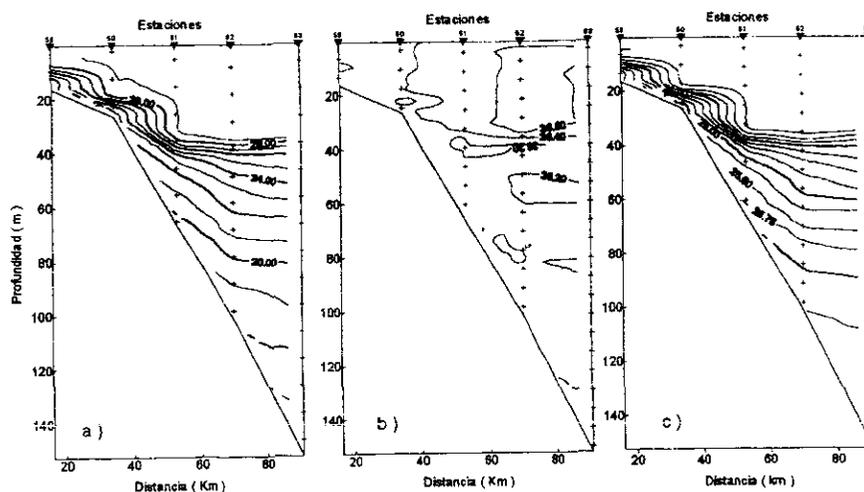


Figura 20. Distribución vertical de a) temperatura, b) salinidad y c) densidad (σ_t), en el transecto D (Tomado de Rosales Navarro, 2000).

Las biomásas superficiales estimadas a partir de las intensidades acústicas de los transectos A, B, D, y E (Figs. 12, 13, 15 y 16) son menores que las biomásas cerca del fondo esto es debido a las migraciones verticales diarias que realizan estos organismos y que son dependientes de la hora del día (Heywood, 1996; Gasca, 1996; Forward, 1988). Para el caso de estos transectos, las áreas en donde se presenta una mayor biomasa en el fondo que en la superficie coincide con horas luz, este tipo de distribución es más clara en la parte oceánica puesto que no existe influencia alguna de la costa; en aguas someras existe una migración inversa entre presas y depredadores (Gasca *et al.*, 1996) lo que le añade mayor dificultad para distinguir núcleos de alta y baja biomasa en superficie y fondo en esta área, como es el caso de los transectos A, B y D (Figs. 12, 13 y 15).

Así mismo es en los transectos C, F y G (Figs. 14, 17 y 18) en donde encontramos mayores biomásas en la superficie, puesto que la hora local corresponde a la noche. Cabe recalcar que las migraciones no son visibles en estos gráficos por que la distancia que se abarca en los gráficos es grande y para hacer evidente este comportamiento es necesario graficar perfiles de distancias cortas para darle mayor resolución. Sin embargo, en los transectos F y G (Figs. 17 y 18) es posible inferir la existencia de estas migraciones. En el transecto F siguiendo la dirección de navegación, indicado por la flecha que se encuentra en la parte inferior del gráfico (Fig. 17), y tomando en cuenta la hora local se observa el descenso de un núcleo de alta intensidad justo en el kilómetro 65.03 y corresponde al descenso diario que realizan los organismos del zooplancton al amanecer. En el transecto G vemos el ascenso de un núcleo de organismos que comienza al anochecer, entre los kilómetros 52.51 y 63.01. Notamos que estas migraciones se presentan a 200 m de profundidad aproximadamente. A estas profundidades se siguen realizando las migraciones diarias a pesar de no existir penetración de luz, ya se trata de aguas turbias por la influencia del río. Wishner, *et al.* (1998) reportan migraciones incluso a mayores profundidades en las cuales, los organismos, dependiendo de la especie, migran a zonas de poco oxígeno durante el día, y haciendo alusión a la hipótesis que se plantea para explicar las migraciones verticales (Forward, 1988; Heywood, 1996; Gasca *et al.*, 1996), esta migración les permite protegerse de la depredación suponiendo que la tolerancia a baja concentración de oxígeno de los depredadores sea mínima.

CONCLUSIONES

Del estudio realizado se puede concluir en primer lugar que es posible determinar la estructura de la biomasa zooplanctónica mediante un ADCP de 75 kHz.

Es posible observar con claridad diferentes fenómenos físicos, como la pycnoclina y ondas internas entre otras, a través de la determinación de la distribución del zooplancton con ayuda de un ADCP ya que la distribución de estos organismos se encuentra modulada por los parámetros físicos de la región por lo que su distribución reproducen con buena aproximación la estructura de las clinas y la propagación de inestabilidades internas.

Existe una relación lineal entre la *IAA* y la biomasa zooplanctónica en peso seco en la región próxima al Sistema Grijalva – Usumacinta.

Las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica se encuentran próximas a la costa y al Este de la desembocadura del Sistema Grijalva – Usumacinta, y en torno a la termoclina.

REFERENCIAS

- Alatorre Mendieta, M.A., F. Ruíz Rentería y D.A. Salas de León, 1988. *Efectos del paso de frentes fríos atmosféricos sobre la Bahía de Campeche*. Memorias de la Reunión Anual 1987 de la UGM, Ensenada, B.C. México.
- Barange, M., 2000. *10' presentation of M. Barange at the planning meeting of the Global Environmental Changes and food systems*. <http://www.pml.ac.uk/globec>. Reading, UK, 20/21 July 2000.
- Biggs, D.C., 1992. Nutrients, plankton and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97: 2143-2154.
- Bogdanov, D.V., 1969. *Some oceanographic features of the Gulf of Mexico and Caribbean sea*. In: A.S. Bogdanov (Ed) Soviet - Cuban - Fishery - Research: 13-15.
- Boltovskoy, D. 1981. Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino I y III. INIDEP. Argentina.
- Calaban, M.J. y I.C. Makarewicz. 1982. The effect of temperature and density on the amplitude of vertical migration of *Daphnia magna*. *Limnol. Oceanogr.* 27: 262-271
- Calbet, A., M. Alcaraz, E. Sainz y J. Trepát. 1996. Planktonic herbivorous food webs in the Catalan Sea (NW Mediterranean): Temporal variability and comparison of indices of phyto-zooplankton coupling based on state variables rate processes. *J. Plankton Res.* 18(12): 2329-2347
- Carranza - Edwards, A., L. Rosales - Hoz y A. Monreal - Gómez. 1993. Suspended Sediment in the Southeastern Gulf of Mexico. *Mar Geol.* 112: 257-269
- Collins Pérez, E.E. 1990. Composición, distribución y abundancia del ictioplancton en el Sur del Golfo de México (otoño, 1987). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Currie, D.J. 1984b. Phytoplankton growth and the microscale nutrient patch hipótesis. *J. Plankton Res.* 6: 591-599
- Czitrom Bauss, S.P.R, F. Ruíz, M. A. Alatorre y A.R. Padilla. 1986. Preliminary study of a front in the Bay of Campeche, Mexico. In: J.C.J. Nihoul. *Marine interfaces ecohydrodynamics*. Elsevier, Amsterdam. 301-311.
- Dietz, R.S. 1982. Selecciones de Scientific American, Oceanografía. H. Blume Ed. 2ª reimpresión, España.
- Dussart, B.M 1965. Les differences categories de plankton. *Hidrobiologia* 26:72-74

- Flagg, Ch. N. and S. L. Smith, 1989. On the use of the acoustic Doppler current profiler to measure zooplankton abundance. *Deep Sea Res.* 36 (3) : 455-474.
- Flores Coto, C. F. Flores Hernández, F. Zavala García, V. Arenas Fuentes, M.A. Monreal Gómez and D.A. Salas de León, 2000. Oceanic and neritic ichthyoplankton at the edge of the continental shelf in the southern Gulf of México. *Gulf and Caribbean Research.* 12: 31-35.
- Flores Coto, C., L. Sanvicente Añorve, R. Pineda López y R. Rodríguez Vanlier. 1989. Composición, distribución y abundancia ictioplanctónica del Sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia.* 5(9):65-84.
- Forward, R.B., 1988. Diel and vertical migration: zooplankton photobiology and behavior. *Oceanogr. Mar. Biol.* 26:361-393.
- Galarza Macías, J., 1998. Estimación de la biomasa zooplanctónica en zonas costeras con ayuda de un Perfilador Acústico Doppler. Tesis de Licenciatura, Universidad Iberoamericana, 70 pp.
- Gallager, S.M., C. S. Davis, A.W. Epstein, A. Solow y R.C. Beardsley. 1996. High resolution observations of plankton spatial distributions correlated with hydrography in the Great South Channel, Georges Bank. *Deep Sea Res.* II 43(7): 1627-1663.
- Gasca, R., L. Segura y E. Suárez. 1996. El zooplancton marino. In: Gasca, r. y E. Suárez. 1996. *Introducción al estudio del zooplancton marino.* El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/ CONACYT. México. 711 pp.
- Gómez Gutierrez, J.; C. Robinson Mendoza y V. Arenas Fuentes. 1998. La hidroacústica, una moderna herramienta para el estudio de la biología y la ecología del ecosistema pelágico marino. *Ciencia.* 49(2): 11-22
- Greene, C.H. and P.H. Wiebe. 1990. Bioacoustical oceanography: New tools for zooplankton and micronekton research in the 1990's. *Oceanography.*
- Griffiths, G y J.I. Díaz, 1996. Comparison of acoustic backscatter measurements from a ship-mounted Acoustic Doppler Current Profiler and an EK500 scientific echosounder. *ICES J. Mar. Sci.* 53: 487-491.
- Grijalva, N., 1971. The M₂ tide in the Gulf of Mexico. *Geof. Int.* 11:103-125.
- Hang B.P. y M. Straskraba, 1998. Modeling patterns of zooplankton diel vertical migration. *J. Plankton Res.* 20(8): 1463-1487.
- Haurly, L.R., Mc. Gowan, J.A. y Wiebe, P.H. 1978. Patterns and processes in the time-scale spaces of plankton distributions. In: J.H. Steele (Ed.), *Spatial pattern in plankton communities.* Plenum Press. New York.

- Hernández Tellez, J., J. Aldeco y D.A. Salas de León. 1993. Cooling and heating due to latent and sensible heat over the Yucatán continental shelf. *Atmósfera*. 6(4):223-233.
- Heywood, K.J., 1996. Diel vertical migration of zooplankton in the Northeast Atlantic. *J. Plankton Res.* 18(2): 163-184.
- Huitrón Flores, J.A. 1992. Composición, distribución y abundancia del ictioplancton en el Sur del Golfo de México (verano, 1988). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Hutchinson, G.E., 1967. *A Treatise on Limnology*. Wiley, New York. 2, 725-809.
- Hwang S. J. y R.T. Healt. 1999. Zooplankton bacterivory at coastal and offshore sites of Lake Erie. *J. Plankton Res.* 21(4): 699-719
- Lebourges-Dhaussy, A., 1998. Caractérisation des populations planctoniques par acoustique multifrequence. *Oceanis* 22(1): 71-92.
- Legendre, L. 1981. Hydrodynamic control of marine phytoplankton production: the paradox of stability. In: J.C.J. Nihoul (Ed.). *Ecohydrodynamics*. Elsevier, Amsterdam.
- Legendre, L., S Demers y D. Lefaivre. 1986. Biological production at marine ergoclines. In: Nihoul, J.C.J. 1986. *Marine Interfaces Ecohydrodynamics*. Elsevier. Amsterdam. 1-29.
- Libes, S.M. 1992. *An Introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wilwy & Sons, 734 pp.
- Longhurst, A.R., 1976. Vertical migration. In: *The ecology of the seas*. Ed. by D.H. Cushing and J.J. Walsh. Blackwell, Oxford, 116-137.
- Loukos, H., B. Frost, D.E. Harrison y J.W. Murray. 1997. An ecosystem model with iron limitation of primary production in the equatorial Pacific at 140 degrees W. *Deep Sea Res II* 44(9-10): 2221-2249
- Lyons, M. L.G., P. Smith y H. Geoffrey Moser *et al.* 1994. Comparison of cross-shelf trends in acoustic Doppler current profiler amplitude and zooplankton displacement volume in southern California. *CalCOFI Rep.* 35:240-245.
- Margalef, R., 1989. Le plancton: Survivre et s'organiser dans un fluide mobile. *Océanologie: Actualité et Prospective*. Denis, M (ed) ., 1989, pp. 169-185.

- Masson, S. y B. Pinel Alloul. 1998. Sapatial distribution of zooplankton biomass size fractions in bog lake: abiotic and (or) biotic regulation? *Can. J. Zool. / Rev. Can. Zool.* 76(5): 805-823
- Medwin, H. and C.S. Clay, 1997. *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press, 712 pp.
- Meywerk, J., 2000. *BALTEX, The Baltic Experiment*. http://w3.gkss.de/baltex/baltex_frame_builder.html.
- Monreal Gómez, M.A. y D.A. Salas de León, 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofis. Int.* 29(2): 101-111.
- Monreal Gómez, M.A., D. A. Salas de León, A.R. Padilla Pilotze y M.A. Alatorre Mendieta. 1992. Hydrography and estimation of density currents in the southern part of the Bay of Campeche, Mexico. *Ciencias Marinas* 18(4): 115-133
- Monreal Gómez, M.A. y D. A. Salas de León. 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. *Contribuciones a la Ocenografía Física en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana*. pp. 183-199
- Nowlin, W.D., 1972. Winter circulation patterns and property distributions. In: *Contributions of the physical oceanography of the Gulf of Mexico*. L.R.A. Caparra, J.L. Reid. eds. Gulf. Pub. Co., Houston 3-15.
- Omori, M and T. Ikeda. 1984. *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley & Sons Ed. USA. 332 pp.
- Padilla Pilotze, A.R. M.A. Alatorre, F. Ruíz y S.P.R. Czitrom. 1986. Observaciones recientes de la estructura termohalina en el sur del Golfo de México. p: 434-440. In: J. Urrutia - Fucugauchi, Ed. 1986. Unión Geofísica Mexicana. *Memoria de la Reunión Anual 1986*. Morelia, Mex. 499 pp.
- Papoulis, A., 1978. *Sistemas digitales y analógicos, transformadas de Fourier, estimación espectral*. Marcombo Boixareu, Ed., Barcelona. 308 pp.
- Parsons, T.R., M. Takahashi y B. Hargrave. 1984. *Biological oceanographic processes*. Pergamon Press. USA.330 pp.
- Pickard, G.L. y W.J. Emery. 1990. *Descriptive Physical Oceanography. An Introduction*. Pergamon Press. U.S.A. 319 pp.
- Pimm, S.L. 1982. *Food Webs*. Chapman and Hall Ed. New York. 219 pp.
- Platt, T., A. Prakash and B. Irwin. 1972. Phytoplankton nutrients and flushing of inlets on the coast of Nova Scotia. *Naturaliste Can.* 99:253-261

- Pond, S. y G.L. Pickard. 1978. *Introductory Dynamic Oceanography*. Pergamon Press. U.S.A. 241 pp.
- RD Instruments, 1992. *Calculating Absolute Backscatter. Self Contained Acoustic Doppler Current Profiler*. Technical Manual. USA.
- Rosales Navarro I, 2000. *Hidrografía y estructura de corrientes de densidad frente al Grijalva – Usumacinta, Primavera – Verano 1999*. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ingeniería UNAM. En proceso, 2000.
- Rossov, V.V., 1967. *Sobre el sistema de corrientes del Mediterráneo Americano*. *Academia de Ciencia de Cuba*. Inst. de Oceanol. 2(1):31-49.
- Rubenstein, D., 1999. Observations of Cnoidal Internal Waves and Their Effect on Acoustic Propagation in Shallow Water. *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 24, no. 3, pp. 346-357.
- Ruiz Rentería, F. 1978. La velocidad del sonido en la región suroccidental del Golfo de México. *Simposio sobre adelantos en las investigaciones marinas en el Caribe y regiones adyacentes ICCRA-II*, FAO Informe de Pesca, N° 200 Suplemento.
- Salas de León, D.A., 1986. *Modélisation de la marée M_2 et de la circulation résiduelle dans le Golfe du Mexique*. Thèse de Doctorat. Université de Liège, Belgique, 205 pp.
- Salas de León, D.A., M.A. Monreal gómez, L. Sanvicente Añorve y C. Flores Coto., 1998. Influence de la circulation à long terme sur la répartition des organismes zooplanctoniques dans la Baie de Campeche, Mexique. *Oceanologica Acta*. 21(1):87-93.
- Sanvicente Añorve, L. 1990. *Comunidades ictioplanctónicas en el suroeste del Golfo de México*. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 58 pp.
- Sanvicente Añorve, L., C. Flores Coto, L. Sánchez Velasco. 1998. Spatial and seasonal patterns of larval fish assemblages in the southern Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 62(1):17-30.
- Smith, P.E., M.D. Ohman y L.E. Eber. 1989. Analysis of the patterns of distribution of zooplankton aggregations from an acoustic Doppler current profiler. *Zooplankton Pattern Analysis CalCOFI Rep.* Vol. 30.
- Sverdrup, H.U., M.W. Jonson and R.H. Fleming. 1970. *The oceans. Their Physics, Chemistry, and general Biology*. Prentice Hall. USA. 1060 pp.
- Tapanes, J.J. y Gonzalez-Coya, 1980. Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geof. Int.* 19(4): 335-354.

- UNESCO. 1979. Zooplankton Sampling. Monographs on Oceanographic Methodology 2. UNESCO. France. 174 pp.
- Vazquez de la Cerda, A.M., 1979. *Circulación del agua en el sureste del Golfo de México*. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía, Mex, 26 pp.
- Villalobos, A. y M.E. Zamora, 1975. *Importancia biológica de la Bahía de Campeche*. Mem. I Simp. Lat. Ocean. Biol. (México): 375-382.
- Weeks, A.R., G. Griffiths, H. Roe, G. Moore, I.S. Robinson, A. Atkinson, R. Shreeve. 1995. The distribution of acoustic backscatter from zooplankton compared with physical structure, phytoplankton and radiance during the spring bloom in the Bellingshausen Sea. *Deep Sea Res. (II Top. Stud. Oceanogr.)* 42(4-5): 997-1019
- Wickstead, J.H., 1979. *Zooplankton Marino*. Omega. España. 70 pp.
- Wiebe, P.H., V. Barber, S.H. Boyd, C. Davis and G.R. Fierl. 1985. Macrozooplankton biomass in Gulf Stream warm-core rings: Spatial distribution and temporal change. *J. Geoph. Res.* 90: 8885-8901.
- Wiebe, P.H., 1988. Functional regression equations for zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight and carbon: A correction. *Fish. Bull.* 86(4): 333-335.
- Wishner, K.F., M.M. Growing y C. Gelfman. 1998. Mesozooplankton biomass in the upper 1000m in the Arabian Sea: overall seasonal and geographic patterns, and relationship to oxygen gradients. *Deep Sea Res II* 45: 2405-2432
- Yañez-Arancibia, A; Lara-Dominguez, AL; Galaviz, JLR; Lomeli, DJZ; Zapata, GJV; Sanchez-Gil, P., 1999. Integrating science and management on coastal marine protected areas in the Southern Gulf of Mexico. *Ocean Coast. Manage.* 42 (2-4): 319-344.
- Zhou, M., W. Nordhausen, and M. Huntley, 1994. ADCP measurements of the distribution and abundance of euphausiids near the Antarctic Peninsula in winter *Deep Sea Res.*, 41(9) 1425-1445.
- Zimmerman, R.A., and D.C. Biggs, 1999. Patterns of distribution of sound-scattering zooplankton in warm and cold core eddies in the Gulf of Mexico, from a narrowband acoustic Doppler current profiler. *J. Geophys. Res.* 104: 5251-5262.