

Plan de Crucero y Reporte

Crucero en el R/V Sultana: InWaPE

Descripción y objetivos del crucero de investigación

El crucero InWaPE (*Internal Wave Production Estimates*) corresponde a las actividades enmarcadas en el proyecto de tesis: Variabilidad temporal de la productividad primaria fitoplanctónica en la estación CATS (*Caribbean Time Series Station*): Con énfasis en el impacto de la marea interna semidiurna sobre las tasas de producción. En estos momentos la propuesta de tesis es examinada por los miembros del comité.

Institución que auspicia el proyecto:

Dr. José M. López
Departamento de Ciencias Marinas
PO Box 5000
Mayaguez Puerto Rico 00681-5000
787-265-3838

Título del proyecto:

Producción primaria en CaTS: impacto de la marea interna semidiurna sobre los estimados.

Investigador Principal:
M. Sc. Edwin Alfonso

Investigador:
M. Sc. Angel Dieppa

Capitán:
Capt. Dennis Corales

Resumen

Desde el 1994 se ha medido la producción primaria en la estación CaTS (Caribbean Time Series Station). Estas medidas muestran oscilaciones en la productividad desde 100 hasta 1000 mg C m⁻² d⁻¹. Estas oscilaciones podrían deberse a un patrón estacional pero para poder estar seguros tenemos que cuantificar el efecto que podrían tener diversos fenómenos que pueden alterar ese estimado y que están presentes en el Caribe: vórtices, pluma del Río Orinoco o del Amazonas, efectos de las islas (*mass island effects*) y ondas internas. Ondas internas han sido observadas en diversas regiones del Caribe. Estas son el producto de la interacción de la topografía submarina irregular y la marea barotrópica. Ondas internas de periodo semidiurno, con amplitudes de hasta 45m, han sido reportadas al norte del Canal de la Mona. La marea al propagarse a través del Cañón de la Mona e interactuar con la meseta del canal puede generar ondas internas de gran amplitud. Fotos desde el espacio revelan la presencia de estas olas en el Canal. Por lo tanto es un lugar ideal para estudiar el impacto de este fenómeno sobre la producción primaria del fitoplancton. Este proyecto intenta:

- Estudiar la dinámica de la producción primaria durante el paso de una onda interna.
- Caracterizar la onda interna.
- Determinar el desplazamiento vertical de la biomasa durante el paso de esta onda.
- Determinar las condiciones astronómicas donde la onda se manifiesta con mayor intensidad.

Este es el primer crucero que tiene la capacidad de medir los cambios en producción primaria durante el paso de la marea interna. Durante el crucero vamos hacer perfiles verticales de salinidad, temperatura, densidad y fluorescencia. También haremos perfiles verticales de la irradianza descendente en las siguientes bandas: 412, 443, 490, 510, 555, 665, PAR y radianza ascendente en las mismas bandas incluyendo fluorescencia natural (683 nm). Esta medida nos permite el calcular la producción instantánea en la columna. El resultado de este proyecto es cuantificar el aumento o descenso en producción que provoca la marea interna. Este resultado puede refinar nuestros estimados en CaTS y certificar que las oscilaciones observadas no son provocadas por la marea interna semidiurna.

Objetivos Generales:

Determinar el impacto de la marea interna semi-diurna sobre los estimados de producción primaria.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar la onda interna: determinar su periodo y amplitud
2. Detectar cambios en la distribución vertical del fitoplancton asociados al paso de la onda interna
3. Determinar la producción primaria en la columna en cada momento durante el paso de la onda interna.
4. Calibrar un modelo que pueda explicar los cambios en producción asociados al paso de la onda.
5. Estimar la discursión en las medidas de productividad en CaTS usando el modelo.

Area geográfica donde se desarrolla el proyecto:

La estación se localiza a 2.4 millas náuticas al suroeste de Punta Cadena (18° 16.6' N, 67° 16.0' O), en aguas fuera de la plataforma insular con una profundidad estimada de 223 brazas (401.4 m). La localización de la estación se fundamenta en fotos tomadas por astronautas, desde el transbordador en la misión STS007 en junio 1983, que muestran el paso de la onda por esa región. La estación esta a menos de 30 km del area de generación de la onda.

Métodos de investigación

Se planean hacer tiradas de un CTD SBE19 equipado con fluorómetro hasta 150 m de profundidad (diseñado para trabajar hasta 200 m) en intervalos de una hora por un periodo de 10 horas. Estos perfiles permitirán generar gráficos con contornos de temperatura y sigma-t que revelen la estructura de la onda. Se utilizará otro CTD SBE19 para hacer perfiles hasta 250 m de profundidad. El perfil de fluorescencia se calibra con medidas discretas de clorofila-a adquiridas por botelleo hidrográfico. Estos perfiles nos permiten conocer la distribución vertical de la biomasa. Medidas con el radiómetro PRR-600 nos permiten registrar la irradianza PAR descendente y la radianza ascendente en 683 nm hasta 150 m de profundidad. Estas medidas nos permiten determinar la producción primaria instantánea en la columna iluminada.

Equipo

CTD Seabird19 con fluorómetro SeaStar (max. prof. 200 m)

CTD Seabird19 (max. prof. 1000 m)

Radiómetro PRR-600

2 computadoras portátiles

botella niskin

sistema de filtrado en línea

GPS

Echo sounder

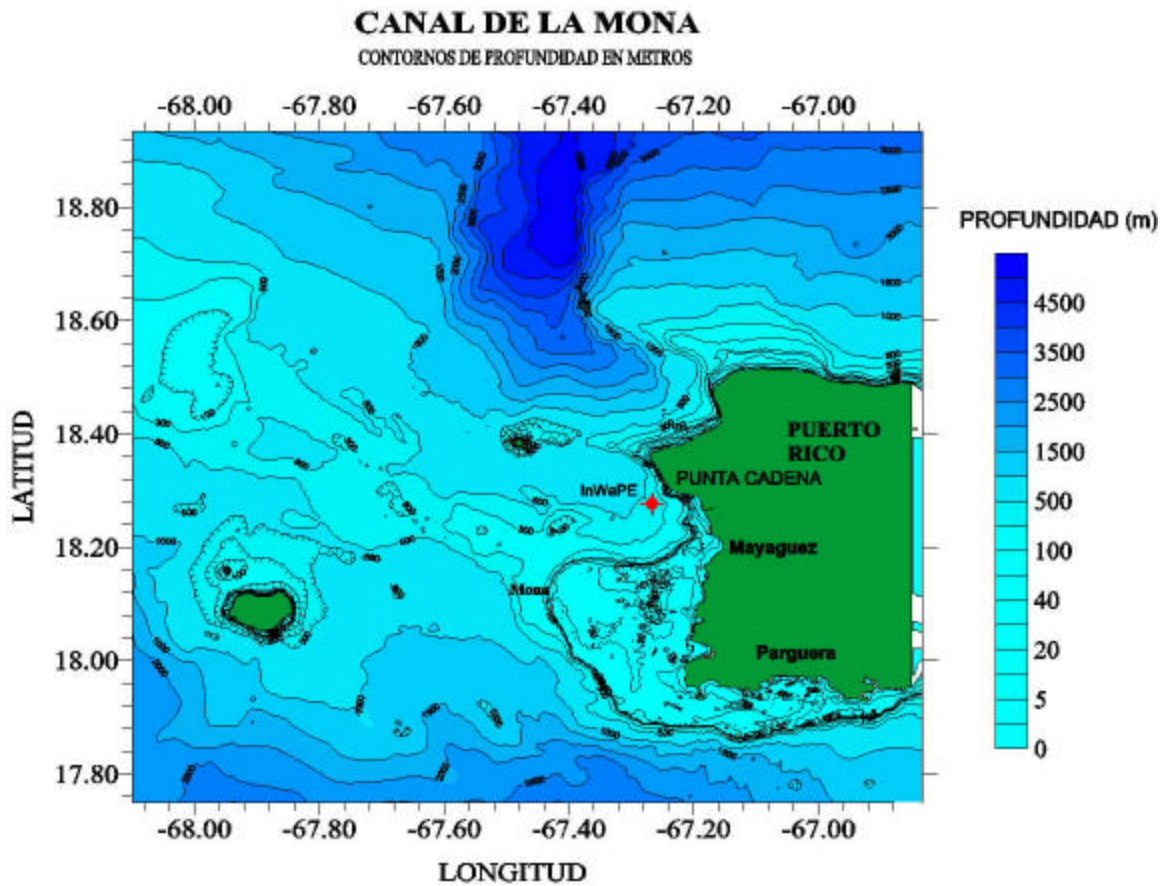


Figura 1. Localización de la estación del crucero InWaPE (punto rojo). La estación se localiza a 2.4 millas náuticas al suroeste de Punta Cadena ($18^{\circ} 16.6' N$, $67^{\circ} 16.0' O$), en aguas fuera de la plataforma insular con una profundidad estimada de 223 brazas (401.4 m).

Tabla 1. Bitácora de las operaciones en el crucero InWaPE

Hora	Descripción	Archivo	Notas	Cielo
7:00	arribamos a estación		InWaPE	18° 16.6 N, 67° 16.0 O
7:17	Perfil CTD S/N 1632			
7:22	Termina descenso CTD S/N 1632			
7:28	Termina ascenso CTD S/N 1632			
7:30	medidas oscuras	P000922A		
7:52	Perfil Luz PRR-600	P000922B	K=0.057	claro
7:59	Termina descenso PRR-600		agua verde	poco angulo de cable
8:05	Termina ascenso PRR-600			
8:33	Perfil Luz PRR-600	P000922C	K=0.054	claro
8:40	Termina descenso PRR-600		agua verde	menor angulo de cable
8:45	Se aclimata CTD S/N 2347			
8:47	Termina ascenso PRR-600			
8:53	Perfil CTD S/N 2347	A00922C		
9:40	Se aclimata CTD S/N 2347			
9:45	un minuto para que prenda bomba CTD	A00922D		
9:28	Perfil Luz PRR-600	P000922D	K=0.055	50%
9:36	Termina descenso PRR-600		agua verde	menos angulo de cable debris de rio
9:42	Termina ascenso PRR-600			
9:47	Comienza descenso Perfil CTD S/N 2347			
9:48			Corriente hacia el NNO mas lenta; color del agua azul-verdosa; angulo minimo en el cable; no viento; 10% cubierta de nubes cirrus y algo de bruma; luz difusa	
10:10			Mar mas tranquila; ondas capilares en superficie e intercaladas con olas del norte << 1 pie	
10:12			Deriva hacia el NNE 0.20 millas nauticas de la estacion	
10:13	Perfil Luz PRR-600	P000922E	K=0.057	20%
10:15			Giro de la embarcacion	
			Cambio repentino de la direccion del R/V Sultana mientras estamos en estacion , proa apunta al NNE	
10:20	Termina descenso PRR-600		agua verde	menos angulo de cable
10:24	Se aclimata CTD S/N 2347	A00922E		
10:33	Termina ascenso PRR-600			poco debris de rio

sombreo del instrumento en los 1ros 6 metros.			
10:34 Comienza descenso Perfil CTD S/N 2347			
Botelleo hidrografico: 5, 20, 40, 50, 60, 80, 100, 160			
11:00 Extraigo el perfil #5 del CTD S/N 1632			
11:10 Inicializo la memoria CTD S/N 1632			
11:18 3 perfiles en la memoria del CTD S/N 2347			
11:20			agua azul y verde se mezclan en la superficie comentan por radio que la pesca esta floja
11:53 Se aclimata CTD S/N 1632			
11:59 Se enciende bomba			
12:00 Perfil CTD S/N 1632	A00922F		
12:45 Perfil Luz PRR-600	P000922G	K=0.0576	
12:52 Termina descenso PRR-600			angulo de cable
12:53 Se aclimata CTD S/N 2347			
12:59 Se enciende bomba			
13:00 Termina ascenso PRR-600			upcast con nubes
13:00 Perfil CTD S/N 2347	A00922G		
13:05 Termina descenso CTD S/N 2347			
13:09 Termina ascenso CTD S/N 2347			
13:27 Perfil Luz PRR-600	P000922H	K=0.0574	80%
13:33 Termina descenso PRR-600			agua azul verdosa
13:36 Se aclimata CTD S/N 2347			
13:38 Termina ascenso PRR-600			lloviendo en upcast
13:43 Comienza descenso Perfil CTD S/N 2347	A00922H		
13:47 Comienza ascenso Perfil CTD S/N 2347			
13:59 Perfil Luz PRR-600	P000922I	K=0.0566	90%
14:07 Termina descenso PRR-600			agua azul verdosa
14:15 Termina ascenso PRR-600			rec#200-300 @ superficie
14:30 Se aclimata CTD S/N 2347			
14:37 Comienza descenso Perfil CTD S/N 2347	A00922J		
14:42 Comienza ascenso Perfil CTD S/N 2347			
14:54 Perfil Luz PRR-600	P000922J	K=0.0566	100%
15:02 Termina descenso PRR-600			agua azul>verde
15:07 Se aclimata CTD S/N 2347			deriva constante
15:08 Termina ascenso PRR-600			angulo de cable 35 grados
15:12 Se enciende bomba y se deja por un minuto adicional			
15:14 Comienza descenso Perfil CTD S/N 2347	A00922K		deriva hacia el NO por el viento del SE
15:21 Termina ascenso CTD S/N 2347			
15:33 Se aclimata CTD S/N 1632			
15:40 Comienza descenso CTD S/N 1632	A00922L		
16:01 Perfil Luz PRR-600	P000922K	K=0.0432-0.06	80%
16:11 Termina descenso PRR-600			agua azul
16:15 Se aclimata CTD S/N 2347			
16:18 Termina ascenso PRR-600			
16:20 Se enciende bomba			
16:21 Comienza descenso CTD S/N 2347	A00922m		

16:55 Perfil Luz PRR-600
 17:01 Termina descenso PRR-600
 17:04 Se aclimata CTD S/N 2347
 17:06 Termina ascenso PRR-600
 17:13 Comienza descenso CTD S/N 2347
 17:21 Termina ascenso CTD S/N 2347
 17:30 medidas oscuras PRR-600
 17:40 Regreso a puerto

P000922L K=0.0467 40%

agua azul

A00922n

P000922M

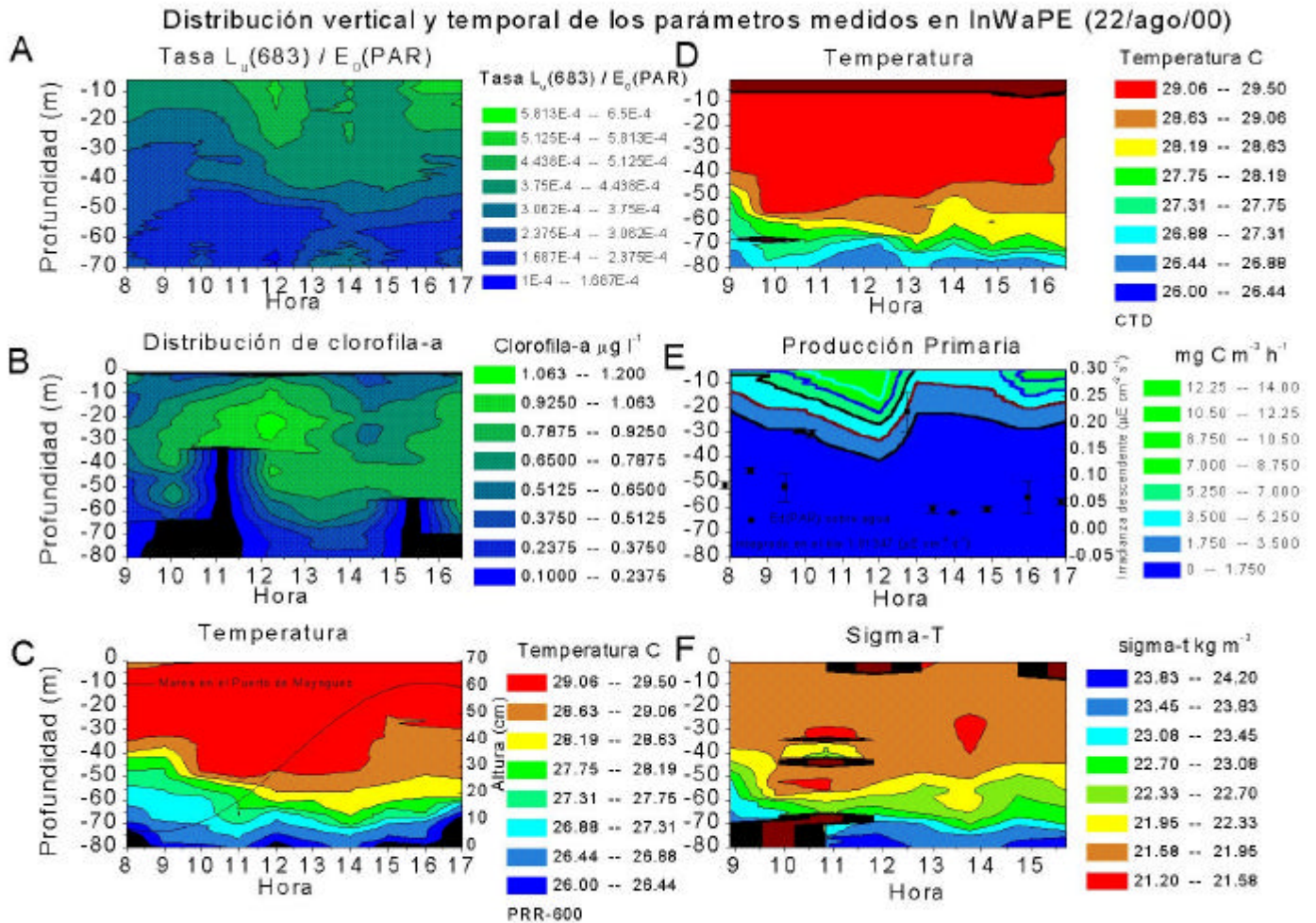


Figura 2. Distribución vertical y temporal de la tasa de L_u/E_0 , clorofila-a, temperatura medida por el PRR-600, temperatura registrada por el SBE 19, producción primaria estimada por fluorescencia natural y sigma-t. La figura 2C muestra la marea barotrópica que se predice para el Puerto de Mayaguez solapando las isotermas. En la figura 2D se solapa la irradianza descendente PAR sobre los estimados de producción primaria. La figura 2E muestra la distribución de las isopiecnas hasta las 1540 y por eso no se aprecia el ascenso que ocurre más tarde.

Perfiles de Clorofila-a y la tasa $L_u(683)/E_0(\text{PAR})$

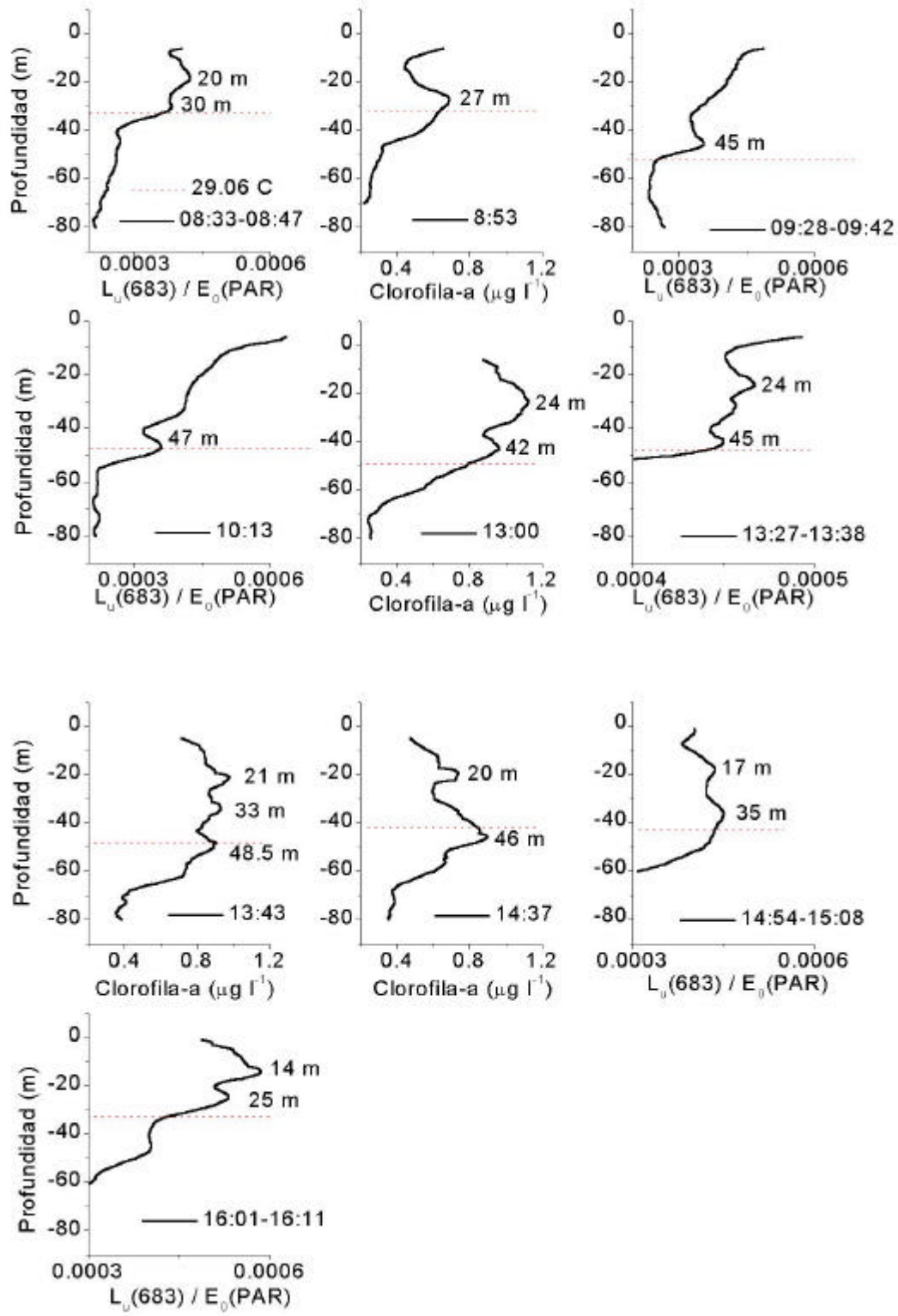


Figura 3. Cambios en la concentración y distribución vertical de la clorofila-a en el transcurso del día. La tasa $L_u(683)/E_0(\text{PAR})$ es un indicador de la biomasa presente en la columna. Ambos parámetros revelan el desplazamiento vertical de la biomasa durante el paso de la onda interna. La

línea entrecortada roja señala la posición de la isoterma de 29.06°. Se indica la profundidad de los picos presentes en el perfil. Se observa que el máximo profundo de clorofila está entre 1 a 7 metros por encima de la isoterma de 29.06°. El desplazamiento vertical del máximo de clorofila responde al ascenso y descenso de la isoterma provocado por el paso de la onda interna. Se observan dos picos de clorofila pero el inferior responde en mayor grado a los desplazamientos verticales de la isoterma.

Tabla 2. Predicción de la altura de la marea barotrópica en el Puerto de Mayaguez para el viernes 22 de septiembre de 2000.

Hora (AST)	Altura (cm)	Tipo de marea
0237	38.79	Alta
0906	5.87	baja
1633	62.08	alta
2309	25.73	baja

Resumen de Resultados

En la estación InWaPE se detecta el paso de una onda interna debido al desplazamiento que muestran las isotermas, en particular la de 29.06 C (figura 1C). Entre las 0800 y las 0930 la isoterma se mantiene a una profundidad entre 34-32 m. Durante ese periodo la deriva del R/V Sultana era fuerte hacia el NNO pero su magnitud se reduce un poco a eso de las 0948. A pesar de que el oleaje era menor de medio metro (~ 1pie) y había poco viento, se sentía bastante turbulencia en la embarcación. A partir de las 0930 la isoterma desciende bruscamente hasta alcanzar a las 10:00 una profundidad de 48 m. En 30 minutos descendió entre 14-16 m. Poco después de las 1000 la turbulencia termina, no hay viento y solo hay ondas capilares en la superficie. No obstante para las 1012 la deriva nos aleja de la estación unas 0.20 millas náuticas hacia el NNE. A las 1013 la proa de la embarcación apunta al N y de repente rota hacia el NNE, mientras hacemos un perfil. Desde las 1000 hasta las 1400 la isoterma de 29.06 C se mantiene entre los 47-49 m de profundidad, siendo al mediodía cuando alcanza la profundidad de 47 m. A partir de las 1430 comienza el súbito ascenso y a las 1500 está a una profundidad de 24 metros. Entre las 1530 y las 1700 se mantiene alrededor de los 28 m. En resumen la onda tiene una altura máxima (cresta-valle) de 25 m durante la tarde. Estas temperaturas fueron registradas con el sensor de temperatura del PRR-600.

Las temperaturas registradas con el CTD de SBE 19 muestran un patrón similar entre las 0900 y 1630 (figura 1D). A las 0900 la isoterma de 29.06 se encuentra a unos 39 m de profundidad y desciende hasta los 57 m de profundidad a las 1000 y se mantiene a esa profundidad hasta las 1100. Por lo tanto la onda tiene una altura (cresta-valle) de 18 m durante la mañana. Entre 1100 a 1200 asciende paulatinamente hasta los 49 m. A las 13:00 desciende a 50 m. Entre las 1400 a las 1600 se mantiene estable a una profundidad de 44 m. A partir de las 1600 asciende subitadamente y a las 1630 se encuentra a una profundidad de 25 m. O sea un cambio de 19 m en 30 minutos.

La isopicna de 21.95 kg m⁻³ desciende desde 37 m hasta 57 m entre las 0900 y las 1000. O sea un desplazamiento de 20 m. Luego asciende paulativamente hasta alcanzar los 52 m a las 1200. A las 1300 se encuentra a unos 48 m y a las 1400 desciende a 49 m. Luego asciende hasta 42 m a las 1500. Entre 1500 y 1543 se mantiene en 43 m de profundidad.

En resumen la onda interna que detectamos tiene una altura que puede oscilar entre 15-20 m y tiene un periodo mayor de 9 horas ya que no observamos el ciclo completo durante la duración del crucero. La onda no está en fase con la marea modelada para el Puerto de Mayaguez. Parece que están fuera de fase por 1 hora (figura 1C). La marea baja (barotrópica, vea tabla 2) era a las 0906 y la profundidad máxima de la isopicna de 21.95 kg m⁻³ ocurrió a las 1010. En cambio la marea alta que se predice para ese día es a las 1633 y la isoterma de 29.06 ° está lo más cerca de la superficie a esa misma hora. La forma de la onda interna no se conforma a la de la marea barotrópica más bien parece la forma de un solitón. Presenta un

cambio súbito en la profundidad de las isotermas. En un periodo breve de 30 minutos ocurren cambios entre 15-25 m de profundidad.

La tasa de $L_u(683) / E_0(\text{PAR})$ es muy buena para detectar la distribución de biomasa en la columna como muestra la figura 1A y 1B. En ambas figuras se observa que la concentración de biomasa es menor en los periodos que comprenden las 0900-0945 y las 1410-1510. Ambos periodos coinciden con el ascenso y el descenso repentino de las isotermas (ver figura 1c). Por lo tanto en momentos de transición la biomasa no se acumula. La concentración máxima de biomasa ocurre durante el periodo que comprende 1130-1245 y 1545-1700. Durante estos intervalos de tiempo la profundidad de la interfase no cambia mucho.

La producción primaria es menor en el periodo que comprende de 0800-0900 y de 1300-1500 (ver figura 1E). La producción primaria es menor cuando la concentración de biomasa es menor, provocado por el descenso o ascenso repentino de las isotermas. Durante las horas de la mañana la irradianza es menor y entre las 1300 y 1500 estuvo nublado y la irradianza se redujo (ver gráfica 1E). El descenso en productividad puede atribuirse a la menor irradianza pero no creemos que sea la verdadera explicación ya que después de las 1600 la irradianza aumenta poco y la producción aumenta considerablemente. Los máximos en producción primaria ocurren entre las 1000-1230 y 1530-1700. Ambos periodos coinciden cuando hay mayor concentración de biomasa en la columna. Además el máximo en producción es alrededor de las 1100 y la irradianza más alta se midió a las 1245. La biomasa más alta se registró a las 1213 entre 18-28 m de profundidad.

Se observan cambios en la concentración y distribución vertical de la clorofila-a en el transcurso del día (ver figura 3). La tasa $L_u(683)/E_0(\text{PAR})$ es un indicador de la biomasa presente en la columna. Ambos parámetros revelan el desplazamiento vertical de la biomasa durante el paso de la onda interna. Se observa que el máximo profundo de clorofila está entre 1 a 7 metros por encima de la isoterma de 29.06°. El desplazamiento vertical del máximo de clorofila responde al ascenso y descenso de la isoterma provocado por el paso de la onda interna. Se observan dos picos de clorofila pero el inferior responde en mayor grado a los desplazamientos verticales de la isoterma. Durante la mañana mientras desciende la isopícnica observamos un solo pico profundo de clorofila-a. Cuando estamos en el valle de la ola y donde la profundidad de la isopícnica se mantiene cerca de los 48 m, notamos que comienzan a formar un segundo pico centralizado a unos 24 m de profundidad. Ya para las 1343 aparece otro pico a unos 33 m de profundidad y el que estaba en 24 m asciende a 21 m. Cuando comienza el ascenso de las isotermas a las 1437 el pico de 48 m y el de 33 m se confunden en un pico a 46 m mientras que el superior asciende a 20 m. Ya a las 1500 la estructura es un pico a 35 m y otro a 17 m. A las 1600 el pico superior está en 14 m y el inferior en 25 m. La onda desplazó el fitoplanctón a una profundidad de 25 m en horas de la tarde (1601-1611) y a pesar de que hay menor irradianza que al mediodía se obtienen estimados de producción altos. A pesar de que el campo de irradianza es menor el ascenso de la comunidad por la onda les permite irradiarse mejor.

Conclusión

Podemos concluir que durante el crucero InWaPE detectamos una onda interna del orden de 20 m y con periodo mayor de 9 horas. La onda presenta el aspecto de un solitón debido a que la transición entre cresta y valle puede ocurrir en tan solo 30 minutos. La onda concentra el fitoplancton en el valle y la cresta pero durante la transición cresta-valle la concentración es mínima. Por lo tanto provoca parchos de mayor biomasa intercalados por zonas de menos biomasa. La productividad primaria es máxima en el valle de la onda, aunque en la tarde se observa en la cresta un aumento en productividad a pesar de que la irradianza es baja. El desplazamiento vertical del fitoplancton por el paso de la onda se observó claramente. El ascenso del fitoplancton en horas de la tarde aumentó la tasa de producción y se obtuvieron estimados comparables con los que se obtienen durante el mediodía. El impacto de la onda interna sobre la producción es notable y no puede ser descartado.

Agradecimientos

Un sincero agradecimiento al Dr. José M. López por el apoyo económico, logístico y profesional para llevar a cabo esta investigación. También quiero agradecer al Dr. Jorge Capella por facilitarme el CTD SBE 19 y por enseñarme la técnica para coleccionar y procesar los datos. Gracias al Dr. Jorge García y a su estudiante el Sr. Sabater por prestarme el CTD SBE 19 y fluorómetro SeaStar. Este trabajo no sería posible sin la ayuda del estudiante doctoral Angel Dieppa que contribuyó en gran medida a la recolección y procesamiento de los datos del PRR-600. También por coleccionar las muestras de clorofila. Mi agradecimiento al Dr. Ernesto Otero por la lectura de las clorofilas que permitieron la calibración del fluorómetro SeaStar. Finalmente al Capitán Dennis Corales que siempre va más allá de sus obligaciones y trabaja mano a mano en la difícil operación de recolección de datos. Dedico este trabajo a mi familia y Carmen E. Pérez que siempre me apoya en los momentos más difíciles.