

Dinámica poblacional de *Eisenia arborea* Areschoug (Laminariales: Ochrophyta) en el intermareal de Punta Eugenia, Baja California Sur, México

Gloria M. Parada*, **, Rafael Riosmena-Rodríguez**, Enrique A. Martínez*** & Gustavo Hernández-Carmona****

Resumen

Dinámica poblacional de *Eisenia arborea* Areschoug (Laminariales: Ochrophyta) en el intermareal de Punta Eugenia, Baja California Sur, México. Se estudió la dinámica poblacional de *Eisenia arborea* en la zona intermareal de Punta Eugenia por ser una de las especies críticas en la estructura comunitaria de esta zona. Se trabajó entre diciembre de 2003 y agosto de 2004 para estimar densidades, tasas de crecimiento, reproducción, reclutamiento y correlaciones morfométricas. La densidad promedio fue de 23 talos m⁻², con un máximo significativo en julio de 2004. La tasa de crecimiento es estacional y lenta si se compara con otras Laminariales, no superando en promedio 0.2 mm día⁻¹, aunque los individuos de la temporada invernal tienen una mayor tasa de crecimiento. Las algas presentan una estrategia de vida perenne y estacionalidad en la presencia de soros, con una alta presencia de frondas en estado reproductivo durante otoño-invierno. El mayor número de reclutas se registró en febrero de 2004. Las correlaciones morfométricas indican una tendencia positiva entre las longitudes máxima del alga y del estipe, así como longitud máxima y perímetro de estipe. Este estudio evaluó la parte más accesible

Abstract

Population dynamics of *Eisenia arborea* Areschoug (Laminariales: Ochrophyta) in the intertidal of Punta Eugenia, Baja California Sur, México. The population dynamics of *Eisenia arborea* from the intertidal zone of Punta Eugenia, Baja California Sur, was studied. *Eisenia arborea* is one of the critical species for the community assemblage in the study area. Sampling was carried out from December 2003 to August 2004. We measured the plant density, growth rate, reproductive season, recruitment and morphometric correlations in the population. Average density was 23 plants m⁻², with a significantly maximum in July 2004. The growth rate is seasonal and, in contrast to the finding for other species from Laminariales, the growth rate for *E. arborea* was much lower. The average was always lower than 0.20 mm d⁻¹. Nevertheless, younger plants showed significant higher growth rates. We found a significant seasonal variation for sori presence. The highest percentage of plants with reproductive fronds was obtained during autumn-winter. The highest number of recruits in the study site was in February 2004. Morphometric correlations between maximum stipe length and perim-

Résumé

Dynamique des populations de *Eisenia arborea* Areschoug (Laminariales: Ochrophyta) dans la zone inter-marée de Punta Eugenia, Baja California Sur, México. On a étudié la dynamique des populations de *Eisenia arborea* Areschoug dans la zone inter-marée de Punta Eugenia, car c'est une des espèces critiques de la structure communautaire de cette zone. L'étude a été réalisée entre décembre 2003 et août 2004 afin d'estimer les densités, les taux de croissance, la reproduction, le recrutement et la corrélation morphométriques. La densité moyenne a été de 23 thalles m⁻² avec un maximum significatif en juillet 2004. Le taux de croissance est saisonnier et lent si on compare avec d'autres laminariales, et il ne dépasse pas la moyenne de 0.20 mm j⁻¹, même si les individus de la saison hivernale ont un taux de croissance plus élevé. Les algues ont une stratégie de vie pérenne et saisonnière en présence de soros, avec une présence élevée de frondes en état reproductif pendant l'automne-hiver. Le nombre le plus important de recrues a été enregistré en février 2004. Les corrélations morphométriques indiquent une tendance positive entre longueur maximale de l'algue et du stipe, de même pour longueur maximale et périmètre du

* Laboratorio de Bioingeniería. Universidad Adolfo Ibáñez. Av. Diagonal Las Torres 2640. Peñalolén, Chile.

** Programa de Investigación en Botánica Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km 5.5. La Paz, B.C.S., 23080, México.

*** Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Avenida Raúl Bitrán s/n, Colina El Pino, La Serena. Chile.

**** Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Ap. 592, La Paz, B.C.S., 23096, México.

en el margen superior de su distribución vertical de *E. arborea*, que sería el primer sector afectado en un proceso de extracción comercial, situación que ya presenta antecedentes de haber comenzado.

Palabras clave: Crecimiento, densidad, reclutamiento, reproducción, manejo, explotación comercial.

eter showed a positive trend. This study focuses on the most accessible portion of *E. arborea* populations. Such marginal parts would be the first ones to be affected by the commercial exploitation, activity that already started.

Key words: Density, growth, recruitment, reproduction management, commercial exploitation.

stipe. Cette étude a évalué la partie la plus accessible dans la marge supérieure de la distribution verticale de *E. arborea*, partie qui serait affectée en premier lors d'un procédé d'extraction commerciale, extraction qui a déjà eu lieu.

Mots clés: Croissance, densité, exploitation commerciale, recrutement, reproduction, gestion.

Introducción

Las algas pardas de los ordenes Fucales y Laminariales son elementos que pueden ser tanto comunes como dominantes en la zona rocosa submareal e intermareal del mundo (Schield & Foster 2006). En la zona de Columbia Británica (Canadá) se ha observado que las interacciones biológicas tienen un efecto considerable sobre los patrones demográficos de las Laminariales dentro de la zona intermareal (Markel & DeWreede 1998). Mientras que para la zona Californiana se ha observado que los patrones demográficos se ven influenciados por cuestiones físico-químicas del ambiente más que por los ramoneadores (Black 1974, Foster 1990, McConnico & Foster 2005).

De las 20 especies del orden Laminariales reconocidas en California y Baja California (Abbott & Hollenberg 1976), existen seis especies con poblaciones de renovación típicamente anual (McConnico & Foster 2005). Todas las especies estudiadas hasta el momento tienen una tasa de crecimiento elevada (Schield & Foster 2006). La densidad poblacional tiende a variar estacionalmente con un máximo en invierno y un mínimo en verano (Henkel & Murray 2003). Pero no se conoce apropiadamente la relación entre la densidad, estructura de tallas y reclutamiento (Creed *et al.* 1998). Se ha observado que el reclutamiento ocurre en diferentes momentos de la primavera (Black 1974, Henkel & Murray 2003, McConnico & Foster 2005) y la maduración de soros abarca de marzo a octubre (Blanchette 1996, McConnico & Foster 2005).

Se ha demostrado que latitudinalmente existe, en el hemisferio norte, una reducción significativa de la riqueza específica de Laminariales que ocurre de Norte a Sur (Druehl 1970) y la mayor parte de los estudios de este orden se han realizado en la zona submareal de California (Dayton *et al.* 1999, Edwards 2004, Edwards & Estes 2006) en particular con referencia a los efectos causados por El Niño sobre las especies y evaluando su potencialidad de recuperación. Esto mismo se ha desarrollado en Baja California donde se ha observado que *Eisenia arborea* Areschoug es una especie competidora con *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh en procesos de recolonización post-El Niño en la zona submareal (Ladah *et al.* 1999). *Eisenia arborea* puede recuperarse más rápidamente que *M. pyrifera*, debido a que la planta adulta permanece en el ambiente pues posee adaptaciones fisiológicas para almacenar nitrógeno en sus tejidos que le ayudan a resistir las mayores temperaturas del agua (Hernández-Carmona *et al.* 2001). Luego del evento, las poblaciones de *E. arborea* se recuperan al generar nuevos reclutas que ocupan el espacio dejado por la desaparición de *M. pyrifera* y otras algas. Edwards & Hernández-Carmona (2005) mostraron que existen grandes cambios en la densidad de la especie entre un año normal contra un año El Niño para la zona de San Roque en Baja California Sur (BCS) (27°10'N, 114°26'O). Riosmena-Rodríguez *et al.* (2005) también encontraron densidades bajas de *E. arborea* en la zona submareal de Punta Abreojos (BCS) durante un evento El Niño moderado. Además

en esta zona registraron su presencia en la zona intermareal baja. Cabe señalar que la distribución de esta especie en México ha sido descrita de manera continua a lo largo de la península de Baja California desde la frontera con Estados Unidos (Baja California) hasta la isla Santa Margarita en Baja California Sur (24°26'N, 111°49'O) (Druehl 1970). Es una especie submareal pero también se la encuentra ocasionalmente en el intermareal medio-bajo (Abbott & Hollenberg 1976). En general el conocimiento de la dinámica poblacional de la especie es fragmentario y exclusivamente conocido para el submareal.

Eisenia arborea ha sido descrita como un recurso potencial para la extracción de alginos (Guzmán del Proo 1969, Guzmán del Proo *et al.* 1986, Hernández-Carmona *et al.* 2001), también constituye un elemento alimentario importante para los abulones (González-Avilés & Shepherd 1996, Serviere-Zaragoza *et al.* 1998) ha sido explotada en forma artesanal en México (Callejas-Jiménez 2006), puede ser usado para consumo animal o humano (Hernández-Carmona *et al.* 2009), además presenta efectos antialérgicos (Sugiura *et al.* 2008) y una alta actividad anticoagulante (Muñoz-Ochoa *et al.* 2009) que la vuelve una especie interesante para investigaciones biomédicas.

Por otro lado, es nulo el conocimiento de la dinámica de las poblaciones intermareales, convirtiéndose en un problema cuando se propone utilizar esta especie como un recurso explotable, ya que no se cuenta con los modelos para su manejo adecuado. El objetivo de este trabajo es describir la dinámica poblacional de *E. arborea* intermareal en Punta Eugenia (BCS) en función de la densidad, tasa de crecimiento, época reproductiva y de reclutamiento así como relaciones morfométricas.

Material y métodos

En el sector El Faro, Punta Eugenia (27°50'N, 115°4'O) (Fig. 1) fueron seleccionados dos sitios con similares orientación y exposición al oleaje. Los días y horas para cada muestreo fueron realizados de acuerdo a las mareas más bajas para la zona, según la tabla de mareas

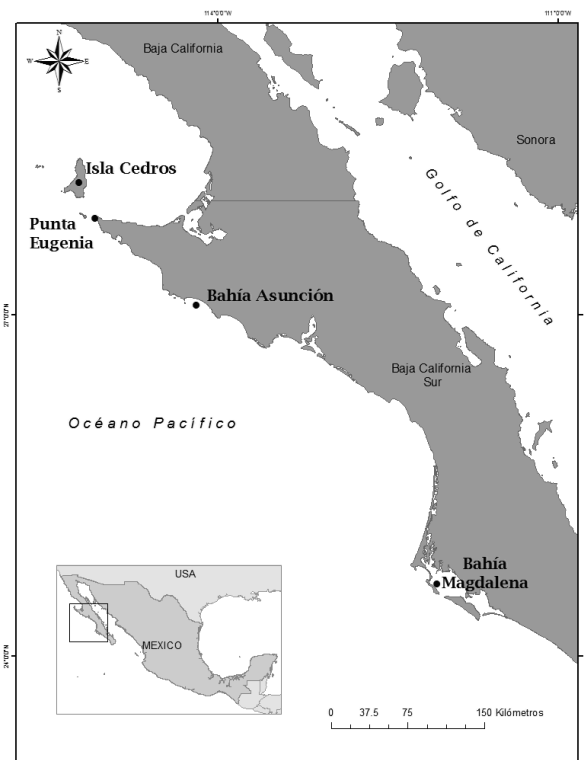


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. Punta Eugenia, Baja California Sur.

del CICESE para la isla Cedros. La Tabla I muestra las fechas de muestreos y los promedios mensuales de temperatura superficial del agua de mar. A continuación se describen los métodos desarrollados.

Densidad: Durante cada muestreo se midió la densidad de algas por metro cuadrado colocando aleatoriamente un cuadrante de 1x1 m a lo largo de la franja intermareal rocosa. Se transformó los datos (raíz cuadrada), se realizó un análisis de varianza de dos vías y una

Tabla I. Fechas de muestreo y promedio mensual de la temperatura superficial del agua de mar en Punta Eugenia, sector El Faro. Fuente: CICESE.

Fecha	Temperatura (°C)
21-23 de diciembre de 2003	17.08
17-19 de febrero de 2004	15.25
4-7 de mayo de 2004	16.90
1-4 de julio de 2004	17.50
28-30 de agosto de 2004	18.85

prueba de Tukey *a posteriori* (Zar 1996). La densidad se midió en diciembre de 2003 y en febrero, mayo, julio y agosto de 2004.

Tasa de crecimiento: Se evaluó el crecimiento de estipes, sin considerar las frondas. El desgaste natural al que están sometidas las frondas y la periodicidad de los muestreos no permitió realizar una medición que evalúe la longitud total. Se consideró perímetro y longitud como variables separadas debido al crecimiento independiente (radial y longitudinal) que ellas presentan. En terreno se observó variabilidad en los estipes, por lo que fueron clasificados en tres grupos: según su perímetro, cada estipe se clasificó como delgado, mediano o grueso (medidos en milímetros) y según su longitud como corto, mediano o largo (medidos en centímetros). El incremento asociado para la clasificación de cada variable se obtuvo tomando la diferencia entre la medida mayor y la menor, dividiéndola en tres.

En diciembre de 2003 se identificó y midió 171 individuos, marcando cada estipe con un trozo de hule y una ficha numerada (Fig. 2). La talla del perímetro fue tomada en la base del estipe, sin considerar el sujetador. La longitud se midió desde el nivel usado para medir el perímetro hasta la base de la fronda o debajo de su primera dicotomía según correspondiera. Las evaluaciones posteriores fueron hechas en febrero, mayo, julio y agosto

de 2004. Los muestreos se realizaron en promedio cada 63 días. Se estimó la tasa de crecimiento individual (mm día^{-1}) calculando la diferencia en las tallas entre dos muestreos consecutivos. Se transformó los datos a raíz cuadrada para cumplir el supuesto de normalidad (Kolmogórov-Smirnov) y homocedasticidad (Bartlett). Se aplicó un análisis de varianza anidado ($p= 0.05$) para determinar diferencias en la tasa de crecimiento en función del tiempo.

Reproducción y reclutamiento: Se evaluó el porcentaje de frondas con soros (% FS) como un indicativo de la tendencia reproductiva de las algas. Un total de 279 individuos fueron evaluados durante febrero, mayo, julio y agosto (2004), contando el total de frondas y las correspondientes en estado reproductivo (presencia de soros). Para establecer diferencias entre meses se aplicó un análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis) y una prueba *a posteriori* no paramétrica (Nemenyi). Para evaluar reclutamiento se trabajó a nivel de la franja de reclutamiento observada *in situ*, para esto se limpió cinco áreas de sustrato rocoso de 40x40 cm (más un margen de no muestreo). Para la limpieza o "clareo" del sustrato se utilizó espátula, cepillo de cerdas metálicas y finalmente se quemó la superficie con un soplete portátil. Cada cuadrante se marcó para darle seguimiento y registrar la presencia de nuevos reclutas en el tiempo. Se definió como recluta a los nuevos individuos observables a simple vista (aproximadamente 0.5 cm). Se consideró la fecha del primer clareo como el tiempo inicial (T_0), es decir, diciembre de 2003. Los mismos cuadrantes se evaluaron y vueltos a clarear en febrero, mayo y agosto (2004). Las muestras de los reclutas se fijaron en formol al 4% con agua de mar para ser medidas en el laboratorio del Programa de Investigación en Botánica Marina de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Relaciones morfométricas: Para caracterizar morfológicamente la población se evaluó si existen correlaciones entre: longitud máxima, longitud de estipe y perímetro del estipe. Los datos fueron obtenidos a partir de medidas realizadas a los 171 individuos. Se obtuvo los

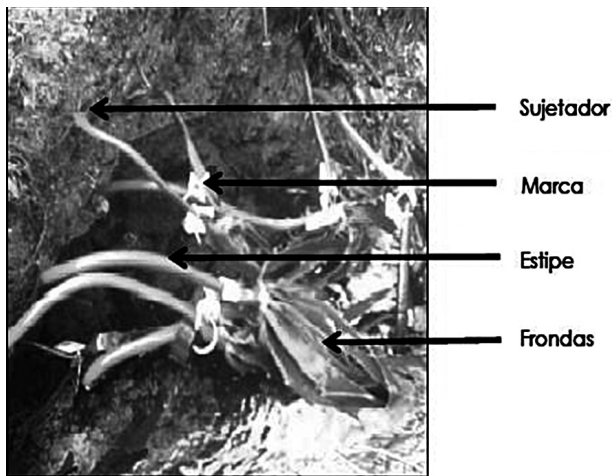


Figura 2. Hábitat de *Eisenia arborea*, se detalla sujetador, estipe y frondas. Se observa detalle de las algas marcadas usadas para la evaluación de crecimiento.

coeficientes de correlación de Spearman (r) y coeficientes de determinación (r^2) para medir la intensidad de asociación entre pares de variables y el porcentaje de varianza que explica cada variable. Se trabajó bajo la hipótesis nula de no relación entre las variables ($p=0.05$).

Resultados

Densidad: Se presentó una variación estacional de la densidad. En diciembre de 2003 (otoño) se presentó la mínima densidad con 19.1 algas m^{-2} , con una desviación estándar (DE) de 9.9 y en julio de 2004 (primavera) la máxima con 36.5 algas m^{-2} (DE= 17.1) (Fig. 3). El análisis de varianza de dos vías indicó diferencias significativas entre los meses ($p < 0.001$) pero no entre sitios ni entre la interacción meses-sitio. La prueba *a posteriori* indicó que julio 2004 fue significativamente diferente a diciembre de 2003 y a febrero de 2004 ($p < 0.01$ y $p = 0.03$ respectivamente).

Tasa de crecimiento: El crecimiento registrado en *E. arborea* no superó un milímetro por día, tanto para la longitud como para el perímetro del estipe (Fig. 4). Particularmente en el caso de los estipes, el análisis de varianza anidado indicó que no hubo diferencias significativas en la tasa de crecimiento para los distintos meses ($F_{(11,176)} = 1.4334$, $p = 0.1615$). Los valores promedios de crecimiento de estipes largos, variaron entre 0 y 0.07 ($mm\ día^{-1}$) (Fig. 4A). Para las algas de estipes medianos los valores

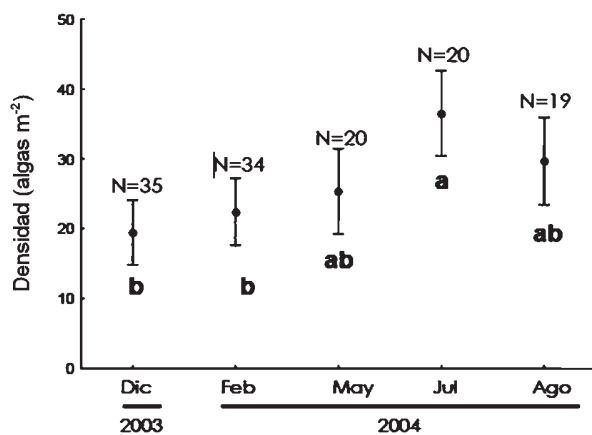


Figura 3. Densidad promedio de *E. arborea* en el área intermareal de Punta Eugenia. Letras distintas indican diferencias significativas.

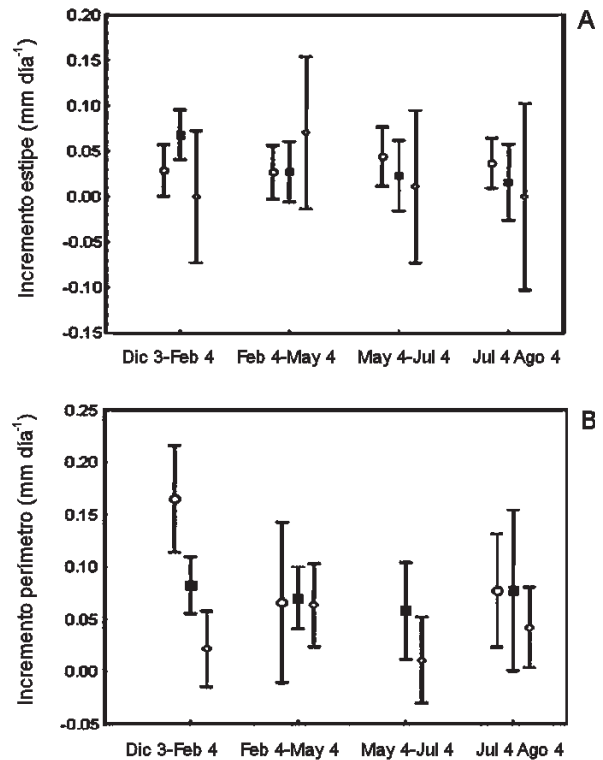


Figura 4. Incremento diario de crecimiento en longitud de estipes (A) y de perímetro (B) en *E. arborea*. Eje X indica meses de muestreo consecutivos. En diciembre-febrero se registró la mayor tasa de crecimiento en el perímetro de algas de estipe corto, correspondiendo en su mayoría a juveniles. Diseño ANOVA anidado. Barras indican intervalos de confianza del 95%. Simbología A: ○ cortas ■ medianas ◇ largas. En B: ◇ delgadas ■ medianas ○ gruesas.

promedios de crecimiento fluctuaron entre 0 y 0.068 ($mm\ día^{-1}$). Las algas de estipes cortos presentaron menores varianzas y promedios totales entre 0.017 y 0.044 ($mm\ día^{-1}$).

El análisis del incremento en perímetro (Fig. 4B) mostró diferencia significativa entre los distintos morfotipos -delgadas, medianas y gruesas- ($F_{(8,152)} = 3.0796$, $p < 0.001$). Esta diferencia estuvo relacionada principalmente con el grupo de algas delgadas (10 a 39.9 mm), cuyo mayor valor promedio (0.165 $mm\ día^{-1}$) se registró en el periodo de diciembre de 2003 a febrero de 2004. El valor promedio más bajo (0.011 $mm\ día^{-1}$) correspondió a las algas gruesas para el periodo de mayo de 2004 a julio de 2004. Se presentó una amplia variabilidad en los datos que estadísticamente impidió detectar otras diferencias.

Tabla II. Porcentaje promedio de frondas con soros (% FS). N= tamaño de muestra, DE= desviación estándar.

Fecha (2004)	N	Media (%)	% mín.	% máx.	DE
Febrero	40	30.3	4.5	100	21.1
Mayo	87	1.3	0	100	10.5
Julio	84	0.8	0	16.7	2.8
Agosto	68	6.4	0	71.8	11.8

Reproducción y reclutamiento: En febrero de 2004 se presentó el mayor porcentaje promedio de frondas con soros (30.3%). La menor presencia de soros fue en julio de 2004 (0.8%) (Tabla II). En mayo de 2004 se presentó un 1.3% y en agosto de 2004 6.4% (Fig. 5). Se encontraron diferencias significativas entre los meses evaluados ($H_{(3,351)} = 181.68$, $p < 0.01$); febrero fue significativamente diferente al resto de los meses; mayo y julio no fueron diferentes entre sí y éstos dos últimos fueron diferentes a agosto (Fig. 5). Se observó una concordancia temporal entre los valores de mayor presencia de soros evaluada y el máximo de reclutamiento.

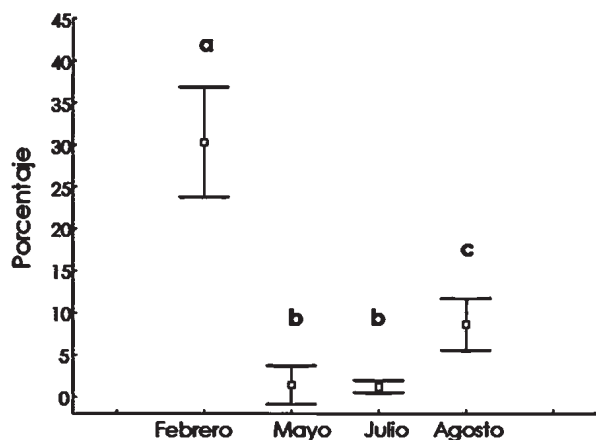


Figura 5. Porcentaje promedio de frondas con soros en donde se observan diferencias significativas entre las temporadas de muestreo. Barras indican desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas.

Las muestras de los cuadrantes clareados para evaluar reclutamiento presentaron Laminariales de tamaño pequeño (*E. arborea*, *M. pyrifer* y *Laminaria* sp.), esto dificultó determinar el género por lo que los resultados reflejan el reclutamiento de estas tres especies. La mayor frecuencia de reclutas, evaluados en

tres de los cuatro cuadrantes totales, fue durante febrero de 2004 (Fig. 6) con un promedio de 10.7 individuos (DE= 11.47). En las siguientes fechas los promedios de reclutas fueron: mayo= 1 (DE= 1.4), julio= 0.2 (DE= 0.45), agosto= 1.8 (DE= 4.02). El promedio de tallas de los reclutas fue de 1.12 cm (DE= 0.52).

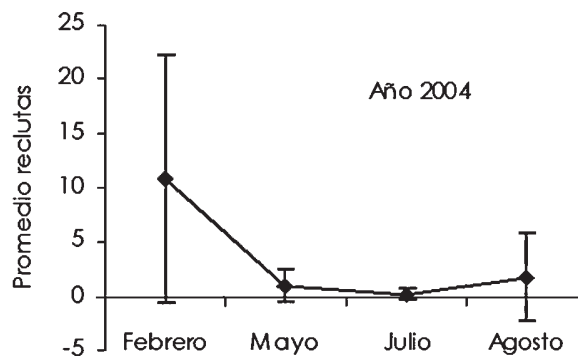


Figura 6. Promedio de reclutas de Laminariales observados para los meses de febrero, mayo, julio y agosto 2004. Barras indican desviación estándar

Relaciones morfométricas: Los mayores valores de correlación y de determinación se obtuvieron entre longitud máxima y longitud de estipe ($r = 0.84$, $r^2 = 0.71$, $t_{(N-2)} = 20.43$) (Fig. 7A), seguido por longitud máxima y perímetro ($r = 0.83$, $r^2 = 0.69$, $t_{(N-2)} = 19.56$) (Fig. 7B) y finalmente longitud de estipe y perímetro ($r = 0.77$, $r^2 = 0.59$, $t_{(N-2)} = 15.73$) (Fig. 7C). Todos los valores de r fueron significativos ($p < 0.05$) por lo que se rechaza la hipótesis nula de no relación entre variables. La dispersión de datos para las longitudes se vio acentuada a partir de algas con perímetros igual y mayor a los 5 cm.

Discusión

Los valores de densidad no mostraron diferencias significativas entre los distintos meses ni entre los sitios sino hasta julio de 2004, lo que coincide con una mayor abundancia de juveniles (≥ 10 cm) que se observó a partir de mayo de 2004. Las densidades más bajas se registraron durante diciembre de 2003. Se puede suponer que la baja densidad de diciembre de 2003 fue consecuencia de El Niño que afectó durante los años 2002-2003. En otoño-invierno,

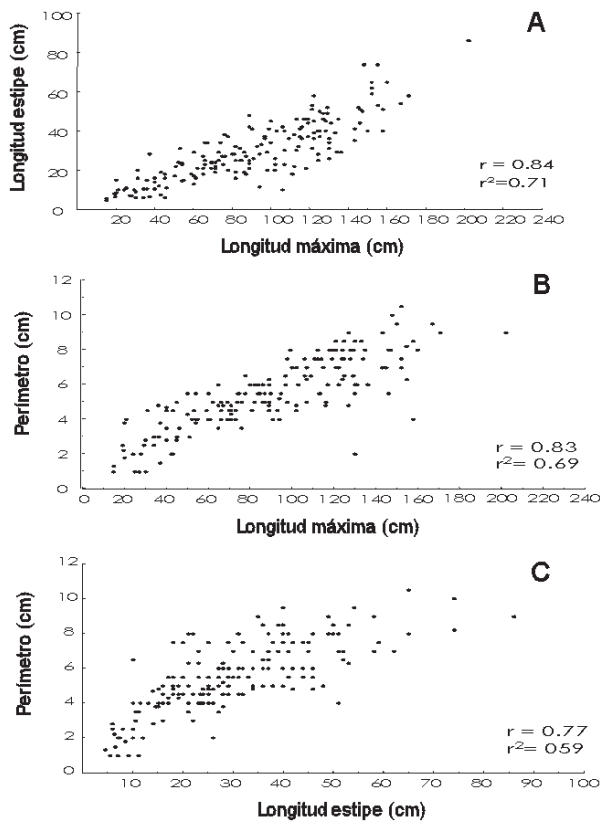


Figura 7. Correlación de Spearman para longitud máxima versus longitud de estipe (A), longitud máxima versus perímetro (B) y longitud de estipe versus perímetro (C). Los valores de r^2 son significativos ($p < 0.05$).

desde octubre del 2002 hasta enero del 2003 los máximos valores del índice multivariado ENSO (MEI) variaron entre 1 y 1.25. Este valor declinó hasta casi niveles 0 desde abril a julio del 2003, volviendo a incrementarse hasta casi 0.5 entre agosto y noviembre del mismo año (www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.mei_index.html). Si consideramos que existe un fuerte potencial reproductivo de *E. arborea* durante otoño e invierno, entonces, las condiciones de El Niño durante 2001-2002, habrían afectado la época reproductiva, tal como se ha descrito para otras Laminariales como *Lessonia nigrescens* (Martínez *et al.* 2003). Se piensa que las densidades de diciembre correspondían a individuos sobrevivientes previos al 2002. Además, observaciones preliminares de distribución de frecuencia de tallas realizadas en diciembre de 2003 indicaron que el 15.2% era aportado por algas de menos de 20 cm, y sólo de seis individuos correspondieron a reclutas

de menos de 20 cm ($N = 171$). También se observó en esta fecha una gran presencia de frondas con soros (obs. pers). Es decir, las condiciones 2001-2002 afectaron fuertemente la reproducción en otoño-invierno. La disminución a niveles cero del MEI sucedió a finales de la época reproductiva y los reclutas sobrevivientes fueron nuevamente afectados por las condiciones normales de verano y un aumento del MEI. Esto explicaría por qué la baja frecuencia de nuevos individuos. Por otra parte, Espinosa-Carreón *et al.* (2004) a través de un estudio de comparación interanual desde 1997 al 2002, señalan que Punta Eugenia es un área fuertemente afectada por los eventos El Niño y La Niña. Se supone que en condiciones no-El Niño exista menos diferencia de densidad mensual, pero a partir de primavera se esperaría el incremento poblacional debido a los nuevos reclutas. La densidad promedio en el intermareal en Punta Eugenia es casi seis veces mayor que lo registrado en el submareal de isla Asunción (Hernández-Carmona *et al.* 2000) y de Punta San Roque (Edwards & Hernández-Carmona 2005).

Con los resultados obtenidos de este estudio, aunque no todos totalmente significativos, se sugiere postular la hipótesis que *E. arborea* es una especie de crecimiento lento y que los esporofitos de perímetros más delgados, representados principalmente en las tallas más pequeñas, presentan las mayores tasas de crecimiento en un periodo de tiempo que bordee diciembre, enero y febrero. Al contrario los meses de verano estarían asociados a menores tasas de crecimiento.

Para algunas especies de Laminariales el crecimiento está determinado por la edad (Parke 1948), en cambio para otras, como *Pterygophora californica*, variables como profundidad, densidad, exposición al oleaje, competencia por la luz y con otras especies parecen ser variables más determinantes que la edad (Hymanson *et al.* 1990), en ella el crecimiento del perímetro no es proporcional con la longitud de estipe. También la condición intermareal debe reducir el acceso a carbonatos y asimilación de nutrientes, provocando también una reducción de tamaños desde el

intermareal bajo al intermareal alto, como en *Lessonia nigrescens* en las costas de Chile donde hay diferencias significativas de tamaños dentro de una franja intermareal rocosa con sólo dos metros de exposición a las mareas bajas (Martínez 1994). El crecimiento de *E. arborea* estaría también condicionado a diferentes variables, suponiendo una influencia diferencial que aún queda por explorar. Otras investigaciones en el submareal de California, señalan que el crecimiento de estipes en *E. arborea* disminuye con la profundidad (Dayton *et al.* 1999). Observando que a 8 m de profundidad crece casi dos veces más que a 23 m y el periodo de máximo crecimiento ocurre de febrero a mayo, aproximadamente 40 mm (0.44 mm día⁻¹); esto en aguas someras y con baja densidad de *M. pyrifera* (Dayton *et al.* 1999). *Macrocystis pyrifera* es el principal competidor submareal de *Eisenia* en el Pacífico nororiental y es común que el dosel de *M. pyrifera* disminuya la cantidad de luz.

Las tasas de crecimiento de *E. arborea* intermareal en Punta Eugenia (menos de 0.25 mm día⁻¹) fueron más bajas que las descritas para individuos submareales de California e incluso mucho menores que las medidas en *M. pyrifera*, las que pueden alcanzar hasta 23.3 cm día⁻¹ (Hernández-Carmona *et al.* 2000). Parece ser una característica de kelps intermareales un menor tamaño en comparación con individuos submareales (Camus & Ojeda 1992, Martínez 1994). Por ejemplo, *L. nigrescens* presenta una variación de tamaños mayor entre un 1 m de distancia vertical que entre localidades separadas por más de 2,000 km, esto es entre los 19°50' y los 41°40' de latitud sur (Martínez 1994).

Condiciones ambientalmente favorables, durante el periodo de desarrollo de soros hasta el reclutamiento, producen un máximo aprovechamiento de sustrato para las fases microscópicas de las algas, encontrando posteriormente los primeros reclutas hasta en niveles superiores de la distribución vertical, incluyendo sustratos no adecuados para el desarrollo de los esporofitos, los que finalmente mueren por desecación, herbivoría o exceso de intensidad lumínica (Santelices 1990). En

este estudio, la presencia de reclutas osciló entre febrero y agosto, los muestreos indicaron un mayor número en febrero, siendo casi nula en julio y contrario a lo esperado, hubo algunos reclutas en el muestreo de fines de agosto. Se desconoce sus tasas de crecimiento. Podría existir un crecimiento diferenciado, en donde los reclutas a fines de agosto sean el reflejo de estados microscópicos previos, en donde su desarrollo se favoreció por condiciones ambientales específicas. También la no manipulación de los cuadrantes durante julio pudo haber permitido el desarrollo de estos micro-estados. No se descarta que la temperatura sea un factor determinante del crecimiento para esporofitos y gametofitos. Hayashida *et al.* (1999) determinaron en laboratorio que para esporofitos jóvenes de *E. arborea* el mejor crecimiento se da a 10°C y que se vuelve más lento a medida que aumenta la temperatura. También determinaron que las temperaturas óptimas de crecimiento para gametofitos fueron de 20°C para masculinos y 25°C para los femeninos. En ambos tipos de gametofitos el menor crecimiento se da a 10°C. Por otro lado, para los reclutas juveniles, la interacción intraespecífica puede tener un efecto negativo sobre ellos, en donde el arrastre de las frondas de esporofitos de mayor tamaño puede desprender los reclutas más pequeños. Este efecto de barrido haría disminuir rápidamente el número inicial de reclutas; tal efecto ha sido registrado para *Laminaria* (Velimirov & Griffiths 1979) y *L. nigrescens* (Santelices & Ojeda 1984). Sin embargo, independiente del valor real de número de reclutas, nuestros resultados sugieren que existe un periodo de máximo reclutamiento durante la temporada de otoño-invierno.

Aunque no se muestreó un ciclo anual completo, los datos sugieren que la población de *E. arborea*, en esta localidad particular inicia la temporada reproductiva a partir de otoño. A pesar de no haber datos cuantitativos de porcentajes de soros por individuo para diciembre (2003), sí se observó algas con frondas reproductivas en ese mes (obs. pers.). Sugiriendo que la temporada reproductiva se da por lo menos desde diciembre hasta febrero. Estos resultados difieren con

poblaciones submareales de *E. arborea*, en California (McPeak 1981), en donde a partir de julio comienza la mayor actividad reproductiva. Contrariamente, en Punta Eugenia, el porcentaje de algas que presentaban al menos una fronda con soro fue del 4% y 11.5% en julio del 2003 y del 2004 respectivamente (obs. pers.) y fue durante los muestreos de diciembre y febrero del 2004 cuando se observó la mayor presencia de algas, con al menos una fronda reproductiva, en febrero este valor fue de 37.6 % (obs. pers). Porcentualmente, el valor promedio del total de frondas reproductivas por alga fue cercano al 30% en febrero, a diferencia de mayo y julio (2004) en donde no superó el 5% y coincide el mayor porcentaje de frondas con soros en febrero con el registro del mayor reclutamiento. Estos resultados apoyan la propuesta de que en diciembre ya se presentan las algas en estado reproductivo. En cuanto a los resultados de McPeak (1981), es importante considerar que las diferencias de distribuciones, tanto verticales como latitudinales, implican características propias, adaptativas a los individuos. Incluso en Punta Lomas (sur de California) Dayton *et al.* (1999) determinaron que esta especie presenta el máximo de reproducción en invierno y, además, la formación de estructuras reproductivas es mucho mayor en aguas someras que en profundidad, señalan incluso que es un tipo de kelp lento en alcanzar la madurez sexual.

Es común en Laminariales que exista temporalidad reproductiva (Clayton 1990). En ambientes costeros donde los factores ambientales, como luz, temperatura y nutrientes pueden ser altamente variables en el tiempo y en el espacio, la reproducción de las algas puede presentarse en diferentes épocas, variando en forma local como estacional (Deysher & Dean 1986). Por lo general las esporas producidas en un tiempo dado del año son las que más aportan al reclutamiento de nuevos individuos de ese año (Santelices 1990). Para algunas Laminariales como *M. pyrifera*, *Lessonia nigrescens* y *L. trabeculata*, se presenta tejido reproductivo con zoosporas viables durante todo el año, pero esta continua disponibilidad de esporas no conduce necesariamente a un reclutamiento permanentemente exitoso

(Camus 1994). Se desconoce si esta generación permanente de esporas es válido también para *E. arborea*, pero de ser así, se postula que el mayor aporte al reclutamiento sucede en la temporada fría. Además de los factores extrínsecos que afectan la reproducción, la condición interna del alga es un factor intrínseco preponderante para este desarrollo. Se sabe que la cantidad de esporas varía proporcionalmente con el contenido de nitrógeno en los tejidos (Gerard 1997), lo cual está inversamente correlacionado con la temperatura del agua de mar (Zimmerman & Kremer 1984, 1986). En un estudio realizado en el submareal por Hernández-Carmona *et al.* (2001) demostraron que *E. arborea* mantiene altas concentraciones de nitrógeno en sus tejidos, más que *M. pyrifera*, por lo que se esperaría que fueran las condiciones ambientales un fuerte regulador de la reproducción en *E. arborea*.

A la fecha, esta especie está empezando a ser explotada en la península de Baja California. La integración del conocimiento básico generado aquí y lo que se realice en un futuro próximo, permitirá manejar este recurso de una manera sustentable, tanto en lo referente a la elección de periodos y métodos de cosecha como futuros proyectos de cultivo o repoblamiento de áreas donde naturalmente habita *Eisenia*.

Agradecimientos

Agradecemos a un revisor anónimo y a Lizette I. Quan Young (Universidad de Antioquia, Colombia) por sus comentarios que ayudaron a mejorar significativamente el presente escrito. Se agradece a las siguientes instituciones por su apoyo financiero: IAI-SGP-024, PIFI-IPN 20040604, CONACYT-SEMARNAT 243, CONABIO V054, COFAA-IPN, EDI-IPN. GMP agradece a E. Beier y C.E. Cabrera (CICESE) por los datos de TSM, a la Cooperativa de Pescadores "La Purísima" en Punta Eugenia, a P. Santelices, R. Meza, C. Salinas, G. Menges, S. Flores, C. Ortuño, Y. López y K. Infante por su ayuda en el terreno. Se agradece a Amélie Dutoit (UMAR, Huatulco) por su amabilidad de traducir el resumen al francés.

Referencias

- Abbott, I.A. & G.J. Hollenberg. 1976. Marine algae of California. Stanford University Press. Stanford, California, 827 pp.
- Black, R. 1974. The biological interactions affecting intertidal populations of the kelp *Egregia laevigata*. Marine Biology 28: 189-98.
- Blanchette, C.A. 1996. Seasonal patterns of disturbance influence recruitment of the sea palm *Postelsia palmaeformis*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 197: 1-14.
- Callejas-Jiménez, M.E. 2006. Estructura poblacional de *Eisenia arborea* (Areschoug, 1876) dentro de la Bahía San Quintín, Baja California, México. Resúmenes del V Congreso Mexicano de Ficología. Sociedad Ficológica de México, Guadalajara, Jalisco.
- Camus, P.A. 1994. Recruitment of the intertidal kelp *Lessonia nigrescens* Bory in northern Chile: successional constraints and opportunities. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 184: 171-181.
- Camus, P.A. & F.P. Ojeda. 1992. Scale-dependent variability of density estimates and morphometric relationships in subtidal stands of the kelp *Lessonia trabeculata* in northern and central Chile. Mar. Ecol. Prog. Ser. 90: 193-200.
- Clayton, M.N. 1990. The adaptive significance of life history characters in selected orders of marine brown macroalgae. Australian J. Ecol. 15: 439-452.
- Creed, J.C., J.M. Kain & T.A. Norton. 1998. An experimental evaluation of density and plant size in two large brown seaweeds. Journal of Phycology 34: 39-52.
- Dayton, P.K., M.J. Tegner, P.B. Edwards & K.L. Riser. 1999. Temporal and spatial scales of kelp demography: The role of oceanographic climate. Ecological Monographs 69(2): 219-250.
- Deysher, L. & T.A. Dean. 1986. *In situ* recruitment of the giant kelp *Macrocystis pyrifera*: effects of physical factors. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 103: 41-63.
- Druehl, L.D. 1970. The pattern of Laminariales distribution in the northeast Pacific. Phycologia (3-4) 9: 237-247.
- Edwards, M.S. 2004. Estimating scale dependency in disturbance impacts: El Niño and giant kelp forests in the northeast Pacific. Oecologia 138: 436-447.
- Edwards, M.S. & J.A. Estes. 2006. Catastrophe, recovery and range limitation in the NE Pacific kelp forest: A large scale perspective. Mar. Ecol. Prog. Ser. 320: 79-87.
- Edwards, M.S. & G. Hernández-Carmona. 2005. Delayed recovery of giant kelp near its southern range limit in the North Pacific following El Niño. Marine Biology 147: 273-279.
- Espinosa-Carreón, L.T., P.T. Strub, E. Beier, F. Ocampo-Torres & G. Gaxiola-Castro. 2004. Seasonal and interannual variability of satellite-derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California. J. Geophys. Res. 109: C03039, doi: 10.1029/2003JC002105.
- Foster, M.S. 1990. Organization of macroalgal assemblages in the Northeast Pacific: the assumption of homogeneity and the illusion of generality. Hydrobiologia 192: 21-33.
- Gerard, V.A. 1997. The role of nitrogen nutrition in high-temperature tolerance of kelp, *Laminaria saccharina*. Journal of Phycology 33: 800-810.
- González-Avilés, J.G. & S.A. Shepherd. 1996. Growth and survival of the blue abalone *Haliotis fulgens* in barrels at Cedros Island, Baja California with a review of abalone barrel culture. Aquaculture 140: 169-176.
- Guzmán del Prío, S.A. 1969. Los recursos vegetales marinos de Baja California, México. Proc. Int. Seaweed Symp. 6: 685-690.
- Guzmán del Prío, S.A., M.M. Casas-Valdez., A. Díaz-Carrillo, M.L. Díaz-López, J. Pineda-Barrera & M.E. Sánchez-Rodríguez. 1986. Diagnóstico sobre las investigaciones y explotación de algas marinas en México. Investigaciones Marinas CICIMAR. 3: 63 pp.
- Hayashida, F., K. Hiramitsu & M. Munetaka. 1999. Effects of water temperature on the growth of gametophytes and young sporophytes of *Eisenia arborea* Areschoug (Laminariales, Phaeophyta) forming marine forest. J. Sch. Mar. Sci. Technol. 47: 152-132.
- Henkel, S.K. & S. Murray. 2003. Reproduction and morphological variation in southern California populations of the lower intertidal kelp *Egregia menziesii* (Laminariales). Phycologia 29: 23-35.
- Hernández-Carmona, G., O. García, D. Robledo & M.S. Foster. 2000. Restoration techniques for *Macrocystis pyrifera* (Phaeophytaceae) population at the southern limit of their distribution in Mexico. Botanica Marina 43: 273-284.
- Hernández-Carmona, G., D. Robledo & E. Serviere-Zaragoza. 2001. Effect of nutrient availability on *Macrocystis pyrifera* recruitment and survival near its southern limit off Baja California. Botanica Marina 44: 221-229.
- Hernández-Carmona, G., S. Carrillo-Domínguez, D.L. Arvizu-Higuera, Y.E. Rodríguez-Montesinos, J.I. Murillo-Álvarez, M. Muñoz-Ochoa, R.M. Castillo-Domínguez. 2009. Monthly variation in the chemical composition of *Eisenia arborea* J.E. Areschoug. J. Appl. Phycol. 21: 607-616.
- Hymanson, Z.P., D.C. Reed, M.S. Foster & J.W. Carter. 1990. The validity of using morphological characteristics as predictors of age in the kelp *Pterygophora californica* (Laminariales, Phaeophyta). Mar. Ecol. Prog. Ser. 59: 295-304.
- Ladah, L.B., J.A. Zertuche-González & G. Hernández-Carmona. 1999. Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*, Phaeophyceae) recruitment near its southern limit

- in Baja California after mass disappearance during ENSO 1997-1998. *Journal of Phycology* 35: 1106-1112.
- Markel, R.W. & R.E. DeWreede. 1998. Mechanisms underlying the effect of the chiton *Katharina tunicata* (Wood) on the kelp *Hedophyllum sessile* (C. Agardh) Setchell: size escape and indirect effects. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 166: 151-161.
- Martínez, E.A. 1994. Evaluación experimental de selectividad en la mortalidad de estados microscópicos y juveniles de *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta, Laminariales). Tesis Doctoral en Ciencias Biológicas, mención Ecología, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 193 pp.
- Martínez, E.A., L. Cárdenas & R. Pinto. 2003. Recovery and genetic diversity of the intertidal kelp *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae) 20 years after El Niño 1982/83. *Journal of Phycology* 39: 504-508.
- McConnico, L. & M.S. Foster. 2005. Population biology of the intertidal kelp, *Alaria marginata* Postels and Ruprecht: A non-fugitive annual. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 325: 61-75.
- McPeak, R.H. 1981. Fruiting in several species of Laminariales from Southern California. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 8: 404-409.
- Muñoz-Ochoa, M., J.I. Murillo-Álvarez, Y.E. Rodríguez-Montesinos, G. Hernández-Carmona, D.L. Arvizu-Higuera, J. Peralta-Cruz & J. Lizardi-Mendoza. 2009. Anticoagulant screening of marine algae from Mexico, and partial characterization of the active sulfated polysaccharide from *Eisenia arborea*. *Oceánides* 24: 41-51.
- Parke, M. 1948. Studies on British Laminariaceae. I. Growth in *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 27(3): 651-709.
- Riosmena-Rodríguez, R., G. Hinojosa-Arango, K. León-Cisneros, J.M. López-Vivas & E. Holguín-Acosta. 2005. Variación espacial de la vegetación de Bahía de Ballenas. *B.C.S., México. Ciencia y Mar* 9(27): 29-40.
- Santelices, B. 1990. Patterns of reproduction dispersal and recruitment in seaweeds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 28: 177-276.
- Santelices, B. & P. Ojeda. 1984. Recruitment, growth and survival of *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta) at various tidal levels in exposed habitats of central Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 19: 73-82.
- Schield, D.R. & M.S. Foster. 2006. The population biology of large brown seaweeds: Ecological consequences of multiphase life histories in dynamic coastal environments. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 343-372.
- Serviere-Zaragoza, E., A. Mazariegos-Villareal, T. Reynoso-Granados, R. Robles-Hernández, P. Monsalvo-Spencer, G. Ponce-Díaz, A. Castro & A. Hernández-Llamas. 1998. Patterns of growth of juvenile pink abalone *Haliotis corrugata* fed rehydrated natural feeds at laboratory and a hatchery. *Aquaculture Nutrition* 15: 241-246.
- Sugiura, Y., K. Matsuda, T. Okamoto, M. Kakinuma & H. Amano. 2008. Anti-allergic effects of the brown alga *Eisenia arborea* on Brown Norway rats. *Fisheries Science* 74(1): 180-186.
- Velimirov, B. & C.L. Griffiths. 1979. Wave-induced kelp movement and its importance for community structure. *Botanica Marina* 22: 169-172.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. 3a ed., Prentice-Hall, New Jersey, 663 pp.
- Zimmerman, R.C. & J.N. Kremer. 1984. Episodic nutrient supply to a kelp forest ecosystem in Southern California. *J. Mar. Res.* 42: 591-604.
- Zimmerman, R.C. & J.N. Kremer. 1986. *In situ* growth and chemical composition of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*: response to temporal changes in ambient nutrient availability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 27: 277-285.

Recibido: 9 de mayo de 2010.

Aceptado: 13 de agosto de 2010.