

CALIBRACION DE UN MODELO ALOMETRICO PARA EVALUAR LA PRODUCCION FOLIAR DE *Zostera marina* L.

Solana-Arellano, Ma. E., Ibarra-Obando, S.E. y Echavarría-Heras, H.

Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), Apdo. Postal 2732, Ensenada, B.C., MEXICO

RESUMEN

En este trabajo se propone un modelo matemático para predecir la producción foliar de *Z. marina*, expresada como peso seco en función del largo y ancho de las hojas. La calibración del modelo se realizó con muestras colectadas a dos diferentes niveles de exposición, en Bahía Falsa, San Quintín, Baja California, México. Los elevados valores de los coeficientes de determinación, los bajos valores de los errores estándar, tanto de los datos ajustados como de los parámetros obtenidos y los bajos valores de los errores estándar y absoluto, entre los valores encontrados y los calculados, indican que el modelo es adecuado.

ABSTRACT

In this paper a mathematical model to predict the foliage production of *Z. marina* is proposed. This model presents the foliage production expressed in dry weight, as function of length and width of the leaves. The calibration of the model was made with samples taken in two different levels of exposure in Bahía Falsa, San Quintín, Baja California, México. The high values of the determination coefficient and the small values of the standard errors of the fitting data as well as the parameters found by the regression, and the small values of the absolute and standard errors between the observed and calculated values, indicate that the model is adequate.

PALABRAS CLAVE / KEY WORDS: PRODUCCION FOLIAR, MODELO MATEMATICO, *Zostera marina* / FOLIAGE PRODUCTION, MATHEMATICAL MODEL, *Zostera marina*

INTRODUCCION

Los ecosistemas de pastos marinos, principalmente aquellos dominados por *Thalassia* y *Zostera*, han sido intensamente estudiados desde principios de siglo. Estas investigaciones han puesto de manifiesto el papel preponderante que desempeñan las fanerógamas marinas y otras macrofitas en la ecología de las aguas costeras (Mann, 1973).

La evaluación de su producción ha visto una evolución en la metodología empleada. Así, los primeros trabajos duplicaban la biomasa máxima para conocer la producción neta (Petersen, 1913, Mann, 1972, Nienhuis y De Bree, 1977). Posteriormente, se emplearon los métodos basados en el metabolismo como: las variaciones en la concentración de oxígeno (Nixon y Oviatt, 1972, Suda, 1974), el pH, la alcalinidad (Smith, 1973, 1974) y la asimilación de ^{14}C (McRoy, 1974). Conociendo los problemas asociados con el reciclaje interno de gases (Hartman y Brown, 1967),

se recomendó el empleo del método de marcado (Zieman, 1974). La característica común de todos estos métodos, es el ser métodos destructivos, ya que requieren de la colecta de diferentes individuos para poder establecer los patrones de crecimiento a largo plazo (Hamburg y Homann, 1986).

La necesidad de poder predecir la respuesta de las fanerógamas marinas a las cambiantes condiciones medioambientales, así como el análisis detallado de los patrones de crecimiento, condujo a la búsqueda de índices a partir de medidas alométricas. Ejemplo de ellos son: la relación entre el ancho de las hojas y su peso seco (Patriquin, 1973), la relación entre la longitud de los tallos y su densidad (Jacobs, 1979) y la relación entre la longitud de las hojas y su peso seco (McRoy, 1970). Estos índices han sido empleados para predecir la biomasa y la producción de *Zostera marina* y *Thalassia testudinum*.

Recientemente Hamburg y Homann (1986), utilizando también medidas alométricas, desa-

TABLA 1. Parámetros del modelo ajustado y errores estándar.

PARAMETROS	TRANSECTO I	TRANSECTO II	ERROR STD	
			TRANSECTO I	TRANSECTO II
a ₁	0.00000631	0.0000055	0.30	0.246
a ₂	1.12628	1.5268	0.061	0.054
a ₃	1.3353	0.2625	0.194	0.147

rollaron un método no destructivo que no sólo permite la evaluación de la producción y la biomasa foliar de *Z. marina*, sino el seguimiento detallado de su dinámica foliar. El empleo de índices, como los antes mencionados, no sólo reduce el trabajo de campo y de laboratorio, sino que minimiza el disturbio a las poblaciones vegetales y a la fauna que le está asociada.

En esta trabajo se propone un modelo para describir la variación en el peso de las hojas de *Z. marina*, en función de su largo y su ancho, y se presentan los resultados de su calibración en las aguas templadas de la costa Pacífico de Baja California.

MATERIAL Y METODOS

Para la descripción de la bahía de San Quintín, así como de la zona de estudio, se remite al lector a Ibarra-Obando y Huerta-Tamayo (1987).

En julio de 1990, se colectaron tallos de *Z. marina* frente al campo pesquero conocido como "El Chute", en Bahía Falsa, San Quintín, Baja California, México. Se mantuvo la diferencia entre el intermareal inferior (transecto I) y la zona de transición (transecto II) descritos por Ibarra-Obando y Huerta-Tamayo (1987). En cada uno de estos niveles se colectaron 21 tallos apicales que fueron guardados en bolsas de plástico previamente etiquetadas. El material colectado se mantuvo refrigerado aguardando su procesamiento en el laboratorio.

Una vez en el laboratorio cada tallo fue enjuagado en agua destilada, se midió el largo y el ancho de cada hoja y se determinó su peso seco.

En total se midieron 346 hojas: 139 del transecto I y 207 del transecto II. Para el ajuste del modelo se utilizaron 139 hojas por transecto. Las 68 hojas restantes del transecto II, conformaron un

tercer grupo de datos, el cual se utilizó para verificar los resultados.

El modelo propuesto está dado por la relación alométrica

$$w = a_1 l^{a_2} h^{a_3}$$

Donde w representa el peso seco (mg), l representa el largo (mm) y h el ancho (mm) de cada hoja. Una derivación matemática de dicho modelo se encuentra en el apéndice I.

El ajuste al modelo se realizó utilizando el método Simplex de programación lineal en el lenguaje de programación C. Los resultados se corroboraron con el paquete estadístico STATGRAPHICS. Con ambos métodos se obtuvieron los mismos resultados.

Una vez calculados los parámetros para el transecto II, se elaboró una rutina en el lenguaje de programación C que permitió calcular los pesos secos del tercer grupo de datos, utilizando los valores de los parámetros obtenidos como producto del ajuste del modelo. De esta forma se compararon los valores calculados y los observados. Esta misma rutina estimó el error estándar y el error absoluto de los valores observados y calculados.

RESULTADOS

Como resultado del ajuste del modelo se obtuvieron los parámetros que se presentan en la Tabla I.

Con un nivel de confianza de 95%, el ajuste del modelo para el transecto I produjo un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.8740$. El error estándar de la estimación fue de 0.2.

Para el transecto II, con el mismo nivel de confianza, el coeficiente de determinación fue de

0.89 y el error estándar del ajuste fue de 0.25. La calibración del modelo, utilizando los parámetros encontrados para el transecto II y el tercer grupo de datos, produjo un error estándar entre los pesos calculados y los pesos observados de 0.1 y un error absoluto de .00942.

Estos resultados evidencian que:

1. El ajuste del modelo con los datos obtenidos fue adecuado. Los coeficientes de determinación indican una reducción significativa en el error total debido al ajuste.

2. Los bajos valores encontrados para los errores estándar indican que el modelo es una buena representación de estas variables alométricas.

3. Hubo coincidencia entre los valores calculados y los medidos.

DISCUSION

En esta investigación, se pudo constatar que el modelo describe adecuadamente la variación del peso de las hojas en función de su largo y su ancho. Esto lo evidencian: a) los altos valores obtenidos para los coeficientes de regresión (y/o coeficientes de determinación); b) las bajos valores de los errores estándar, tanto de los datos ajustados, como de los parámetros obtenidos y c) el que los errores estándar y absoluto, entre los valores encontrados y los valores calculados para el peso, hayan sido tan pequeños.

Hasta ahora, el estudio de las praderas de fanerógamas marinas ha sido un campo de investigación poco trabajado en México. Las causas principales son: la falta de investigadores interesados en las plantas vasculares y los problemas financieros asociados con un estudio intensivo de la dinámica foliar. Resultados como los que aquí se presentan son importantes ya que ofrecen nuevas perspectivas a futuro. Como ejemplo podemos citar: 1) la reducción en costos y duración de los proyectos, ya que sólo habrá que hacer el seguimiento en el campo de aquellas variables más indicativas, 2) el disturbio ecológico se verá reducido, ya que una vez determinadas las ecuaciones que describen las variables, ya no será necesario hacer colectas extensivas de material durante el año. Considerando la variabilidad estacional de las fanerógamas marinas, las colectas se limitarán a una o dos por estación; en consecuencia el

trabajo de laboratorio se verá reducido considerablemente.

En la actualidad, los investigadores debemos de ser capaces de responder rápidamente a la demanda de información por parte de aquellos organismos gubernamentales que tienen injerencia en la zona costera. Es necesario tener la información básica necesaria que facilite la toma de decisiones. En este sentido, la línea de trabajo que aquí se presenta, permitirá documentar el papel ecológico desempeñado por las fanerógamas marinas.

LITERATURA CITADA

- BATSCHLET EDWARD., 1975. *Introduction To Mathematics for Life scientists*. SringerVerlag, pp 362-364.
- HAMBURG, S.P. y HOMANN, P.S., 1986. Utilization of growth parameters of eelgrass, *Zostera marina*, for productivity estimation under laboratory and in situ conditions. *Mar. Biol.*, 93: 299-303.
- HARTMAN, R.T. y BROWN, D.L., 1967. Changes in internal atmosphere of submersed vascular hydrophytes in relation to photosynthesis. *Ecology* 48: 252-258.
- IBARRA-OBANDO, S.E. y HUERTA-TAMAYO, R., 1987. Blade production of *Zostera marina* L. during summer/autumn period on the Pacific coast of Mexico. *Aquat. Bot.* 28: 301-315.
- JACOBS, R.P.W.M., 1979. Distribution and aspects of the production and biomass of eelgrass, *Zostera marina* L., at Roscoff, France. *Aquat. Bot.* 7: 151-172.
- MANN, K.H., 1972. Macrophyte production and detritus food chains in coastal waters. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol. (Suppl.)* 29: 353-383.
- MANN, K.H., 1973. Seaweeds: their productivity and strategy of growth. *Science* 182 (4116): 975-981.
- MCROY, C.P., 1970. Standing stock and other features of eelgrass (*Zostera marina*) populations on the coast of Alaska. *J. Fish. Res. Bd., Canada* 27: 1811-1812.
- NIENHUIS, P.H. y DE BREE, B.H.H., 1977. Production and ecology of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Grevelingen Estuary, The Netherlands, before and after closure. *Hydrobiol.*, 52(1): 55-66.
- NIXON, S.W. y OVIATT, C.A., 1972. Preliminary measurements of midsummer metabolism in beds of eelgrass, *Zostera marina*. *Ecology* 53(1): 150-153.
- PATRIQUIN, D.G., 1973. Estimation of growth rate, production and age of the marine angiosperm, *Thalassia testudinum*. *Konig. Carib. J. Sci.* 13:111-123.
- PETERSEN, C.G.J., 1913. Om *baendeltangens* (*Zostera marina*) aarsproduktion i de Danske Farvande. *Mindeskript Hapetus Steenstrup. Copenhagen*.
- SMITH, S.V., 1973. Carbon dioxide dynamics: a record of organic carbon production, respiration and calcification in the Eniwetok reef flat community. *Limnol. Oceanogr.* 18: 106-120.

SMITH, S.V., 1974. Coral reef carbon dioxide flux. Proc. 2nd. Int. Coral Reef Symp. Great Barrier Reef Comm., Brisbane. Pp: 77-85.

SUDA, J.R., 1974. Midsummer metabolism of an eelgrass community. Mar. Poll. Bull., 5(2): 156-159.

ZACHMANOGLU E. C. y DALE W. THOE., 1976 Introduction to Partial Differential Ecuations with Aplications. The Williams and Wilkins Company, pp. 60-62

ZIEMAN, J.C., 1974. Methods for the study of growth and production of turtle grass *Thalassia testudinum*. Aquaculture, 4: 139-143.

APENDICE

En este apéndice, usando la ley alométrica y mediante la teoría de ecuaciones diferenciales parciales derivaremos la ecuación del modelo propuesto.

Sea $w(t)$ el peso, $l(t)$ las longitud y $h(t)$ el ancho de las hojas de *Zostera marina* a un tiempo t . De acuerdo con Batschelet (1975) tenemos las relaciones alométricas:

$$\frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{dt} = \frac{k_1}{l} \cdot \frac{dl}{dt} \tag{A1}$$

$$\frac{1}{h} \cdot \frac{dh}{dt} = \frac{k_2}{l} \cdot \frac{dl}{dt} \tag{A2}$$

Donde k_1 y k_2 son constantes, por otra parte, la regla de la cadena establece que:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial l} \cdot \frac{dl}{dt} + \frac{\partial w}{\partial h} \cdot \frac{dh}{dt} \tag{A3}$$

Combinando las ecuaciones (A1), (A2) y (A3) obtenemos:

$$\frac{k_1 w}{l} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{\partial w}{\partial l} \cdot \frac{dl}{dt} + \frac{\partial w}{\partial h} \cdot \frac{dl}{dt} \cdot \frac{k_2 h}{l}$$

De donde se deriva la ecuación diferencial parcial:

$$l \frac{\partial w}{\partial l} + k_2 h \frac{\partial w}{\partial h} = k_1 w \tag{A4}$$

De acuerdo con el teorema 2.1 en Zachmanoglou y Thoe (1976) (págs. 60-61), la solución $w=f(h,l)$ de la ecuación (A4), está dada implícitamente por la relación:

$$F(u_1(h, l, w), u_2(h, l, w)) = 0$$

Donde F es una función de clase C^1 y u_1, u_2 son soluciones del sistema auxiliar:

$$\frac{dl}{l} = \frac{dh}{k_2 h} = \frac{dw}{k_1 w}$$

expresado en la forma implícita

$$u_1(h, l, w) = c_1, u_2(h, l, w) = c_2$$

por lo tanto se tiene por ejemplo,

$$u_1 = \frac{h^\alpha}{l}, u_2 = \frac{w}{l^\beta}$$

Donde α y β son constantes, por lo tanto la integral general de la ecuación (A4) es :

$$F\left(\frac{h^\alpha}{l}, \frac{w}{l^\beta}\right) = 0 \tag{A5}$$

Tomando por ejemplo:

$$F = c u_1 - u_2$$

Donde c es una constante. Resulta claro que la vigencia de la condición (A5) garantiza la existencia de constantes a_1, a_2 y a_3 tales que

$$w = a_1 l^{a_2} h^{a_3}$$

Es fácil comprobar que la expresión así obtenida para w , satisface la ley alométrica en general.

Recibido: Septiembre, 1991

Aceptado: Enero, 1992