

**DAÑOS POR SEDIMENTACIÓN A LAS COMUNIDADES CORALINAS
DEL SUR DE LA ISLA SOCORRO,
ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO, MÉXICO**

**EFFECTS OF SEDIMENTATION ON CORAL COMMUNITIES OF
SOUTHERN SOCORRO ISLAND, REVILLAGIGEDO ARCHIPELAGO,
MEXICO**

Edgardo Ochoa-López^{1*}
Héctor Reyes-Bonilla¹
James Ketchum-Mejía²

¹ Departamento de Biología Marina

² Museo de Historia Natural

Universidad Autónoma de Baja California Sur

Apartado postal 19-B

La Paz, CP 23080, Baja California Sur, México

* E-mail: edochoa@calafia.uabcs.mx

Recibido en julio de 1997; aceptado en febrero de 1998

RESUMEN

Este trabajo documenta los impactos sufridos en 1994 por las comunidades coralinas de las bahías Braithwaite, Vargas Lozano y Binners, situadas al sur de la Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo (18°N), luego de un evento de sedimentación excesiva causado por un aporte de terrígenos provenientes de la porción superficial de la isla. Este fenómeno ocurrió probablemente debido a la grave erosión de la zona sur de Socorro, originada por el sobrepastoreo y el tránsito de la población de borregos ferales (*Ovis aries* L.), que han causado serias pérdidas de suelo en la localidad. El sedimento dañó en particular a las colonias coralinas de Bahía Braithwaite y disminuyó sensiblemente el área rocosa ocupable por otros invertebrados marinos. Las diferencias aparentes de los niveles de desarrollo de las comunidades coralinas del norte y sur de la Isla Socorro pueden deberse a la ocurrencia de repetidos eventos de este tipo en el pasado, pues los borregos han habitado la isla por más de un siglo. Este trabajo presenta el primer registro de daños por sedimentación a comunidades marinas de islas oceánicas en el Pacífico de México.

Palabras clave: Isla Socorro, sedimentación, corales hermatípicos, Pacífico oriental, México.

ABSTRACT

This paper documents the disturbances suffered in 1994 by the coral communities of Braithwaite, Vargas Lozano and Binners bays of southern Socorro Island, Revillagigedo Archipelago (18°N), after an event of excessive sedimentation caused by an input of terrigenous sediments from the island surface. This phenomenon probably occurred because of the severe erosion of the southern zone of Socorro, originated by the overgrazing and transit of the population of feral sheep (*Ovis aries* L.), whose activities have caused severe soil losses in the locality. The sediment primarily damaged the coral colonies at Braithwaite Bay, and conspicuously diminished the rocky areas suitable for use by other marine invertebrates. The noticeable differences in the development of coral communities from northern and southern Socorro Island may be due to the repeated occurrence of similar events in the

past, as the sheep have lived on the island for more than one century. This paper presents the first record of sedimentation damages to marine communities in oceanic islands of the Mexican Pacific.

Key words: Socorro Island, sedimentation, hermatypic corals, eastern Pacific, Mexico.

El Archipiélago de Revillagigedo, situado frente a la costa occidental de México, está compuesto por cuatro islas volcánicas, de las cuales Isla Socorro es la más grande, con un área aproximada de 14,400 ha (Ortega-Romero *et al.*, 1992). Ahí habitan 15 especies de corales hermatípicos, los cuales tienen un crecimiento vigoroso gracias a la adecuada temperatura superficial anual, a la existencia de rocas y pavimentos basálticos libres para colonizar y a la gran transparencia del agua. Sin embargo, en Socorro no existen arrecifes en sentido construccional, sino sólo numerosos parches coralinos (Ketchum y Reyes-Bonilla, 1997).

Por su aislamiento, las comunidades marinas de Isla Socorro han sufrido un mínimo daño por actividades humanas (Reyes-Bonilla, 1993). Entre los fenómenos naturales que llegan a afectar a los corales se incluyen la depredación causada por coralívoros y la destrucción de colonias por bioerosionadores (Reyes-Bonilla *et al.*, en prensa), los huracanes (que en promedio se presentaron de tres a cuatro por año entre 1970 y 1994; Comisión Nacional del Agua, *in litt.*, 1995) y, ocasionalmente, erupciones volcánicas, la más reciente en 1993 (Medina, 1994). Sin embargo, no se sabe de daños fuertes acaecidos a la biota marina o terrestre luego de tales eventos.

El objetivo del presente trabajo es describir los daños que sufrieron las comunidades bénticas de Bahía Braithwaite (fig. 1) al sur de Isla Socorro, cuando en 1994, la mayor parte del fondo marino cercano a la costa y prácticamente todas las cabezas de coral fueron cubiertas por sedimento terrígeno acarreado desde la porción emergida de la isla. La falta de consolidación del suelo fue producto de la deforestación causada por el gran número de borregos ferales (*Ovis aries* Linnaeus, 1758) que viven en la localidad. Ésta es la primera vez que se registran daños causados por sedimentación a la fauna marina de una isla oceánica del Pacífico mexicano.

The Revillagigedo Archipelago, located off the west coast of Mexico, consists of four volcanic islands. Socorro Island is the largest of the four, with an approximate area of 14,400 ha (Ortega-Romero *et al.*, 1992). Fifteen species of hermatypic corals occur at Socorro, all of which present vigorous growth, due to an appropriate annual surface temperature, the presence of rocks and basaltic flows available for colonizing, and a high water transparency. There are, however, no reefs in a constructional sense, but only abundant coral patches (Ketchum and Reyes-Bonilla, 1997).

Because of their isolation, the marine communities of Socorro Island have suffered minimum damages from human activities (Reyes-Bonilla, 1993). Some natural phenomena that affect the corals are predation by corallivores and colony destruction by bioeroders (Reyes-Bonilla *et al.*, in press), hurricanes (with an average occurrence of three to four times a year from 1970 to 1994; Comisión Nacional del Agua, *in litt.*, 1995) and occasional volcanic eruptions, the most recent of which occurred in 1993 (Medina, 1994). However, there is no information on damage to the marine or land biota after these events.

The objective of this study is to describe the damage to the benthic communities of Braithwaite Bay (fig. 1), in the southern part of Socorro Island, during 1994, when most of the sea bottom off the coast and practically all the coral heads were covered by terrigenous sediment eroded from the emerged part of the island. The unconsolidated ground resulted from deforestation caused by feral sheep (*Ovis aries* Linnaeus, 1758) that inhabit the area. This is the first report of damage to the marine fauna of an oceanic island of the Mexican Pacific due to sedimentation.

Trips to the island between 1990 and 1993 were helpful in establishing the state of the coral community at Braithwaite Bay prior to the damage. The coverage of the coral formations

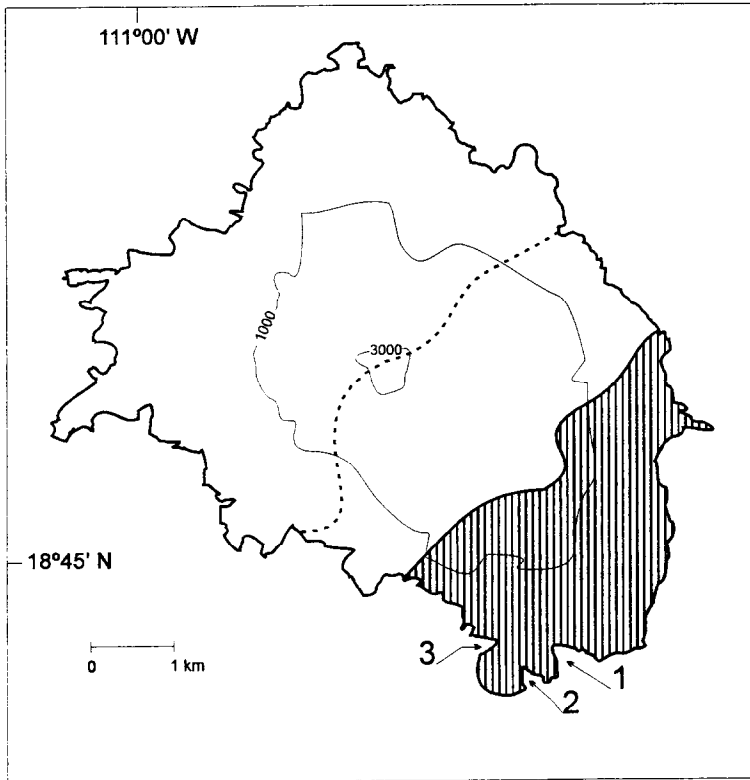


Figura 1. Mapa de Isla Socorro, mostrando con línea punteada el límite norte de la distribución del borrego (*Ovis aries*) en la zona y con barras el área de mayor deforestación causada por el sobrepastoreo (datos de Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994). Clave: (1) Bahía Braithwaite; (2) Bahía Vargas Lozano; (3) Bahía Binnars. Isolíneas de altitud en metros.

Figure 1. Map of Socorro Island. The dotted line indicates the northern distribution limit of the sheep (*Ovis aries*) and the bars, the area of greatest deforestation caused by overgrazing (data from Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994). Key: (1) Braithwaite Bay; (2) Vargas Lozano Bay; (3) Binnars Bay. Isolines of altitude in meters.

Visitas a la isla entre 1990 y 1993 fueron útiles para conocer el estado de la comunidad coralina de Bahía Braithwaite antes del daño. Las formaciones de coral alcanzaban una cobertura cercana al 35%, siendo *Pocillopora* spp. y *Porites lobata* Dana, 1846 los taxa más comunes (datos obtenidos a partir de 10 transectos de banda de 1 m por 10 m; Ketchum-Mejía, en preparación; fig. 2). En asociación con ellos, había abundantes equinoideos, estrellas de mar, crustáceos y peces, especies que en su mayoría fueron registradas en la localidad desde décadas antes (Villalobos, 1960).

was close to 35%; *Pocillopora* spp. and *Porites lobata* Dana, 1846 were the most common taxa (data obtained from 10 band transects, 1 m by 10 m; Ketchum-Mejía, in preparation; fig. 2). Many echinoids, sea stars, crustaceans and fish were associated with them, and most of these species were recorded on the island decades ago (Villalobos, 1960).

Changes to the community resulting from sedimentation and runoff became evident in December 1994; therefore, similar samplings were conducted close to the area previously studied. Approximately 70% of the sea bottom

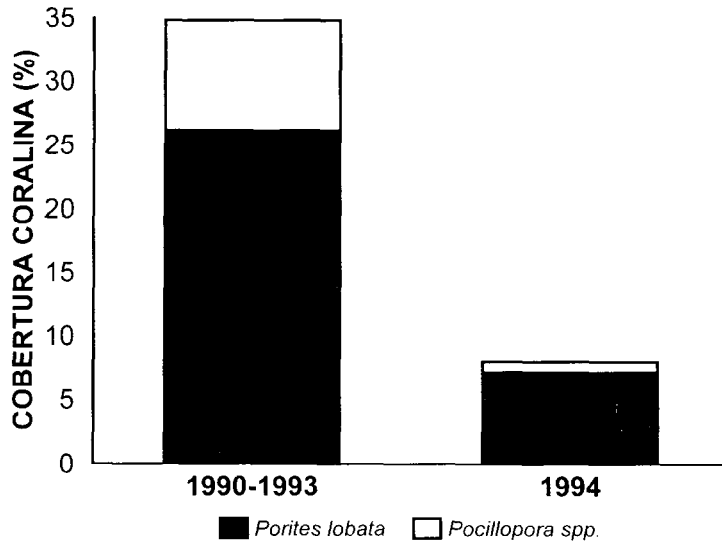


Figura 2. Comparación de la cobertura coralina (total y por taxa dominante) en Bahía Braithwaite, Isla Socorro, antes y después del evento de sedimentación masiva.

Figure 2. Comparison of coral cover (total and per dominant taxa) in Braithwaite Bay, Socorro Island, before and after the event of massive sedimentation.

En diciembre de 1994, el cambio en la comunidad causado por la sedimentación y el escurrimiento era evidente, por lo que los muestreos volvieron a conducirse de la misma forma y cerca del área antes revisada. Aproximadamente el 70% del fondo marino entre los 0 y 18 m de profundidad estaba cubierto por sedimento arcilloso rojo, similar en color y tamaño de grano al encontrado en la porción terrestre de la isla (luvisoles y litosoles finos; Maya-Delgado *et al.*, 1994). La cobertura coralina era significativamente menor ($F_{2,18} = 9.18$, $P < 0.01$; fig. 2) y muchas de las colonias aparecieron sepultadas por hasta 30 cm de sedimento; aquellas saludables que fueron observadas eran principalmente las de mayor tamaño (>1 m de alto) de *P. lobata* y algunas de *Pocillopora*, situadas en la parte superior de las rocas. Corales de otras especies que no estaban enterrados presentaron grandes porciones esqueléticas sin tejido y frecuentemente cubiertas de algas. La reducción en la abundancia de corales y la pérdida del sustrato rocoso también resultó en una casi completa ausencia de peces e invertebrados en el sitio. Acumulaciones de terrígenos

between 0 and 18 m depth was covered with red clay sediment, similar in color and grain size to that found on the island (fine luvisols and lithosols; Maya-Delgado *et al.*, 1994). Coral cover was significantly lower ($F_{2,18} = 9.18$, $P < 0.01$; fig. 2) and many colonies were buried by up to 30 cm of sediment. The healthy ones observed consisted mainly of taller specimens (>1 m in height) of *P. lobata* and some *Pocillopora*, found on the upper part of the rocks. Other coral species that were not buried presented large skeletal portions without tissue and frequently covered with algae. The reduction of coral abundance and loss of rocky substrate also caused the almost complete absence of fish and invertebrates in the area. Accumulations of terrigenous sediments on the sea bottom were also observed in Vargas Lozano and Binnens bays (fig. 1), but these areas were not as damaged as Braithwaite Bay, possibly because they are more open to the ocean and have greater water circulation.

The most probable cause of the excessive sedimentation was the deforestation produced by the feral sheep that inhabit southern Socorro

en forma de parches sobre el fondo también fueron observadas dentro de las bahías Vargas Lozano y Binnars (fig. 1); estas localidades sufrieron menos daño que Bahía Braithwaite, quizá porque están más abiertas al océano y la circulación del agua es mayor.

El factor causal más probable que ocasionó la excesiva sedimentación fue la deforestación provocada por los borregos ferales que viven en el sur de Isla Socorro, cuya población se estima entre los 2000 y 4000 individuos (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994). Debido al sobrepastoreo y a su tránsito, los borregos han eliminado gran parte de la cubierta vegetal. Similarmente, han ocasionado pérdidas de suelo calculadas entre 40 y 90 t suelo/ha/año (Ortega-Romero *et al.*, 1992), que en su mayoría ocurren entre julio y diciembre, meses de mayor precipitación pluvial en la isla (León-de la Luz *et al.*, 1994). Daños por sedimentación a los corales en el sur de la isla deben haber ocurrido repetidamente, ya que los borregos viven en Socorro desde hace más de un siglo (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994), su población se ha incrementado y, además, en una visita a los tres sitios mencionados en 1997, de nuevo se detectó gran turbidez en el agua, así como cantidades apreciables de terrígenos en el fondo. Los borregos concentran sus actividades en el sur de la isla, ya que no han logrado cruzar por la estructura cerrada y densa de matorral mixto y bosque de *Ficus* que caracterizan la vegetación que domina la zona del volcán Evermann y el resto del terreno insular (León-de la Luz *et al.*, 1994).

El disturbio crónico causado por el sedimento debe ser la causa de las diferencias entre las comunidades coralinas del norte y sur de Isla Socorro, entre las que destaca el cambio en la densidad poblacional de *P. lobata* (coral resistente a la sedimentación; Cortés, 1990), que es más alta en Bahía Braithwaite que en otros lugares alejados de la zona de mayor abundancia de borregos (Reyes-Bonilla *et al.*, en prensa). También, comparando con el resto de la isla, en las bahías del sur la densidad algal es grande, el número de invertebrados herbívoros, filtradores y erosionadores es alto, y la frecuencia de corales pequeños (reclutas) de todas las especies es baja (Reyes-Bonilla *et al.*, en

Island, with an estimated population between 2000 and 4000 individuals (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994). Due to their overgrazing and movement, the sheep have removed much of the ground cover. This has resulted in soil losses of between 40 and 90 t soil/ha/year (Ortega-Romero *et al.*, 1992), generally occurring from July to December, which is when there is most rainfall (León-de la Luz *et al.*, 1994). Damage to the corals in the southern part of the island as a result of sedimentation must have occurred repeatedly, since the sheep have inhabited Socorro for more than one century (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994), and their population has increased. During a trip in 1997 to the three sites mentioned, great water turbidity was observed, as well as appreciable amounts of terrigenous sediments on the bottom. The sheep concentrate their activities in the southern part of the island, since they have not been able to cross over to the other side, because of the dense mixed scrub and *Ficus* forests that characterize the dominant vegetation around Evermann volcano and on the rest of the island (León-de la Luz *et al.*, 1994).

The chronic disturbances as a result of sedimentation may explain the differences between the coral communities of northern and southern Socorro Island, one of which is the change in population density of *P. lobata* (a coral resilient to sedimentation; Cortés, 1990), which is higher in Braithwaite Bay than in other places far from the area where sheep are found in greater abundance (Reyes-Bonilla *et al.*, in press). Compared to the rest of the island, the southern bays also have a greater algal density, a higher number of herbivore invertebrates, filterfeeders and eroders and a lower frequency of small corals (recruits) of all species (Reyes-Bonilla *et al.*, in press), all of which are characteristics of reefs damaged by sedimentation (Rogers, 1990). Sediment inhibits larval recruitment, physically damages the polyps and causes other types of physiological disturbances to the corals, while turbidity causes a decrease in the levels of calcification because of the effect it has on photosynthesis in the zooxanthellae. Sedimentation also affects the rest of the benthic communities, reducing the space

prensa); todos estos fenómenos son característicos de arrecifes que sufren daños por sedimentación (Rogers, 1990). El sedimento inhibe el reclutamiento larval, daña los pólipos en sentido mecánico y causa otros tipos de perturbaciones fisiológicas a los corales, mientras que la turbidez hace que decrezcan los niveles de calcificación debido a su efecto sobre la fotosíntesis en las zooxantelas. La sedimentación afecta también al resto de las comunidades benthicas, reduciendo el espacio disponible para el forrajeo y el movimiento, y altera la topografía de la superficie del arrecife (Rogers, 1990).

Es difícil saber cuánto tiempo tomaría a las comunidades coralinas el reestablecerse una vez que se detuviera el efecto de la deforestación. La recolonización de corales en arrecifes dañados es un proceso que depende del tipo de disturbio, de la composición de especies y sus estrategias de vida, la cantidad de larvas en la columna de agua, etc. (Pastorok y Bilyard, 1985). El tiempo normal de recuperación fluctúa entre 5 y más de 50 años (Grigg y Dollar, 1990), pero si el daño es repetitivo (como indicó la visita más reciente), los corales de Isla Socorro probablemente tardarán más en reponerse de las perturbaciones.

Guzmán y Cortés (1993) mencionaron que en el Pacífico oriental, la sedimentación ha causado daños sólo a arrecifes continentales. Sin embargo, éste es un problema mucho más común en la región que lo mencionado. Las actividades de tránsito y forrajeo de cerdos, borregos y venados introducidos, estuvieron implicadas en los eventos de sedimentación en varias islas oceánicas, como la Isla de Pascua, Chile, y las islas de Caño y Cocos, en Costa Rica (Anónimo, 1988); mientras que en México, los corales han sido afectados en Oaxaca (16°N) y Nayarit (19°N), luego del desmonte de la vegetación costera en áreas dedicadas para turismo y otras actividades humanas (Reyes-Bonilla, 1993).

El presente trabajo dio a conocer por primera vez los posibles daños que la desaparición de la vegetación terrestre de Isla Socorro puede ejercer sobre la fauna marina local. Si la deforestación causada por los borregos ferales continúa, probablemente se seguirá dañando el ecosistema marino. Varios métodos para la

available for grazing and movement and alters the topography of the reef surface (Rogers, 1990).

It is difficult to know how long it will take the coral communities to reestablish themselves once deforestation stops. The recolonization of corals on damaged reefs depends on the type of disturbance, the species composition and their life strategies, the number of larvae in the water column, etc. (Pastorok and Bilyard, 1985). Normal recovery time varies from 5 to more than 50 years (Grigg and Dollar, 1990), but if there is repeated damage (as the most recent visit indicated), the corals of Socorro Island will probably take longer to recover.

Guzmán and Cortés (1993) indicated that sedimentation has only damaged continental reefs in the eastern Pacific. However, this problem is much more common than thought. The movement and grazing of pigs, sheep and deer have been associated with sedimentation events in many ocean islands, such as Easter Island, Chile, and Caño and Cocos islands, Costa Rica (Anonymous, 1988); and in Mexico, corals have been affected in Oaxaca (16°N) and Nayarit (19°N) after coastal vegetation was cleared in areas dedicated to tourism and other human activities (Reyes-Bonilla, 1993).

This is the first study to identify the possible damages to local marine fauna by the disappearance of vegetation at Socorro Island. If the deforestation caused by the feral sheep persists, damage to the marine ecosystem will likely continue. Many methods to eradicate the sheep have been proposed, because of their role in the deterioration of endemic plants and the overall landscape of the island (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994). We hope that observations such as these will lead to the implementation of programs of control or eradication of this introduced mammal.

ACKNOWLEDGEMENTS

The trips to Socorro Island were supported by the General Secretary (Jorge Vale S.) and the Department of Marine Biology of the UABCS, and by Bernardo Bocardo (Center of Environmental Engineering, University of Guadalajara). They were carried out as part of

erradicación de los borregos han sido propuestos, debido a sus efectos en el deterioro sobre las plantas endémicas y sobre el paisaje en general (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 1994), por lo que esperamos que observaciones como las que aquí se presentan, ayuden a la implantación de programas de control o erradicación de este mamífero introducido.

AGRADECIMIENTOS

Las visitas a Isla Socorro se realizaron con el apoyo de la Secretaría General (Jorge Vale S.) y el Departamento de Biología Marina de la UABCS, de Bernardo Bocardo (Centro de Ingeniería Ambiental, Universidad de Guadalajara), y como parte del crucero SURPACLIP (Vivianne Solís W., jefa de campaña). Miguel Mejía (Universidad Autónoma de Guadalajara), Vivianne Solís, Alejandro Granados, Miguel García, Adrián Medina, Leonardo Ortiz (Laboratorio de Ecología Costera, ICMYL, UNAM, DF), Juan Pablo Carricart (ECOSUR, Chetumal) y Ángel Illescas (CICIMAR, La Paz) colaboraron en las actividades de buceo. Rafael Riosmena (Herbario Ficológico, UABCS) y tres revisores anónimos hicieron sugerencias que mejoraron notablemente la calidad del trabajo, y Ernesto Vázquez realizó la ilustración.

REFERENCIAS

- Anónimo (1988). *Coral Reefs of the World*. Vol. 1. Atlantic and Eastern Pacific. IUCN Publications, Cambridge, 373 pp.
- Álvarez-Cárdenas, S., Castellanos-Vera, A., Galina-Tessaro, P., Ortega-Rubio, A. y Arnaud, G. (1994). Aspectos de la población y el hábitat del borrego doméstico (*Ovis aries*) en la Isla Socorro. En: A. Ortega-Rubio y A. Castellanos-Vera (eds.), *La Isla Socorro, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo*, México. Publ. No. 8, CIBNOR, La Paz, pp. 301-317.
- Cortés, J. (1990). The coral reefs of Golfo Dulce, Costa Rica: distribution and community structure. *Atoll Res. Bull.*, 344: 1-37.
- Grigg, R.W. and Dollar, S.J. (1990). Natural and anthropogenic disturbances on coral reefs. In: Z. Dubinsky (ed.), *Ecosystems of the World*. 25. Coral Reefs. Elsevier, Amsterdam, pp. 439-452.
- the cruise SURPACLIP (Vivianne Solís W., cruise director). Miguel Mejía (Universidad Autónoma de Guadalajara), Vivianne Solís, Alejandro Granados, Miguel García, Adrián Medina, Leonardo Ortiz (Laboratory of Coastal Ecology, ICML, UNAM, DF), Juan Pablo Carricart (ECOSUR, Chetumal) and Ángel Illescas (CICIMAR, La Paz) helped with the dives. Rafael Riosmena (Phycology Herbarium, UABCS) and three anonymous reviewers made suggestions that greatly improved the study, and Ernesto Vázquez made the drawing.

English translation by Jennifer Davis.

- Guzmán, H.M. y Cortés, J. (1993). Arrecifes coralinos del Pacífico oriental tropical: revisión y perspectivas. *Rev. Biol. Trop.*, 41: 535-557.
- Ketchum, J.T. and Reyes-Bonilla, H. (1997). Biogeography of hermatypic corals of the Revillagigedo Archipelago, Mexico. *Proc. 8th International Coral Reef Symp.*, Panama, 1: 471-476.
- León-de la Luz, J.L., Breceda Solís-Cámara, A., Coria-Benet, R. y Cancino-Hernández, J. (1994). Asociaciones vegetales. En: A. Ortega-Rubio y A. Castellanos-Vera (eds.), *La Isla Socorro, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo*, México. Publ. No. 8, CIBNOR, La Paz, pp. 115-141.
- Maya-Delgado, Y., Salinas-Zavala, F. y Troyo-Diéguez, E. (1994). Estado actual del suelo y propuestas de conservación. En: A. Ortega-Rubio y A. Castellanos-Vera (eds.), *La Isla Socorro, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo*, México. Publ. No. 8, CIBNOR, La Paz, pp. 63-75.
- Medina, F. (1994). La Isla Socorro, el volcán Evermann y la actividad volcánica de febrero de 1993. *GEOS, Bol. Unión Geofísica Mexicana*, 13: 3-4.
- Ortega-Romero, A. y 18 otros (1992). Recursos naturales de la Isla Socorro, Revillagigedo, México. *Ciencia*, 45: 175-184.
- Pastorok, R.A. and Bilyard, G.R. (1985). Effects of sewage pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 21: 175-189.
- Reyes-Bonilla, H. (1993). Biogeografía y ecología de los corales hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico de México. En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.), *Biodiversidad Marina y*

- Costera de México. CONABIO/CIQRO, Chetumal, pp. 207–222.
- Reyes-Bonilla, H., Pérez-Vivar, T.L. y Ketchum-Mejía, J.T. Distribución geográfica y aspectos ecológicos de *Porites lobata* (Anthozoa: Scleractinia) en la costa occidental de México. *Rev. Biol. Trop.*, 44 (en prensa).
- Rogers, C.S. (1990). Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62: 185–202.
- Villalobos, A.F. (1960). Aspectos hidrobiológicos de la parte sur de la Isla Socorro. *Monogr. Instituto de Geofísica, UNAM*, 2: 155–180.