

***EMBARGADO POR PNAS PARA SER DISEMINADO A PARTIR DEL DÍA:
21 de Julio, 2008, 4 P.M. CIUDAD DE MEXICO***

Los Manglares del Golfo de California incrementan la Producción Pesquera

Octavio Aburto-Oropeza^{*,†,**}, Exequiel Ezcurra[‡], Gustavo Danemann[§], Víctor Valdez[§],
Jason Murray[¶], and Enric Sala^{*,††}

* Center for Marine Biodiversity and Conservation, Scripps Institution of Oceanography, 9500 Gilman Drive,
La Jolla, CA 92093-0202, USA.

† Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur Km 5.5,
La Paz, Baja California Sur, CP 23081, México.

‡ San Diego Natural History Museum, P.O. Box 121390, San Diego, CA 92112-1390, USA.

§ Marine Conservation and Sustainable Fisheries Program, Pronatura Noroeste A.C., Calle Décima N° 60,
Zona Centro, Ensenada, Baja California, CP 22800, México.

¶ Department of Economics, Moore School of Business, University of South Carolina, Columbia, SC 29201,
USA.

†† Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CSIC), 17300 Blanes, Spain.

** Correspondencia: -Oropeza; Center for Marine Biodiversity and Conservation, Scripps
Institution of Oceanography, 9500 Gilman Drive, La Jolla, CA 92093-0202, USA;
maburto@ucsd.edu

***NOTA: Traducción del artículo que será publicado en el Proceedings of the National
Academy of Sciences, Julio 2008***

Resumen

Los manglares a nivel mundial están desapareciendo rápidamente, no obstante que claramente han sido documentados los servicios ambientales que prestan y la biodiversidad que albergan. La falta de vinculación entre los procesos ecológicos y los beneficios económicos que se reciben de estos, ha favorecido actividades económicas que han reducido la cobertura de manglar alarmantemente y ha resultado en costos sociales elevados. Específicamente, el daño irreparable que sufren las pesquerías por la pérdida de manglares, ha sido poco atendido y subestimado. En este estudio mostramos que, en el Golfo de California, los volúmenes de pesca están relacionados positivamente con la abundancia de manglares, particularmente con el área productiva de manglar directamente en contacto con el mar (manglar de franja), que es utilizado como guardería o área de alimentación por diversas especies comerciales. Especies de peces y jaibas relacionadas con los manglares corresponden al 32% de las pesquerías artesanales de la región. El valor anual medio de estas pesquerías es \$37,500 dólares por hectárea de manglar de franja, que corresponde a un valor que se ubica en los niveles superiores de las estimaciones realizadas previamente a nivel mundial, pero que a diferencia del presente estudio, incluyen todos los servicios ambientales que prestan los manglares. A diez años, el valor anualizado del capital natural de una hectárea de manglar de franja es más de 300 veces el valor que ha fijado el gobierno Mexicano para este ecosistema. La destrucción de manglar tiene importantes impactos económicos negativos en las comunidades locales y en la producción de alimento regional. Nuestros resultados muestran los importantes servicios ambientales de los manglares para las pesquerías, lo cual puede ser muy relevante en las decisiones futuras para el uso sustentable de humedales.

Los bosques de manglares son uno de los ecosistemas más importantes biológicamente en las zonas costeras; estos contribuyen con un flujo de energía entre la tierra y el mar, y proveen servicios ambientales vitales para el hombre incluyendo la filtración de agua, protección de costas, hábitats para diversas especies, producción de alimento y zonas recreativas (1, 2, 3). Estos bosques costeros también influyen en la estructura de comunidades marinas vecinas, incrementando la biomasa de especies de peces e invertebrados comerciales que viven parte de su ciclo de vida en los manglares (4–7). El valor anual de los ecosistemas de manglar a nivel mundial ha sido estimado en \$1,648 billones de dólares (8). No obstante, la cobertura de manglar continúa reduciéndose a una tasa alarmante debido al desarrollo inmobiliario costero, turismo y acuicultura (9–13). Esta constante pérdida del ecosistema refleja el fracaso de los científicos, economistas y conservacionistas (14, 15), para incorporar en las políticas públicas estrategias de administración y regulación que incluyan los ecosistemas en su conjunto. Además, las evidencias que vinculan los procesos ecológicos y los beneficios económicos que prestan los ecosistemas son escasas (16); mientras que las estrategias de conservación orientadas a utilizar los mercados en favor de los ecosistemas, han generado un gran debate polarizado sobre el paradigma de los servicios ambientales (17-20). Sumado a lo anterior, las valoraciones de los ecosistemas se han sustentado en una gama de técnicas económicas que han subestimado los beneficios que reciben las economías locales, debido a una cantidad insuficiente de información y a supuestos que han sido muy cuestionados (21).

El Golfo de California es el límite norteño de la distribución de manglares en el Pacífico Este. En la costa oriental, los manglares se distribuyen de la región del Cabo al centro de la Península de Baja California, principalmente en pequeñas bahías y esteros, como parches de manglar aislados (22, 23). En la costa occidental del Golfo, los bosques de manglar se distribuyen desde isla Tiburón en Sonora, hacia el sur de Sinaloa y Nayarit, donde se presentan grandes lagunas costeras con una importante cobertura de manglar. Del lado del Pacífico de la Península de Baja California, el bosque más grande de manglar se presenta en la laguna costera de Bahía Magdalena (Fig. 1). No obstante que la densidad poblacional es baja en la región, se ha incrementado la presión antropogénica para transformar zonas de manglares en granjas camaronícolas y desarrollos turísticos (24-26).

Adicionalmente, la modificación de los sistemas hidrológicos a través de la construcción de marinas y canales, es una de las principales amenazas para estos ecosistemas; por ejemplo, tan solo entre 1973 y 1981 se perdió el 23% de bosques de manglar en áreas costeras de La Paz, debido al desarrollo inmobiliario y turístico (27). Actualmente, los manglares están desapareciendo en México a una tasa del 2% anual debido a sedimentación, eutrofización y deforestación (28).

A pesar de la importancia de los bosques de manglar en la producción de alimento y los beneficios económicos que proveen a comunidades locales, el daño irreparable que sufren las pesquerías por la pérdida de manglares no ha sido estimado en detalle. Con el objetivo de probar la hipótesis de que la cantidad de manglar se encuentra directamente relacionada con la producción de importantes recursos pesqueros, en este estudio analizamos los volúmenes de pesca de 13 regiones costeras de la Península de Baja California y el Golfo de California, y lo comparamos con la cobertura de manglar en los mismos segmentos de costa. Los datos pesqueros incluyen 9,146 registros de captura correspondientes a 25 oficinas de Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA), entre los años del 2001 y 2005 en los Estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit (Fig. 1). La mayoría de los registros en cada oficina provienen de áreas de pesca que típicamente incluyen áreas de manglar, arrecifes rocosos o fondos arenosos cercanos. Los datos de la cobertura de manglar en las 13 regiones fueron obtenidos de un inventario de humedales para el Norte de México (29, 30).

Resultados

Los volúmenes pesqueros se incrementan positivamente con el área total de manglar ($r^2 = 0.70$, $P = 0.0002$), pero el análisis de escalas indicó que se presentaba un mejor ajuste si la raíz cuadrada del área de manglar se utilizaba como el predictor de los volúmenes de pesca ($r^2 = 0.76$, $P = 0.00004$; Fig. 2). La raíz cuadrada del área de manglar, a su vez, estuvo directamente relacionada con la distancia de manglar de franja por una simple equivalencia que no tiene relación con el área de manglar total o su localización geográfica (distancia de manglar de franja = raíz cuadrada del área total de manglar \times 6.13 [± 0.45 SE]). Es decir, las

especies que analizamos solamente utilizan el manglar de manera lineal, como un hábitat unidimensional, un patrón que refleja el uso del borde de manglares (manglar de franja) como áreas de crianza o alimentación de una gran variedad de especies marinas (31, 32). Este patrón lineal se mantuvo en las especies de peces y jaiba en todos los años analizados. Con el objetivo de descartar otras variables alternativas, nosotros utilizamos variables ambientales (tamaño del cuerpo de agua estuarino, área de pastos marinos, latitud, precipitación pluvial y esfuerzo pesquero) para correlacionarlas con los volúmenes de pesca; no obstante, no encontramos ninguna relación significativa con dichas variables (Información Adicional, SI-Tabla 1).

El promedio anual de capturas pesqueras entre el 2001 y 2005, de peces y jaibas, fue de 11,600 toneladas en el Golfo de California. Esta producción generó un promedio anual de \$19 millones de dólares, como fuente de ingresos para pescadores en las 13 regiones estudiadas. La composición de las capturas entre regiones fue diferente, influyendo el valor total de las capturas. Por ejemplo, áreas con bosques de manglar pequeños, principalmente localizados en la parte Este de la Península de Baja California, registraron mayores capturas de recursos pesqueros con mayor valor en el mercado como pargos y robalos.

El valor anual de los servicios que proveen los manglares a las pesquerías, por kilómetro de manglar de franja, fue un promedio de \$25,149 ($\pm 1,395$ SE) km^{-1} . El manglar de franja, normalmente caracterizado por el manglar rojo (*Rhizophora mangle*), tiene un ancho aproximado entre 5 y 10 m, y es remplazado hacia la zona de humedal por el manglar negro *Avicennia germinans*. Por lo tanto, un kilómetro de manglar de franja contiene entre 0.5 y 1.0 hectárea de manglar que puede ser favorable para la colonización de organismos marinos, y, en términos de hectáreas, la productividad anual del manglar de franja tiene un valor aproximado entre \$25,000 y \$50,000 dólares, con un valor medio de \$37,500 dólares.

Nuestras estimaciones económicas ($\$ \text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) para las áreas productivas localizadas en el manglar de franja, corresponde a un valor que se ubica en los niveles superiores de las estimaciones realizadas previamente a nivel mundial (7, 8, 33; Tabla 1). Aún más importante, el valor anualizado del capital natural (utilizando una tasa del 5%) para una

hectárea de manglar de franja en condiciones productivas por un número definido de años, contrasta fuertemente con los valores estimados para los manglares de la región. Por ejemplo, en 30 años, transformar una hectárea de manglar de franja costaría a las economías locales aproximadamente \$ 605,290 dólares (Tabla 2), por la pérdida de ingresos pesqueros.

Discusión

Otros autores han encontrado la relación entre la raíz cuadrada del manglar y la producción pesquera (34), o han señalado la importancia del manglar de franja para la salud del ecosistema en su totalidad (35). Nuestro estudio provee nuevos resultados con implicaciones para el diseño de políticas públicas, referentes a la regulación de recursos naturales en zonas costeras. Primeramente, los manglares en el Golfo de California producen una importante cantidad de alimento cada año. Tan solo para peces, 31.7% de las pesquerías artesanales registradas entre el 2001 y 2005, correspondieron a especies relacionadas con bosques de manglar. Segundo, nuestras estimaciones económicas representan solamente un valor mínimo por hectárea de manglar, ya que solamente consideramos los beneficios generados por las pesquerías de peces y jaibas, sin tomar en cuenta otros beneficios directos o indirectos que aportan los manglares (36). Tercero, no obstante que analizamos otras variables para explicar la producción pesquera en las regiones estudiadas, nuestros resultados mostraron que solamente el área de manglar estuvo significativamente relacionada con los volúmenes de pesca que se producen cada año. Finalmente, considerando tan solo la vigencia de una administración gubernamental Mexicana (6 años), el valor anualizado del capital natural para las pesquerías de una hectárea de manglar de franja es 200 veces más grande que el valor estándar de \$1,020 dólares por hectárea, establecido por la Comisión Forestal Nacional – CONAFOR (37).

Nuestro análisis está basado en un periodo de tiempo corto, por lo que cambios en los precios de las especies de peces y jaiba consideradas o en los volúmenes de pesca, pueden modificar potencialmente nuestros resultados. Sin embargo, la elasticidad de precios por demanda de proteína de pescado en México (38) y el crecimiento anual de la población del país arriba del 1%, suponen que es inverosímil que la demanda de estos

recursos pesqueros disminuya en el futuro. Además, con cerca del 60% de las pesquerías mundiales en su máximo potencial de aprovechamiento (39), es también inverosímil que habrá un incremento dramático en el abastecimiento de productos pesqueros en el futuro. Por lo tanto, es poco probable que habrá una reducción significativa de los precios de las especies comerciales relacionadas a manglares.

Nuestro estudio se realizó utilizando un amplia compilación de capturas pesqueras, datos que no se encuentran disponibles frecuentemente y muy difíciles de integrar en valuaciones interdisciplinarias. Además, aprovechamos la distribución espacial y la cobertura de manglar en distintas regiones pesqueras, con el objetivo de desarrollar una función de producción más realista para las pesquerías relacionadas con manglares. Estos fundamentos distinguen nuestra valuación económica de las estimaciones previas (7, 8, 33), y sustentan los valores altos encontrados por hectárea de manglar de franja, tan solo para las pesquerías estudiadas. Nuestros resultados resaltan los beneficios económicos de los servicios ambientales que presentan los manglares para la economía de México.

La extrema subvaloración de los beneficios generados por los manglares a las pesquerías, en contraste con los beneficios proyectados para los desarrollos costeros y la acuicultura, revela una crisis en la planeación y regulación de las zonas costeras del Golfo de California. Las actuales agendas que persiguen los distintos grupos económicos han sido diseñadas independientemente, resultando en poca, o ninguna, compatibilidad entre las distintas metas; mientras tanto, la subvaloración de los servicios ambientales durante la toma de decisiones dentro de las políticas públicas, continua agravando el deterioro de ecosistemas. El precario estado de los humedales costeros en el Noroeste de México y en el mundo en general no puede ser ignorado, particularmente en una era donde la producción de alimento tiene implicaciones trascendentales en el bienestar humano.

References:

1. Blaber SJM (2007) Mangroves and fishes: issues of diversity, dependence, and dogma. *Bull Mar Sci* 80:457–472.
2. Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water*. (World Resources Institute, Washington, DC).
3. Bowman HHM (1917) Ecology and physiology of the red mangrove. *Proc Am Philos Soc* 56:589–672.
4. Mumby PJ, Edwards AJ, Arias-Gonzalez JE, Lindeman KC, Blackwell PG, Gall A, Gorczynska MI, Harborne AR, Pescod CL, Renken H, Wabnitz C, Llewellyn G (2004) Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature* 427:533–536.
5. Dorenbosch M, van Riel MC, Nagelkerken I, van der Velde G (2004) The relationship of reef fish densities to the proximity of mangrove and seagrass nurseries. *Estuar Coast Shelf Sci* 60:37–48.
6. Nagelkerken I, Roberts CM, van der Velde G, Dorenbosch M, van Riel MC, de la Morinere EC, Nienhuis PH (2002) How important are mangroves and seagrass beds for coral-reef fish? The nursery hypothesis tested on an island scale. *Mar Ecol Prog Ser* 244:299–305.
7. Rönnbäck P (1999) The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems. *Ecolog Econ* 29:235–252.
8. Costanza R, d'Arge R, deGroot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, Oneill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, vandenBelt M (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–260.
9. Duke NC, Meynecke JO, Dittmann S, Ellison AM, Anger K, Berger U, Cannicci S, Diele K, Ewel KC, Field CD, Koedam N, Lee SY, Marchand C, Nordhaus I, Dahdouh-Guebas F (2007) A world without mangroves? *Science* 317:41.

10. Barbier, E. B. & Cox, M. Does economic development lead to mangrove loss? a cross-country analysis. *Contemporary Econ Pol* 21, 418–432 (2003).
11. Alongi DM (2002) Present state and future of the world's mangrove forests. *Environ Cons* 29:331–349.
12. Valiela I, Bowen JL, York JK (2001) Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. *Biosci* 51:807–815.
13. FAO (2007) *The world's mangroves 1980-2005*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy).
14. Jackson JBC (2007) Economic incentives, social norms, and the crisis of fisheries. *Ecol Res* 22:16–18.
15. Hughes TP, Bellwood DR, Folke C, Steneck RS, Wilson J (2005) New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems. *Trends Ecol Evol* 20:380–386.
16. Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, Halpern BS, Jackson JBC, Lotze HK, Micheli F, Palumbi SR, Sala E, Selkoe KA, Stachowicz JJ, Watson R (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314:787–790.
17. McCauley DJ (2006) Selling out on nature. *Nature* 443:27–28.
18. Reid WV (2006) Nature: the many benefits of ecosystem services. *Nature* 443:749.
19. Costanza R (2006) Nature: ecosystems without commodifying them. *Nature* 443:749.
20. McCauley DJ (2006) Nature: McCauley replies. *Nature* 443:750.
21. Rönnbäck P, Primavera JH (2000) Illuminating the need for ecological knowledge in economic valuation of mangroves under different management regimes — a critique. *Ecolog Econ* 35:135–141.

22. Contreras-Espinosa F, Warner BG (2004) Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia* 511:233–245.
23. Whitmore RC, Brusca RC, León de la Luz J, González-Zamorano P, Mendoza-Salgado R, Amador-Silva ES, Holguin G, Galván-Magaña F, Hastings PA, Cartron JE, Felger RS, Seminoff JA, McIvor CC (2006) in *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*, eds Cartron JE, Ceballos G, Felger RS (Oxford University Press, New York).
24. Glenn EP, Nagler PL, Brusca RC, Hinojosa-Huerta O (2006) Coastal wetlands of the northern Gulf of California: inventory and conservation status. *Aquat Conserv* 16:5–28.
25. Paez-Osuna F, Guerrero-Galvan SR, Ruiz-Fernandez AC (1999) Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. *Mar Pollut Bull* 38:585–592.
26. Paez-Osuna F, Gracia A, Flores-Verdugo F, Lyle-Fritch LP, Alonso-Rodriguez R, Roque A, Ruiz-Fernandez AC (2003) Shrimp aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion. *Mar Pollut Bull* 46:806–815.
27. Mendoza R, Amador E, Llinas J, Bustillos J (1984) *Memoria de la primera reunión sobre ciencia y sociedad, presente y futuro de la ensenada de La Paz* (Gobierno del Estado de Baja California Sur, La Paz, México).
28. INE (2005) *Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de la superficie de manglar en México*. (Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. México, D.F.)
29. Carrera E, de la Fuente G (2003) *Inventario y clasificación de humedales en México parte I*. (Ducks Unlimited de México A.C., México).
30. De la Fuente G, Carrera E (2005) *Cambio de uso del suelo en la zona costera del estado de Sinaloa* (Ducks Unlimited de México A.C., México).

31. Manson FJ, Loneragan NR, Harch BD, Skilleter GA, Williams L (2005) A broad-scale analysis of links between coastal fisheries production and mangrove extent: A case-study for northeastern Australia. *Fish Res* 74:69–85.
32. Meynecke JO, Lee SY, Duke NC, Warnken J (2007) Relationships between estuarine habitats and coastal fisheries in Queensland, Australia. *Bull Mar Sci* 80:773–793.
33. Sathirathai S, Barbier EB (2001) Valuing mangrove conservation in Southern Thailand. *Contemporary Econ Pol* 19:109–122.
34. Yáñez-Arancibia A, Lara-Dominguez AL, Sanchez-Gil P, Vargas Maldonado I, García Abad M, Álvarez-Guillén H, Tapia García M, Flores Hernández D, Amezcua-Linares F (1985) in *Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: towards an ecosystem integration*, ed Yáñez-Arancibia A (UNAM Press, Mexico, DF).
35. Barbier EB, Koch EW, Silliman BR, Hacker SD, Wolanski E, Primavera J, Granek EF, Polasky S, Aswani S, Cramer LA, Stoms DM, Kennedy CJ, Bael D, Kappel CV, Perillo GME, Reed DJ (2008) Coastal Ecosystem-Based Management with Nonlinear Ecological Functions and Values. *Science* 319: 321-323.
36. Barbier EB (2000) Valuing the environment as input: Applications to mangrove-fishery linkages. *Ecolog Econ* 35:47–61.
37. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006) *Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación* (Diario Oficial de la Federación DCXXXI-8:11–15).
38. Golan A, Perloff JM, Shen EZ (2001) Estimating a demand system with nonnegativity constraints: Mexican meat demand. *Rev. Econ. Statist.* 83:541–550.

39. FAO Fisheries and Aquaculture Department (2007) *The state of world fisheries and aquaculture 2006* (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy).
40. Wall G (1998) Implications of global climate change for tourism and recreation in wetland areas. *Clim Change* 40:371–389.
41. Sala E, Aburto-Oropeza O, Reza M, Paredes G, Lopez-Lemus LG (2004) Fishing down coastal food webs in the Gulf of California. *Fisheries* 29:19–25.

Tabla 1. Valores estimados para el ecosistema de manglar a nivel mundial.

Fuente	Región	Servicios ambientales incluidos	Valor (\$ ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Costanza et al. (1997) ⁸	Mundial	Todos *	9,900
Sathirathai and Barbier (2001) ³³	Tailandia	Todos *	27,264 - 35,921
Rönnbäck (1999) ⁷	Mundial	Todas las pesquerías	750 - 11,280
Este estudio (manglar de franja)	México	Peces y Jaibas	37,500

* Protección de costas, filtración, hábitat/refugio, producción de alimento, áreas recreativas.

Tabla 2. Estimaciones de los costos por la transformación de ecosistemas de manglar en el Golfo de California.

Tiempo (años)	\$ ha ⁻¹ de manglar de franja, valor anualizado del capital natural *
4	139,622
6	199,855
10	304,043
30	605,290
50	718,827
100	781,511

* Por hectárea utilizando una tasa del 5% anual, basada exclusivamente en la contribución a largo plazo de la producción de peces y jaiba relacionadas a manglar.

Píe de Figuras

Figura 1. El Golfo de California y las 13 regiones pesqueras (perímetros rojos) considerados en este estudio, basado en la distribución de manglar y la afinidad en la composición pesquera. Estas regiones representan distintas unidades hidro-geomorfológicas de las áreas adyacentes. Áreas verdes representan manglares; los puntos negros indican la localización de las oficinas de pesca (CONAPESCA).

Figure 2. Relación entre las capturas pesqueras (peces y jaibas) y el valor económico (dinero recibido por los pescadores), respecto del área de manglar de franja en el Golfo de California. Los puntos representan valores promedio \pm Error Estándar (2001–2005; línea continua = modelo; línea punteada = 95% intervalos de confianza).



FIGURA 1

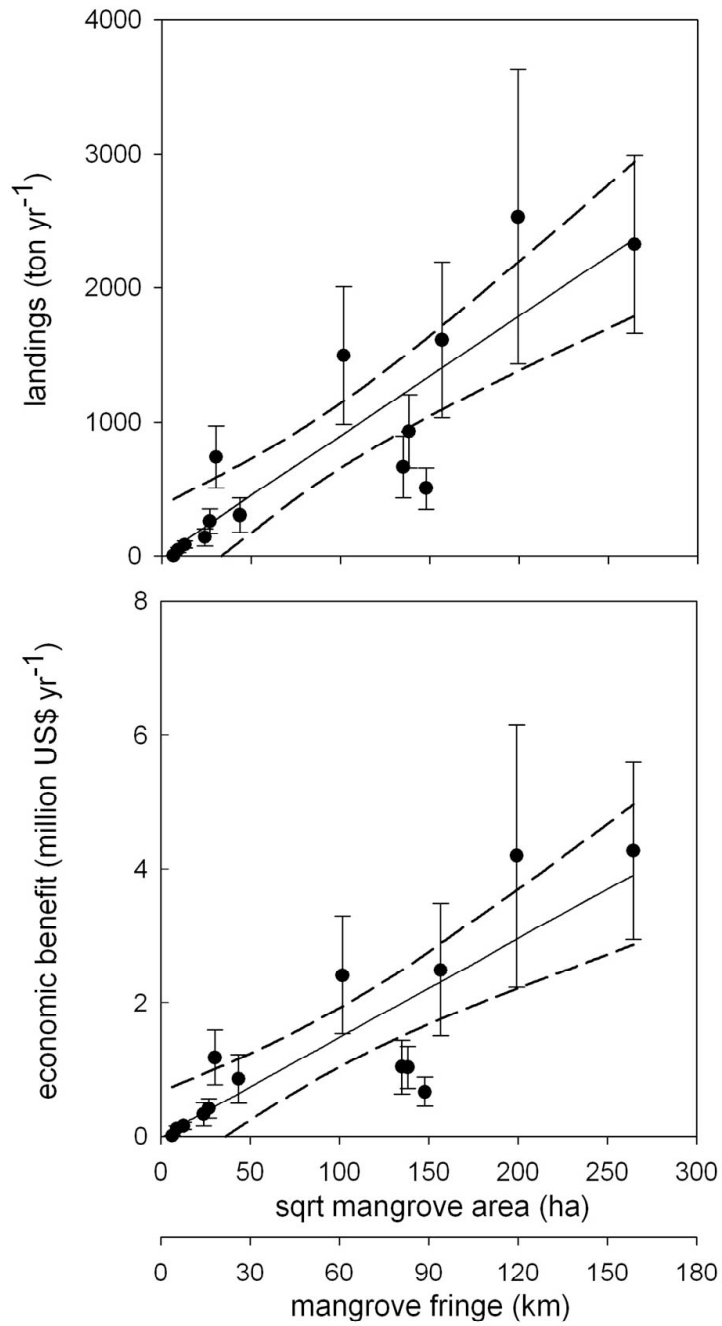


FIGURA 2