

Community-based marine reserves produce biological and economic benefits

Juan Carlos Villaseñor-Derbez^{1,*}, Stuart Fulton², Jorge Torre²

¹Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA, USA

²Comunidad y Biodiversidad A.C., Guaymas, Mexico

Correspondence*:

Juan Carlos Villaseñor-Derbez, Bren Hall, University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA, 93106

jvillasenor@bren.ucsb.edu

1 INTRODUCTION

2 La sobre pesca y prácticas pesqueras no sostenibles son unas de las mayores amenazas para la conservación
3 de los ecosistemas marinos del mundo (Halpern et al., 2008, 2017). La implementación de reservas
4 marinas (*i.e.* áreas donde la captura de una o más especies está prohibida) es una medida de manejo
5 frecuentemente propuesta para recuperar stocks pesqueros e impulsar la productividad pesquera en aguas
6 cercanas (Afflerbach et al., 2014; Krueck et al., 2017; Sala and Giakoumi, 2017). Recientes trabajos han
7 demostrado que también pueden mitigar y proveer amortiguamiento ante el cambio climático (Roberts
8 et al., 2017), variabilidad ambiental (Micheli et al., 2012), resolver problemas de pesca incidental (Hastings
9 et al., 2017) y, en general, incrementar la biomasa, riqueza y densidades de organismos dentro de sus
10 fronteras (Lester et al., 2009; Giakoumi et al., 2017; Sala and Giakoumi, 2017).

11 En México, las reservas marinas han sido comúnmente establecidas como zonas núcleo dentro de Reservas
12 de la Biósfera (RBs), administradas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).
13 Al día de hoy, 36 RBs protegen una porción del ambiente marino en México. Sin embargo, solamente 26
14 de estas incluyen (pequeñas) zonas núcleo donde las actividades pesqueras están prohibidas. Aunque la
15 CONANP ha hecho esfuerzos importantes por involucrar a los actores durante la implementación de las
16 reservas, esto aún se caracteriza por un proceso descendente, el cual conlleva a la falta de cumplimiento
17 por parte de los actores. La escasez de recursos monetarios y humanos de la limitan también el monitoreo y
18 vigilancia de las reservas, y a su vez, el desempeño de la reserva.

19 Buscando promover una alternativa con procesos ascendentes para implementar reservas marinas, las
20 Organizaciones de la Sociedad Civil (OSCs) comenzaron a trabajar con comunidades pesqueras para
21 establecer reservas comunitarias (Uribe et al., 2010). Estas son comúnmente establecidas dentro de zonas
22 de concesión, una forma de derechos de uso territoriales para pesquerías (TURF, en inglés). Al permitir a
23 los pescadores diseñar sus propias reservas, una mayor proporción de la comunidad está de acuerdo con los
24 perímetros y reglas establecidas, y por lo tanto los respetan (Gelcich and Donlan, 2015; Espinosa-Romero
25 et al., 2014; Beger et al., 2004). Adicionalmente, los pescadores pueden implementar sus reservas por
26 un periodo acordado (usualmente cinco años), después del cual la reserva puede ser abierta a la pesca.
27 Esto provee a los pescadores con un sentido de confianza de que, en caso de ser necesario, aún tienen
28 acceso a pescar esa zona. Las reservas son directamente vigiladas y monitoreadas por la comunidad,
29 quienes comúnmente utilizan pequeñas embarcaciones (*e.g.* pangas) para patrullar la zona, o realizan

30 avistamientos desde la costa en búsqueda de pescadores ilegales Aún así, las reservas comunitarias carecen
31 de reconocimiento legal; por lo tanto, no hay forma de penalizar a los infractores.

32 Sin embargo, en el 2014 una nueva norma (NOM-049-SAG/PESC, 2014) permite a los pescadores
33 solicitar el establecimiento de reservas marinas bajo el nombre de “Zonas de refugio Pesquero” (ZRP). El
34 manejo de las ZRP combina procesos ascendentes y descendentes al reconocer legalmente las reservas
35 propuestas por las comunidades. Posterior a la revisión por parte de la Comisión Nacional de Acuacultura y
36 Pesca (CONAPESCA) y la opinión técnica del Instituto Nacional de Acuacultura y Pesca (INAPESCA) las
37 ZRP son establecidas por el periodo solicitado por los pescadores. El monitoreo y la vigilancia de las ZRP
38 es típicamente llevado a cabo por la comunidad , con ayuda de OSCs locales. Hasta este cambio regulatorio,
39 las reservas comunitarias no contaban con el soporte legal, y eran solamente reconocidas por la comunidad.
40 Al día de hoy, existen 39 ZRP establecidas en el Pacífico, Golfo de California y Caribe Mexicano.

41 Aunque existen tres aproximaciones generales para implementar reservas marinas en México (*i.e.* Zonas
42 núcleo dentro de AMP, reservas comunitarias y Zonas de Refugio Pesquero), aún no comprendemos a
43 fondo las características sociales que permiten su efectividad. La ciencia de reservas marinas se ha enfocado
44 ampliamente en los efectos biológicos que estas tienen (Lester et al., 2009; Giakoumi et al., 2017; Sala and
45 Giakoumi, 2017; Afflerbach et al., 2014; Krueck et al., 2017). Aunque el aspecto ecológico de las reservas
46 es importante para su éxito, su efectividad también depende del estado socioeconómico y los sistemas de
47 gobernanza de las comunidades pesqueras.

48 La literatura indica que diferentes características influyen en el éxito de una reserva. En Palau, por ejemplo,
49 la edad (*i.e.* tiempo transcurrido desde implementación), tamaño y hábitat contenido son características
50 claves que determinan la efectividad (Friedlander et al., 2017). Por otro lado, en el Mar Mediterráneo,
51 Di Franco et al. (2016) identifican que la procuración y vigilancia, presencia de un plan de manejo,
52 participación de pescadores en el manejo, representación de pescadores en la toma de decisiones y
53 promoción de la pesca sustentable son los cinco factores que incrementan la salud de los stocks y el ingreso
54 económicos a los pescadores, a la vez que se presenta una mayor aceptación social de las prácticas de
55 manejo. En una aproximación global, Edgar et al. (2014) encuentran que la procuración, edad, tamaño
56 y aislamiento son determinantes de la efectividad de las reservas. Por lo tanto, observamos que las
57 características que habilitan el éxito varían a través de regiones, y poco esfuerzo se ha hecho por comprender
58 estas interacciones en México.

59 El objetivo de este trabajo este trabajo es realizar una evaluación de la efectividad de reservas marinas en
60 México, presentando resultados de cinco comunidades costeras como caso de estudio. Con el fin de obtener
61 una visión holística del sistema, la evaluación se realizará tomando en cuenta indicadores biológicos,
62 socioeconómicos y de gobernanza. La evaluación de éstos cinco casos de estudios nos permitirá identificar
63 la manera en que las características socioeconómicas y de gobernanza se relacionan con la efectividad
64 (biológica) de las reservas marinas evaluadas. Los patrones identificados podrán utilizarse para informar la
65 toma de decisiones para la implementación de la red de reservas marinas en la Región de las Grandes Islas
66 del Golfo de California.

2 MATERIALS AND METHODS

67 2.1 Study area

68 Las comunidades utilizadas en este reporte se distribuyen a lo largo de la costa Pacífica de Baja California
69 ($n = 1$) y el Sistema Arrecifal Mesoamericano ($n = 2$; Fig 1).

70 2.1.1 Isla Natividad

71 La Isla Natividad se encuentra en la costa oeste de la Península de Baja California, donde el hábitat
72 predominante es el bosque de kelp o sargazo gigante (*Macrocystis pyrifera*) y los arrecifes rocosos. En la
73 isla, la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera (SCPP) Buzos y Pescadores de la Baja California SCL
74 realiza actividades de extracción de los recursos marinos. Aunque la langosta roja (*Panulirus interruptus*)
75 es la especie más importante en términos económicos, otras especies importantes incluyen la escama
76 (con un enfoque en Jurel; *Seriola lalandi*), el pepino de mar (*Parastichopus parvimensis*), el erizo rojo
77 (*Mesocentrotus franciscanus*), el caracol (*Megastraea turbanica* y *M. undosa*) y, hasta el 2010, el abulón
78 (*Haliotis sp.*). En 2006, por medio de un proceso participativo, la cooperativa decidió establecer dos
79 reservas marinas de manera voluntaria. Agentes externos a la cooperativa, como personal de Comunidad y
80 Biodiversidad A.C., académicos de la Universidad de Stanford, y personal de la CONANP (de la oficina de
81 Reserva de la Biósfera El Vizcaíno), también participaron en el diseño e implementación de las reservas.
82 Las reservas fueron establecidas como instrumento de manejo pesquero, buscando recuperar las poblaciones
83 de abulón y otros invertebrados. Al día de hoy, las reservas marinas de Isla Natividad no han recibido
84 reconocimiento legal, pero la cooperativa ha mostrado interés por reconocerlas como Zonas de Refugio
85 Pesquero (ZRP). Los pescadores tienen un sistema de turnos para vigilar la reserva día y noche desde
86 embarcaciones patrulla.

87 2.1.2 María Elena

88 María Elena es una comunidad pesquera en la costa de Quintana Roo. Los arrecifes coralinos y manglares
89 son los principales ecosistemas representados en la zona. El campo pesquero es utilizado por pescadores
90 de la SCPP Cozumel scl (de la Isla de Cozumel). La principal especie aprovechada por ésta organización
91 es la langosta espinosa del caribe (*Panulirus argus*). La cooperativa cuenta con permiso de pesca de
92 escama y concesión de langosta. En el 2012, la Cooperativa, en conjunto con la Alianza Kanan Kay, COBI,
93 CONANP, CONAPESCA, Oceanus, Fundación Claudia y Roberto Hernández, Fundación Haciendas del
94 Mundo Maya, establecieron ocho ZRP con una vigencia de cinco años. La vigilancia de las reservas se
95 realiza por medio del equipo de vigilancia comunitaria, con apoyo de la CONANP y una embarcación
96 -donada por COBI- utilizada para realizar recorridos frecuentes.

97 2.1.3 Punta Herrero

98 La comunidad de Punta Herrero se encuentra aproximadamente a 15 km al sur del campo pesquero
99 de María Elena. De igual manera, los arrecifes coralinos y manglares son los principales ecosistemas
100 representados en la zona, y la principal especie explotada es la langosta. Sin embargo, la SCPP José María
101 Azcorra también cuenta con permisos para pesca de escama y tiburón y una concesión de langosta. En una
102 réplica del ejercicio realizado en María Elena -con presencia de los mismos actores-, cuatro ZRP fueron
103 establecidas en el 2013, con una vigencia de cinco años. El equipo de vigilancia comunitaria, con apoyo de
104 la CONANP, se encarga de la vigilancia de las reservas.

105 2.2 Data collection

106 Para evaluar las reservas, utilizamos tres fuentes de información. La información ecológica proviene
107 de los monitoreos ecológicos realizados anualmente en las zonas reserva y control. Cada año, se realizan
108 censos visuales para evaluar las comunidades de peces e invertebrados, registrando riquezas, abundancias y
109 tallas (en peces). Esta información nos permite calcular los indicadores biológicos de manera anual. Al
110 tener valores de diferentes indicadores biológicos antes y después de la implementación de las reservas,
111 para las zonas de reserva y sitios control, tenemos un diseño muestral de Antes-Después-Control-Impacto.

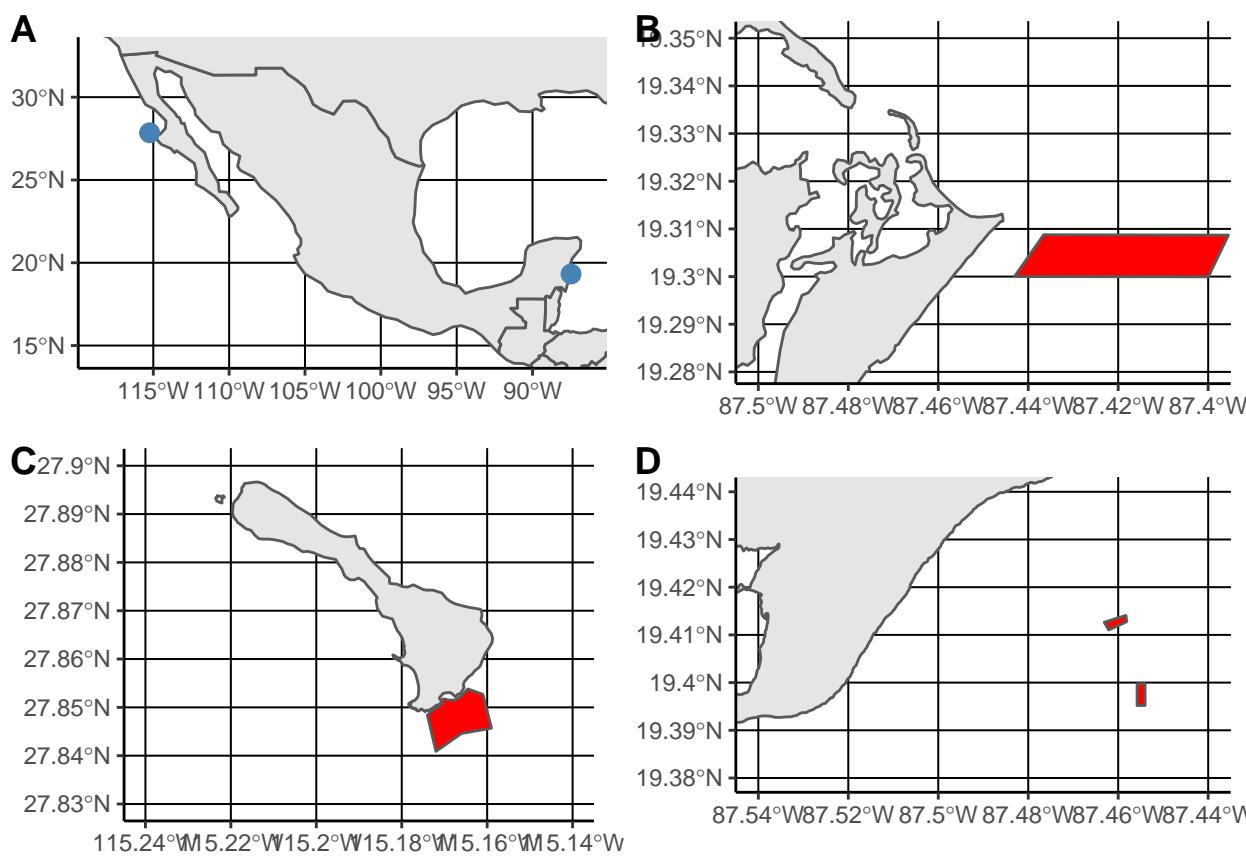


Figure 1. Mapa de la localización general de las comunidades de estudio. El panel de la derecha es un acercamiento a las comunidades de María Elena y Punta Herrero.

112 También incluimos información socioeconómica relevante proveniente de los avisos de arribo de CONA-
 113 PESCA. En este caso, se tienen registros mensuales de los recursos aprovechados por las diferentes
 114 comunidades, en los que se reportan los arribos (Toneladas) y el valor de los arribos (\$). La información se
 115 encuentra disponible para el periodo 2001 - 2014. Ya que las categorías registradas por CONAPESCA son
 116 amplias y existe un nivel de error, utilizamos únicamente los arribos reportados para langosta entera fresca
 117 a nivel de cooperativa. Los ingresos generados por arribos son ajustados por medio del índice de precio al
 118 consumidor.

119 La información de gobernanza fue obtenida a nivel de comunidad, pidiendo a personas familiares con las
 120 comunidades que proveyeran la información necesaria. La información de gobernanza no es evaluada de
 121 manera cuantitativa. En su lugar, esta se interpreta de manera tal que podamos comprender qué decisiones,
 122 reglas y estructuras tienen un impacto en la reserva.

123 2.3 Data analysis

124 Dada la similitud de objetivos entre las reservas, la evaluación se realiza con los mismos indicadores.
 125 En este caso, se utilizan 6 indicadores biológicos, 2 socioeconómicos y 5 de gobernanza (Tabla 1). Según
 126 la disponibilidad de datos, se calculó la densidad de las especies objetivo presentadas en la sección de
 127 descripción de las comunidades. El criterio de selección fue que cada especie debía tener, por lo menos,
 128 dos observaciones anuales para las zonas de reserva y control.

Table 1. Lista de indicadores utilizados para evaluar reservas marinas, agrupados por tipo.

Category	Indicador
Biological	Índice de diversidad de shannon
	Riqueza
	Densidad
	Nivel trófico
	Biomasa
	Densidad de especies objetivo
Socioeconomic	Ingresos por especies objetivo
	Arribos de especies objetivo
Governance	Tipo de acceso a la pesquería
	Grado de pesca ilegal
	Procuración de la reserva
	Tipo de organización pesquera
	Edad de la reserva

129 2.3.1 Biological

130 Utilizando un análisis de diferencia en diferencias podemos estimar el efecto que la reserva tienen en los
 131 indicadores biológicos (Moland et al., 2013) con el uso de un modelo de regresión lineal múltiple:

$$I = \beta_0 + \sum \gamma Year + \beta_1 Zona + \sum \lambda Year \times Zona + \Omega + \epsilon$$

132 En este caso, modelamos los años como factores, tomando como referencia el primer año en la serie
 133 de datos de cada comunidad. Modelar los años como factores reduce la estructura del modelo, y relaja el
 134 ajuste al no asumir una tendencia lineal entre años; es decir, el cambio observado entre 2006 - 2007 no
 135 deberá de ser igual al observado entre el 2009 - 2010. Incluimos también un término para la zona, en la que
 136 la variable toma un valor de 0 si el sitio es una zona control y de 1 si es una zona de reserva. Finalmente,
 137 incluimos un término de interacción entre la variable de Zona y el Año. En este modelo, λ_i representa el
 138 efecto que la reservas tuvo sobre un indicador en cada año y con respecto a los sitios control. El término Ω
 139 captura efectos fijos por especies y por sitio.

140 2.3.2 Socioeconomic

141 El análisis de datos socioeconómicos se aplicó únicamente a Isla Natividad, María Elena y Punta Herrero,
 142 siguiendo un modelo con la forma:

$$I = \beta_0 + \beta_1 Post$$

143 Que nos permite comparar el cambio en el promedio de los indicadores antes ($Post = 0$) y después ($Post$
 144 = 1) de la implementación de la reserva. Tanto para los indicadores biológicos como los socioeconómicos,
 145 los coeficientes fueron ajustados con el estimador de muestras heterocedásticas.

146 2.3.3 Governance

3 RESULTS

147 A continuación se presentan los resultados de cada una de las comunidades. Los resultados biológicos se
 148 presentarán para cada comunidad, discutiendo primero los indicadores en común con otras comunidades

149 (Shannon, Riqueza, Densidad, Nivel Trófico, Biomasa para peces e invertebrados) y, según su caso, las
150 densidades de las especies objetivo. Habiendo presentado los resultados biológicos, nos enfocaremos
151 después en los socioeconómicos y de gobernanza. Usaremos esta información para identificar las causas
152 (sociales) del éxito (biológico) de las reservas.

4 DISCUSSION

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

153 The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial
154 relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

155 JC analyzed and interpreted data, discussed the results and wrote the manuscrip. SF and JT edited the
156 manuscript and discussed the results.

FUNDING

157 Details of all funding sources should be provided, including grant numbers if applicable. Please ensure to
158 add all necessary funding information, as after publication this is no longer possible.

ACKNOWLEDGMENTS

159 This is a short text to acknowledge the contributions of specific colleagues, institutions, or agencies that
160 aided the efforts of the authors.

SUPPLEMENTAL DATA

161 Supplementary Material should be uploaded separately on submission, if there are Supplementary Figures,
162 please include the caption in the same file as the figure. LaTeX Supplementary Material templates can be
163 found in the Frontiers LaTeX folder

164 **S1 Figure**

165 Maps of the marine reserves and corresponding control sites at each community.

166 **S2 Table**

167 Table with a general overview of on the governance characteristics of each community.

REFERENCES

- 168 Afflerbach, J. C., Lester, S. E., Dougherty, D. T., and Poon, S. E. (2014). A global survey of turf-reserves,
169 territorial use rights for fisheries coupled with marine reserves. *Global Ecology and Conservation* 2,
170 97–106. doi:10.1016/j.gecco.2014.08.001
- 171 Beger, M., Harborne, A. R., Dacles, T. P., Solandt, J.-L., and Ledesma, G. L. (2004). A framework of
172 lessons learned from community-based marine reserves and its effectiveness in guiding a new coastal
173 management initiative in the philippines. *Environ Manage* 34, 786–801. doi:10.1007/s00267-004-0149-z

- 174 Di Franco, A., Thiriet, P., Di Carlo, G., Dimitriadis, C., Francour, P., Gutiérrez, N. L., et al. (2016). Five
175 key attributes can increase marine protected areas performance for small-scale fisheries management.
176 *Sci Rep* 6, 38135. doi:10.1038/srep38135
- 177 Edgar, G. J., Stuart-Smith, R. D., Willis, T. J., Kininmonth, S., Baker, S. C., Banks, S., et al. (2014). Global
178 conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature* 506, 216–220.
179 doi:10.1038/nature13022
- 180 Espinosa-Romero, M. J., Rodriguez, L. F., Weaver, A. H., Villanueva-Aznar, C., and Torre, J. (2014). The
181 changing role of ngos in mexican small-scale fisheries: From environmental conservation to multi-scale
182 governance. *Marine Policy* 50, 290–299. doi:10.1016/j.marpol.2014.07.005
- 183 Friedlander, A. M., Golbuu, Y., Ballesteros, E., Caselle, J. E., Gouezo, M., Olsudong, D., et al. (2017). Size,
184 age, and habitat determine effectiveness of palau's marine protected areas. *PLoS ONE* 12, e0174787.
185 doi:10.1371/journal.pone.0174787
- 186 Gelcich, S. and Donlan, C. J. (2015). Incentivizing biodiversity conservation in artisanal fishing com-
187 munities through territorial user rights and business model innovation. *Conserv Biol* 29, 1076–1085.
188 doi:10.1111/cobi.12477
- 189 Giakoumi, S., Scianna, C., Plass-Johnson, J., Micheli, F., Grorud-Colvert, K., Thiriet, P., et al. (2017).
190 Ecological effects of full and partial protection in the crowded mediterranean sea: a regional meta-
191 analysis. *Sci Rep* 7, 8940. doi:10.1038/s41598-017-08850-w
- 192 Halpern, B. S., Frazier, M., Afflerbach, J., OHara, C., Katona, S., Stewart Lowndes, J. S., et al. (2017).
193 Drivers and implications of change in global ocean health over the past five years. *PLoS ONE* 12,
194 e0178267. doi:10.1371/journal.pone.0178267
- 195 Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., et al. (2008). A global
196 map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319, 948–952. doi:10.1126/science.1149345
- 197 Hastings, A., Gaines, S. D., and Costello, C. (2017). Marine reserves solve an important bycatch problem
198 in fisheries. *Proc Natl Acad Sci USA* 114, 8927–8934. doi:10.1073/pnas.1705169114
- 199 Krueck, N. C., Ahmadi, G. N., Possingham, H. P., Riginos, C., Treml, E. A., and Mumby, P. J. (2017).
200 Marine reserve targets to sustain and rebuild unregulated fisheries. *PLoS Biol* 15, e2000537. doi:10.
201 1371/journal.pbio.2000537
- 202 Lester, S., Halpern, B., Grorud-Colvert, K., Lubchenco, J., Ruttenberg, B., Gaines, S., et al. (2009).
203 Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 384, 33–46.
204 doi:10.3354/meps08029
- 205 Micheli, F., Saenz-Arroyo, A., Greenley, A., Vazquez, L., Espinoza Montes, J. A., Rossetto, M., et al.
206 (2012). Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. *PLoS ONE* 7, e40832.
207 doi:10.1371/journal.pone.0040832
- 208 Moland, E., Olsen, E. M., Knutsen, H., Garrigou, P., Espeland, S. H., Kleiven, A. R., et al. (2013). Lobster
209 and cod benefit from small-scale northern marine protected areas: inference from an empirical before-
210 after control-impact study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280, 20122679–
211 20122679. doi:10.1098/rspb.2012.2679
- 212 NOM-049-SAG/PESC (2014). Norma oficial mexicana nom-049-sag/pesc-2014, que determina el procedi-
213 miento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de
214 los estados unidos mexicanos. *DOF*
- 215 Roberts, C. M., OLeary, B. C., McCauley, D. J., Cury, P. M., Duarte, C. M., Lubchenco, J., et al. (2017).
216 Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. *Proc Natl Acad Sci USA* 114,
217 6167–6175. doi:10.1073/pnas.1701262114

- 218 Sala, E. and Giakoumi, S. (2017). No-take marine reserves are the most effective protected areas in the
219 ocean. *ICES Journal of Marine Science* doi:10.1093/icesjms/fsx059
- 220 Uribe, P., Moguel, S., Torre, J., Bourillon, L., and Saenz, A. (2010). *Implementación de Reservas Marinas*
221 *en México* (Mexico), 1st edn.

FIGURE CAPTIONS

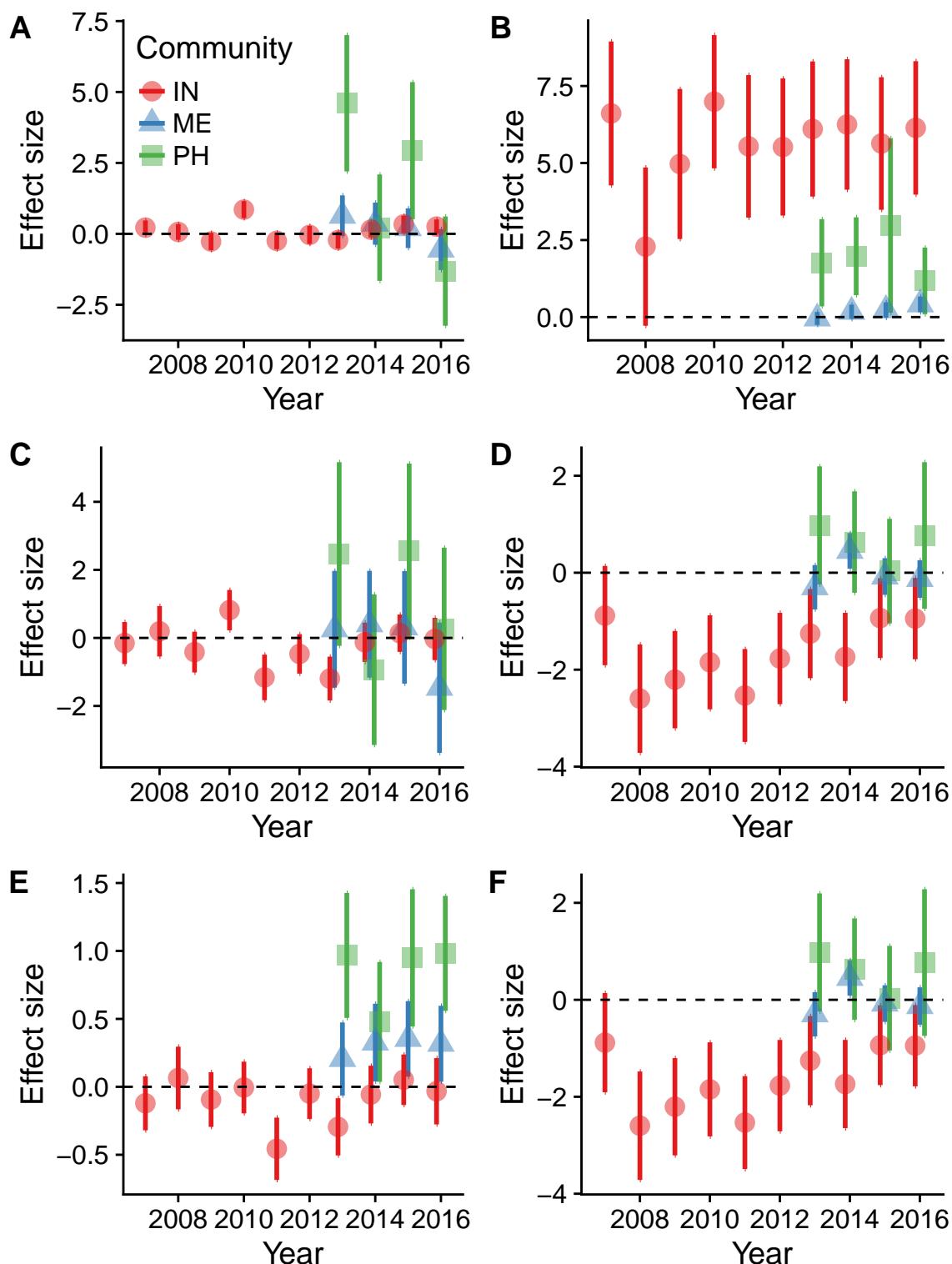


Figure 2. Effect sizes for marine reserves from Isla Natividad (IN; red circles), Maria Elena (ME; blue triangles), and Punta Herrero (PH; green squares). Plots are ordered by survey type (left: fish; right: invertebrates) and indicators: Abundance (A, B), Richness (C, D), and Shannon's diversity index (E, F)