

# **Puntos de referencia objetivo para la pesquería de pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) en la Reserva Marina de Galápagos**

Reporte de la Comisión Técnica de la JMP

Mauricio Castrejón<sup>2</sup>, Alex Hearn<sup>2</sup>, Juan Carlos Murillo<sup>1</sup>, Annie Lalancette<sup>2</sup>, Harry Reyes<sup>1</sup>, Nikita Gaibor<sup>5</sup>, Xavier Chalén<sup>1,4</sup>, Eduardo Espinoza<sup>1</sup> y Ulises Avendaño<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Parque Nacional Galápagos, <sup>2</sup>Fundación Charles Darwin, <sup>3</sup>Fundación Futuro Latinoamericano-COPROPAG, <sup>4</sup>WWF, e <sup>5</sup>Instituto Nacional de Pesca

## **Resumen Ejecutivo**

Un punto de referencia (PR) es un valor crítico de un indicador que sirve como guía para determinar el estado y dinámica de un sistema. Existen dos tipos de PR: los puntos de referencia objetivo (PRO), que representan el estado del recurso o pesquería considerado deseable (el objetivo de manejo) y los puntos de referencia límite (PRL), que representan el estado del recurso o pesquería considerado indeseable (*i.e* la sobreexplotación y/o colapso económico de la pesquería). Una vez que los objetivos de manejo y los respectivos PRO y PRL han sido definidos, se procede a desarrollar la estrategia de manejo que será implementada para cumplir con los objetivos acordados. Para ser efectiva, una estrategia de manejo precautoria debe incluir un acuerdo entre el manejador y los usuarios sobre las medidas a tomar, en caso de que el valor del indicador sea menor al PRL o mayor al PRO; esto es conocido como una *regla de decisión*.

De acuerdo a las disposiciones de la Junta de Manejo Participativo (JMP) y Autoridad Institucional de Manejo (AIM), acordadas los días 15 de diciembre de 2006 y 9 de enero de 2007, respectivamente, se decidió “*Mantener la veda de pepino de mar, y se considerará su apertura si se cumplen los criterios de recuperación del recurso que serán medidos mediante monitoreo poblacional*”. A su vez se dispuso que la Comisión Técnica de la JMP calcule los criterios de recuperación y que los ponga a consideración de la JMP y AIM en febrero de 2007.

De esta manera, el objetivo de este informe es el de proveer a los miembros de la JMP y AIM de unos criterios de recuperación, llamados a partir de aquí “Puntos de Referencia Objetivo (PRO)”, cuya función es la de servir como guía para determinar si la veda del 2006 ha permitido la recuperación del recurso pepino de mar *I. fuscus* y en que nivel, así como para definir el punto de reapertura de la pesquería.

Entre enero y principios de marzo de 2007, la comisión técnica trabajó en la definición de los PRO de la pesquería pepino de mar. El método empleado incluyó los siguientes pasos: a) identificación de las metas y objetivos de manejo existentes en la legislación vigente para la pesquería pepino de mar; b) revisión y análisis de indicadores y puntos de

referencia existentes; c) definición de indicadores; 4) identificación y selección de los métodos analíticos a utilizar para la determinación de los PRO y 5) desarrollo de reglas de decisión.

Se eligió a la densidad<sup>1</sup> como el mejor indicador del estado de recuperación del recurso. Para estimar los PRO, se utilizaron tres métodos: 1) densidades intermedias históricas y porcentaje crítico de juveniles; 2) estimación del 50% de las densidades máximas históricas y 3) modelo poblacional de depleción de poblaciones (stock depletion). Los tres métodos hacen uso de los datos de densidad obtenidos mediante los monitoreos poblacionales participativos de 1999 a 2006. Los PRO's estimados por cada método y su respectiva regla de decisión se resumen a continuación:

1) Densidades intermedias históricas y porcentaje crítico de juveniles

**Tabla 1.** Densidades intermedias históricas en pepinos m<sup>-2</sup> y porcentaje críticos de juveniles estimados para las islas Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz, estimadas a partir de los datos de densidad promedio de los monitoreos pre.pesquería 1999-2006. Se consideran sólo los sitios de monitoreo permanente.

<b>Isla</b>	<b>Densidades intermedias históricas (pepino m<sup>-2</sup>)</b>	<b>Porcentaje crítico de pepinos juveniles</b>
Isabela	0.26	> 70 %
Fernandina	0.42	> 70 %
San Cristóbal	0.05	> 50 %
Santa Cruz	0.08	> 50 %

La regla de decisión bajo del primer método es la siguiente:

- a) La pesquería de pepino de mar será reabierta cuando la densidad promedio registrada para la isla Isabela sea de 0.26 pepino m<sup>-2</sup> y el porcentaje de pepinos juveniles (menores a 16 cm) sea menor al 70% de la población total.
- b) Si en Isabela se cumple con los criterios antes descritos, la apertura del resto de las islas Fernandina, Santa Cruz y San Cristóbal dependerá de que se alcancen las respectivas densidades intermedias por isla y que el porcentaje crítico de juveniles sea menor a los mostrados en la Tabla 1.

## 2) Estimación del 50% de las densidades máximas históricas

**Tabla 2.** Densidades máximas históricas (en pepinos m<sup>-2</sup>) registradas para las islas Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz durante los monitoreos pre-pesquerías de 1999 a 2006. Se consideran sólo los sitios de monitoreo permanente.

<b>Isla</b>	<b>Densidad máxima histórica (pepinos m<sup>-2</sup>)</b>	<b>50% de la densidad máxima histórica</b>
Isabela	0.56	0.28
Fernandina	1.64	0.82
San Cristóbal	0.05	0.02
Santa Cruz	0.17	0.08

La regla de decisión bajo del segundo método es la siguiente:

- a) La pesquería de pepino de mar será reabierta cuando la densidad promedio registrada para la isla Isabela sea de 0.28 pepinos m<sup>-2</sup>.
- b) Si en Isabela se cumple logra alcanzar el punto de referencia antes descrito, la apertura del resto de las islas Fernandina, Santa Cruz y San Cristóbal dependerá de que se alcance al menos el 50% de la densidad máxima histórica registrada para cada una de estas islas (Tabla 2).

## 3) Modelo poblacional de depleción de poblaciones (stock depletion)

A través del modelo poblacional se simularon diversos escenarios de explotación y de la recuperación resultante estimada para las poblaciones de pepino del oeste del archipiélago. De esta manera se concluyó que: a) No se prevé una recuperación del recurso en el corto plazo, aún manteniendo la pesquería cerrada. Esto considerando que no existe un nuevo pulso de reclutamiento. Se entiende por pulso de reclutamiento a la incorporación masiva a la población, de pepinos menores a los 16 cm de longitud total; b) Sin un pulso de reclutamiento sólo se podría aspirar a alcanzar densidades de 0.12 a 0.15 ind.m<sup>-2</sup> de pepinos mayores a 16 cm, en un periodo estimado de 3 a 5 años para los sitios de monitoreo permanente de la región oeste utilizados en el modelo (Punta Espinoza Norte, Punta Espinoza Sur, Punta Mangle Norte, Punta Mangle Sur, Bahía Elizabeth). Sin embargo, este periodo de recuperación es incierto.

Existen dos reglas de decisión alternativas relacionadas con este modelo:

- a) Mantener una veda total de la pesquería hasta que se registre un nuevo pulso de reclutamiento.
- b) La pesquería será reabierta una vez que se alcance una densidad de 0.15 pepinos m<sup>-2</sup> en la región oeste (Isabela Oeste y Fernandina), estableciendo una cuota total no mayor a 350,000 pepinos (estimando que se capturarán 250,000 pepinos en la región oeste y 150,000 pepinos en las demás islas del archipiélago). Se

recomienda que para optimizar los beneficios generados por la pesquería se limite el acceso a un determinado número de pescadores.

Se recomienda: 1) Analizar las razones que llevaron la pesquería al colapso y posteriormente definir lo que se desea obtener de la pesquería a futuro; 2) Analizar probables beneficios y costos biológicos, económicos y sociales a corto y largo plazo de continuar la veda o de permitir la reapertura de la pesquería; 3) Seleccionar un determinado PRO y su respectiva regla de decisión, y utilizarlos como guías para determinar el grado de recuperación del recurso, así como para definir las condiciones de reapertura de la pesquería. Esto permitirá hacer más transparente el proceso de toma de decisiones y reducirá la probabilidad de conflictos; 4) Seleccionar los PRO's antes de obtener los resultados del monitoreo poblacional pre-pesquería 2006. Esto permitirá que la selección sea hecha en relación a lo que se desea obtener del recurso a futuro, considerando para ello la serie histórica de datos de densidad de 1999 a 2006. Este periodo incluye la etapa cuando el recurso era más abundante y dónde las capturas eran mayores. 5) Si los resultados del monitoreo poblacional pre-pesquería 2007 muestran que la densidad del recurso se ha recuperado por encima de los PRO's acordados por la JMP y se decida así reabrir la pesquería, establecer medidas de manejo costo-eficientes para evitar que la pesquería nuevamente colapse.

## **1. Marco Teórico**

De acuerdo a la FAO, el manejo pesquero puede ser definido como “*el proceso integrado de recolección de información, análisis, planificación, consulta, adopción de decisiones, asignación de recursos, formulación y ejecución, así como implementación cuando sea necesario, de reglamentos o normas que rijan las actividades pesqueras para asegurar la productividad de los recursos y la consecución de otros objetivos*” (Cochrane, 2005). El primer paso dentro de este proceso, es la definición de las metas de manejo, es decir, ¿Cuáles creen los usuarios interesados y el gobierno, que serían los beneficios óptimos que debería proveer una pesquería determinada?

Puesto que las metas de manejo son demasiado generales, se recomienda que el gobierno y los usuarios acuerden objetivos de manejo específicos para cada pesquería y que los registren dentro de un plan de manejo pesquero. Esto es fundamental para aclarar y planificar como serán utilizados los recursos para el beneficio de la sociedad.

Los objetivos de manejo deben ser operacionales, es decir, deben especificar lo más claramente posible que se espera lograr de la pesquería. Esto es útil para los manejadores ya que les permite evaluar si los objetivos de manejo se están cumpliendo o no, y por lo tanto determinar si la estrategia de manejo utilizada es adecuada y si se esta aplicando con éxito (Cochrane, 2005). Los objetivos de manejo operacionales deben de ser además medibles, observables y relacionados a un periodo de tiempo determinado.

Una vez definidos, los objetivos de manejo sirven como base para la definición de los indicadores de desempeño y de los puntos de referencia (PR). Un indicador de desempeño es una condición o variable específica a la que se le puede dar seguimiento en un sistema, como puede ser densidad poblacional, talla, captura, ingreso neto, captura por

unidad de esfuerzo (CPUE) etc. Por otro lado, un PR es un valor crítico de un indicador que sirve como guía para determinar el estado y dinámica del sistema (Caddy, 2004).

Los PR pueden ser estimados mediante análisis, observación, por el juicio de expertos, o a partir de la comparación con datos previos de la pesquería, cuando la productividad era más alta y sostenible y también, pero no exclusivamente, de modelos poblacionales (Caddy, 2002).

Existen dos tipos de PR: los puntos de referencia objetivo (PRO), que representan el estado del recurso o pesquería considerado deseable (el objetivo de manejo) y los puntos de referencia límite (PRL), que representan el estado del recurso o pesquería considerado indeseable (ej. la sobreexplotación y/o colapso económico de la pesquería, ver Caddy, 2004).

Una vez que los objetivos de manejo y los respectivos PRO y PRL han sido definidos, se procede a desarrollar la estrategia de manejo que será implementada para cumplir con los objetivos acordados. Para ser efectiva, una estrategia de manejo precautoria debe basarse en la mejor información disponible, haciendo explícitas las posibles fuentes de error (incertidumbre). Además debe incluir un acuerdo entre el manejador y los usuarios sobre que medidas tomar en caso de que el valor del indicador sea menor al PRL o mayor al PRO. Esto es conocido como una *regla de decisión* (FAO, 1996).

La rigidez de las medidas adoptadas deberán de ser proporcionales a la probabilidad de afectar irreversiblemente la capacidad productiva del recurso y, previo a su selección, tendrán que considerarse los costos y beneficios sociales y económicos que tendrá la aplicación de la estrategia de manejo sobre los grupos pobres o vulnerables, identificando a su vez maneras de evitar o mitigar el impacto.

## **2. Antecedentes**

De acuerdo a los acuerdos de la JMP del día 15 de diciembre de 2006 y a la resolución 001-2007 de la AIM del 9 de enero de 2007, se decidió:

*“Mantener la veda de pepino de mar; se considerara su apertura si se cumplen los criterios de recuperación del recurso que serán medidos mediante monitoreo poblacional”.*

A su vez se dispuso que la comisión técnica de la JMP calcule los criterios de recuperación y que los ponga a consideración de la JMP y AIM en febrero de 2007.

## **3. Objetivo del estudio**

Proveer a los miembros de la JMP y AIM de unos criterios técnicos de recuperación, llamados a partir de aquí “Puntos de Referencia Objetivo (PRO)”, cuya función será la de servir como guía para determinar si la veda del 2006 ha permitido la recuperación del recurso pepino de mar (*I. fuscus*) y en que nivel, así como para definir el punto de reapertura de la pesquería.

#### **4. Método**

Entre finales de enero y principios de marzo del 2007, la Comisión Técnica trabajó en la definición de los PRO de la pesquería de pepino de mar. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1) Identificación de las metas y objetivos de manejo existentes en la legislación vigente para la pesquería pepino de mar

Se identificaron las metas de manejo generales que existen para el manejo de las pesquerías y los objetivos de manejo operacionales específicos para el manejo de la pesquería de pepino de mar.

2) Revisión y análisis de indicadores y puntos de referencia existentes

Se identificaron los indicadores y puntos de referencia utilizados hasta el momento para determinar el estado del recurso y la aplicación de acciones de manejo adicionales, en caso de que el recurso llegará a un estado considerado indeseable. Se analizó su utilidad como guías para determinar la recuperación del recurso.

3) Determinación de indicadores

Se seleccionó el indicador más apropiado para ser utilizado como guía para determinar la recuperación del recurso. Para ello, las series de datos históricas existentes fueron evaluadas con el objeto de determinar la utilidad de los indicadores para reflejar cambios en el estado del recurso a través del tiempo, así como para evaluar las probables fuentes de incertidumbre.

4) Identificación y selección de los métodos analíticos a utilizar para la determinación de los PRO

Una vez seleccionado el indicador de recuperación del recurso, se identificaron los métodos analíticos que podrían ser utilizados para la definición de los PRO. Los supuestos, limitaciones y fortalezas de cada método fueron evaluados a través de una plenaria, así como las posibles fuentes de incertidumbre asociadas a cada método.

5) Desarrollo de reglas de decisión

Finalmente los resultados fueron utilizados para crear las reglas de decisión de la pesquería. Una regla de decisión es una especificación de como las acciones de manejo pre-acordadas responderán a los PR's.

## 5. Resultados

### 5.1 Identificación de las metas y objetivos de manejo existentes en la legislación vigente para la pesquería pepino de mar

Como se mencionó en el marco teórico, el primer paso dentro del proceso de manejo pesquero fue la definición de las metas y objetivos operacionales específicos de la pesquería. Por ello, el primer paso fue la identificación de las metas de manejo pesquero de la RMG y de los objetivos de manejo específicos para la pesquería de pepino de mar, previamente acordados por los usuarios. Este tipo de información fue considerada fundamental por la comisión técnica, dado que permite responder la siguiente pregunta: ¿qué es lo que quieren obtener los usuarios de la RMG, específicamente los pescadores y autoridades del PNG, de la pesquería de pepino de mar a futuro? La respuesta a esta pregunta es el punto de origen para el desarrollo de indicadores, PRO, PRL y de las respectivas estrategias de manejo para la pesquería.

En la RMG existen dos herramientas de planificación para el manejo pesquero: El Plan de Manejo de Conservación y Uso Sustentable para la Reserva Marina de Galápagos (PMRMG) y el Calendario Pesquero Quinquenal (CPQ). Cabe recordar que la RMG es una reserva marina de uso múltiple, de manera que el PMRMG establece los principios, metas y normas no sólo de la actividad pesquera sino también de la actividad turística y científica.

La meta principal del PMRMG es la de *“proteger y conservar los ecosistemas marino-costeros del archipiélago y su diversidad biológica para el beneficio de la humanidad, las poblaciones locales, la ciencia y la educación”*. En lo que se refiere al manejo de la actividad pesquera, el PMRMG establece dos objetivos específicos:

- a) *Asegurar el mantenimiento y la preservación, o en ciertos casos, la recuperación de las poblaciones de especies de recursos pesqueros que tienen gran importancia comercial para la pesca, y*
- b) *Facilitar que los pescadores de Galápagos mantengan y mejoren su base social y económica asegurando la realización de una actividad pesquera compatible con la biodiversidad.*

Ambos objetivos son generales dado que se aplican al manejo de todas las pesquerías de la RMG. A su vez, se revisó el CPQ 2002-2006 con la intención de identificar los objetivos específicos para el manejo de la pesquería de pepino de mar. Sin embargo, no existe ningún objetivo de manejo operacional de tipo biológico, económico ni social, ni para el pepino ni para otra pesquería de la RMG dentro del CPQ2002-2006 o del PMRMG.

Al carecer de PR específicos para cada pesquería, los miembros de la JMP no poseen una guía adecuada que les permita evaluar si las metas del PMRMG están siendo cumplidas o no, y por lo tanto no les será posible, al menos para el caso de la pesquería de pepino,

determinar si la veda de pepino de 2006 permitió la recuperación del recurso. Esto hace imprescindible la definición de un PR de tipo biológico para determinar si las poblaciones de pepino de mar se han recuperado a un nivel que permita la reapertura de la pesquería.

De esta manera, los miembros de la comisión considerando que: 1) los resultados de las últimas evaluaciones pesqueras y poblacionales mostraron una disminución constante del recurso; 2) que la pesquería de pepino de mar se encuentra totalmente en veda y 3) que uno de los objetivos de manejo pesquero del PMRMG establece recuperar las poblaciones de las especies de gran importancia comercial, han basado sus recomendaciones en el supuesto de que existe un interés compartido de los usuarios por recuperar el recurso pepino de mar, a fin de incrementar a futuro los beneficios económicos obtenidos a través de su explotación.

### *5.2 Revisión y análisis de indicadores y puntos de referencia existentes*

Dentro del CPQ 2002-2006 los indicadores de desempeño acordados y utilizados para evaluar el estado del recurso y determinar la apertura de la pesquería fueron la densidad y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE, medida en individuos buzo<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>). Dentro del CPQ existía además una regla de decisión basada en dos criterios:

- 1) Un PRL, denominado en el CPQ 2002-2006 como valor umbral, cuyo valor era de 0.4 pepinos m<sup>-2</sup> de individuos mayores a 20 cm. Si la densidad era menor al valor del PRL, la pesquería se cerraba.
- 2) Tendencia en CPUE: si la CPUE de una macrozona disminuía tres años consecutivos la macrozona se cerraba. Si la disminución se presentaba en tres cuartas partes de las macrozonas toda la pesquería sería cerrada.

El primer criterio fue mal estimado. Al analizar la serie histórica de los datos de densidad poblacional obtenidos mediante los monitoreos pre y post-pesquerías, se aprecia que hubo una estimación incorrecta del PRL, debido a que las densidades promedio totales estimadas entre 1999 y 2006, nunca fueron mayores a 0.35 pepinos m<sup>-2</sup> (ver Toral et al., 2006). Por otro lado, la densidad promedio registrada por macrozona, muestra que sólo Isabela y Fernandina mostraron valores por encima del PRL. De esta manera, si el criterio hubiera sido aplicado, la pesquería nunca hubiera sido abierta o sólo se hubiera considerado su apertura en Isabela y Fernandina. Cabe señalar que el CPQ no es claro si el PRL se refiere a la densidad promedio total para todas las macrozonas o el promedio por macrozona.

La adopción de una densidad promedio total de 0.40 pepino m<sup>-2</sup> como PRO para definir la recuperación y posterior reapertura de una pesquería, es irreal y muy probablemente inalcanzable. Por consecuencia, este valor no fue considerado por la comisión como un PRO válido para ser implementado. Sin embargo, se reconoció que la densidad es un buen indicador del estado del recurso y que podría ser utilizado para la definición de los



PRO. Para evitar los errores de estimación del pasado, se considero necesario evaluar las densidades máximas históricas registradas por macrozona desde 1999 hasta la actualidad.

Por otro lado, el segundo criterio no es claro respecto al valor de CPUE por macrozona que sería necesario alcanzar para reabrir una determinada macrozona o toda la pesquería, una vez que estas hubieran sido cerradas (cabe señalar que este criterio nunca fue aplicado). La CPUE es además un indicador que depende de datos pesqueros (captura y esfuerzo) para su estimación. La veda de la pesquería de pepino de mar hace irrelevante la utilización de la CPUE como indicador base para definir un PRO, dado que sería necesario permitir la apertura de la pesquería para obtener los datos de captura y esfuerzo necesarios para estimar la CPUE. Esto vuelve inútil la utilización de un PRO, ya que se abriría la pesquería sin tener idea de si se ha recuperado o no.

Bajo las consideraciones anteriores, la comisión técnica decidió no acoger ninguno de los dos criterios anteriores como base para la creación de los PRO que definirán la apertura o cierre de la pesquería. Acordando únicamente utilizar a la densidad como el indicador base para la generación de los PRO.

### *5.3 Definición de indicadores de recuperación de recurso*

Considerando los resultados de la evaluación de indicadores y puntos de referencia existentes, la comisión técnica decidió seleccionar a la densidad (pepinos m<sup>-2</sup>) como el indicador de recuperación del recurso. Las razones de esta selección fueron las siguientes:

- 1) La densidad es un indicador entendible y observable, es aceptado por los usuarios, su estimación es simple y está basada en datos fácilmente obtenibles y; sobre todo, refleja la condición o estado del recurso. La mayoría de estas características son el resultado de la obtención de los datos de densidad a través de un monitoreo poblacional de tipo participativo.
- 2) Se dispone de una serie de tiempo de 8 años que abarca gran parte del desarrollo histórico de la pesquería.

Sin embargo, se reconoce que las densidades máximas históricas registradas entre 1999 y 2006, podrían no representar las densidades vírgenes de la población, antes del inicio de su explotación ilegal en el año 1992. Por consecuencia, se corre el riesgo de subestimar los PRO.

### *5.4 Identificación y selección de los métodos analíticos a utilizar para la determinación de los PRO*

Para la estimación de los PRO se eligieron dos enfoques. El primero se basa en la estimación de los PRO's a través de la utilización de las densidades promedio registradas durante los monitoreos pre-pesquerías realizados entre 1999 y 2006 Las densidades promedio corresponden únicamente a los sitios de monitoreo permanente de las islas

Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz. Bajo este enfoque se utilizaron dos métodos para estimar los PRO's:

- 1) Densidades intermedias históricas: consiste en graficar las densidades promedio registradas para Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz, a fin de determinar la densidad intermedia histórica para cada isla. La densidad intermedia histórica de una isla, es la densidad localizada entre la densidad máxima y mínima históricas registradas para esa isla entre 1999 y 2006. De esta manera, las densidades intermedias históricas de cada isla, representan su respectivo PRO. Adicionalmente, se estimó un PRL por isla basado en el porcentaje de individuos menores a 20 cm. A este PRL se le denominó “porcentaje crítico de juveniles”, cuya finalidad es la de evitar la pesca en aquellas zonas con altas densidades de juveniles, las cuales podrían estar asociadas a un evento masivo de reclutamiento similar al observado en el año 2000. Esto permitiría que los juveniles crezcan y se reproduzcan, incrementándose así las probabilidades de recuperación de la población.
- 2) Estimación del 50% de las densidades máximas históricas: consiste en estimar el 50% de las densidades promedio máximas históricas registradas durante los monitoreos pre-pesquerías de 1999 a 2006 para las islas Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz.

Por otro lado, el segundo enfoque basa la estimación de los PRO en la utilización de un modelo poblacional conocido como “stock depletion” (depleción de poblaciones). Este modelo utiliza como base las densidades de adultos ( $\geq 16$  cm) obtenidas durante los monitoreos participativos en 5 sitios de la región oeste del archipiélago desde 1994 a 2006 (Punta Espinoza Norte, Punta Espinoza Sur, Punta Mangle Norte, Punta Mangle Sur, Bahía Elizabeth). El modelo es utilizado para simular la recuperación de la población de pepinos de mar de la región oeste bajo diferentes escenarios de explotación.

La descripción de los datos y de la metodología empleada para estimar los PRO con el método de densidades intermedias históricas y a través del modelo poblacional, se detalla en los Anexos 1 y 2, localizados al final de este documento.

#### *5.4 Desarrollo de reglas de decisión*

Los PRO estimados por cada uno de los tres métodos seleccionados y sus respectivas reglas de decisión son las siguientes:

- 4) Densidades intermedias históricas y porcentaje crítico de juveniles

Las densidades intermedias históricas registradas para Isabela, Fernandina, Santa Cruz y San Cristóbal, así como los porcentajes de juveniles críticos recomendados para cada una de estas islas, se detallan en la Tabla 1. Cabe señalar que todas las densidades intermedias corresponden a los valores de densidad promedio registrados durante el año 2003.

Durante este año la captura total desembarcada correspondió a aproximadamente 5 millones de pepinos (Toral et al., 2006).

**Tabla 1.** Densidades intermedias históricas en pepinos  $m^{-2}$  y porcentaje críticos de juveniles estimados para las islas Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz, estimadas a partir de los datos de densidad promedio de los monitoreos pre.pesquería 1999-2006.

<b>Isla</b>	<b>Densidades intermedias históricas (pepino <math>m^{-2}</math>)</b>	<b>Porcentaje crítico de juveniles</b>
Isabela	0.26	> 70 %
Fernandina	0.42	> 70 %
San Cristóbal	0.05	> 50 %
Santa Cruz	0.08	> 50 %

Considerando que históricamente entre el 50% y 75% de la captura total desembarcada de todo el archipiélago proviene de la isla Isabela (Hearn et al., 2004), la regla de decisión bajo este método fue la siguiente:

- a) La pesquería de pepino de mar será reabierta cuando la densidad promedio registrada para la isla Isabela sea de 0.26 pepino  $m^{-2}$  y el porcentaje de juveniles sea menor al 70% de la población total.
- b) Si en Isabela se cumple con los criterios antes descritos, la apertura del resto de las islas Fernandina, Santa Cruz y San Cristóbal dependerá de que se alcancen las respectivas densidades intermedias por isla y que el porcentaje crítico de juveniles sea menor a los mostrados en la Tabla 1.

5) Estimación del 50% de las densidades máximas históricas

Las densidades máximas históricas registradas para las islas Isabela, Fernandina, Santa Cruz, San Cristóbal y su correspondiente 50%, se detallan en la Tabla 2. Las densidades máximas fueron en su mayoría registradas durante el monitoreo pre-pesquería del año 2001.

**Tabla 2.** Densidades máximas históricas (en pepinos  $m^{-2}$ ) registradas para las islas Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz durante los monitoreos pre-pesquerías de 1999 a 2006.

<b>Isla</b>	<b>Densidad máxima histórica (pepinos <math>m^{-2}</math>)</b>	<b>50% de la densidad máxima histórica</b>
Isabela	0.56	0.28
Fernandina	1.64	0.82
San Cristóbal	0.05	0.02
Santa Cruz	0.17	0.08

Nuevamente, considerando que históricamente entre el 50% y 75% de la captura total desembarcada de todo el archipiélago proviene de la isla Isabela (Hearn et al., 2004), la regla de decisión bajo este método es la siguiente:

- a) La pesquería de pepino de mar será reabierta cuando la densidad promedio registrada para la isla Isabela sea de 0.28 pepinos  $m^{-2}$ .
- b) Si en Isabela se cumple logra alcanzar el punto de referencia antes descrito, la apertura del resto de las islas Fernandina, Santa Cruz y San Cristóbal dependerá de que se alcance al menos el 50% de la densidad máxima histórica registrada para cada una de estas islas (Tabla 2).

6) Modelo poblacional de depleción de poblaciones (stock depletion)

A través del modelo poblacional se simularon diversos escenarios de explotación y de recuperación resultante estimada para las poblaciones de pepino de mar en el oeste del archipiélago. De esta manera se concluyó que: 1) No se prevé una recuperación del recurso en el corto plazo (3-5 años), aún manteniendo la pesquería cerrada. Este criterio está basado en que no existe un nuevo pulso de reclutamiento<sup>2</sup>; 2) Sin un pulso de reclutamiento sólo se podría aspirar a alcanzar densidades de 0.12 a 0.15 ind. $m^{-2}$  de pepinos mayores a 16 cm, en un periodo estimado de 3 a 5 años para los sitios de monitoreo permanente de la región oeste utilizados en el modelo (Punta Espinoza Norte, Punta Espinoza Sur, Punta Mangle Norte, Punta Mangle Sur, Bahía Elizabeth). Sin embargo, este periodo de recuperación es incierto.

Los resultados sugieren que el recurso sea manejado de manera “pulsal” y no anual, con claros objetivos de manejo.

Una vez más, considerando que el 50% y 75% de la captura total desembarcada de todo el archipiélago proviene de la isla Isabela (Hearn et al., 2004), se proponen dos reglas de decisión alternativas con base en los resultados de las simulaciones de este modelo:

- a) Mantener una veda total de la pesquería hasta que se registre un nuevo pulso de reclutamiento.
- b) La pesquería será reabierta una vez que se alcance una densidad de 0.15 pepinos  $m^{-2}$  en la región oeste (Isabela Oeste y Fernandina), estableciendo una cuota total no mayor a 350,000 pepinos (estimando que se capturarán 250,000 pepinos en la región oeste y 150,000 pepinos en las demás islas del archipiélago). Se recomienda que para optimizar los beneficios generados por la pesquería se restrinja el acceso a un determinado número de pescadores.

Finalmente, cabe señalar que cada uno de los tres métodos empleados para estimar los PRO's se basan en ciertos supuestos, algunos de los cuales difieren entre sí. De igual

---

<sup>2</sup> Se entiende por pulso de reclutamiento a la incorporación masiva a la población, de pepinos menores a los 16 cm de longitud total

manera cada uno de ellos posee sus limitaciones y sus fortalezas. Los supuestos, limitaciones y fortalezas de cada método son mostrados en el Anexo 3.

## **6. Recomendaciones**

1. Se recomienda que previamente a la selección de los PRO's por parte de que los miembros de la JMP, se analice la situación actual de la pesquería considerando su contexto biológico, económico y social. Analizando a su vez las razones que llevaron la pesquería al colapso. Se espera que esto permita identificar los problemas, plantear soluciones y definir lo que se desea obtener de la pesquería a futuro, definiendo así los objetivos de manejo de esta pesquería.
2. Se recomienda a su vez analizar en conjunto los probables beneficios y costos biológicos, económicos y sociales a corto y largo plazo de continuar la veda o de permitir la reapertura de la pesquería.
3. Se recomienda que la JMP seleccione un determinado PRO y su respectiva regla de decisión, los cuales servirán como guías para determinar el grado de recuperación del recurso y para definir el punto de reapertura de la pesquería. Esto permitirá hacer más transparente el proceso de toma de decisiones y reducirá la probabilidad de conflictos.
4. Se recomienda que los PRO's sean seleccionados antes de obtener los resultados del monitoreo poblacional pre-pesquería 2006. Esto permitirá que la selección sea hecha en relación a lo que se desea obtener del recurso a futuro, considerando para ello la serie histórica de datos de densidad de 1999 a 2006. Este periodo incluye la etapa cuando el recurso era más abundante y dónde las capturas eran mayores.
5. Si los resultados del monitoreo poblacional pre-pesquería 2007 muestran que la densidad del recurso se ha recuperado por encima de los PRO acordados por la JMP y se decida así reabrir la pesquería, establecer medidas de manejo costo-eficientes para evitar que la pesquería nuevamente colapse.

## **7. Literatura citada**

Caddy J (2002). Limit reference points, traffic lights and holistic approaches to fisheries management with minimal stock assessment input. *Fisheries Research* 56: 133-137.

Caddy J (2004). Current usage of fisheries indicators and reference points, and their potential application to management of fisheries for marine invertebrates. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences*. 61: 1307-1324.

- Cochrane K (ed.) (2005). Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 424. Roma, FAO. 231 pp.
- FAO (1996). Precautionary Approach to capture fisheries and species introductions. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 2. Roma, FAO. 54 pp.
- Hearn A, Toral MV, Castrejón M, Nicolaidis F, Moreno J, Reyes H, Altamirano M y S Vega (2004). Evaluación de la pesquería de pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) en la Reserva Marina de Galápagos. *En:* (A Hearn, ed.) Evaluación de las pesquerías en la Reserva Marina de Galápagos. Informe Compendio 2004. Fundación Charles Darwin. Puerto Ayora, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. pp 1–60.
- Toral MV, Murillo JC, Piu M, Nicolaidis F, Moreno J, Reyes H, Castrejón M y A Hearn (2006). La pesquería de pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) en la Reserva Marina de Galápagos en el año 2005. *En:* (A Hearn, ed.) Evaluación de las pesquerías en la Reserva Marina de Galápagos. Informe Compendio 2005. Fundación Charles Darwin/Parque Nacional Galápagos. Puerto Ayora, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. pp 1–45.

## ANEXO 1

### **Puntos de referencia objetivo para la pesquería de *Isostichopus fuscus* basados en densidades máximas históricas**

Juan Carlos Murillo

#### **Método**

Se revisaron los sitios de monitoreo permanente en las cuatro principales islas de pesca (Isabela, Fernandina, San Cristóbal y Santa Cruz) con valores de densidad poblacional calculadas en cada año (1999-2006) antes del inicio de cada pesquería (pre-pesquería). Los sitios de monitoreo permanente en cada isla fueron:

Isabela: Bahía Elizabeth, La Patrullera, Playa Negra y Poza de los Chinos;

Fernandina: Punta Mangle Norte, Punta Mangle Sur, Punta Espinoza Norte y Punta Espinoza Sur;

San Cristóbal: Bahía Sardina, Chorros de agua dulce, Las Negritas, Manglesito y Veinte Varas;

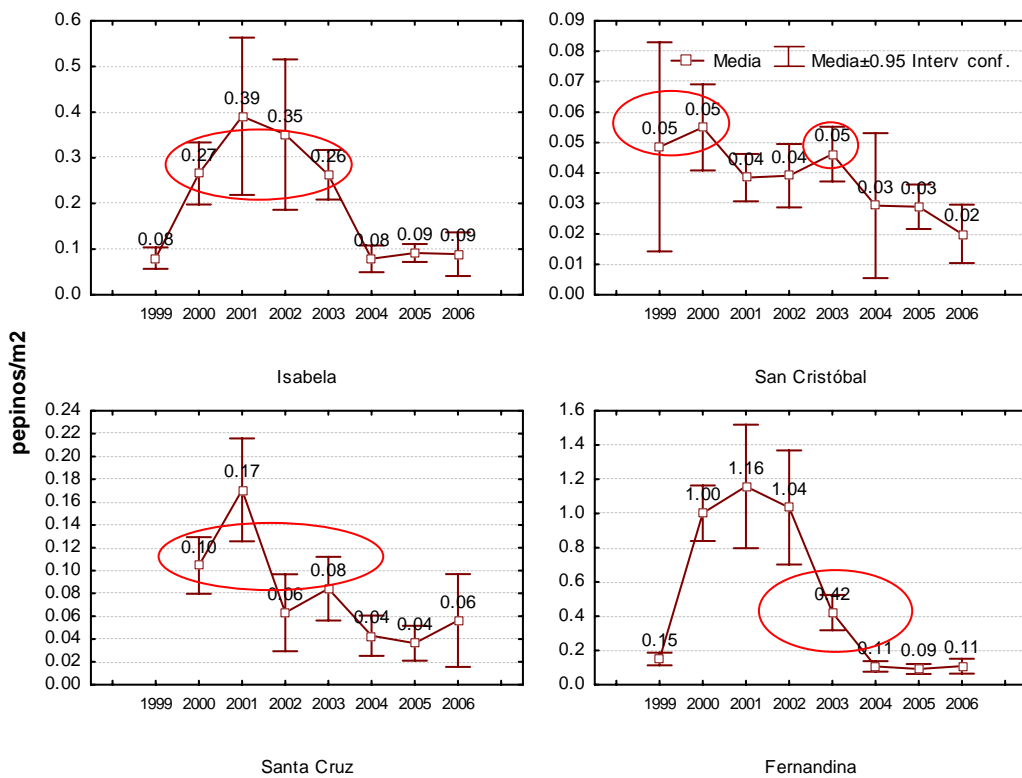
Santa Cruz: Cerro Gallina, El Edén, La Torta y Las Palmas.

Se elaboraron gráficas representativas de las densidades poblacionales para cada isla y dentro de cada isla se evaluaron las **densidades intermedias históricas**, de tal manera que éstas fueron seleccionadas como los valores de referencia mínimos óptimos para decidir sobre la reapertura de una pesquería de pepinos de mar *I. fuscus*.

#### **Resultados y discusión**

Isabela y Fernandina históricamente registran los valores más altos de densidad de pepinos de mar desde 1999. Los resultados de la Figura 1 indican que para abrir una pesquería, en Isabela se esperaría una densidad poblacional total (punto de referencia objetivo) por arriba de  $0.26 \text{ ind m}^{-2}$ , Fernandina  $0.42 \text{ ind m}^{-2}$ , Santa Cruz  $0.08 \text{ ind m}^{-2}$  y en San Cristóbal  $0.05 \text{ ind m}^{-2}$  (Figura 1). Además, **a la vez** deberá cumplirse con el criterio de **proporción crítica** de juveniles ( $\text{ind} < 20 \text{ cm}$ ) para la reapertura o no de la pesquería en determinada isla. La protección de zonas con altas densidades de juveniles, protegería de un potencial pulso de reclutamiento en las islas y por consiguiente de la sobrepesca por crecimiento; por ejemplo, si en Fernandina e Isabela además de cumplir con la densidad objetivo, el porcentaje de individuos menores a 20 cm monitoreados excede el 70 % (según Figura 2), entonces no se debería abrir la pesquería en esas islas, en San Cristóbal y Santa Cruz este porcentaje mínimo es del 50 % (Tabla 1, Figura 2). Para los valores de densidad objetivo, todos los puntos seleccionados coinciden con el año 2003, donde la captura total desembarcada correspondió a aproximadamente 5 millones de pepinos (Toral et al, 2005), lo que indicaría que bajo esas condiciones de densidad se esperaría una abundancia de organismos una rentabilidad económica significativa, aún capturando menos de la mitad de lo que se capturó este año. Sumado a todo esto, deberían analizarse los siguientes escenarios:

- La pesquería sólo se abriría si en la isla Isabela se llega a la densidad objetivo y proporción adecuada de juveniles. Esto, debido a que las capturas históricas en esta isla han representado más del 50 % de la captura total cada año.
- Si en Isabela se cumple con este objetivo, la apertura de la pesquería de pepino de mar en las demás islas dependerá de que se llegue a densidades objetivos y proporción adecuada de juveniles. Isla que no cumpla con este criterio, se cierra.
- Si los criterios de densidad poblacional para la apertura de una pesquería se cumplen, deberá establecerse una cuota establecida mediante parámetros técnicos (Murillo 2004, Hearn et al, 2005).
- Finalmente, si en algunas de las islas se presentasen altos niveles de reclutamiento (presencia de individuos pequeños), debería prohibirse la extracción pesquera para proteger a éstos individuos.

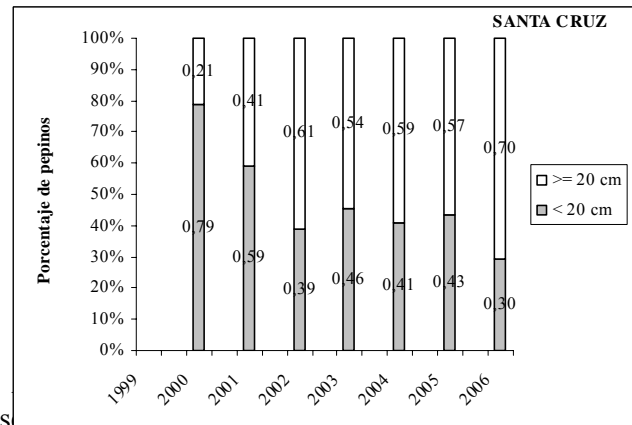
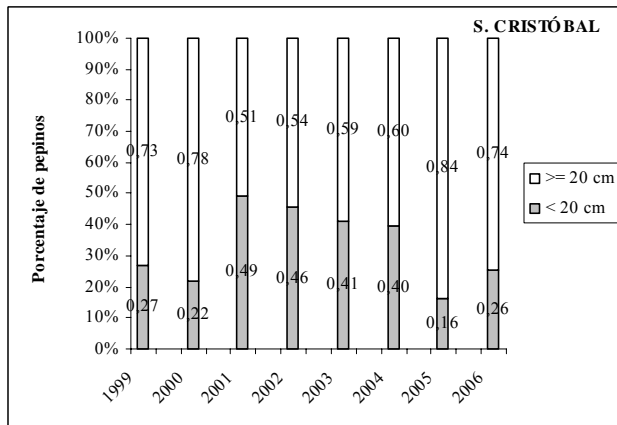
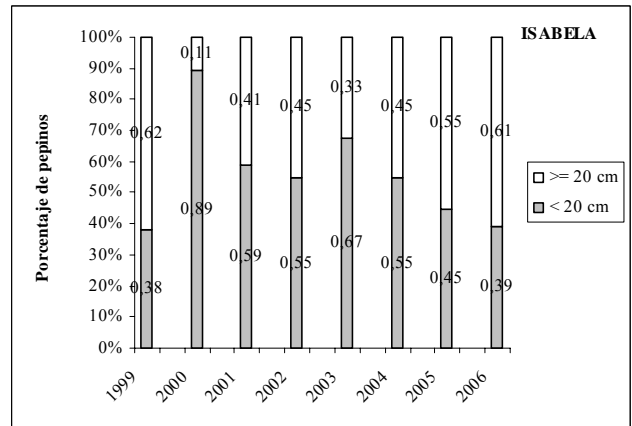
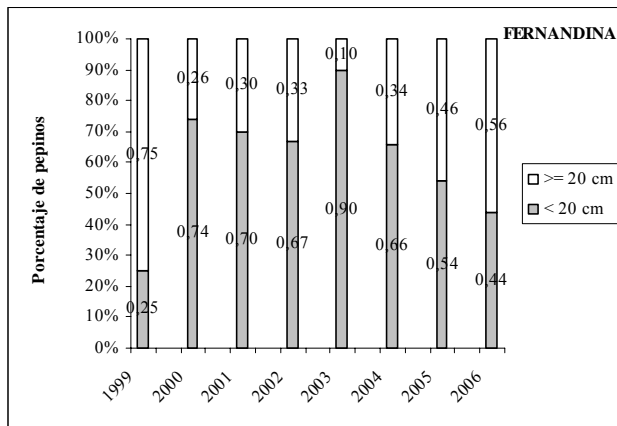


**Figura 1.** Densidades medias pre-pesca en las cuatro principales islas de pesca, considerando sólo sitios permanentes de muestreo. Las barras verticales simbolizan los intervalos de confianza del 95%.



**Tabla 1.** Punto de referencia objetivo a considerarse para la reapertura de la pesquería, basados en la densidad total objetivo que debería alcanzarse en el monitoreo 2007 y la proporción crítica de individuos menores a la talla legal esperada para el cierre de la pesquería.

Isla	densidad objetivo total (ind. m <sup>2</sup> )	Se cierra si la proporción de reclutas (< 20 cm) es:	Estado general de individuos < 20 cm (1999 - 2005)
Isabela	0,26	> 70 %	38 y 67 %
Fernandina	0,42	> 70 %	44 y 70 %
San Cristóbal	0,05	> 50 %	16 y 49 %
Santa Cruz	0,08	> 50 %	30 Y 46 %



## ANEXO 2

### **Estimación de la densidad de recuperación de las poblaciones de *Isostichopus fuscus* en la región oeste del archipiélago de Galápagos basadas en un modelo poblacional**

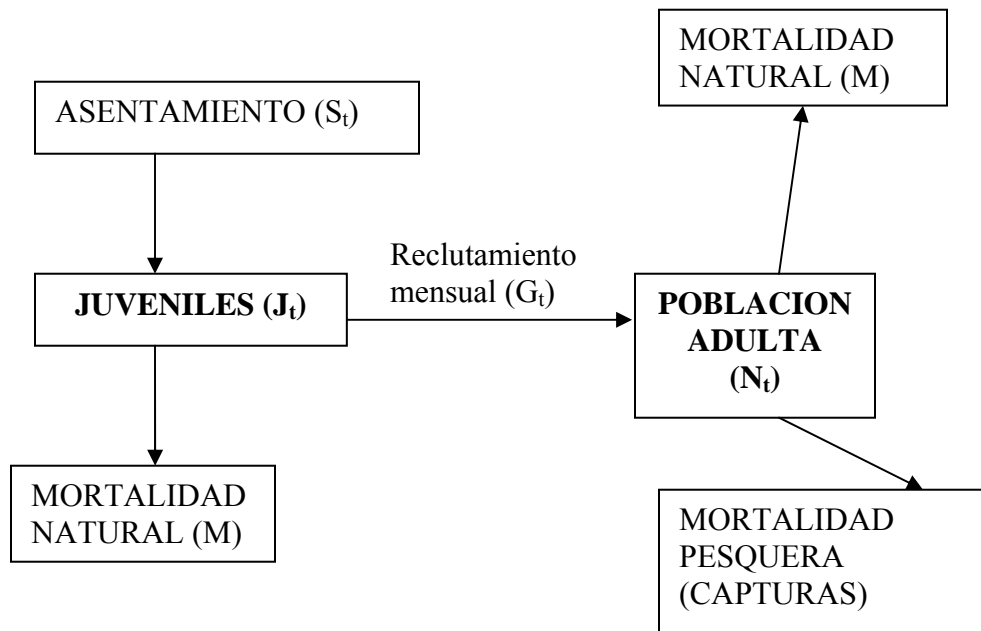
Alex Hearn

Se presenta un modelo 'stock-depletion', basado en las densidades de adultos (>16 cm) y juveniles (hasta 16 cm), obtenidas entre 1994 y 2006, durante monitoreos participativos en cinco sitios al oeste del archipiélago. Las tallas se dividen de esta manera por la vulnerabilidad a la pesca (la talla de madurez sexual está en aproximadamente 18 cm). Se presume que estos sitios son representativos para todo el oeste del archipiélago.

El modelo fue creado por Polovina et al (1993) para evaluar pesquerías de langostas, y modificada por Hearn et al (2005) para el pepino de mar en la RMG.

En este modelo se requiere una estimación del área de hábitat disponible para el oeste. En este caso, con base a los estudios de hábitat de Briones et al (2002) se estima el área en 21,500,000 m<sup>2</sup>. Conociendo el área y las densidades, podemos estimar la población (número = densidad x área).

En la figura 1, se puede apreciar que cada mes, hay asentamiento larval y crecimiento ( $S_t$ ) de juveniles. Cada mes, una proporción de los juveniles supera los 16 cm ( $G_t$ ) y se convierte en adulto ( $N_t$ ). Cada mes, una proporción de los juveniles y adultos mueren por causas naturales ( $M$ ). En algunos meses existen capturas comerciales, los cuales se conocen por el sistema de monitoreo pesquero del PNG y FCD.



**Figura 1.** Dinámica poblacional del pepino de mar.

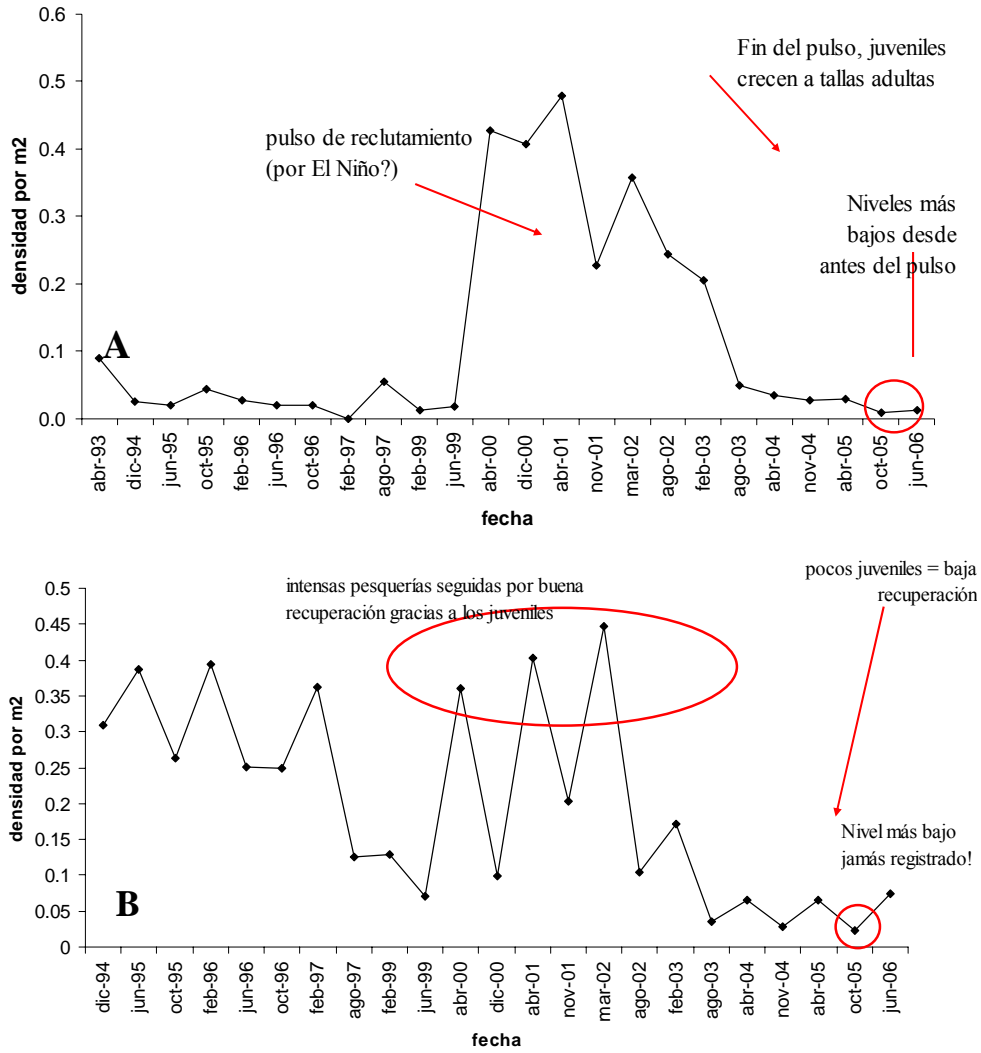
El valor de mortalidad natural ( $M$ ) proviene del estudio de Reyes-Bonilla & Herrero-Perezrul (2003) realizado en México. Sin embargo, éste valor lo dejamos abierto para cambiarlo, ya que fue calculado mediante una ecuación basada en peces y no en pepino de mar, por lo que suponemos que, en realidad,  $M$ , debe ser más bajo.

No conocemos el valor del asentamiento ( $St$ ), ni del reclutamiento a talla adulta ( $Gt$ ). Mediante el uso de Solver® estimamos los valores de  $M$ ,  $St$  y  $Gt$  que más se acercan a la realidad observada.

Se evidencia que el asentamiento no es constante (ver figura 2a), y que existe un pulso fuerte en el año 2000. Se aplican valores de pulso para los meses entre agosto 1999 y Marzo 2001.

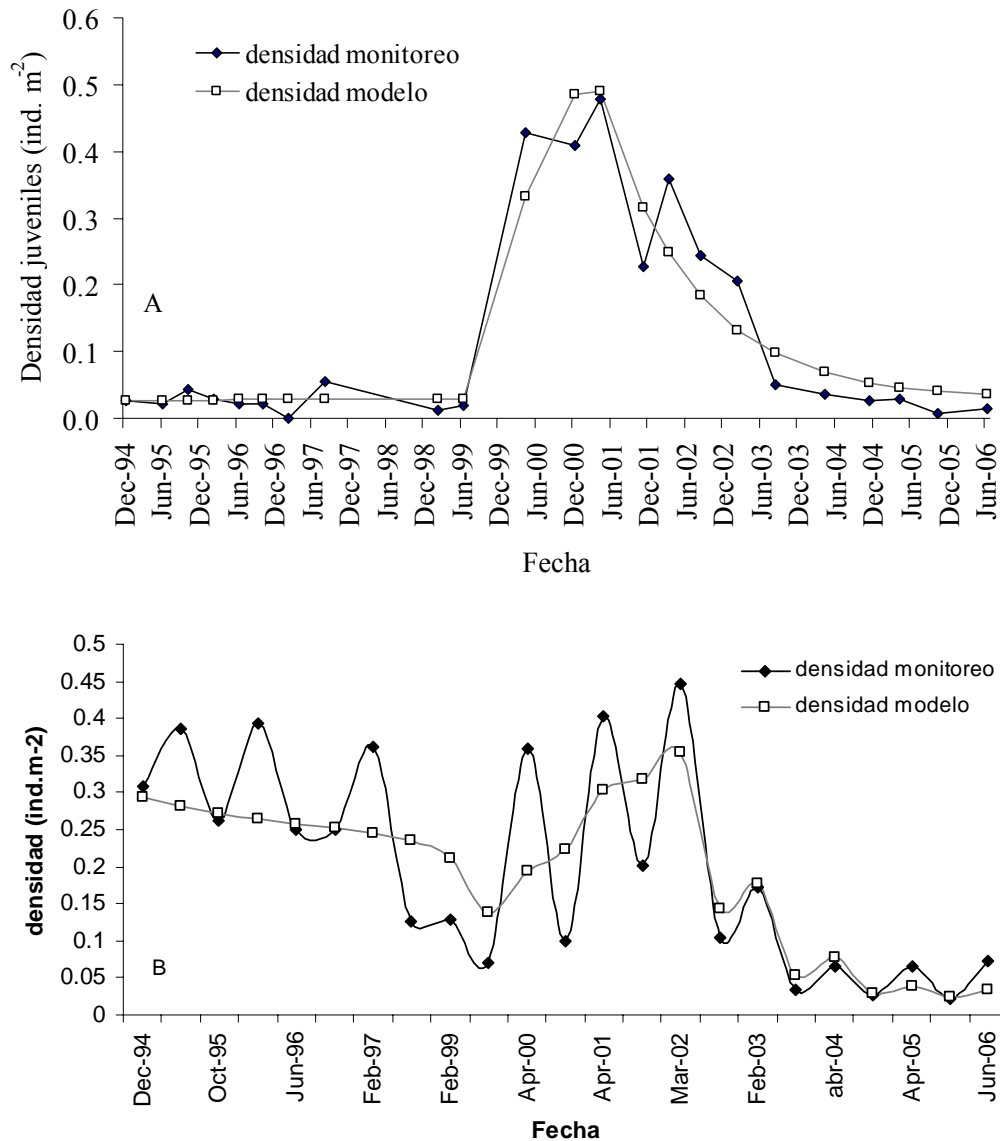
Las limitaciones del modelo son:

- Asume que la tasa actual de reclutamiento es constante (en el medio plazo, a medida que incrementen los adultos, ésta podría aumentar);
- Utiliza datos de densidad promedio. En algunos casos, los cambios de densidad no son significativos;
- Solamente abarca la bioregión oeste (Isabela Oeste y Fernandina).



**Figura 2.** Densidades observadas de (A) juveniles de pepino de mar, (B) adultos de pepino de mar.

El modelo soluciona la ecuación, proveyendo valores para un asentamiento base, un asentamiento de pulso, y un reclutamiento juvenil-adulto. Adicionalmente, modifica la mortalidad natural, rebajándola de 0.17 a 0.13. La figura 3 compara las densidades observadas con aquellas obtenidas por el modelo.



**Figura 3.** Comparación de densidades observadas durante monitoreos participativos con densidades estimadas por el modelo para (A) juveniles y (B) adultos de pepino de mar.

Mediante este modelo, podemos generar futuras situaciones de recuperación y de impactos de extracción. De esta manera, se evidencia lo siguiente:

- Sin un nuevo pulso no se prevé una recuperación en el corto plazo (3-5 años).
- Sin un pulso se podría aspirar a alcanzar densidades de 0.12 – 0.15 ind.m<sup>-2</sup>
- Con estas densidades, una captura constante anual sería de no más de 250,000 ind.

Otras consideraciones:

- El oeste ha sido históricamente el área de más alta producción de pepino de mar. En años recientes ha contribuido hasta el 75 % de la captura total.

- Bajo las condiciones actuales de acceso abierto del recurso pepino de mar tendría que ser rentable para todos los pescadores (aproximadamente 1,000 personas).

En base a este modelo y a otras consideraciones, la recomendación de densidades de recuperación sería de no proceder con una apertura de la pesquería antes de que ocurra un nuevo pulso. Bajo este escenario, el recurso debería administrarse de manera ‘pulsal’ y no ‘anual’, con claros objetivos de manejo correspondientes.

Por otra parte, alcanzando densidades de 0,12-0,15 ind.m<sup>-2</sup>, se podría realizar una extracción de bajas cantidades para un número limitado de pescadores, que debería calcularse con base a un ingreso neto referencial que sea económicamente rentable para los involucrados.

ANEXO 3

**Supuestos, limitaciones y fortalezas de los métodos empleados para la estimación de los PRO's**

	<b>Densidad intermedia histórica</b>	<b>50% de la densidad máxima histórica</b>	<b>Modelo poblacional</b>
<b>Supuestos</b>	<p>La densidad promedio (pepinos m<sup>-2</sup>) es un buen indicador del estado del recurso.</p> <p>Las densidades intermedias históricas corresponden al límite a partir de la cual la reproducción de pepinos es exitosa.</p> <p>Las densidades intermedias representan un estado del recurso considerado deseable en 2003, donde según los registros pesqueros se obtenían altas capturas.</p> <p>Si bien las altas tasa de captura registradas en 2003 ocasionaron finalmente el colapso de la pesquería, también fueron un indicador de la abundancia del recurso durante ese momento de la pesquería.</p>	<p>La densidad promedio (pepinos m<sup>-2</sup>) es un buen indicador del estado del recurso.</p> <p>La densidad máxima histórica registrada entre 1999 y 2006 representa la densidad virgen de la población.</p> <p>La población muestra su mayor tasa de producción cuando se encuentra al 50 % de su biomasa virgen.</p> <p>El recurso se considera sobreexplotado cuando su abundancia es menor al 50% de la abundancia virgen.</p>	<p>La densidad promedio (pepinos m<sup>-2</sup>) es un buen indicador del estado del recurso.</p> <p>La mortalidad natural (incluyendo pesca ilegal) es constante</p> <p>La tasa de reclutamiento es constante, no considera un nuevo pulso de reclutamiento</p>
<b>Limitaciones</b>	<p>Es difícil identificar la densidad intermedia histórica para la isla San Cristóbal, ya que la variación de la densidad promedio por año no es significativa.</p>	<p>La densidad histórica máxima registrada entre 1999 y 2006 podría no ser igual a la densidad virgen de la población dado que la explotación del pepino <i>I. fuscus</i> inicio ilegalmente en 1992.</p>	<p>El modelo sólo es aplicable para la región oeste del archipiélago (Fernandina e Isabela).</p> <p>Sólo permite hacer predicciones de la densidad a corto plazo (1-4 años).</p>

		<p>Por consecuencia, los PRO podrían ser una subestimación del 50% de la densidad virgen.</p> <p>Sin embargo, para el caso de Fernadina e Isabela, los PRO's podrían estar sobrestimados, debido al pulso de reclutamiento registrado en el 2001 por efectos probables de "El Niño".</p>	<p>Utiliza datos de densidad promedio. En algunos casos, los cambios de densidad no son significativos.</p> <p>La estructura, función y resultados del modelo podrían no ser entendibles para los usuarios.</p>
<b>Fortalezas</b>	<p>La densidad intermedia histórica es un PRO simple y fácil entender por los usuarios.</p> <p>Es útil para estimar el PRO de cada isla.</p> <p>La densidad intermedia histórica es fácil de identificar ya que existe una diferencia evidente entre las densidades máximas y mínimas históricas por isla.</p>	<p>El 50% de la densidad máxima histórica es un PRO simple y fácil entender por los usuarios.</p> <p>Es útil para estimar el PRO de cada isla.</p>	<p>El modelo permite simular la densidad que se obtendría a corto plazo (1-4 años) bajo distintos escenarios de explotación.</p> <p>A diferencia de los otros dos métodos, el modelo poblacional puede ser utilizado además para estimar una cuota de captura</p>