

Aviso de arribo

# Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de sitios de engorda de huachinango (*Lutjanus peru*) en el Pacífico mexicano

Manuel Garduño Dionate\*<sup>✉</sup>, José Luis Falcón Rodríguez\*, María Araceli Avilés-Quevedo\*\*, Érik Márquez García\* y Armando López Cuevas\*\*\*

En este estudio se presenta la aplicación de un modelo de multicriterio para la toma de decisiones en la selección de sitios de engorda de huachinango *Lutjanus peru* en el Pacífico mexicano, basado en la técnica Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) y que integra en el análisis tres variables de evaluación de la temperatura superficial del mar (TSM), la batimetría (BTM) y la clorofila *a* (Chl-*a*), que se incorporaron en una estructura jerárquica para evaluar cuatro alternativas de los sitios de engorda de huachinango; *bueno, regular, deficiente y malo*. Para la cartografía de los sitios de engorda se utilizó el programa ArcGIS 9.3. Durante el proceso, primero se establecieron los intervalos de variación de la TSM y BTM, y se consideró la clasificación trófica, propuesta por la Organización de Comercio para el Desarrollo Económico para la variable Chl-*a*. Se estableció un valor de importancia de uno a cuatro para cada intervalo de variación de los criterios, donde la alternativa con mayor valor numérico determinó los sitios con mayor aptitud acuícola para la engorda de esta especie. Se determinó la TSM como con mayor ponderación (0.644), seguida por la BTM (0.282) y Chl-*a* (0.0732) con una mínima importancia. Se evaluó la calidad de juicio de los criterios a partir la Relación de Consistencia (RC) para TSM (RC = 0.111), para BTM (RC = 0.109) y para Chl-*a* (RC = 0.039), que fue muy consistente (RC<0.1) considerando región de la costa del Pacífico mexicano como adecuada para la engorda de *L. peru*, con excepción de la costa occidental de la península de Baja California.

**Palabras clave:** ArcGIS, batimetría, cultivo, juveniles, huachinango, ponderación.

## Application of analytic hierarchy process in selecting sites fattening Pacific red snapper (*Lutjanus peru*) in the Mexican Pacific

This study presents the application of a multicriteria model for decision-making in the selection of *Lutjanus peru* red snapper fattening sites in the Mexican Pacific, which is based on the Analytical Hierarchy Process (AHP) technique and integrates in the analysis three evaluation variables, sea surface temperature (SST), bathymetry (BTM) and chlorophyll *a* (Chl-*a*) which were integrated in a hierarchical structure to evaluate four alternatives of the fattening sites of red snapper; good, regular, deficient and bad. For the mapping of the fattening sites, the ArcGIS 9.3 Program was used. During the process, the variation intervals of the SST and BTM were first established, and the trophic classification, proposed by the Trade Organization for Economic Development for the variable Chl-*a*, was considered. Establishing a value of importance from one to four, for each interval of variation of the criteria, where the alternative with the highest numerical value, determined the sites with the best aquaculture aptitude for the fattening of this species. We determined the SST with the highest weight (0.644) followed by the BTM (0.282) and with a minimum importance of Chl-*a* (0.0732). The quality of argument of the criteria was evaluated, starting with the consistency relationship (RC) for SST (RC = 0.111) for BTM (RC = 0.109) and for Chl-*a* (RC = 0.039), which was very consistent RC<0.1 considering the Mexican Pacific coast a suitable region for the fattening of *L. peru* with the exception of the western coast of the Baja California Peninsula.

**Key words:** ArcGIS, bathymetry, culture, youth, red snapper, weighting.

\* INAPESCA, Ave. México Núm. 190, Col. Del Carmen, Coyoacán, 04100 Ciudad de México, México. ✉ Responsable de la correspondencia: mdionati@yahoo.com.mx

\*\* INAPESCA, Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, BCS. Carretera a Pichilingue km 1 s/n, 23020 La Paz, BCS, México.

\*\*\* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente. Calz. del Hueso 1100. Coyoacán 04960. Ciudad de México, México

## Introducción

El huachinango *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy 1922) es una especie residente en el litoral del Pacífico mexicano, con importancia pesquera y económica en México. En lo que se refiere a la maricultura de especies de escama como el

huachinango del Pacífico, *L. peru* y el pargo lunarejo, *Lutjanus guttatus* (Steindachner 1869), el cultivo de estas especies tiene un crecimiento y un desarrollo recientes en la costa del Pacífico mexicano. En este sentido, la selección de los sitios con aptitud acuícola de *L. peru* es indispensable para el desarrollo de esta actividad productiva en México, por lo que existe la necesidad de determinar las áreas donde haya equilibrio entre las zonas de crecimiento de las especies y el costo de operación sea menor, zonas donde los impactos sean mínimos y zonas donde los conflictos entre los distintos usos de la costa se eviten o se minimicen (Pérez *et al.* 2002). Cualquiera que sea la metodología que se aplique para elaborar un programa de ordenamiento acuícola y zonificación de la maricultura, deberá incluir herramientas enfocadas a satisfacer las necesidades tanto del sector social como del privado, en los ámbitos pesquero y acuícola. La técnica de Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) es utilizada para la planeación y la toma de decisiones de algún proceso, técnica desarrollada por Saaty (1980). Para Gass y Rapcsák (2004), el Proceso de Jerarquía Analítica descompone un problema complejo en jerarquías, en la que cada nivel es descompuesto en elementos específicos. Asimismo, según Condon *et al.* (2002), esta técnica permite identificar y tomar en cuenta las inconsistencias en sus juicios con respecto a factores cualitativos. Sobre este particular, en México, a través del Programa Nacional de Ordenamiento Acuícola, instrumentado por la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), se promueve el aprovechamiento sustentable de los recursos acuícolas y el crecimiento ordenado, por medio del desarrollo de proyectos de ordenamiento acuícola encaminados a conocer los sitios con aptitud acuícola establecidos por la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (DOF 2007) y por la Carta Nacional Acuícola (DOF 2011). Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo es determinar la selección de los sitios de cultivo en la etapa de engorda de *L. peru* en el Pacífico mexicano.

## Materiales y métodos

Para la selección de los sitios de engorda de huachinango *L. peru* en el litoral del Pacífico mexicano,

se consideraron los resultados de la temperatura superficial del mar (TSM) y la profundidad de la instalación del sistema de engorda de huachinango en Puerto Vicente Guerrero, Guerrero (Garduño-Dionate *et al.* 2010), y para la concentración de clorofila *a* (Chl-*a*) se consideró la clasificación trófica propuesta por la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE 1982) del estado trófico, del sitio de engorda en Puerto Vicente Guerrero; Ultraoligotrófico  $\leq 1.0$ , oligotrófico  $\leq 2.5$ , mesotrófico de 2.6 a 8.0, eutrófico de 8.1 a 25.0 e hipertrófico  $\geq 25.0$  Chl *a* (mg/m<sup>3</sup>). Las variables utilizadas de TSM, BTM y Chl-*a* se clasificaron por alternativa de aptitud en *buena*, *regular*, *deficiente* y *mala*. Para realizar la cartografía de los sitios de cultivo en el litoral del Pacífico mexicano se procesaron mensualmente las imágenes compuestas de la distribución espacial de las variables TSM y Chl-*a*, durante el periodo que va de 2003 a 2010. A partir de la teledetección satelital, las imágenes de TSM y Chl-*a* fueron recibidas y registradas por el espectro-radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS-ACQUA) vía la estación terrena de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en la Ciudad de México. La información registrada por el sensor MODIS-ACQUA fue almacenada en forma de matriz de dos tipos de formato de datos: el jerárquico (FDJ), que contiene información procesada por este sensor, y el georreferenciado (FDG). Ambos fueron transformados al formato NITF 2.1 (Nacional de Imágenes Formato de Transmisión) y, finalmente, la información de ambos formatos se incorporó a la interfaz Arc Map del *software* ArcGIS 9.3 para su tratamiento (Cerdeira-Estrada y López-Saldaña 2011). El desarrollo de la técnica de Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) se inició con la aplicación de los criterios de importancia de las variables por analizar de TSM, BTM y Chl-*a* (Tabla 1).

Posteriormente, se establecen los criterios y los intervalos de variación de selección y de alternativas para los sitios de engorda y su respectiva evaluación de la ponderación de la TSM, BTM y Chl-*a*, por medio de la técnica de PJA (Saaty 1980). Así como la evaluación de la ponderación de las alternativas de selección del sitio de cultivo: *buena*, *regular*, *deficiente* y *mala*, mediante el procesamiento de una matriz de comparaciones apareadas de la técnica de PJA.

**Tabla 1**  
Escala de comparaciones apareadas del proceso de jerarquía analítica

Importancia	Categorización	Definición
1	Igual importancia	Dos alternativas contribuyen idénticamente.
3	Débil dominancia	Existe una débil dominancia de una alternativa sobre otra.
5	Fuerte dominancia	Existe una fuerte dominancia de una alternativa sobre otra.
7	Demostrada dominancia	La dominancia de una alternativa sobre otra es completamente demostrada.
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que una alternativa es absolutamente dominada por otra.
1/2, 1/3, 1/5, 1/7 y 1/9	Valores recíprocos	Son valores recíprocos de dominancia.

Condon *et al.* (2002) indican que el Proceso de Jerarquía Analítica incorpora en el análisis un Índice de Consistencia (IC) y una Relación de Consistencia (RC) para medir la calidad de los juicios emitidos, donde si  $RC < 0.1$ , la estimación es aceptable; en caso contrario, la valoración se deberá hacer de nueva cuenta; la consistencia es importante, dado que de no haberla pudiera considerarse como un síntoma de la aleatoriedad de los juicios. Para calcular ambos parámetros se utilizan las siguientes ecuaciones:

$IC = (\lambda - n)/n - 1$ , donde  $\lambda =$  lambda y  $n =$  número de alternativas y  $RC = IC/IA$ , donde  $RC =$  relación de consistencia,  $IC =$  índice de consistencia e  $IA =$  índice aleatorio. El índice  $RC$  está en función de los  $IC$  e  $IA$  (índice aleatorio), que fue estimado del promedio del  $IC$  de 500 matrices recíprocas positivas generadas de manera aleatoria (Saaty 1992).

## Resultados

Se consideró como un sitio con aptitud acuícola para la engorda de huachinango, aquel clasificado con la alternativa *buena*, lo que indicaría que en ese sitio se obtienen las mejores tasas de

crecimiento en peso y de crecimiento específico, la mejor condición de robustez y el mejor grado de bienestar (Garduño-Dionate *et al.* 2010). Los criterios e intervalos de selección y las alternativas de los sitios de cultivo en la etapa de engorda de *L. peru* para el Pacífico mexicano se presentan en la *tabla 2*.

**Tabla 2**

Criterios e intervalos de variación de selección y alternativas de los sitios para la engorda de *Lutjanus peru* en el Pacífico mexicano

Criterio de selección	Intervalo de variación	Clasificación de la alternativa
TSM (°C) <sup>a</sup>	26 - 30	Buena
	21 - 25	Regular
	16 - 20	Deficiente
	<15	Mala
BTM (m) <sup>a</sup>	>21	Regular
	11 - 20	Buena
	6 - 10	Deficiente
	<5	Mala
Chl- <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	8.1 - 25	Buena
	2.6 - 8.0	Regular
	1.1 - 2.5	Deficiente
	<1.0	Mala

<sup>a</sup>Garduño-Dionate *et al.* (2010), <sup>b</sup>OCDE (1982).

Los valores de la ponderación de las tres variables, TSM, BTM y Chl-*a*, para los sitios de cultivo de huachinango en la etapa de engorda se muestran en la *tabla 3*.

**Tabla 3**

Ponderación de la temperatura superficial del mar (TSM), batimetría (BTM) y clorofila *a* (Chl-*a*) para los sitios de engorda de *Lutjanus peru* en el Pacífico mexicano

Criterio	Chl- <i>a</i>	BTM	TSM	Ponderación
Chl- <i>a</i>	1	1/2	1/7	0.07326
BTM	5	1	1/3	0.28240
TSM	7	3	1	0.64434

La TSM presentó el mayor peso de importancia en la determinación de los sitios de cultivo de huachinango *L. peru*, en el Pacífico mexicano con un valor de 0.6443, seguido por la BTM con

0.2824 y en tercera posición con una importancia mínima la Chl-*a* con un valor de 0.0732. Cada una de estas variables oceanográficas se relacionó con las cuatro alternativas de selección de los sitios de cultivo: *bueno*, *regular*, *deficiente* y *malo*, presentándose los valores de ponderación de la TSM, BTM y Chl-*a* en la *tabla 4*.

**Tabla 4**

Ponderación de la temperatura superficial del mar (TSM), batimetría (BTM) y clorofila *a* (Chl-*a*) por alternativa para la engorda de *Lutjanus peru* en el Pacífico mexicano

TSM	Mala	Deficiente	Regular	Buena	Ponderación
Mala	1	1/3	1/7	1/9	0.04318
Deficiente	3	1	1/5	1/7	0.08828
Regular	7	5	1	1/5	0.25519
Buena	9	7	5	1	0.61336
BTM	Mala	Deficiente	Regular	Buena	Ponderación
Mala	1	1/3	1/5	1/9	0.04686
Deficiente	3	1	1/5	1/7	0.09237
Regular	5	5	1	1/5	0.23676
Buena	9	7	5	1	0.62401
Chl- <i>a</i>	Mala	Deficiente	Regular	Buena	Ponderación
Mala	1	1/3	1/5	1/7	0.05646
Deficiente	3	1	1/3	1/5	0.12182
Regular	5	3	1	1/3	0.26310
Buena	7	5	3	1	0.55861

El Índice y la Relación de Consistencia se estimaron para las variables TSM, BTM y Chl-*a*, y sus valores se presentan en la *tabla 5*.

**Tabla 5**

Índice y relación de consistencia de la temperatura superficial (TSM), batimetría (BTM) y clorofila *a* (Chl-*a*) en el cultivo de *Lutjanus peru*

	$\lambda$	IC	RC
TSM	4.2997	0.0999	0.1111
BTM	4.2956	0.0985	0.1095
Chl- <i>a</i>	4.1057	0.0352	0.0391

Índice de consistencia (IC), relación de consistencia (RC), lambda ( $\lambda$ ).

Derivado de lo anterior se elaboró la *figura 1*, en la que se presentan los sitios con aptitud acuícola para la engorda de huachinango *L. peru*, en la costa del Pacífico mexicano.

### Discusión

En el análisis de la temperatura superficial del mar resalta la ponderación de la alternativa clasificada como *bueno* con un valor de 0.6133, lo que posiblemente indicaría que en el intervalo

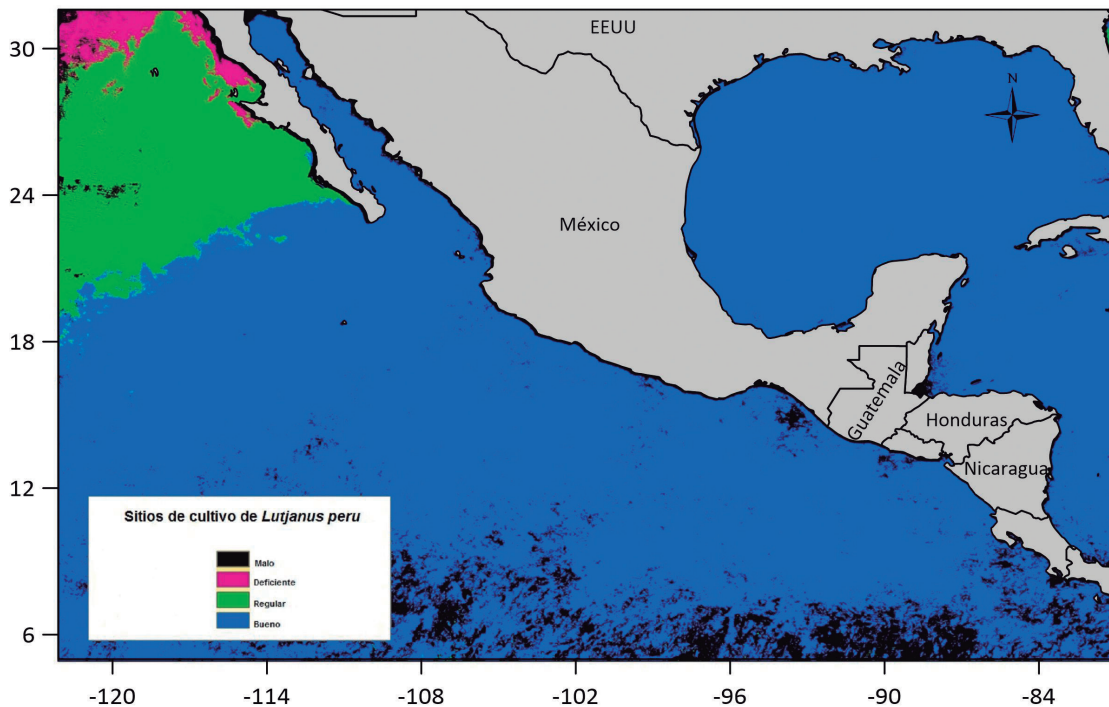


Fig. 1. Sitios con aptitud acuícola para la engorda de *Lutjanus peru* en el Pacífico mexicano.

de TSM de 26 a 30 °C se establecen las condiciones más aptas para el mejor crecimiento en peso, la mejor condición de robustez y bienestar de los individuos cultivados en la etapa de engorda, como se indica en Garduño-Dionate *et al.* (2010). La alternativa de la batimetría clasificada como *buena* obtuvo una ponderación de 0.6240, lo que probablemente indica que la profundidad demarcada por las isobatas de 10 a 20 m sería la idónea para la instalación del sistema de jaulas.

Por lo que respecta a la alternativa de la Chl-*a*, la evaluación realizada por percepción remota durante el periodo de 2003 a 2010 indicó que la engorda de huachinango se realizó en aguas oligotróficas con una concentración <2.5 mg/m<sup>3</sup> de Chl-*a*, que corresponde a la alternativa clasificada como *deficiente*, con una ponderación de 0.1218. Se conoce que la concentración de clorofila ha sido utilizada como indicador de la biomasa fitoplanctónica y, por tanto, la cuantificación de su distribución resulta esencial para la valoración de la productividad primaria. Aunque las técnicas *in situ* para evaluar la concentración de clorofila han mejorado, no son adecuadas para obtener datos de áreas extensas y de largo plazo. En consecuencia, existe incertidumbre alrededor de las características de la variabilidad planctónica a gran escala determinada mediante muestreos *in situ* (Longhurst *et al.* 1995). Pero en este caso, la engorda no depende de la productividad primaria del ambiente, sino de las características físicas y nutricionales del alimento que se proporcionó a los individuos, una combinación de alimento fresco integrado por especies de sardina y camarón 35%. Los resultados indicaron que los sistemas de jaulas flotantes de 5 m de altura utilizadas por el sector acuícola mexicano son funcionales y adecuadas para instalar y operar en toda la costa del Pacífico mexicano, incluido el Golfo de California, dentro de las isobatas de 10 a 20 m como actualmente ocurre, durante las estaciones de verano y otoño, temporadas de distribución y abundancia del recurso para su captura y el encierro de cultivo, así como de las estaciones climáticas con temperatura superficial del mar de 25 a 30 °C, salvo la costa occidental de la península de Baja Cali-

fornia, área de no distribución de esta especie y con temperaturas superficiales del mar menores. El uso de sensores remotos para la detección de pigmentos fitoplanctónicos ha resultado ser la mejor forma de obtener una visión sinóptica de regiones extensas (Longhurst *et al.* 1995), como es la evaluación de clorofila *a* realizada en el Pacífico mexicano en este trabajo.

Por lo que respecta a la calidad de juicios de los criterios empleados para definir la función de los sitios de cultivo de huachinango, según Condon *et al.* (2002), el proceso de jerarquía analítica permite identificar y tomar en cuenta las inconsistencias de los decisores, ya que rara vez son consistentes en sus juicios con respecto a factores cualitativos. Por ello, en la técnica de PJA se incorporó el análisis del Índice de Consistencia (IC), que se estimó con un valor de 0.0999 para la TSM; para la BTM, de 0.0985; y para la Chl-*a*, de 0.0352, así como una Relación de Consistencia (RC) para medir la calidad de los juicios emitidos por un decisor con los siguientes resultados: para la TSM, 0.1111; para la BTM, 0.1095; y para la Chl-*a*, 0.0391. Del análisis de la Relación de Consistencia se considera que una RC < 0.1 es aceptable. En este estudio, dicha relación de consistencia es menor que 0.10, lo que significa consistencia alta y aleatoriedad muy baja, por tanto, la RC es aceptable (García *et al.* 2006).

## Conclusiones

- A través del Proceso de Jerarquía Analítica se realizó la evaluación de los sitios más idóneos para el cultivo de huachinango *L. peru* en el Pacífico mexicano.
- De acuerdo con los resultados, la temperatura superficial del mar es la variable con mayor peso de importancia (0.6443), con respecto a las otras variables: la batimetría (0.2824) y la concentración de clorofila (0.0732), en la definición de los sitios de engorda de *L. peru*.
- Por consiguiente, en la selección de los sitios de engorda de *L. peru* tiene preferencia la temperatura superficial del mar en el intervalo de 26 a 30 °C.

### Literatura citada

- Cerdeira-Estrada S, G López-Saldaña. 2011. A novel satellite-based ocean monitoring system for Mexico. *Ciencias Marinas* 37(2): 237-247. DOI: 10.7773/cm.v37i2.1921
- Condon E, B Golden, S Lele, S Raghavan, E Wasil. 2002. A visualization model base on adjacency data. *Decision Support Systems* 33(4): 349-362. DOI: 10.1016/S0167-9236(02)00003-9
- DOF. 2007. Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. *Diario Oficial de la Federación*. México. 24 de julio de 2007.
- DOF. 2011. Carta Nacional Acuicola. *Diario Oficial de la Federación*. México. 31 de enero de 2011.
- García JL, SA Noriega, JJ Díaz, J de la Riva. 2006. Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola. *Agronomía Costarricense* 30(1): 107-114.
- Garduño-Dionate M, ML Unzueta-Bustamante, M Hernández-Martínez, RM Lorán-Núñez, FR Martínez-Isunza. 2010. Crecimiento de huachinangos juveniles silvestres (*Lutjanus peru*) en un encierro de engorda en Puerto Vicente Guerrero, Guerrero, México. *Ciencia Pesquera* 18: 93-96.
- Gass S, T Rapcsák. 2004. Singular value decomposition in AHP. *European Journal of Operational Research* 154(3): 573-584. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00755-5
- Longhurst A, S Sathyendranath, T Platt, C Caverhill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal Plankton Research* 17(6): 1245-1271. DOI: 10.1093/plankt/17.6.1245
- OCDE. 1982. Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Paris. 164p.
- Pérez OM, TC Telfer, LG Ross. 2002. Optimización de la acuicultura marina de jaulas flotantes en Tenerife, Islas Canarias, mediante el uso de modelos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG). *Revista AquaTIC* 17: 10p. <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/175/164>
- Saaty TL. 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill. New York, EEUU. 287p.
- Saaty TL. 1992. *Decision making for leaders*. 2<sup>nd</sup> edition. RWS Publication. Pittsburgh, EEUU. 307p.

Recibido: 25 de mayo de 2018

Aceptado: 2 de agosto de 2019