

Evaluación del potencial para acuacultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG

Jesús Díaz Salgado*
Jorge López Blanco**

Recibido: 15 de diciembre de 1998
Aceptado en versión final: 26 de enero de 2000

Resumen. Este trabajo evalúa, en función del factor costos de producción, las oportunidades y la superficie potencial disponible para el emplazamiento y desarrollo de actividades de acuacultura costera de camarón en el entorno de la Laguna de Mar Muerto. Se consideraron seis factores: proximidad al agua salobre, a las vías de comunicación y a las fuentes de insumos, nivel de bienestar, uso del suelo/vegetación y energía eléctrica. El uso del sistema de información geográfica (SIG) fue importante para realizar operaciones de distancia, clasificación, sobreposición, y principalmente para la aplicación de las *Técnicas de Evaluación Multicriterio*. Los resultados muestran que 0.9% del área es apropiada para proyectos acuícolas, 62.8% presenta potencial medio y 36.3%, potencial bajo.

Palabras clave: Selección de sitios potenciales, camaronicultura, SIG, Técnicas de Análisis Multicriterio, Laguna de Mar Muerto, México.

Abstract. Considering production-cost factors, this paper shows and assessing the opportunities and the extent of land suitability areas to establish and development coastal shrimp aquaculture activities on the neighbouring sites to the Mar Muerto Lagoon. Six factors were considered: proximity to salt water sites, proximity to roads, proximity to raw-matter sources, well-being level, land-use and land-cover classes, and electricity. The use of Geographical Information System (GIS) was important in order to carry out analysis using distance-operators, classification, overlaying, and mainly *Multicriteria Analysis*. The results show that there are 0.9% of the total area as high potentiality for the emplacement of aquaculture projects, 62.8% with medium potentiality and 36.3% with low potentiality.

Key words: Potential sites selection, shrimp aquaculture, GIS, Multicriteria Analysis Techniques, Mar Muerto Lagoon, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La acuacultura, entendida como el cultivo de especies acuáticas bajo condiciones controladas, es una actividad económica que ha adquirido una importancia relevante en las últimas décadas, lo que la ha convertido en una de las industrias de producción de alimentos de crecimiento más rápido (Meaden y Kapetsky, 1992). A pesar de que su despegue real es relativamente reciente, en la actualidad se practica, en mayor o menor medida, en casi todos los países del mundo, contribuyendo, hasta hace algunos años, con más de 20% del total de la producción pesquera mundial (Martínez, 1993). Del mismo modo, el manejo productivo de las áreas y lagunas costeras con fines de pesca y acuacultura, y el uso de zonas aledañas a las

mismas para el desarrollo de actividades de producción acuícola, sigue ganando creciente interés a nivel mundial, debido esencialmente a la calidad y al alto valor de los productos obtenidos (SEMARNAP-FAO, 1995).

Entre estos productos, destacan los de la camaronicultura o cultivo del camarón. El camarón es un recurso muypreciado y con una alta demanda en el mercado internacional, su importancia principal radica en el contexto económico, dado el valor que alcanza por unidad de peso en países ricos como Estados Unidos, Japón y algunos europeos. México ha sido considerado como uno de los países con mayor potencial para el desarrollo de la acuacultura de camarón, esto debido a su situación geográfica, factores ecológicos y climáticos favorables, las características y lo extenso de su litoral, además de que existen

* Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: jblanco@servidor.unam.mx

** Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: jdial@hotmail.com

las especies nativas adecuadas para el cultivo (Cifuentes *et al.*, 1990; Gómez y De la Lanza, 1992).

En México se estima que existe una superficie con cuerpos de agua salada/salobre con potencial para acuicultura en poco más de dos millones de hectáreas, de éstas, hay 450 mil propicias para el cultivo de camarón, siendo 16 000 ha las actualmente aprovechadas (SEMARNAP, 1996). La producción, de hecho, aumentó de 4 371 ton en 1990 a 17 570 ton en 1997 (SEMARNAP, 1998).

Esta actividad se ha concentrado principalmente en regiones específicas de los estados del Pacífico Norte (sur de Sonora, Sinaloa y norte de Nayarit), estas tres entidades representan 95% de la producción a nivel nacional (FIRA, 1996).

En años recientes ha surgido el interés, los programas y proyectos por parte del gobierno mexicano y algunos grupos de investigadores, para el estudio y promoción de la acuicultura en zonas del Pacífico Sur, particularmente en los estados de Oaxaca y Chiapas, los cuales presentan oferta de recursos y condiciones naturales favorables y aprovechables para el desarrollo acuícola. La laguna de Mar Muerto se localiza entre ambos estados y ha sido señalada por SEPESCA (1990) y SEMARNAP-INP (1996), como un área con alta vocación pesquera y acuícola, en la cual es necesario que se promuevan acciones tendientes a impulsar un crecimiento ordenado y sustentable de dichas actividades, mediante su adecuado fomento y administración.

Por otro lado, el dinamismo y la rapidez con que la actividad acuícola ha crecido en México, hace necesaria la investigación, promoción y regularización de la instalación de unidades de producción acuícola en áreas propicias, a efecto de identificar los mejores sitios para su desarrollo. La selección del sitio más adecuado para la operación de una granja acuícola es vital, y puede tener una influencia muy importante en la viabilidad económica de la misma (Aguilar y Ross, 1995), además de

que juega un papel muy importante para determinar los niveles de rendimiento potencial y de que afecta notablemente los costos de construcción y operación (Muir y Kapetsky, 1988).

Una herramienta y procedimiento metodológico que se ha venido aplicando en la toma de decisiones para la selección de lugares y evaluación del potencial acuícola, es la de los SIG, éstos ofrecen un respaldo tecnológico de análisis e integración de la información para acelerar y aumentar la eficiencia de los procesos de aprovechamiento óptimo del terreno, además de las posibilidades y objetividad que brindan para examinar cabalmente las numerosas variables, espaciales y no espaciales (de atributos), que intervienen en la producción y desarrollo de la acuicultura (Meaden y Kapetsky, 1992; Aguilar, 1996; Díaz, 1998).

El empleo de los SIG en el campo de la acuicultura se inicia casi a finales de los años ochenta (Kapetsky *et al.*, 1987 y 1988), a partir de entonces, en los últimos años se han realizado diversos estudios para una variedad de cultivos y especies, en distintos lugares y a diferentes escalas geográficas. Estos estudios se han enfocado a la evaluación y localización de los recursos terrestres y acuáticos para la selección del emplazamiento acuícola con relación a una serie de variables, principalmente ambientales y sólo en algunos casos se han incorporado variables socio-económicas (Gutiérrez, 1995). Las aplicaciones de este tipo se inician en México en la década de los noventa, en estados como Yucatán, Tabasco y Sinaloa.

El enfoque de los estudios con SIG en nuestro país ha sido hacia cultivos en estanques costeros y de tierra adentro (*dulceacuícolas*), de especies como tilapia, carpa y camarón; abarcando superficies de estudio que van desde las 14 245 ha, hasta las 584 800 ha, y con resoluciones espaciales de 20 x 20 m, hasta 49 x 49 km (Díaz, 1998). En general, para estos estudios se ha utilizado información publicada por organismos oficiales como el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e

Informática (INEGI), y cartografía a escalas medias (p.e. 1:250 000). Cabe señalar que para ese tipo de estudios ha existido una importante influencia académica, de egresados del Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling en Escocia, Reino Unido. Esta escuela ha sido considerada como de vanguardia en la investigación, estudio y desarrollo de sistemas sustentables de acuicultura terrestre, costera y marina, y con cierta experiencia en la aplicación de los SIG en ese campo.

El objetivo general de este trabajo es proponer y aplicar una metodología para realizar la evaluación de sitios potenciales para el desarrollo de la acuicultura costera de camarón, mediante la utilización de un análisis basado en las técnicas *multicriterio*, articulado dentro de un SIG, para la delimitación de áreas con alto potencial para el establecimiento de unidades de producción acuícola (granjas), en porciones específicas del entorno de la laguna de Mar Muerto.

ÁREA EN ESTUDIO

El área en estudio comprende la llanura costera adyacente a la laguna de Mar Muerto, entre los estados de Oaxaca y Chiapas. La laguna se localiza a los 15°58' y 16°17' de latitud norte y los 93°50' y 94°25' de longitud oeste, ocupa una superficie de 68 000 ha, 47 000 correspondientes a Oaxaca y 21 000 a Chiapas. Es un sistema altamente productivo debido a la bocabarra de Tonalá, además de que recibe aportes de algunos ríos, lo que permite la entrada de postlarvas y recambios de agua en forma constante y permanente (SEPESCA, 1990; Contreras, 1993).

En relación con los aspectos socioeconómicos, la zona presenta una complicada administración de los recursos pesqueros y económicos al involucrar dos entidades federativas, disparidades intraregionales, bajos niveles de bienestar de la población y presencia de grupos indígenas con condiciones de extrema pobreza (SEMARNAP, 1997); asimismo, existe cierta problemática en el rubro de inspección y vigilancia pesquera,

principalmente por la incursión de pescadores chiapanecos en la parte de Mar Muerto, correspondiente a Oaxaca, y por utilizar métodos y artes de pesca prohibidos (SEMARNAP-INP, 1996).

En Mar Muerto existían hace algunos años 2 482 pescadores agrupados en catorce cooperativas de producción pesquera dedicados a la captura del camarón, de éstas ocho, con 1 083 pescadores, operan en el área oaxaqueña y seis en el lado chiapaneco, con 1 399 socios. De 1977 a 1995 se capturaron 28 838.7 ton de camarón con una media anual de 1 517.8 ton (Ramos, 1996). De este total, 38.4% corresponde a las capturas oaxaqueñas y el restante 61.6% a las chiapanecas. En la actualidad se ha sugerido detener la autorización de captura del camarón por parte de las cooperativas recientemente formadas, hasta que no se realicen estudios más exhaustivos de los registros diarios de captura y esfuerzos por cooperativa, con el fin de determinar con mayor precisión el grado de explotación en que se encuentra el recurso (*Op. cit.*).

En cuanto al renglón acuícola, éste comienza a tener cierta presencia en la zona, ya que se han reportado algunos sistemas de cultivo de camarón en los alrededores de la laguna: cuatro encierros rústicos en distintas localidades y una granja de camarón en la localidad de Ignacio Ramírez, Chiapas (Figura 1); asimismo, existe cierta infraestructura de apoyo para la acuicultura en localidades que ofrecen insumos y equipos, así como mercados regionales, centros de almacenaje y refrigeración de productos pesqueros (SEMARNAP, 1997).

MATERIALES Y MÉTODO

Se delimitó el área en estudio, en la dirección este-oeste, mediante el uso de los límites municipales de los estados de Oaxaca (San Francisco del Mar) y Chiapas (Tonalá), hacia el norte por la curva de nivel de 100 msnm, y hacia el sur por la línea de costa y la laguna de Mar Muerto. El SIG utilizado fue IDRISI, que

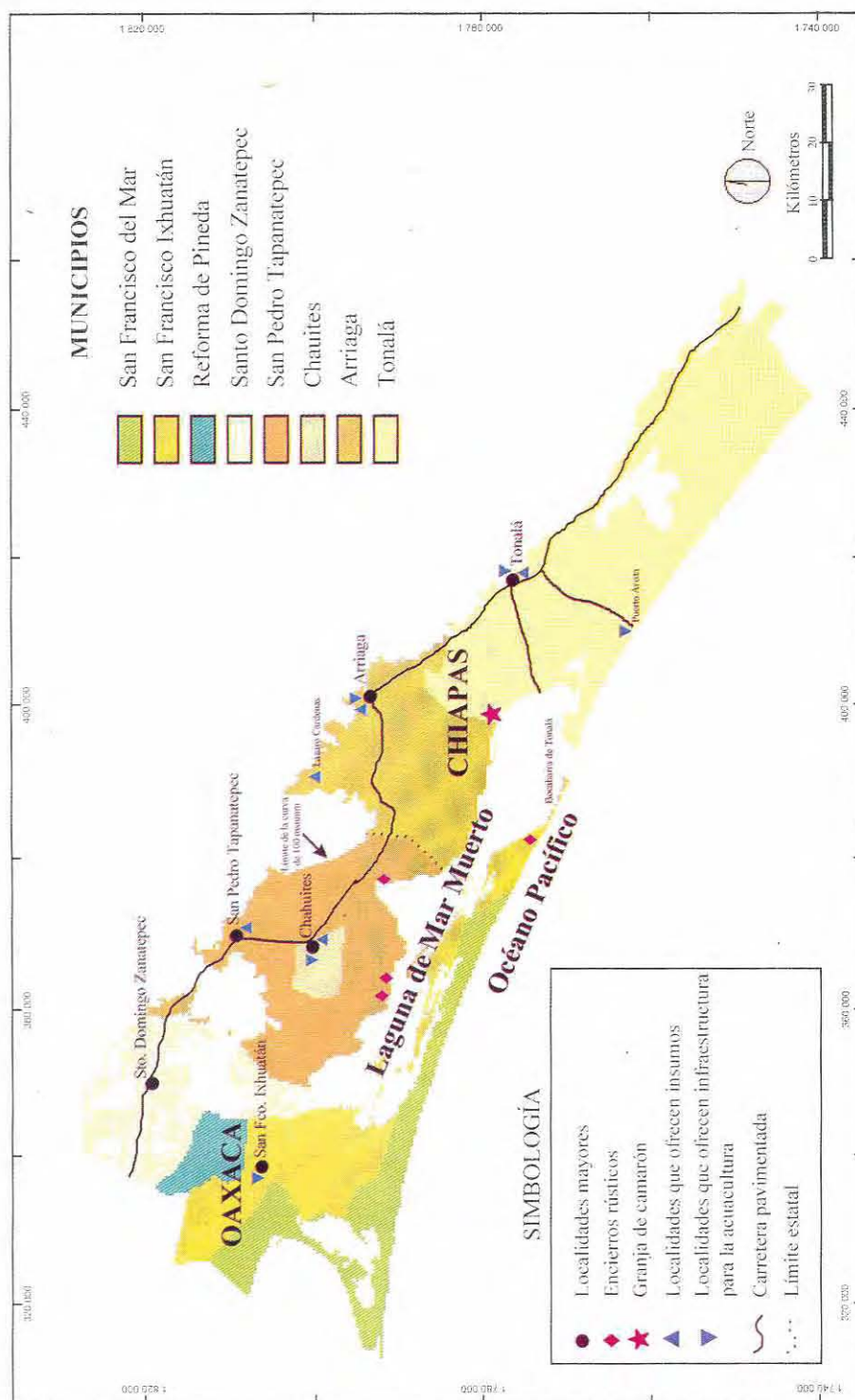


Figura 1. Límites municipales, localidades principales e infraestructura acuícola instalada en el entorno de la laguna de Mar Muerto.

constituye un SIG de base *raster* de bajo costo, desarrollado en la Universidad de Clark (EUA, Eastman, 1995 y 1997). El mapa base en formato *raster* tiene una resolución de 100 x 100 m y una superficie de 312 000 ha (Figura 1). La información estadística y cartográfica utilizada fue la del INEGI (Censo 1995; Cartas Topográficas y de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250 000, 1985).

La información fue integrada y analizada mediante el SIG, siguiendo un procedimiento que se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Identificación de los factores que inciden en los costos de producción para el desarrollo de la acuacultura en el área en estudio, de acuerdo con el objetivo planteado.
2. Verificación e integración digital de los datos necesarios.
3. Clasificación de los mapas de factores o de variables decisión en niveles de potencialidad (desde uno hasta tres en este caso), los cuales se usarán para la evaluación *multicriterio*.
4. Procesamiento y análisis de la información con el fin de proporcionar una salida y representación geográfica de los resultados, a través de clasificaciones, sobreposiciones, interpolaciones, entre otros.
5. Evaluación mediante las técnicas de análisis con *multicriterios* para definir inicialmente la importancia relativa entre pares de factores o variables decisión, mediante un *sondeo de opinión* entre los *expertos del tema* (*rating*) y así crear una matriz de comparación *pareada* (estos términos se explican más adelante), y el posterior cálculo de los *pesos* de esos mismos factores para generar el mapa final de potencialidad para acuacultura costera de camarón.
6. Interpretación de los resultados en términos del potencial y las limitaciones para el desarrollo de la acuacultura en casos específicos.

La Figura 2 muestra de forma esquemática el procedimiento básico aplicado.

Criterios y factores para el desarrollo de la acuacultura

Existen factores que son universalmente importantes para todos los tipos de sistemas acuícolas de camarón, tales como: disponibilidad y calidad del agua, clima e infraestructura (camino, electricidad, localidades, etc.); otros factores tales como topografía, tipos de suelo y costos de adquisición de los terrenos, son específicos de sistemas semi-intensivos (Kapetsky *et al.*, 1987).

La selección e importancia de los distintos factores es variable, ya que ésta difiere no sólo del tipo de unidad de producción, sistema de cultivo, etc., sino también de acuerdo con las condiciones de cada productor, investigador o tomador de decisión. De la misma forma, las escalas espaciales también influyen en la selección de factores, ya que por ejemplo, en una superficie de 10 x 10 km, las consideraciones relativas al relieve, la batimetría y los suelos pueden ser factores específicos muy pertinentes, mientras que en esa misma superficie las tasas de evaporación y las distancias hasta los mercados principales, sólo tienen una trascendencia secundaria (Meaden y Kapetsky, 1992).

La importancia y evaluación de distintos factores, que influyen en los costos de producción para la acuacultura, con el uso de los SIG ha sido tratada por autores como Kapetsky *et al.*, (1987) y Kapetsky (1989), y se refiere a variables espaciales y no espaciales que tienen una influencia en los gastos por adquisición, construcción, manejo y producción de una granja acuícola, y que tendrán una relación directa o indirecta en la economía, factibilidad y las facilidades para operar cualquier sistema de cultivo. Así existirán dentro del proceso de selección del lugar, una serie de factores que afectarán (elevando o disminuyendo) los costos y que determinarán la potencialidad de los distintos lugares, así como la viabilidad de un proyecto acuícola.

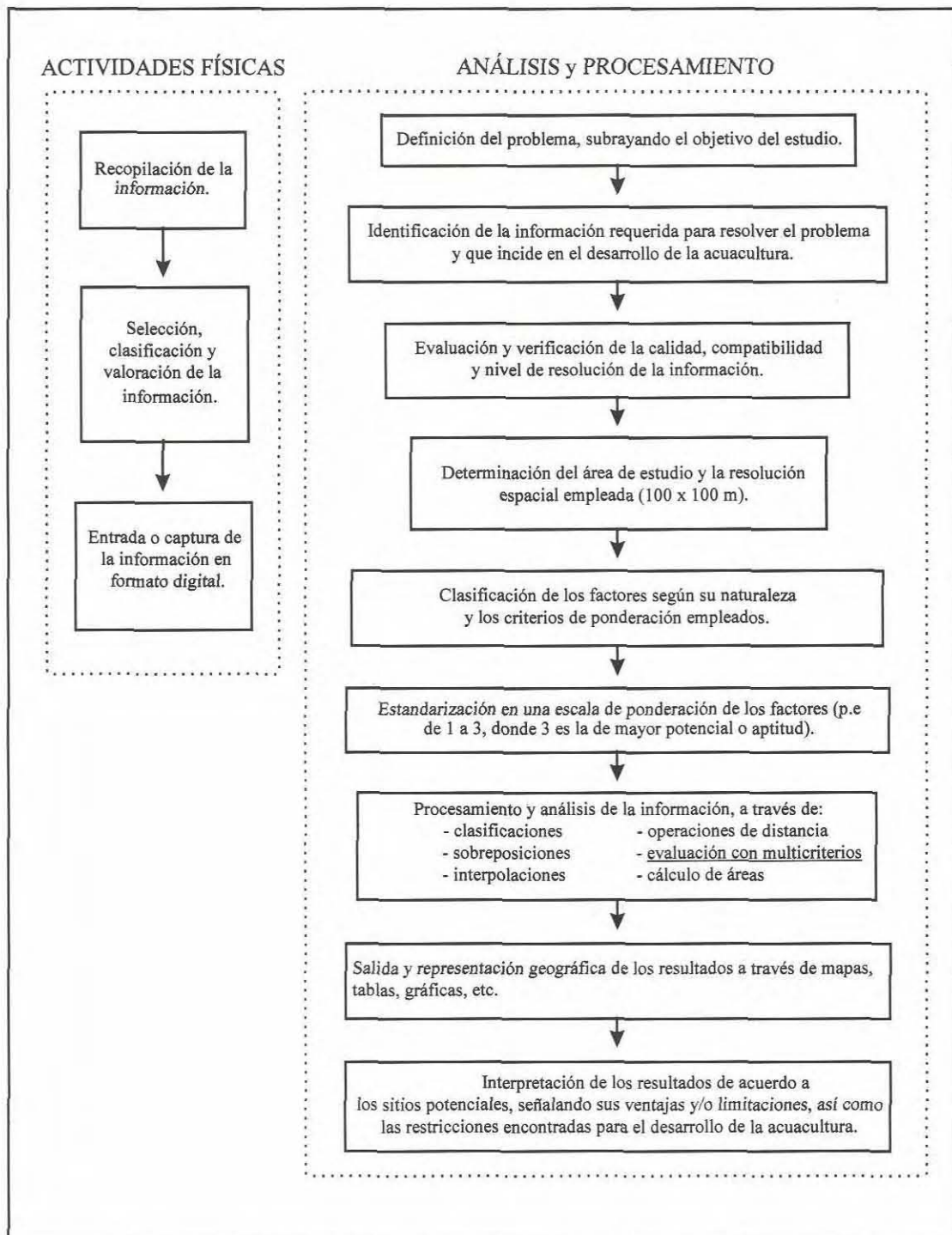


Figura 2. Esquema de la metodología aplicada para evaluar el potencial acuícola costero empleando técnicas *multicriterio* con un SIG.

Muir y Kapetsky (1988) dividen a los costos de producción en capital de inversión y de operación. Los primeros se refieren a los gastos iniciales de adquisición del sitio, limpieza y preparación del terreno, construcción, compra de equipo, vehículos y lanchas, apertura de canales, servicios, etc. Los costos de operación son los realizados durante el proceso de producción como la adquisición de larvas, alimentos, uso de cal, fertilizantes, gasolina, mantenimiento, contratación de un seguro, etcétera.

Los costos para situar una granja lejos de los bienes y servicios son fácilmente identificables, pero difíciles de cuantificar. Entre ellos están los incrementos en los costos de la mano de obra por el tiempo invertido en su traslado; incremento en los gastos de combustible y desgaste de los vehículos automotores; incremento en los costos de adquisición y entrega de insumos, como serían alimentos para camarón, fertilizantes y larvas; así como elevados gastos de operación por el uso de generadores para el suministro de electricidad, comparados con la adquirida de una fuente o línea central de energía (Kapetsky, 1989).

Caso de estudio para el entorno de la laguna de Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas

A manera de ejemplo y para hacer más clara la aplicación de la metodología propuesta en este estudio con las técnicas del análisis *multicriterio*, se han considerado los siguientes seis factores para la evaluación del potencial acuícola costero, con fines de delimitación de sitios posibles para la instalación de granjas de camarón. Es fundamental aclarar ahora que los seis factores considerados aquí, no necesariamente son los únicos, ni los más importantes, ni tampoco esos seis cubren todas las posibilidades de variabilidad de condiciones socioeconómicas y ambientales, tanto en México como en otras regiones del mundo. Para el caso de estudio de la laguna de Mar Muerto el objetivo principal es el de aplicar la metodología descrita.

En este análisis, seis fueron los factores o variables decisión integrados: a) proximidad al

agua salobre, b) a las vías de comunicación, c) clases de uso del suelo y vegetación, d) número de viviendas de las localidades que tienen electricidad y su proximidad a las líneas de conducción de energía eléctrica, e) nivel de bienestar y f) proximidad a las fuentes de insumos. Éstos tienen que ver con aspectos de acceso y proximidad a los recursos naturales e infraestructura presente, así como a la aptitud y aprovechamiento del territorio y características socioeconómicas de la población. En la Tabla 1 se presenta un listado de los factores utilizados, la interpretación de su importancia y representación espacial, así como las fuentes bibliográficas y cartográficas consultadas, que justifican la inclusión de dichos factores.

A cada uno de los factores se le dio un tratamiento e interpretación de acuerdo con ciertos criterios, que se han venido aplicando y publicando por distintos autores e instituciones en este tipo de evaluaciones, con el fin de representar espacialmente la influencia de cada factor en determinar los distintos niveles de potencialidad. Así se realizó una serie de clasificaciones, operadores de distancia y sobreposiciones, donde cada factor fue a su vez ponderado y estandarizado de acuerdo con una escala de clasificación de 1 a 3, siendo 3 el de mayor potencial (Tabla 2).

Particularmente para el factor nivel de bienestar se consideraron dos aspectos:

1. La dimensión de ese factor de manera puntual para cada una de las 122 localidades con más de 20 habitantes en esa zona, reportadas por el conteo del INEGI (1995), empleando los datos de catorce variables socioeconómicas, según lo establecen Lara y Arévalo (1997) y SEMARNAP (1997), ambos basados en el trabajo de la CONAPO (1990) y los datos del mismo conteo.

2. La definición de la extensión de influencia espacial de cada una de esas localidades. Para definir esa influencia se aplicó la técnica de creación de polígonos de Thiessen (Lara y Arévalo, 1997; Eastman, 1995 y 1997). Con esta técnica se construyeron los polígonos a

partir de un conjunto de puntos, agrupando espacios de influencia de tal manera que a cada pixel del mapa se le asignó la propiedad del punto más cercano (localidad en este caso). Estos polígonos determinan las regiones que son "*dominadas*" por cada punto-localidad. A esta forma de división del espacio, en polígonos de influencia a partir de puntos, también se le conoce como *Voronoi Tessellation* (Eastman, 1997).

Construcción de la matriz de comparación *pareada* y cálculo de los pesos de los factores

Una vez obtenidos los mapas de los factores que representan espacialmente las áreas con distinto potencial (Figura 3), se continuó con un procedimiento de ponderación y comparación de dichos factores entre sí, utilizando el método de evaluación con *multicriterios* desarrollado por Saaty (1977 citado en Aguilar, 1996), Eastman (1995, 1997) e Eastman *et al.* (1993, 1995).

Mediante ese método la importancia relativa de cada uno de los factores fue valorada mediante la construcción de una matriz de comparación por pares de factores (*pareada*) y el posterior cálculo de esa matriz para asignar un *peso* o valor distinto a cada uno de los factores. El procedimiento por el cual los pesos son calculados sigue la lógica desarrollada por Saaty a partir de su Proceso Analítico mediante Jerarquías (AHP, Saaty 1977, Tabla 3).

Este tipo de evaluaciones se ha aplicado cada vez más por parte de los tomadores de decisiones, como método de localización-asignación para determinar el sitio más adecuado, de mejor ubicación o con mayor potencial, para el establecimiento de instalaciones, empresas productivas o para el desarrollo de proyectos (Eastman, 1995, 1997; Eastman *et al.* 1993 1995).

La aplicación de la técnica con *multicriterios*, consistió en el arreglo o acomodo de los seis factores en una matriz de comparación de pares de factores o comparación "*pareada*", en

donde cada uno de esos pares posibles fue comparado y calificado, aplicando una escala continua de 17 jerarquías de importancia relativa (usando la escala de la Tabla 4), con el fin de asignar la mayor o menor importancia de un factor con respecto a otro y determinar posteriormente la aptitud para el objetivo formulado.

Así, los factores son sistemáticamente evaluados o calificados en la escala mencionada de las 17 jerarquías (ver Tabla 4 y su nota explicativa), desde 1/9 (el extremadamente menos importante), hasta nueve (el extremadamente más importante). Por ejemplo, si se considera que la proximidad a los caminos es *moderadamente más importante* que la pendiente del terreno, para determinar las áreas más adecuadas para la acuicultura, se le asigna el valor 5 de la escala. En el caso opuesto, cuando la proximidad a los caminos es *moderadamente menos importante* que la pendiente del terreno, se le asigna un valor de 1/5 (véase matriz completa en la Tabla 5 y nota explicativa).

El proceso de construcción de la matriz simétrica de comparación *pareada* se inicia de una manera muy simple y práctica, al trazar en una hoja de papel un arreglo de celdas, *construido a partir de filas y columnas* (arreglo matricial), con los espacios necesarios para completarla de forma simétrica. Por ejemplo, si a seis factores se les va a determinar el "*peso*" (como en este caso de estudio), entonces el arreglo matricial deberá ser de 6 X 6. Hay que poner el encabezado de cada columna y cada fila con el nombre de cada uno de los factores, siguiendo el mismo orden, tanto en las columnas como en las filas. Sólo la mitad triangular inferior izquierda de la matriz deberá ser llenado, dado que la porción triangular superior derecha es proporcional.

En Eastman (1995 y 1997) se explica paso a paso la manera de editar en un archivo, en formato ASCII (con extensión *.pcf), la matriz completa de comparación *pareada*. Es importante decir, respecto a lo anterior, que para darle un valor de comparación *pareada* a cada celda de la matriz, es necesario seguir un

orden, de columna por columna, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Después hay que considerar, en relación con el factor que señala esa columna, la importancia relativa del factor en cada fila, tomando en cuenta sólo aquellas filas que caen en la mitad triangular inferior izquierda de la matriz.

Es necesario llenar todas las celdas de una misma columna con los valores resultantes de las comparaciones *pareadas*, antes de cambiar a la siguiente columna a la derecha. Como se dijo, los factores deberán ser jerarquizados de acuerdo con la escala de la Tabla 4.

Tabla 1. Factores utilizados en la evaluación del potencial acuícola en el entorno de la laguna de Mar Muerto

FACTORES	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTE DE CONSULTA
Proximidad a las fuentes de agua salobre	La proximidad y el acceso al agua tienen una influencia en los costos de construcción, operación y mantenimiento de canales de toma y descarga de agua, así como para el bombeo de la misma e instalación de tuberías.	Área de la laguna de Mar Muerto y áreas de manglar en la zona.	Carta Topográfica y de Uso del Suelo y Vegetación INEGI, 1985 a y b.
Proximidad a las vías de comunicación	Influye en el acceso que se tenga a la zona de producción, el transporte del producto, la reducción en los costos y en el tiempo de entrega de insumos y provisiones, acceso del personal, así como gastos y mantenimiento de vehículos automotores.	Red de carreteras pavimentadas, revestidas, terracerías y brechas; así como vía de ferrocarril.	Carta Topográfica INEGI, 1985a.
Uso del suelo y vegetación	Existen usos del suelo y vegetación más favorables para la acuicultura ya que disminuyen los costos de adquisición o compra del terreno, así como para el desarrollo del proyecto en cuanto a la necesidad de despejar y limpiar el lugar para el establecimiento de granjas u otras instalaciones acuícolas.	Los distintos usos del suelo y vegetación en la zona en estudio.	Carta de Uso del Suelo y Vegetación INEGI, 1985b.
Energía eléctrica	La electricidad es esencial para la operación de una granja de tipo semi-intensivo de camarón. El acceso y proximidad a esta fuente de energía representa menores costos de operación que el uso de motores o generadores a base de diesel o gasolina para el bombeo y circulación del agua, así como para otros servicios e instalaciones.	Número de viviendas por localidad con electricidad; y localización de línea central de energía eléctrica.	Conteo INEGI, 1995; Carta Topográfica INEGI, 1985a.
Nivel de bienestar	Relacionado con aquellas localidades que presentan mejores condiciones socioeconómicas para el desarrollo de proyectos acuícolas y aquellas que muestran mayores rezagos y escasez, o ausencia de servicios básicos, que pueden afectar la promoción de inversiones del sector pesquero y acuícola.	Catorce variables socioeconómicas. La representación espacial de las localidades se realizó a través de la técnica de Polígonos de Thiessen.	CONAPO, 1990; Conteo INEGI, 1995 (tomado de SEMARNAP, 1997); Lara y Arévalo, 1997.
Proximidad a las fuentes de insumos	Productos necesarios para la operación de una granja de sistema controlado, que incluye alimentos balanceados, fertilizantes, maquinaria, refacciones, combustibles, etc. La disponibilidad y proximidad a estas fuentes reduce los costos de transporte y adquisición de estos productos.	Localidades que ofrecen establecimientos de equipos e insumos para la acuicultura.	SEMARNAP, 1997.

Fuente: modificado con base en Díaz, 1998.

Tabla 2. Criterios para establecer potencialidades del terreno en cada mapa-factor, para la evaluación del potencial acuícola de Mar Muerto

FACTOR	CLASE 3 POTENCIAL ALTO	CLASE 2 POTENCIAL MEDIO	CLASE 1 POTENCIAL BAJO
Proximidad a las fuentes de agua salobre	Alta proximidad, bajos costos para la construcción de canales y/o bombeo de agua. 0 - 2 km	Proximidad media, costos moderados. 2 - 4 km	Sitios distantes, altos costos. > 4 km
Proximidad a las vías de comunicación	Proximidad alta a las vías de comunicación, buen acceso y bajos costos de transporte. Carreteras pavimentadas 0 - 2 km Vías de ferrocarril 0 - 1 km Carreteras revestidas 0 - 1 km Terracerías 0 - 500 m	Proximidad moderada, dificultad para el acceso, costos regulares de transporte. Carreteras pavimentadas 2 - 4 km Vías de ferrocarril 1 - 3 km Carreteras revestidas 1 - 3 km Terracerías 500 - 2 km	Proximidad baja, sitios muy distantes, pobre accesibilidad y altos costos de transporte. Carreteras pavimentadas > 4 km Vías de ferrocarril > 3 km Carreteras revestidas > 3 km Terracerías > 2 km
Uso del suelo y vegetación	Áreas que no presentan desarrollo considerable de vegetación y los costos de adquisición y preparación del terreno serán bajos.	Áreas ocupadas por usos ganaderos y agrícolas; sus costos de adquisición serán relativamente altos, pero sus costos de preparación serán bajos.	Áreas que presentan desarrollo de vegetación de bosque, selva o manglar; sus costos de adquisición serán bajos, pero sus costos de preparación y limpieza serán los más elevados.
Energía eléctrica	Localidades con adecuados servicios de fuente de poder eléctrico y muy próximas a una línea eléctrica, lo que favorece el desarrollo de proyectos acuícolas. 50 a 100% de viviendas por localidad con electricidad. Proximidad de 0 - 2 km a línea eléctrica.	Localidades con servicios que responden relativamente al abastecimiento eléctrico, y distantes a una línea eléctrica, pero aún con potencial. 30 a 50 % de viviendas por localidad con electricidad. Proximidad de 2 - 4 km a línea eléctrica.	Localidades con servicios de poder eléctrico insuficientes, y muy distantes a una línea eléctrica, altos costos y se requiere el uso de generadores o motores. 0 a 30 % de viviendas por localidad con electricidad. Proximidad > 4 km a línea eléctrica.
Nivel de bienestar	Localidades con un índice de bienestar alto y adecuado; menores costos de producción para iniciar proyectos acuícolas.	Localidades con un índice de bienestar medio; costos de producción relativamente altos.	Localidades con un índice de bienestar de pobreza y marginalidad; costos de producción altos.
Proximidad a las fuentes de insumos	Alta proximidad que favorece la adquisición de insumos y disminuye los costos. 0 - 10 km	Proximidad media, costos moderados. 10 - 25 km	Proximidad baja, altos costos. > 25 km

Fuente: modificado con base en Díaz, 1998.

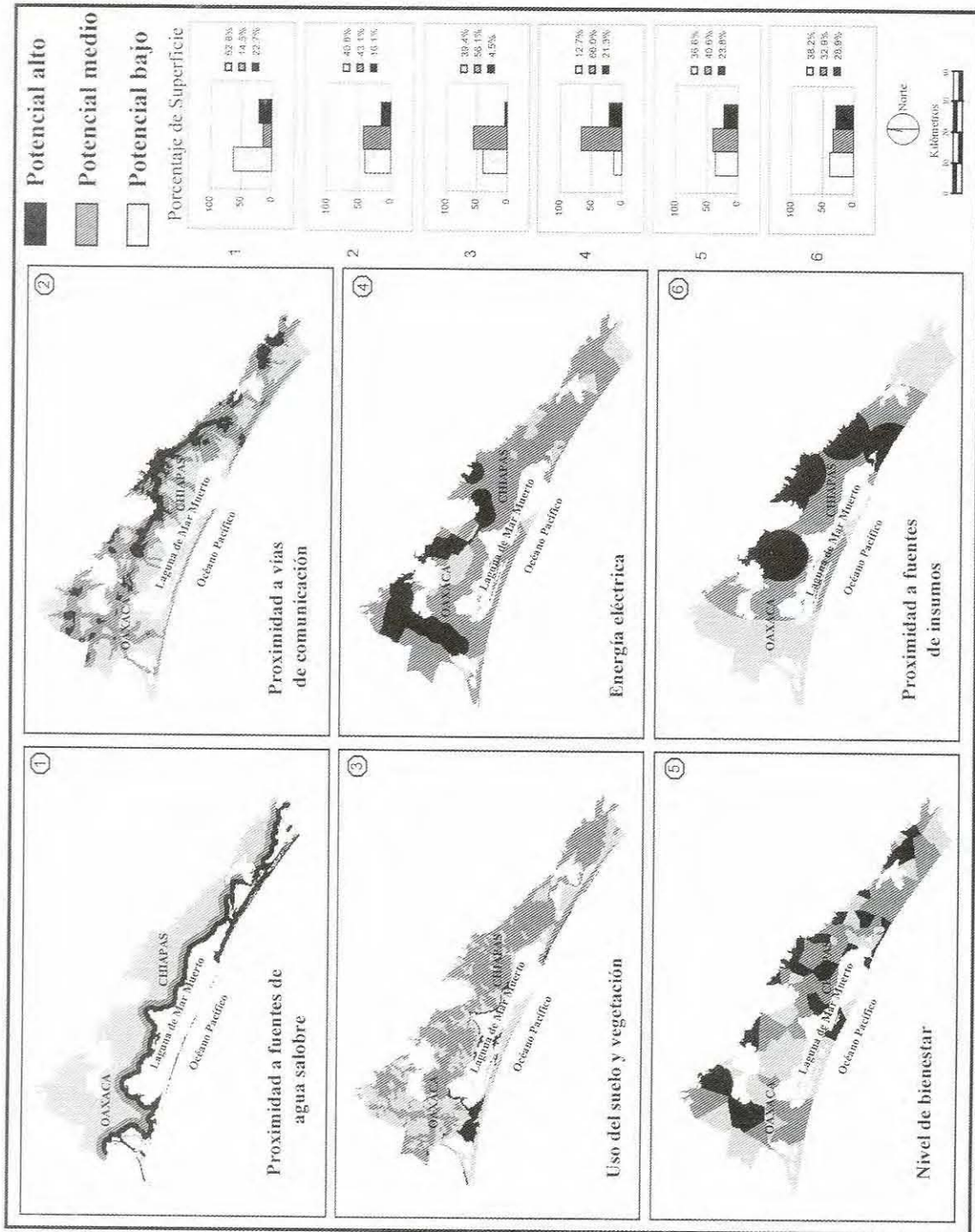


Figura 3. Mapas de los seis factores considerados en la evaluación multicriterio con sus tres niveles de potencialidad.

Tabla 3. Descripción de los niveles de importancia relativa para la construcción de la escala de 17 niveles jerárquicos de la Tabla 4

Nivel de importancia	Condición de importancia comparativa	Explicación
1	Igual importancia	Dos variables contribuyen igual en el objetivo.
3	Importancia débil de una sobre la otra	La experiencia y el juicio favorecen levemente una variable sobre la otra.
5	Importancia marcada o esencial	La experiencia y el juicio favorecen firmemente una variable sobre la otra.
7	Importancia demostrada	Una variable es fuertemente favorecida y su importancia se ha demostrado en la práctica.
9	Importancia absoluta	La evidencia favorece una variable sobre la otra, es la jerarquía más alta de afirmación.
2, 4, 6, 8	Importancia intermedia entre las dos jerarquías adyacentes	Cuando se hace necesario un acuerdo o arreglo.

Fuente: Saaty, 1977 (tomado de Aguilar, 1996).

Tabla 4. Escala de 17 jerarquías de importancia relativa para la construcción de la matriz de comparación entre pares de factores o variables decisión (Tabla 5)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Extremadam.	Fuertemente		Moderadam.		Ligeram.		Igualm.		Ligeram.		Moderadam.		Fuertemente		Extremadam.	
MENOS IMPORTANTE ← ← ← → → → MÁS IMPORTANTE																

Nota: Esta escala se usa como referencia durante el proceso de "sondeo de opinión" entre los expertos (o *rating*), para que ellos establezcan la importancia relativa entre los pares de factores o variables decisión. Para escoger una de las 17 jerarquías de importancia relativa se debe considerar la variable que está en la fila de la matriz de comparación *pareada* (Tabla 5), con respecto a la variable de la columna de la misma matriz. Por ejemplo, si uno como experto considera que la variable nivel de bienestar es fuertemente menos importante que la proximidad a las fuentes de agua salobre entonces el valor a escoger es 1/6 (Fila 5, columna 1, de la matriz de la Tabla 5). Fuente: modificado de Eastman, 1997.

Tabla 5. Pesos relativos de los factores utilizados para estimar el potencial acuícola en Mar Muerto, obtenidos a partir del cálculo de la matriz de comparación *pareada*

Factores	Agua	Vías de comunicación	Uso del suelo y vegetación	Energía eléctrica	Nivel de bienestar	Insumos	"Peso" del Factor
Agua	1						0.4074
Vías de comunicación	1/2	1					0.2792
Uso del suelo y vegetación	1/4	1/3	1				0.1452
Energía eléctrica	1/5	1/4	1/2	1			0.0863
Nivel de bienestar	1/6	1/5	1/4	1/2	1		0.0509
Insumos	1/8	1/7	1/6	1/4	1/2	1	0.0310
SUMA	-	-	-	-	-	-	1.0000

Nota: Como ejemplo, en la columna Agua, el valor central de 1/5 señala que el factor o variable decisión energía eléctrica es moderadamente menos importante que el factor o variable decisión proximidad a las fuentes de agua salobre (Agua). Para construir esta matriz de comparación *pareada* se usó la escala de 17 jerarquías de importancia relativa, mostrada en la Tabla 4. La manera de obtener manualmente los valores de los pesos de los factores (última columna) se explica en el texto.

Para calcular los pesos de los factores se procesaron en el módulo correspondiente de IDRISI (Weight). La rutina de este módulo emplea un procedimiento de cálculo por medio del eigenvector principal de la matriz de comparación *pareada*. La información de entrada es el archivo *.pcf que la contiene (Eastman, 1997). Una buena aproximación de esos valores puede ser calculada manualmente de la siguiente forma:

Primero, hay que completar los valores de toda la matriz, al colocar en cada celda matricial de la porción triangular superior derecha de la matriz, el valor del recíproco de su celda correspondiente en la porción triangular inferior izquierda de la misma matriz.

Después hay que sumar los valores de cada columna, para obtener un valor total parcial por columna; posteriormente, hay que generar una nueva matriz al dividir cada valor de cada celda matricial, entre el total parcial de su columna correspondiente. Cada columna de esta nueva matriz será un conjunto de estimaciones de los pesos de importancia relativa.

En seguida hay que obtener el promedio aritmético para cada una de las filas de la nueva matriz, estos valores, en fracciones decimales, corresponden al peso de cada factor y su suma debe ser de 1.00.

El resultado del anterior procedimiento será muy similar al que se obtiene cuando se usa el método de cálculo del eigenvector principal dentro de IDRISI (Eastman, 1997).

RESULTADOS

En la Tabla 5 se presenta la matriz de comparación y los pesos obtenidos a partir de la evaluación con las técnicas *multicriterio* aplicada, con los cuales los mapas de la Figura 3 pudieron ser ponderados según su importancia relativa. De la misma forma, debido a que los píxeles para el mapa de cada factor habían sido clasificados con distintos niveles de potencialidad (alta, media o baja), a cada píxel se le asignó un peso, obtenido del producto del coeficiente de ponderación del factor (Tabla 5, última columna) y la aptitud

del pixel específico correspondiente a ese factor, además, el análisis con *multicriterios* permitió la suma de los pesos de todos los factores y la obtención de un mapa del potencial general para el desarrollo de la acuicultura, en las mismas tres categorías de los mapas originales (Figura 4).

Los resultados obtenidos muestran, de forma objetiva, algunas oportunidades para el desarrollo de la acuicultura costera de camarón, en el entorno de la aguna de Mar Muerto. Se presenta la localización de sitios con alto potencial para la implementación de unidades de producción acuícola (básicamente granjas de carácter semi-intensivo), además de un inventario de la superficie terrestre disponible para los distintos niveles de potencialidad. Para ello existen 2 983 ha (0.9% del área total) como apropiadas para proyectos acuícolas; 195 853 ha (62.8%) con potencial medio y 112 908 ha (36.3%) con el menor potencial y donde los costos de producción serían los más elevados.

Como se observa en la Figura 4, existe un potencial alto para el desarrollo de la acuicultura sólo en algunas zonas del área en estudio, sin embargo, se puede afirmar que de acuerdo con los factores y criterios aplicados, esos son los sitios que conjuntan las mejores condiciones en cuanto a costos para el desarrollo de la acuicultura. Esos sitios básicamente están localizados en tres zonas próximas a la laguna de Mar Muerto, y entre las principales ventajas que presentan están su proximidad al agua salobre y un uso del suelo y vegetación con altas posibilidades.

En la Figura 4 se advierte que la Zona 1 presenta la ventaja del acceso al agua, ya que cuenta con una buena proximidad a los cuerpos lagunares, tanto por el este como por el oeste, así como a la línea de costa, hacia el sur. El uso del suelo, a pesar de ser de un alto potencial, presenta la posible limitante de estar localizado en un área con riesgo de inundación; además de que existe una considerable lejanía a las fuentes de insumos, que llega a ser de más de 35 km.

La Zona 2 presenta la importante ventaja de estar próxima a encierros rústicos, donde se han venido practicando cultivos de camarón. La presencia de estos sistemas representa una fuerte promoción a la zona circundante, dándole un fomento a la acuicultura y la posibilidad de integrarse a las actividades productivas existentes (SEMARNAP, 1997).

La Zona 3 presenta una muy buena proximidad a la localidad de Tonalá que constituye uno de los más importantes centros de adquisición de insumos en el área en estudio, además de estar próxima a un centro de almacenaje y red de frío de productos pesqueros (refrigeración). Las limitantes encontradas en esta zona son la falta de adecuadas vías de comunicación, ya que los caminos de acceso son principalmente carreteras revestidas y terracerías; además de que los niveles de bienestar son bajos en general, y el suministro eléctrico presenta un potencial medio.

En general, las superficies clasificadas con potencial medio presentan un uso del suelo y vegetación con posibilidades moderadas como son pastizales, sabana y agricultura de temporal; sin embargo, algunas zonas presentan buena proximidad a las vías de comunicación y a las fuentes de agua salobre. El potencial de estas áreas debe ser considerado por un lado, mayor para aquellas superficies adyacentes a la laguna de Mar Muerto o a la línea costera, y por otro, menor para aquellas áreas distantes de la laguna, particularmente hacia el sureste y noroeste del área en estudio, donde se presentan distancias mayores de 30 km a las fuentes de agua salobre. A pesar de esto, en estas zonas y en especial en aquellas próximas a las localidades más importantes, es posible considerar alternativamente proyectos relacionados con la acuicultura, como plantas de procesamiento para darle valor agregado a los productos pesqueros y acuícolas, así como para la comercialización de los mismos.

Finalmente, las superficies con el potencial acuícola más bajo se localizaron en zonas que presentan considerable lejanía a las fuentes de agua, y que se encuentran aisladas en

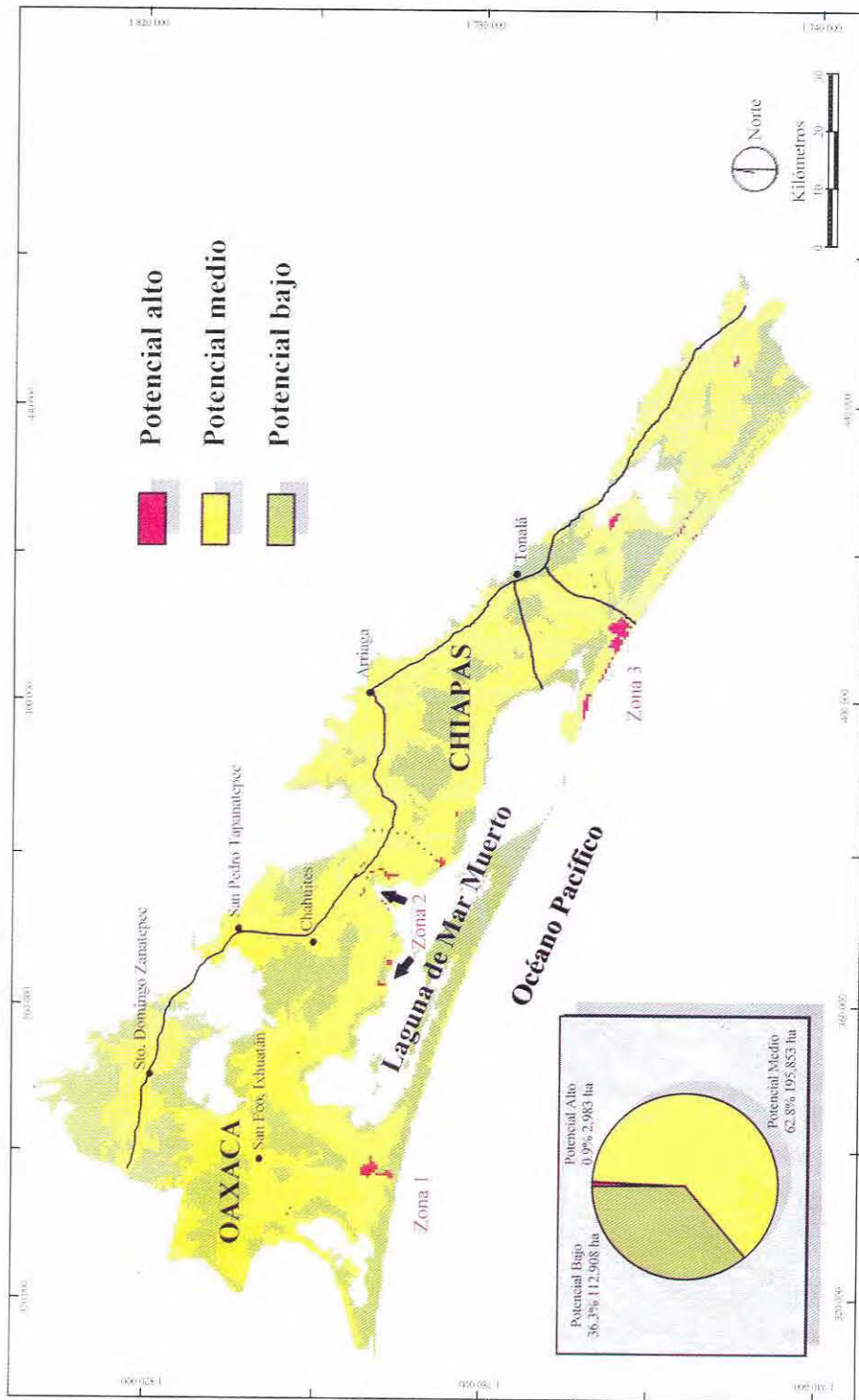


Figura 4. Mapa final de niveles de potencialidad acuícola costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, obtenido a partir de la evaluación con técnicas *multicriterio* en un SIG.

cuanto al acceso y proximidad a las vías de comunicación. Asimismo, esto se presenta en aquellas zonas con un uso del suelo y vegetación con bajo potencial para la acuicultura, como selvas y manglares. Es importante señalar que, con respecto a las superficies ocupadas por el manglar, a pesar de no haber sido consideradas como restrictivas para el desarrollo acuícola, esta evaluación las considera de bajo potencial, lo que de alguna manera favorece que se afecte lo menos posible a estos ecosistemas. En general, se considera que en las áreas con el potencial más bajo no se recomienda promover la acuicultura, sobre todo en aquellos sitios en donde se presentarían conflictos con otros usos del suelo.

CONCLUSIONES

Este estudio revela que utilizando una serie de factores y criterios que influyen en la selección del lugar y en los costos de producción para el desarrollo de la acuicultura, en combinación con un SIG, es posible evaluar, localizar e inventariar zonas con distinto potencial, para la implementación de granjas camaronícolas en zonas específicas alrededor de la laguna de Mar Muerto.

Así, los factores pudieron ser recopilados, integrados, analizados y representados con la ayuda de un SIG, que a su vez facilitó el manejo y la interpretación visual y espacial de la información, así como la generación de cartografía, que sirva de apoyo para la toma de decisiones sobre el lugar.

Un aspecto que hay que tener en cuenta y que le da cierta incertidumbre a los resultados obtenidos con el método de análisis *multicriterio* empleado, es la parte de la asignación subjetiva de pesos relativos a los factores considerados. Se podría afirmar, sin embargo, que estas asignaciones no tienen el carácter de subjetividad marcado, ya que están basadas en la experiencia y en los criterios de expertos que han venido aplicando sus estudios en instituciones como la FAO, en el Departamento de Pesca; la Universidad de

Stirling, en su Instituto de Acuicultura; y la Dirección General de Investigación en Acuicultura, del Instituto Nacional de la Pesca (SEMARNAP). Por lo que los criterios aplicados en este estudio están sostenidos por información de publicaciones, que hacen que la asignación de ponderaciones y los resultados tengan mayor solidez.

La selección de factores y de criterios aplicados en este trabajo se basó en la revisión de literatura, así como en la consulta a *expertos* relacionados con este tipo de estudios, por lo que la elección no es meramente arbitraria.

Se intuye que mientras más gente haya manejado y aplicado dichos criterios y asignado valores, las posibilidades de incertidumbre en la jerarquización de los factores se reduce, por lo que la probabilidad de acierto o de acercamiento a la realidad aumenta. Además, la asignación de jerarquías de importancia es una forma menos subjetiva de integrar información en el SIG, comparada con los análisis tradicionales de sobreposición de mapas, en donde se le da un peso semejante a todas las capas de información.

Por otra parte, la aplicación de las técnicas de *multicriterios* resultó ser una herramienta muy útil como procedimiento en la toma de decisiones, basada en un solo objetivo y con criterios múltiples de selección, y para establecer la importancia relativa entre los distintos factores estudiados. La integración de este método a los SIG, convierte a estos últimos en herramientas altamente eficaces para efectuar, de forma más rápida y eficiente, complejas interacciones entre diversos criterios, proporcionando al investigador o al tomador de decisiones resultados más racionales y objetivos.

Por último, la aplicación de las posibilidades tecnológicas que proporcionan los SIG, han ayudado a comprender el importante papel que desempeñan las variaciones espaciales de los factores físicos, económicos o sociales, en el éxito de una empresa productiva compleja como lo es la acuicultura y en la selección correcta del lugar para su desarrollo.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos el apoyo y la información proporcionada por el Instituto Nacional de Pesca, Dirección General de Investigación en Acuicultura de la SEMARNAP, en especial al Dr. Porfirio Álvarez Torres, a la M.C. Alexandra Gutiérrez García, a la Biól. Patricia Rojas Carrillo y al Biól. Adolfo Lara

Vázquez. De la misma forma, agradecemos a las autoridades del Instituto de Geografía de la UNAM y a su *Programa de Becas (PBIg)*, el apoyo otorgado para la realización de este artículo. También reconocemos la importancia de los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos.

REFERENCIAS

- Aguiar Manjarrez, J. (1996), *Development and evaluation of gis-based models for planning and management of coastal aquaculture: a case study in Sinaloa, Mexico*, Thesis Doctor of Philosophy, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland U.K.
- Aguiar Manjarrez, J. y L. G. Ross (1995), "GIS enhances aquaculture development", *GIS World* 8 (3), pp. 52-56.
- Cifuentes, L. J., P. Torres García y M. Frías (1990), *El Océano y sus recursos acuicultura*, tomo XI, Fondo de Cultura Económica, México.
- CONAPO (1990), *Indicadores socio-económicos e índice de marginación municipal*, Consejo Nacional de Población, Comisión Nacional del Agua, México.
- Contreras, E. F. (1993), *Ecosistemas costeros mexicanos*, Comisión Nacional de Biodiversidad y Universidad Autónoma Metropolitana, México, pp. 138-140.
- Díaz Salgado, J. (1998) *Evaluación del potencial acuicola costero mediante la aplicación de un sistema de información geo-gráfica: dos estudios de caso en Oaxaca y Chiapas*, Tesis de Licenciado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Eastman, J. R., P. A. K. Kyem y J. Toledano (1993), "A procedure for multi-objective decision making in GIS under conditions of competing objectives", *Proceedings, EGIS'93*, pp. 438-447.
- Eastman, J. R., W. Jin, P. A. K. Kyem y J. Toledano (1995), "Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(5), pp. 539-547.
- Eastman, J. R. (1995), *IDRISI for Windows User's Guide, Version 1.0*, Clark Laboratories for Cartographic Technologies and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA.
- Eastman, J. R. (1997), *IDRISI for Windows User's Guide, Version 2.0*, Clark Laboratories for Cartographic Technologies and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA.
- FIRA (1996), *Elementos de análisis de cadenas productivas*, Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura en el Banco de México, Documento Técnico, México.
- Gómez, E. S. y De La Lanza E., G. (1992), *Análisis del estado de la camaronicultura en México hasta el año de 1991*, México.
- Gutiérrez García, A. (1995), *Development of a GIS-based socio-economic model for aquaculture development in Tabasco State, Mexico*, M.Sc. Thesis, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland U.K.
- INEGI (1985a), *Carta Topográfica*, Hojas: Juchitán E-15-10, D-15-11; Tuxtla Gutiérrez E-15-11 y Huixtla D-15-2, escala 1:250 000, México.
- INEGI (1985b), *Carta Uso del Suelo y Vegetación*, Hojas: Juchitán E-15-10, D-15-11; Tuxtla Gutiérrez E-15-11 y Huixtla D-15-2, escala 1:250 000, México.
- INEGI (1995), *Resultados definitivos, Censo General de Población y Vivienda*, 1995, México.
- Kapetsky, J. M., L. McGregor y H. Nanne (1987), "A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development: FAO-UNEP/GRID cooperative study in Costa Rica", *FAO Fisheries Technical Paper*, No. 287, FAO, Roma, Italia.
- Kapetsky, J. M., J. M. Hill y L. D. Worthy (1988), "A geographical information system for catfish farming development", *Aquaculture* 68, pp. 311-320.
- Kapetsky, J. M. (1989), *Malaysia-A geographical information system for aquaculture development in Johor State*, FI:TCP/MAL/6754, FAO, Roma, Italia.
- Lara Vázquez, A. y G. Arévalo G. (1997), "Características sociales y económicas de la Cuenca Alta del Río Lerma", en *Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma*, tomo III, *Atlas de Ecosistemas Productivos*, Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma, Gobierno del Estado de México, pp. 25-46.
- Martínez Córdova, L. (1993), *Camaronicultura. Bases técnicas y científicas para el cultivo de camarones peneidos*, AGT Editor, México.

- Meaden, G. J. y J. M. Kapetsky (1992), "Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura", *FAO Documento Técnico de Pesca* No. 318, FAO, Roma, Italia.
- Muir, J. F. y J. M. Kapetsky (1988), "Site selection decisions and project cost: the case of brackish water pond systems", *Institution of Chemical Engineers, Symposium Series*, No.111, *Aquaculture Engineering Technologies for the Future*, EFCE Publication Series 66, pp. 45-63.
- Ramos Cruz, S. (1996), "Análisis de la situación pesquera en la laguna Mar Muerto Oaxaca-Chiapas, México", *Memorias del Primer Encuentro Regional sobre Investigación y Desarrollo Pesquero Costero: Guerrero, Oaxaca y Chiapas*, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, p. 8.
- Saaty, T. L. (1977), "A scaling method for priorities in hierarchical structures", *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp 234-281.
- SEMARNAP (1996), *México, hacia el desarrollo sustentable (Base de la Transición)*, México.
- SEMARNAP (1997), *Evaluación socioeconómica del potencial acuícola costero en Oaxaca y Chiapas con el uso de sistemas de información geográfica* (Reporte Interno de la Dirección General de Investigación en Acua-cultura), SEMARNAP e Instituto Nacional de la Pesca, México.
- SEMARNAP (1998), *Anuario Estadístico de Pesca 1997*, México.
- SEMARNAP-FAO (1995), *Guía para la formulación e implementación de planes locales para el desarrollo de la acuicultura (Plandac) en áreas lagunares costeras de México*, Proyecto: UTF/MEX/035/MEX, México.
- SEMARNAP-INP (1996), *Programa de ordenamiento de la actividad pesquera y acuícola en el estado de Oaxaca, Zona Mar Muerto*, SEMARNAP e Instituto Nacional de la Pesca, México.
- SEPESCA (1990), *Bases para el ordenamiento costero-pesquero de Oaxaca y Chiapas (Aspectos Generales)*, Secretaría de Pesca y FondePesca, México.