

Fecha de entrega: 15 de julio de 2000
Fecha de aceptación: 1° de febrero de 2001.



*Licenciado en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Obtuvo la medalla Gabino Barreda al mejor estudiante de la licenciatura mencionada.
Correo - e: jdisal@hotmail.com

**Doctor en Geografía por la UNAM. Investigador en el Instituto de Geografía de la misma institución. Ha realizado estudios postdoctorales en la University of Washington (EUA) y en el Instituto de Geografía.
Correo - e: jlblanco@servidor.unam.mx

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO CON SIG PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL PARA LA ACUACULTURA COSTERA DE CAMARÓN EN LA ZONA PACÍFICO SUR DE MÉXICO

L. EN G. JESÚS DÍAZ SALGADO*
DR. JORGE LÓPEZ BLANCO**

1. INTRODUCCIÓN

En México, el desarrollo de la acuacultura costera de camarón se ha concentrado principalmente en los estados del Pacífico Norte como Sonora, Sinaloa y Nayarit; sin embargo, en años recientes se han impulsado programas y proyectos de investigación para el estudio y promoción de la camaronicultura en zonas del Pacífico Sur, como es el caso de Oaxaca, que presenta una oferta de recursos y condiciones naturales favorables y aprovechables para el desarrollo de dicha actividad.

El Parque Nacional "Lagunas de Chacahua" (PNLC), localizado en dicho estado, alberga al sistema lagunar costero de Chacahua-Pastoría, que lo hace especial por la diversidad de flora y fauna que sostiene, colocándolo dentro de los parques naturales más importantes del país [SEDESOL, 1995]. La productividad del sistema lagunar es enriquecida por el ingreso temporal de larvas de camarón y de otros organismos, lo que abastece a la pesquería ribereña practicada en la zona, principal actividad económica y comercial con que cuentan las comunidades aledañas a las lagunas.

Sin embargo, existe un problema, ya que los pescadores de la zona, en general, no respetan las vedas ni las tallas de las especies que pescan, pues utilizan redes cuyo diámetro no permite el escape a las crías de las especies que no se utilizan, tales restos son arrojados a las lagunas [SERBO, 1997]. Así, tanto los camaro-

This paper evaluates and shows potentialities and suitable areas to establish and develop coastal shrimp aquaculture activities, in The National Park "Lagunas de Chacahua", Oaxaca, Mexico. Six variables were considered: proximity to aquatic resources; to roads, to electricity sources, soil types, topography and land-uses. The GIS was important in order to carry out several analysis using distance-operators, re-class functions, overlaying, and mainly multicriteria analysis. The final results show that there is a 0.4% of the total area with high potentiality to emplace shrimp farming; 27.4% with moderate potentiality, 71% with marginal potentiality and 1.2% with insufficient but in a minimum level of potentiality. These percentages refer to only 51.2% of the total study area due to remaining areas considered as restricted for aquaculture development.

Key words: potential-site selection, shrimp farming aquaculture, GIS (Geographic Information System), multicriteria analysis techniques, "Lagunas de Chacahua" National Park, Oaxaca.

nes pequeños como los juveniles de peces que quedan atrapados en las redes son desechados, ya que por su talla se dificulta su preparación y no son aceptados por los consumidores locales.

De igual forma, la actividad pesquera propicia la constante circulación de lanchas con motor, provocando, además de contaminación, que los sedimentos del lecho de las lagunas sean removidos, lo cual afecta a la vida acuática.

Por otro lado, la competencia pesquera ha crecido, lo que ocasiona conflictos sociales entre los integrantes de las cooperativas pesqueras, los dueños particulares de embarcaciones

y un considerable número de pescadores libres [Madrigal, 1986; SEDESOL, 1995]. Las lagunas han visto mermada su producción, en tal grado que, según versiones de algunos pescadores, la producción anual de camarón, hace algunos años era cercana a las 500 toneladas, actualmente se ha visto reducida aproximadamente a la mitad [SEMARNAP, 2000].

Con esta perspectiva, ha sido la SEPESCA (1990, 1990a y 1993); la SEDESOL (1995); la SEMARNAP (2000 y 2000a), y una serie de autores [Biología de Campo, 1996; Miguel, *et al.*, 1996; Pacheco, 1998; Huerta, 1998; Díaz, 1998; Calderón, 1999] han fundamentado, evaluado y propuesto el desarrollo de prácticas acuícolas de camarón en la zona. Esto se debe a la vocación que presenta el sistema lagunar, las características socioeconómicas de la población y el deterioro provoca-

do a los recursos naturales del parque. Según los reportes oficiales, se espera que la introducción de la acuacultura permita el aprovechamiento más eficiente del camarón como recurso, evite su desperdicio e incida en la conservación de la especie, creando además una alternativa de sustento para los habitantes.

En los últimos años se ha manifestado que en el desarrollo de cualquier sistema de cultivo o empresa acuacultural, la selección del sitio más adecuado es vital y tiene una influencia notable en su viabilidad económica [Aguilar y Ross, 1995], además de que es determinante en los niveles de rendimiento potencial que se pueden obtener, lo que afecta notablemente los costos de construcción y operación [Muir y Kapetsky, 1988].

En el campo de la acuacultura, el procedimiento metodológico que se ha aplicado en la toma de decisiones para la selección de los lugares, y en la evaluación del potencial acuícola, son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estas herramientas ofrecen un respaldo tecnológico de análisis digital e integración de la información que acelera y aumenta la eficiencia en la delimitación de las áreas seleccionadas; además, brinda las posibilidades y la

objetividad para examinar cabalmente las numerosas variables, espaciales y no espaciales, que intervienen en la producción y el desarrollo acuícolas [Meaden y Kapetsky, 1992; Gutiérrez, 1995; Aguilar,

1996; Kapetsky y Nath, 1997; Díaz, 1998; Díaz y López, 2000].

El objetivo de este trabajo es mostrar una propuesta metodológica y ofrecer elementos conceptuales de evaluación del potencial para el desarrollo de la acuacultura costera de camarón en el PNLC, mediante la delimitación y localización, bajo ciertos criterios,

de sitios propicios para el establecimiento de unidades de producción, así como la extensión de la superficie terrestre disponible para dicha actividad.

Para la evaluación se aplicaron una serie de instrumentos y medios provistos por un SIG, en especial, los referidos a las técnicas de análisis con multicriterios. De igual modo, se trabajó dentro de un marco de protección al ambiente, es decir, de aprovechamiento de aquellas oportunidades que ofrece el parque y el sistema lagunar en cuanto a especies y recursos, para utilizar criterios de menor riesgo con bajo impacto ambiental, sobre todo, porque el sitio en cuestión es un área natural protegida.

2. ÁREA EN ESTUDIO

El PNLC (Figura 1) se localiza en la costa suroeste del estado de Oaxaca, en el municipio de San Pedro Tututepec, entre los 15° 57' 30" y los 16° 02' 00" de latitud norte y 97° 32' 00" y 97° 47' 00" de longitud oeste. Tiene límites con el Océano Pacífico, en el sur; el río Verde, al oeste y la Sierra Madre del Sur al norte y este [Madrigal, 1986; SEPESCA, 1990]. El área fue decretada como parque nacional en 1937 y abarca una superficie total de 14,187 ha; de los cuales 3,525 corresponden a porciones lagunares, y 10,662 a continentales [SEDESOL, 1995].

La región registra un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, presenta una temperatura media anual arriba de los 26°C, y media del mes más frío, arriba de los 18°C. La época de mayor temperatura se registra principalmente en los meses de mayo a septiembre, y la temporada de lluvias está comprendida de junio a mediados de octubre; generalmente, la precipitación es menor a los 1,200 mm al año [SEPESCA, 1990; SEDESOL, 1995].

Fisiográficamente el área presenta dos tipos de relieve: llanura costera con pequeñas ondulaciones y lomeríos bajos, de hasta 60 msnm en promedio; y lomeríos con una altura relativa mayor a 120 m. La región presenta dos tipos de sedimentación, una de origen aluvial procedente del escurrimiento de los ríos, y la segunda,

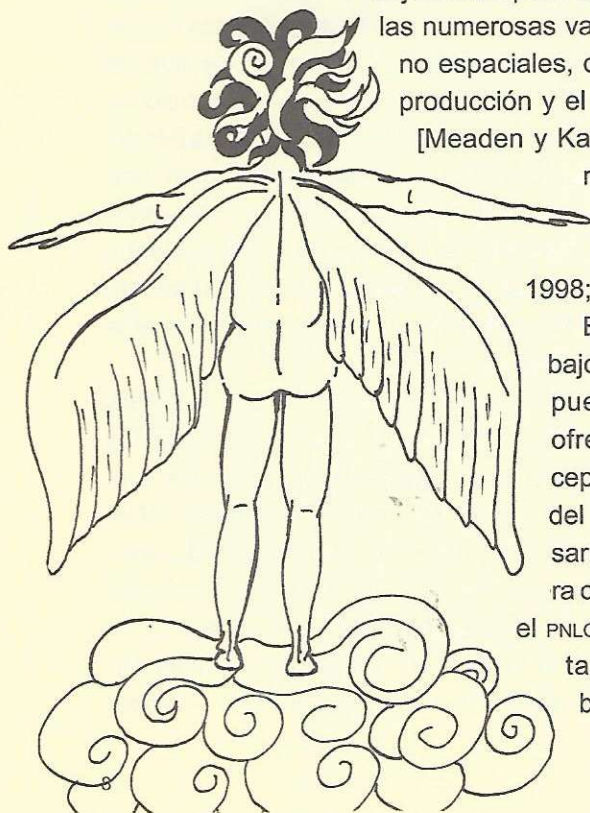
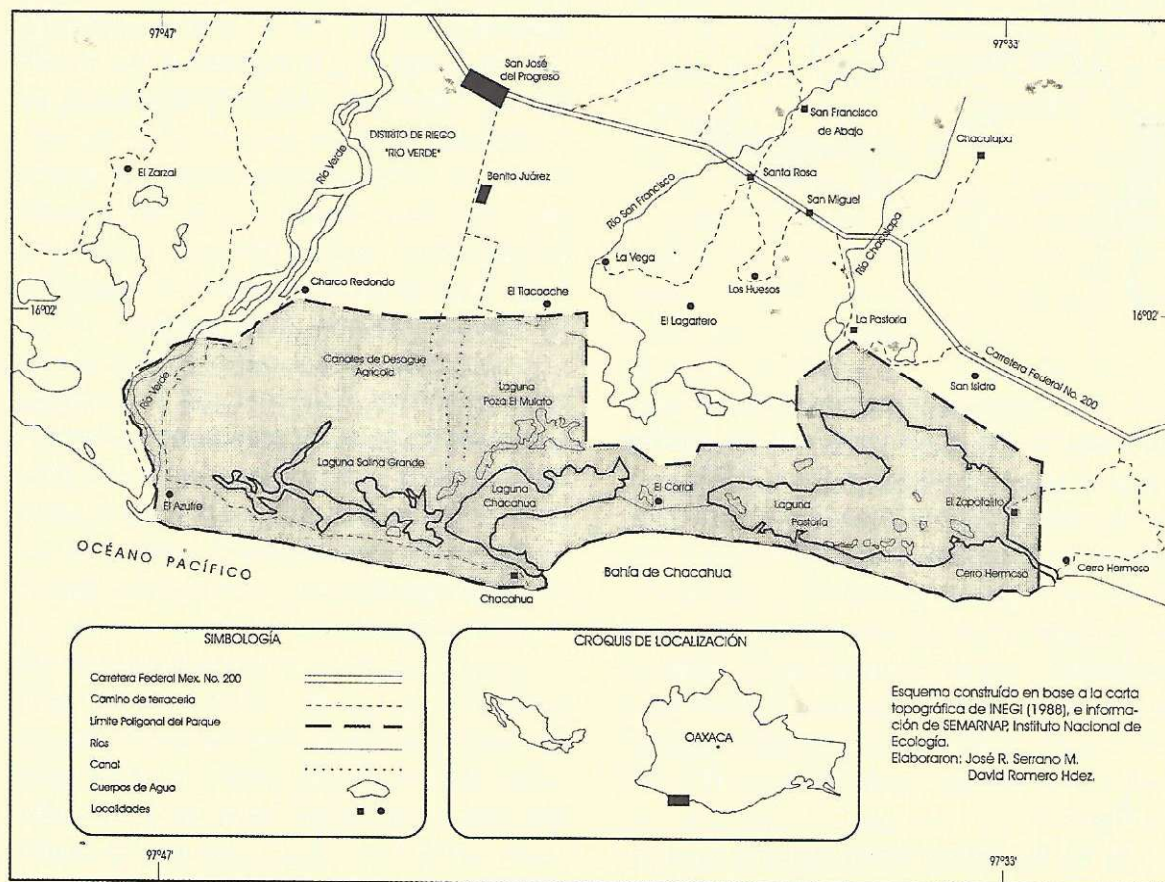


FIGURA 1
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO, EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PNLC,
OAXACA, MÉXICO.



que conforma la costa de arena, los cantos rodados y los cordones litorales [SEDESOL, 1995].

En cuanto a la vegetación que circunda a las lagunas, predominan los manglares. Asimismo, existen comunidades de selvas y áreas de vegetación de dunas hacia la franja litoral costera. Con relación a los suelos, éstos se caracterizan por ser de origen aluvial con alto contenido de arcillas; predominando los suelos con texturas finas y la presencia de sales sódicas en algunas áreas [SEPESCA, 1990].

Dentro del parque existen seis cuerpos de agua que integran el sistema lagunar, los cuales se encuentran comunicados con el mar y entre sí, aspecto que le confiere carácter salobre al agua que contienen. De ellos, los principales son la laguna de Chacahua, la de Pastora y la de Salina Grande; junto con otras tres la-

gunas de menor tamaño localizadas al norte de la de Chacahua y comunicadas todas ellas por canales angostos que varían entre 2 y 10 m [SEDESOL, 1995].

Contreras (1993), señala que Chacahua se encontraba en vías de eutrofización debido a su pobre hidrodinámica y al cierre de su bocabarra; por su parte Pastora presenta condiciones muy adecuadas para el desarrollo de diversas especies, aunadas a su comunicación permanente con el mar. En octubre de 1997, debido a la afectación provocada por el huracán Paulina, la bocabarra de Chacahua fue abierta, por lo que las condiciones hidrológicas y biológicas de la laguna sufrieron una importante alteración debido al ingreso de agua marina. Sin embargo, en opinión de los investigadores, es muy probable que la boca vuelva a cerrarse, por lo



que sería necesario la conclusión de las obras de rehabilitación (construcción de dos escolleras y un espigón), iniciadas desde 1995.

Al sistema lagunar llegan los escurrimientos de ríos y arroyos, que en época de estiaje permanecen prácticamente secos. Los principales son el río San Francisco y el río Chacalapa que desembocan al noroeste de la laguna de Pastoría. Destaca también el río Verde que constituye el límite oeste del parque y desemboca directamente en el océano Pacífico.

La vía de comunicación principal es la carretera federal 200 que rodea al parque en dirección noroeste-sureste. Además, dentro de él existen caminos de terracería y brechas, las cuales no se encuentran en condiciones adecuadas para ser transitadas continuamente por vehículos. En cuanto a la electricidad, el servicio no es eficiente, aún así la mayoría de las localidades en el área cuentan con este servicio [Díaz, 1998].

3. ACTIVIDAD PESQUERA

La pesca en el sistema lagunar de Chacahua-Pastoría se ha realizado durante mucho tiempo empleando procedimientos y técnicas rudimentarias, lo que la hace una actividad limitada en calidad y cantidad de la producción. Existe una pesca considerada de autosubsistencia, esta es practicada por pescadores individuales o *libres*, que utilizan la fuerza de trabajo

familiar; embarcaciones pequeñas de madera (*pangas*) y artes de pesca como las atarrayas. Sin embargo, también existe la pesca comercial que se practica en forma legal, tanto en las lagunas como en el mar, y que es incompatible con los objetivos y la estabilidad natural del parque. Este trabajo está representado por las sociedades cooperativas de producción pesquera y los dueños de pesquerías que utilizan mano de obra asalariada. Ambos grupos usan embarcaciones de fibra de vidrio con motores fuera de borda, además de artes de pesca más sofisticadas [Madrigal, 1986; SEPESCA, 1990].

La especie principal, que se captura por su valor económico, es el camarón; su pesca se realiza dentro de las lagunas durante la temporada de agosto a noviembre. Además del camarón se capturan otros recursos pesqueros como bagre, lisa, mojarra, cangrejos, ostión de mangle, etc. su importancia comercial se refleja en el ámbito local. [SEDESOL, 1995].

En general, las capturas pesqueras son comercializadas casi en un 80% a pie de playa, principalmente con acaparadores locales, los cuales posteriormente venden en volúmenes mayores a centros de consumo importantes como Puerto Escondido, Acapulco o la ciudad de México. También existen organizaciones de mujeres comercializadoras de las mismas comunidades, venden pequeños volúmenes (15%) a localidades de la Mixteca; el resto de las capturas se destinan al consumo interno.

En el sistema lagunar operaban 46 organizaciones pesqueras, que empleaban a 869 personas. Algunas organizaciones, al parecer 21, ya no operan, debido a la falta de insumos como gasolina, artes y equipos de pesca, o bien, por falta del recurso pesquero que les impide obtener mejores rendimientos y solicitar nuevos permisos [SEMARNAP, 2000a]. En el área donde se localiza el sistema lagunar, no existe infraestructura pesquera bien desarrollada para la recepción, conservación, manejo y transporte del producto, por lo que cualquier intento por desarrollar un sistema de tipo acuacultural debe considerar esta seria limitante [SEPESCA, 1990].

4. MATERIALES Y MÉTODO*

Se construyó una base cartográfica digital en formato raster de 500 filas X 1,550 columnas con un tamaño de pixel de 20 m. Esta dimensión es apropiada para el análisis y está basada en estudios previos (Aguilar, 1996, utilizó un pixel de 25 m), así como en las recomendaciones hechas por Valenzuela y Baumgardner (1990) en cuanto a la relación que se debe mantener entre el nivel de información requerida por el usuario y la resolución de la base de datos espacial utilizada (cartografía digitalizada). La recomendación hecha sobre tamaño de pixel para escalas entre 1:50,000 y 1:100,000 es de entre 25 y 50 m respectivamente, es decir, un pixel de 0.5 mm (considerando su representación en papel), de tal manera que, con el tamaño de pixel utilizado se minimizaron los errores de *área* y de *forma* de los elementos digitalizados, considerando las escalas de análisis y de representación final. Asimismo, el tamaño del pixel elegido va de acuerdo con el nivel de detalle espacial buscado, es decir, la localización de los sitios potenciales para el desarrollo de estanques costeros, principalmente de tipo semi-intensivo (de 5 a 10 ha).

El SIG utilizado fue IDRISI [Eastman, 1995 y 1997], este constituye uno de los programas de base raster más empleados en el mundo. Esta amplia difusión se debe a sus grandes capacidades y a su bajo costo, además de que sus autores han realizado una política activa de promoción, especialmente en países subdesarrollados [Bosque et al., 1994].

La información fue integrada en el SIG, siguiendo un procedimiento que se resume en los siguientes pasos:

1. Identificación de los criterios (factores y restricciones) que inciden en el desarrollo de la acuicultura de camarón en el área de estudio y de acuerdo al objetivo planteado.
2. Verificación e integración digital de los datos necesarios.
3. Procesamiento y análisis de la información, con el fin de proporcionar una salida y representación geográfica de los factores, a través de

clasificaciones, sobreposiciones, interpolaciones, etc.

4. Clasificación de los mapas de factores en niveles de potencialidad (desde uno hasta cuatro en este caso), los cuales se usarán para la evaluación multicriterio.

5. Evaluación mediante las técnicas de análisis con multicriterios para definir inicialmente la importancia relativa entre los pares de factores o variables decisión, mediante un sondeo de opinión entre los expertos del tema (rating) y así crear la matriz de comparación pareada (que más adelante se detalla); y el posterior cálculo de los pesos de esos mismos factores para generar el mapa final de potencialidad.

6. Interpretación de los resultados en términos del potencial y las limitaciones para el desarrollo de la acuicultura en casos específicos. La Figura 2 muestra de forma esquemática el procedimiento básico aplicado.

En este estudio fueron seis los factores integrados: 1. Proximidad con los recursos acuáticos, 2. Con los caminos, 3. Con las fuentes de energía eléctrica, 4. Los tipos de suelo, 5. La topografía y 6. Las clases de uso del suelo y vegetación.

Estos factores tienen que ver con los aspectos de acceso y proximidad con los recursos naturales y la infraestructura presente, así como con la aptitud y aprovechamiento del territorio. En la Tabla 1 se presenta un listado de los factores utilizados, la importancia de su interpretación y representación espacial, así como las fuentes bibliográficas y cartográficas consultadas. Se consideraron, asimismo, una serie de restricciones o limitantes para el desarrollo de la acuicultura, que previenen y/o minimizan los problemas de contaminación, y sobre todo, protegen las

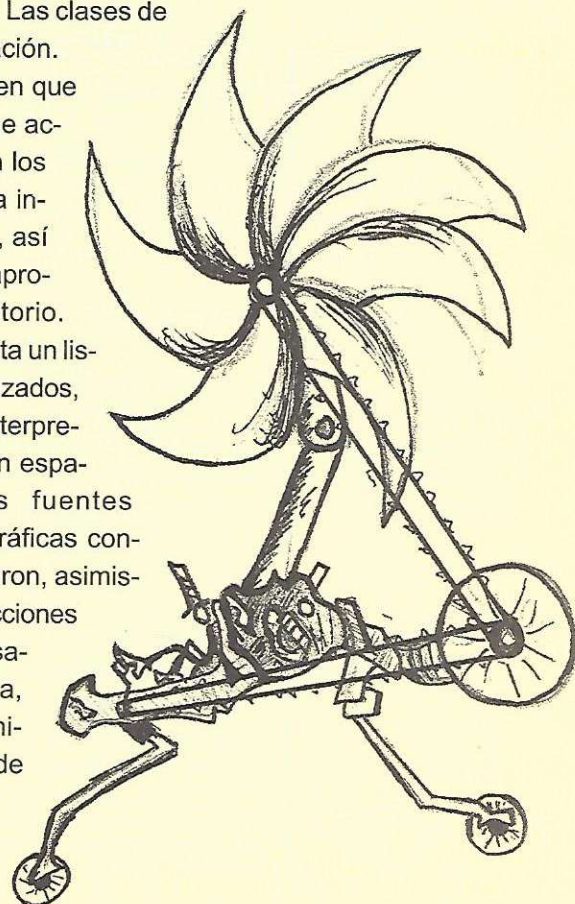
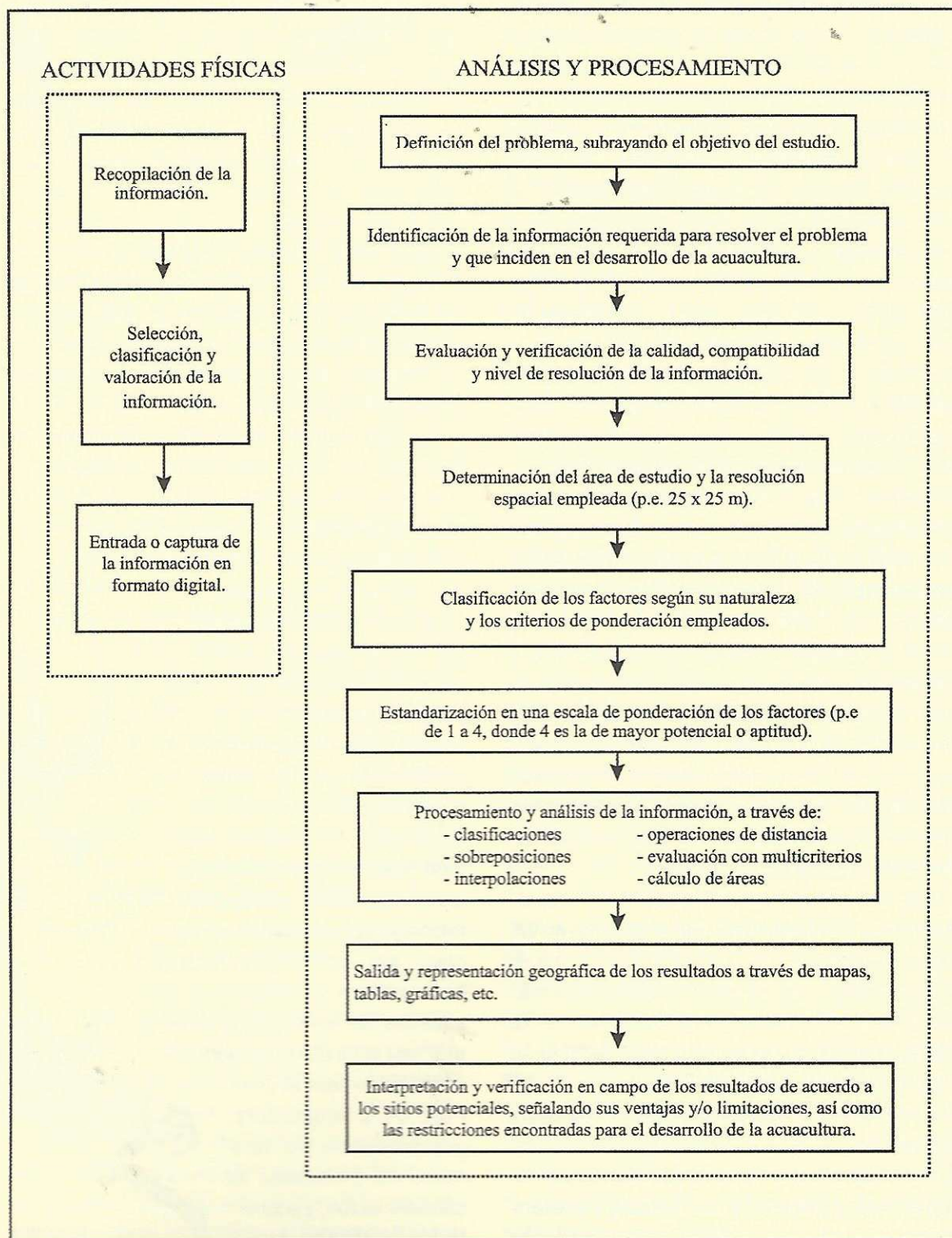


FIGURA 2
METODOLOGÍA USADA EN LA SELECCIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNIDADES ACUÍCOLAS, APLICANDO TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO CON UN SIG.



áreas sensitivas al impacto de proyectos acuícolas, tomando en cuenta, como se ha mencionado, que el área en estudio está sujeta a una protección especial (Figura 3).

Ahora, es fundamental aclarar que los seis factores considerados no son necesariamente los únicos, y en algunos casos, no podrían ser los más importantes ni cubren todas las posibilidades de variabilidad de condiciones socioeconómicas y ambientales; ni en México ni en otras regiones del mundo. Sin embargo, sí cumplen con el objetivo planteado en el caso de estudio, debido a los fines de aplicación de la metodología descrita. La selección final de los

factores respondió a dos cuestiones: primero, a lo decisivos que pueden ser estos agentes para el desarrollo de sistemas acuaculturales terrestres de camarón (bordos, estanques rústicos o recubiertos de piedra o concreto), así como su relevancia para el ajuste que la acuicultura debe asumir de acuerdo con los principios de sustentabilidad ambiental, reducción de impactos y aumento de la eficiencia productiva. En segundo lugar, se tomó en consideración la disponibilidad de información cartográfica que fue posible integrar al SIG, asumiendo los criterios de la escala geográfica requerida, su utilidad para el análisis, la veracidad, precisión y

TABLA 1
FACTORES UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ACUÍCOLA EN EL PNLC

Factores	Interpretación	Descripción	Fuente
Uso del suelo y vegetación	Es importante a fin de establecer donde son más compatibles las actividades acuícolas con otros usos, y en donde existirá un menor impacto de la vegetación natural circundante, sobre todo tratándose de un área natural protegida.	Los distintos tipos de uso del suelo y vegetación natural.	Mapa de Vegetación y Uso del Suelo 1:100,000 SEDESOL, 1995 SERBO, 1997
Proximidad a los recursos acuáticos	La disponibilidad del agua es importante para todos los sistemas de acuicultura. La proximidad a este recurso tendrá una influencia en los costos y en el menor daño al ambiente que pueda provocar la construcción de canales de llamada y otras instalaciones.	Fuentes de agua dulce, salobre y salada de lagunas, ríos y línea costera.	Carta Topográfica 1:50,000 INEGI, 1988.
Suelos	Importantes para los sistemas de cultivo en estanques. Las características del suelo influyen en los costos de construcción, mantenimiento y en la productividad de los estanques. Se prefieren aquellos suelos que no son susceptibles a la acidez, impermeables y fáciles de compactar.	Tipos de suelo y texturas de las unidades edáficas.	Mapa de suelos 1:100,000 SEDESOL, 1995.
Topografía	Determina la integración del proyecto acuícola al terreno por lo que una pendiente menor al 2% es conveniente para el transporte de agua de y hacia los estanques. Además de que dicha pendiente provee de un eficiente drenaje.	Curvas de nivel cada 20 m, para crear mapa de elevaciones y pendientes.	Carta Topográfica 1:50,000 INEGI, 1988.
Proximidad a los caminos	Importancia de una permanente accesibilidad a las áreas potenciales de desarrollo acuícola. Asimismo la proximidad a los caminos de acceso y el aprovechamiento de los ya existentes evitará mayores impactos, por la construcción de nuevas vías, hacia las áreas naturales y alteraciones del flujo hidrológico de los ríos así como interrupción del flujo de las mareas hacia las áreas de manglar.	Distintos tipos de caminos (pavimentados, terracerías y veredas).	Carta Topográfica 1:50,000 INEGI, 1988.
Proximidad a fuentes de energía eléctrica	Es necesaria una buena proximidad y acceso para requerimientos como bombeo, aireación, refrigeración y mantenimiento de otras instalaciones de una granja. Además constituye una fuente más barata y menos contaminante que el uso de generadores basados en diesel o gasolina.	Localización de las poblaciones dentro y próximas al parque, que pueda proveer de energía eléctrica.	Carta Topográfica 1:50,000 INEGI, 1988.

Fuente: Modificada sobre la base de Díaz, 1998.

calidad de los datos, así como de la reciente edición de los mapas.

A cada factor se le dio un tratamiento e interpretación acorde con criterios numéricos y cualitativos que han sido aplicados y publicados por distintos autores e instituciones, con el

fin de representar espacialmente la influencia de cada factor en la determinación de las diferentes potencialidades. Así, fueron realizadas varias operaciones, con la ayuda del SIG, que a su vez facilitaron que los factores fueran ponderados, de acuerdo con una escala normali-

TABLA 2
CRITERIOS PARA ESTABLECER LA APTITUD DEL TERRENO EN CADA MAPA-FACTOR, PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ACUÍCOLA DEL PARQUE NACIONAL LAGUNAS DE CHACAHUA

Factores	Clase 4 Potencial Alto	Clase 3 Potencial Moderado	Clase 2 Potencial Marginal	Clase 1 Potencial Inadecuado
Uso del suelo y vegetación	Áreas abiertas por actividades humanas donde ya ha sido alterada la vegetación natural; su uso para la acuicultura generaría menor impacto al parque: agricultura de temporal, cultivos permanentes, pastizal inducido.	Áreas con vegetación natural, pero debido a sus características muestran afinidad y potencial para el desarrollo de proyectos acuícolas: vegetación halófila, vegetación de palmar.	Áreas con vegetación natural pero afectadas por desmontes y otros impactos, y que en la actualidad presentan el desarrollo de vegetación secundaria: vegetación secundaria de selva baja caducifolia, vegetación secundaria de selva baja subperennifolia, vegetación secundaria de selva mediana subcaducifolia, vegetación secundaria de selva media subperennifolia.	Áreas que mantienen la vegetación natural original y que no presenta afectaciones. Vegetación de manglar: selva baja caducifolia, selva baja subperennifolia, selva baja inundable, selva baja espinosa, selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperennifolia, selva mediana inundable, dunas costeras, vegetación de galería, vegetación de tular.
Proximidad a los recursos acuáticos	Muy adecuado, bajos costos y poco daño al ambiente (p.e. en la construcción de canales para los estanques). Proximidad de: 0-1 km a lagunas perennes, línea costera y Río Verde. 0-250 m a lagunas y ríos intermitentes.	Moderadamente adecuado, algunos costos y daño al ambiente. Proximidad de: 1-2 km a lagunas perennes, línea costera y Río Verde. 250-500 m a lagunas y ríos intermitentes.	Proximidad marginal, altos costos y daño al ambiente. Proximidad de: 2-3 km a lagunas perennes, línea costera y Río Verde. 500-750 m a lagunas y ríos intermitentes.	Sitios distantes, altos costos, daño al ambiente. Proximidad: >3 km a lagunas perennes, línea costera y Río Verde. >750 m a lagunas y ríos intermitentes.
Suelos	Suelos arcillosos, con baja permeabilidad. Textura fina muy útil para la construcción de estanques: gleysol calcárico y gleysol mólico.	Suelos con moderada capacidad de drenaje. Textura fina a media, útil para la construcción de estanques: solonchak takírico, feozem gléyico, feozem calcárico y feozem háplico, feozem calcárico y fluvisol calcárico, feozem háplico y regosol eútrico.	Suelos que presentan cierta dificultad para construir estanques. Suelos aluviales, suelos pegajosos. Textura media a gruesa: fluvisol tiónico, fluvisol calcárico y feozem calcárico, regosol eútrico, feozem háplico y litosol.	Suelos con alta permeabilidad muy inadecuados para la construcción de estanques. Textura gruesa. regosol eútrico, litosol.
Topografía	Áreas con altitudes menores a 20 msnm y que presentan pendientes del 0 al 2%.	Áreas con altitudes por arriba de los 20 msnm hasta los 240 m.s.n.m. (altitud máxima del área de estudio), y con pendientes del 2 al 30%.	Áreas con altitudes por arriba de los 20 msnm hasta los 240 msnm y con pendientes mayores al 30%.	Áreas con altitudes por arriba de los 20 msnm hasta los 240 msnm y con pendientes mayores al 30%.
Proximidad a los caminos	Mayor proximidad, muy buen acceso y bajos costos de transporte: Camino pavimentado 0-2 km. Terracería 0-1 km. Vereda 0-500 m.	Proximidad moderada, buen acceso y bajos costos: Camino pavimentado 2-3 km. Terracería 1-2 km. Vereda 500 m-1 km.	Proximidad marginal, alguna dificultad de acceso, altos costos: Camino pavimentado 3-4 km. Terracería 2-3 km. Vereda 1-1.5 km.	Sitios más distantes, pobre accesibilidad y altos costos: Camino pavimentado >4 km. Terracería 3 km. Vereda 1.5 km.
Proximidad a fuentes de energía eléctrica	(0-1 km) muy buena proximidad a una fuente de electricidad. Buena localización en términos de abastecimiento de energía.	(1-2 km) buena proximidad a una fuente de electricidad. También con alto potencial.	(2-3 km) cierta lejanía a una fuente de electricidad, pero aún con potencial, presentándose dificultades para alcanzar dicha fuente.	(>3 km) demasiado lejos de las fuentes de energía, altos costos. Es necesario el uso de generadores para el bombeo.

Fuente: modificada sobre la base de Díaz, 1998.

zada de clasificación de 1 a 4, siendo 4 el valor de mayor potencial (Tabla 2). Si bien la normalización aplicada tiene cierto nivel de subjetividad, ésta se basó en el trabajo de Aguilar (1996). Dicho autor tomó en consideración un número de metodologías de clasificación-normalización para el uso del suelo (método de la FAO, limitantes, paramétrico, booleano y fuzzy), por lo que, de acuerdo a la naturaleza de los datos del presente estudio, se asumió que la clasificación de la FAO ofrecía la mejor forma de representación de la información. Dicha clasificación se basa en las limitantes de los atributos o propiedades de la información de determinada superficie terrestre.

Para el factor de topografía, que involucra las altitudes y las pendientes del terreno, sólo fue posible definir tres clases de potencial (ver Tabla 2). Esto se debió a las características del área de estudio, pues al existir un relieve casi plano, se presenta una amplia carencia de información altitudinal en la cartografía topográfica a escala 1:50,000; lo cual generó un resultado burdo, al calcular la interpolación mediante las curvas de nivel, que no permitió la confección de un mapa estándar de pendientes. Es por ello, que fue necesario integrar las clases 2 y 3 en una sola, definida con potencial moderado y marginal para la acuicultura.

Para la construcción del mapa de pendientes, primero se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la aplicación de un modelo de interpolación lineal y mediante la representación raster de las curvas de nivel. El valor de la pendiente para cada pixel se obtuvo considerando el tamaño del mismo y los valores de pendiente del pixel en cuestión con respecto a los pixeles vecinos más cercanos (hacia arriba, abajo, derecha e izquierda), la pendiente final de ese sitio es el vector que resulta de la integración de las pendientes, tanto en el sentido de las filas como en el de las columnas [Eastman, 1997; Bosque *et al.*, 1994].

Una vez obtenidos los mapas de los factores que representan espacialmente las áreas con distinto potencial (Figura 4), se dió paso al procedimiento de elección entre alternativas y

de comparación de los factores entre sí, utilizando el método de evaluación con multicriterios. Este método ha sido aplicado cada vez más por los tomadores de decisiones y planeadores para determinar el sitio más adecuado, o con mayor potencial, para el establecimiento de instalaciones, unidades y/o empresas productivas o para el desarrollo de proyectos [Eastman, 1995 y 1997].

Aun cuando los SIG incluyen poderosas herramientas para el manejo de información y análisis espacial, como las técnicas de sobreposición (*overlay*), éstas se ven restringidas cuando se presentan varias capas. Durante mucho tiempo la capacidad de los SIG para resolver problemas de localización/asignación de recursos, localización óptima de usos del suelo o actividades económicas, estuvo limitada a tipos de análisis elementales de sobreposición de capas de información, que además, revelaban una carencia de funcionalidad analítica, y evidenciaban algunas insuficiencias de las herramientas habitualmente incluidas en los SIG comerciales. La sobreposición de mapas sólo puede lograr, la identificación de áreas que simultáneamente satisfacen todos los criterios especificados. Sin embargo, los mapas resultantes son difíciles de comprender cuando más de cuatro o cinco factores son involucrados, además de que no informan al usuario dónde se localizan los sitios que representan las posibilidades más prometedoras para el desarrollo [Carver, 1991].

Es por ello, que la integración de distintos métodos de evaluación con multicriterios y los SIG han generado una potente herramienta de análisis espacial, ampliando sus posibilidades

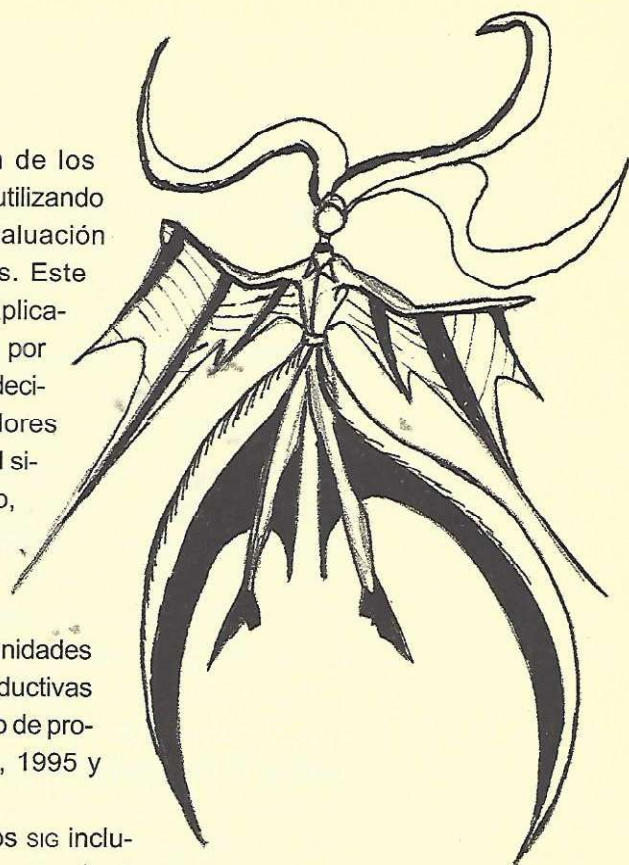


TABLA 3
DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE IMPORTANCIA RELATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE LA ESCALA DE 17 NIVELES JERÁRQUICOS DE LA TABLA 4

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

Fuente: Saaty, 1977; tomado de Aguilar, 1996.

en la resolución de problemas territoriales complejos e incrementando, con ello, la capacidad operativa de estos sistemas en ciertas aplicaciones concretas de la planeación ambiental y el ordenamiento territorial [Barredo, 1996]. La unión de ambas técnicas a revolucionado el tratamiento de datos temáticos, para asistir de mejor manera a los procesos de toma de decisiones y búsqueda de soluciones con el fin de investigar un número de alternativas a la luz de múltiples criterios y objetivos. Con esto, ha sido posible la generación de soluciones "compromiso" mediante la jerarquización de alternativas de acuerdo a su grado de atracción o significancia, sobre la base de una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) que, asimismo, indicará el tipo de regla de decisión y los criterios a utilizar (*Op. cit.*).

La estructura matemática que permite describir la toma de decisiones multidimensional y la teoría de la optimización en la que se basa la evaluación con multicriterios, se hace a través de una matriz. El punto clave es la integración de todos los factores en una matriz de decisión o evaluación (columnas = factores o alternativas; filas = criterios, y en el interior, las puntuaciones de los criterios, Tabla 2). Estas

puntuaciones representarán el valor o nivel de deseabilidad que ha obtenido cada alternativa en cada criterio. Es a partir de aquí, que los distintos métodos de multicriterios basan todo su funcionamiento intrínseco para lograr la evaluación de las alternativas. En esta parte se debe resaltar la importancia de la asignación de valores a las alternativas, ya que generalmente los criterios a evaluar no están medidos en escalas de intervalo o razón, sino que se presentan frecuentemente en escala nominal, es así como recae en los tomadores de decisiones la responsabilidad de la asignación de valores cuantitativos a las categorías correspondientes a cada criterio, según una serie de referencias previas, lo que marca indudablemente en esta etapa el resultado del proceso de evaluación [Barredo, 1996].

Para establecer el peso de los criterios, así como las puntuaciones para cada alternativa, existen distintas aproximaciones; una de ellas es la aplicada en este trabajo, conocida como *Proceso Analítico Mediante Jerarquías* (PAMJ) o *Proceso Jerárquico Analítico* (PJA). Este procedimiento fue desarrollado teóricamente, y fuera del contexto de un SIG, por Saaty en 1977. Más tarde fue integrado y aplicado con IDRISI por Eastman (1995 y 1997) e Eastman et al. (1993

y 1995), y utilizado para evaluar el potencial de la acuicultura por Aguilar (1996), y Kapetsky y Nath (1997). Este método, difundido en IDRISI como de *Combinación Lineal Ponderada* (CLP), se basa en el establecimiento de una conocida como matriz de comparación de pares de factores o comparación *pareada*, que tiene como fin organizar y representar la relación de los criterios y alternativas considerados. Esta matriz permite establecer jerarquías o pesos para los factores, asignando así, a cada uno de ellos, un valor relativo de ponderación frente a los demás, basado en juicios de valor o niveles de importancia (Tabla 3).

La matriz construida es simétrica o cuadrada; en ella, el número de filas y de columnas está definido por el número de factores a evaluar. Cada columna y fila de la matriz se etiqueta con el nombre de uno de los factores (en el mismo orden, en ambos ejes, de izquierda a derecha en las columnas y de arriba hacia abajo en las filas). Sólo se evaluará el triángulo inferior izquierdo, ya que el superior derecho es simétrico. A continuación se rellenan las celdas, comparando la importancia relativa del factor de cada fila con relación al factor de su columna correspondiente; avanzando de columna a columna, de izquierda a derecha. Los factores se

valoran entre sí, aplicando una escala continua de 17 valores o jerarquías (Tabla 4), con el fin de asignar la mayor o menor importancia de un factor con respecto a otro. Con esta comparación por pares se obtienen los pesos de los factores, que sumados dan un valor de 1.

La matriz es recíproca, es decir, los valores asignados a ambos lados de la diagonal son inversos. Por ejemplo, si se considera que la proximidad a los caminos, es moderadamente más importante que la pendiente del terreno, en la determinación de las zonas más adecuadas para la acuicultura, se asigna en la celda un valor de 4, por consiguiente la pendiente del terreno será 1/4 veces menos importante que la proximidad a los caminos. Con esto, la asignación de valores se reduce a la diagonal y mitad inferior izquierda; obviamente en la diagonal de la matriz solamente se asignan valores de 1, que denotan la igualdad consigo mismo en la comparación de cada factor. De igual forma, si dos factores tienen la misma importancia, independientemente que ésta sea grande o pequeña, se les otorgará un valor de 1.

La escala de medida establecida para el llenado de la matriz es una escala numérica continua (*ratio* o razón) de 17 valores, que va desde un valor mínimo de 1/9 (el menos im-

TABLA 4
ESCALA DE LAS 17 JERARQUÍAS DE IMPORTANCIA RELATIVA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE PARES DE FACTORES O
VARIABLES DECISIÓN (VER 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
Extremada		Fuerte		Moderada		Ligera		Igual		Ligera		Moderada		Fuerte		Extremada
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 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* (ver tabla 5), con respecto a la variable de la columna de la misma matriz. Por ejemplo, si el experto considera que la variable *proximidad a la energía eléctrica* es *moderadamente menos importante* que el *uso del suelo y vegetación* entonces el valor a escoger es 1/5 (Fila 6, columna 1, de la matriz de la tabla 5). Fuente: modificado de Eastman 1997.

portante), hasta 9 (el más importante), indicando el valor 1 igualdad entre los factores (ver Tabla 4 y su nota explicativa). Basándose en esta escala es posible asignar a cada par de factores un juicio de valor, de importancia relativa frente a una actividad u objetivo propuesto que determine la capacidad de acogida de cada uno de los pixeles, para obtener un mapa idóneo u óptimo en el mismo rango de valores que los mapas de entrada, a partir del cual se realizará la selección final.

El procedimiento en el módulo correspondiente de IDRISI (Weight) comienza multiplicando cada factor por su peso de factor/compensación, y posteriormente, se suman los resultados. Éstos serán multiplicados por las áreas de restricción (de tipo booleano, con valor 0), definiendo así, las áreas de exclusión. Este procedimiento se caracteriza porque existe una compensación entre los factores: un factor con un peso elevado puede compensarse por la baja idoneidad de los factores que tienen pesos menos altos. Además, a mayor peso del factor, es mayor su influencia en el mapa final. La rutina de este módulo emplea un procedimiento de cálculo por medio del *eigenvector* principal de la matriz de comparación pareada [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, el valor del recíproco de su celda correspondiente en la porción triangular inferior izquierda de la misma. Después hay que sumar los

valores de cada columna, para obtener un valor total parcial. 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. Enseguida hay que obtener el promedio aritmético para cada una de las filas de la nueva matriz, estos valores, en fracciones decimales, corresponden con el peso de cada factor y su suma debe ser de 1. El resultado del anterior procedimiento será muy similar al que se obtiene cuando se usa el método dentro de IDRISI (Eastman, 1997).

5. RESULTADOS

En la Tabla 5 se presenta la matriz de comparación y los pesos obtenidos a partir de la evaluación con multicriterios. Así a cada pixel le fue asignado un valor, obtenido del producto del coeficiente de ponderación del factor (ver Tabla 5, columna pesos) y el potencial del pixel específico correspondiente a ese factor (alto, moderado, marginal o inadecuado), obteniendo el mapa final del potencial general para el desarrollo de la acuacultura (Figura 5), en las mismas cuatro categorías de los mapas/factor consideradas en este trabajo.

Cabe señalar que el proceso de multicriterios aplicado proporciona un índice de consistencia de la matriz, lo cual indica la probabilidad de que los valores hayan sido asignados aleatoriamente. Valores inferiores a 0.10 indican buena consistencia; cuando los valores exceden esa cantidad será necesario volver a evaluar la matriz. En este trabajo el índice obtenido fue de 0.09 es decir aceptable, mostrando que existe un buen ajuste entre la comparación por pares y disminuyendo la incertidumbre de la regla de decisión aplicada.

Los resultados obtenidos muestran de forma objetiva algunas oportunidades para el desarrollo de la acuacultura costera de camarón en el PNLC. Se presenta la localización de sitios con alto potencial para la implementación de unidades de producción acuícola,

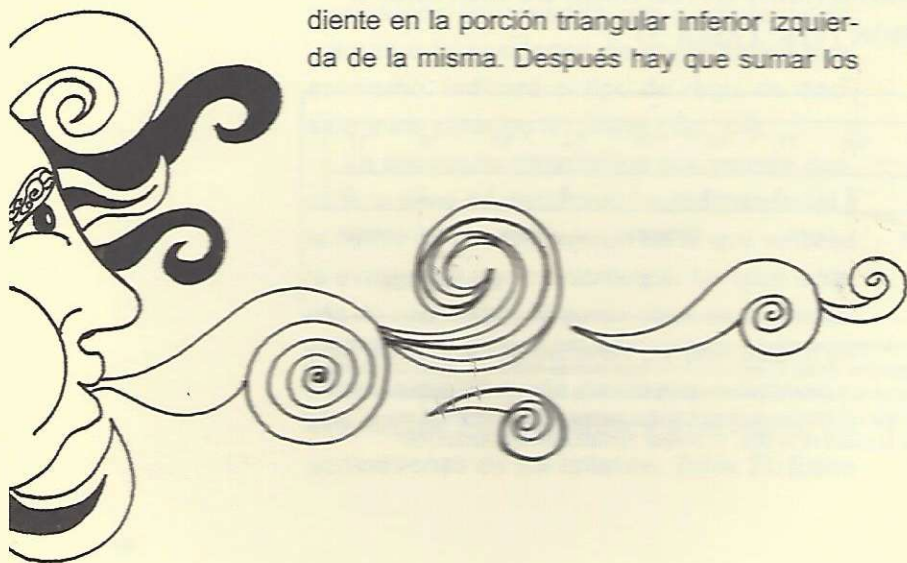


TABLA 5

PESOS RELATIVOS DE LOS FACTORES UTILIZADOS PARA ESTIMAR EL POTENCIAL ACUÍCOLA EN EL PARQUE NACIONAL LAGUNAS DE CHACAHUA, OBTENIDOS A PARTIR DEL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA

Factores	Uso del suelo y vegetación	Agua	Suelos	Topografía	Caminos	Energía eléctrica	Pesos
Uso del suelo y vegetación	1						0.2977
Agua	1	1					0.3001
Suelos	1/2	1/2	1				0.2075
Topografía	1/5	1/3	1/3	1			0.1217
Caminos	1/4	1/8	1/8	1/7	1		0.0400
Energía eléctrica	1/5	1/8	1/5	1/5	1/2	1	0.0330
Suma	-	-	-	-	-	-	1.0000

Nota: Como ejemplo, en la columna *Agua*, el valor central de $1/3$ señala que el factor o variable decisión *topografía* es *ligeramente menos importante* que el factor o variable decisión *proximidad a los recursos acuáticos*. 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 factores se explica en el texto.

además de un inventario de la extensión disponible para los distintos niveles de potencialidad. Para ello, existen 30.2 ha (0.4% del área total) apropiadas para proyectos acuícolas; 1998.4 ha (27.4%) con potencial moderado; 5177.2 ha (71.0%) con potencial marginal, y 92.4 ha (1.2%) fueron considerados como inadecuadas, pero aún con algún potencial.

Como se observa en la Figura 5 existe un potencial alto sólo en algunas zonas, sin embargo, se puede afirmar que de acuerdo al análisis y a los criterios aplicados son esos los sitios que conjuntan las mejores condiciones para el desarrollo de la acuicultura.

Haciendo una revisión de la clase y las superficies con mayor potencial, se pueden identificar dos zonas. La primera de ellas se localiza al oeste y sur de la laguna Salina Grande, y está compuesta por una serie de pequeñas áreas (a excepción de la más próxima al Río Verde) que se extienden de oeste a este en una especie de franja discontinua. La segunda zona se localiza al norte de la laguna de Pastoría, muy próxima a las desembocaduras de los ríos Chacalapa y San Francisco.

Se evaluó la primera de las zonas, ésta presenta una buena proximidad al agua provenien-

te de la línea costera y de la laguna Salina Grande, además de que el área de mayor extensión tiene accesibilidad al agua dulce del Río Verde que es un importante recurso para el sistema semi-intensivo de cultivo. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la disponibilidad del agua proveniente de Salina Grande es irregular, ya que durante la época de secas la laguna pierde agua en gran parte de su superficie. La topografía, los usos del suelo y la vegetación son los de mayor potencial, no así los tipos de suelo que en algunas áreas son de potencial moderado. En lo que se refiere a los caminos, éstos presentan un potencial alto en las áreas próximas al Río Verde, y moderado en las áreas cercanas a la laguna de Chacahua. El acceso a la electricidad va de moderado hacia la parte oeste, hasta inadecuado en las áreas al sur de Salina Grande. Las principales limitantes en esta zona son, como ya se ha señalado, el irregular acceso al agua, en especial al agua dulce, ya que algunas áreas se encuentran muy distantes al recurso. Asimismo los caminos y la energía eléctrica son un poco inaccesibles.

La segunda zona con el potencial más alto presenta entre sus principales ventajas una

buena proximidad al agua de la laguna de Pastoría, así como al agua dulce proveniente de los ríos San Francisco y Chacalapa, aunque para estos últimos hay que tomar en cuenta la intermitencia de sus corrientes, el déficit e incluso la desaparición de su caudal durante el estiaje. El tipo de suelo es de potencial moderado, no así la topografía, el uso del suelo y la vegetación que presentan un potencial elevado para la acuacultura. En cuanto a los caminos, su potencial aumentaría si se acondicionarán las veredas y caminos de terracería de la zona y los que pasan por La Pastoría, así como un camino de acceso adecuado hacia la carretera federal número 200, la cual está muy próxima a la zona y elevaría considerablemente su potencial. El acceso a la electricidad es alto en general, influenciado por su proximidad con La Pastoría. Las principales limitantes en esta zona son causadas por la falta de agua dulce durante gran parte del año, así como por la necesidad de acondicionar y pavimentar los caminos existentes.

En cuanto a las superficies con potencial moderado, estas áreas presentan en conjunto un uso del suelo y la vegetación del más alto potencial, así como un buen acceso a los recursos acuáticos. La topografía es la adecuada, no así los suelos, que en algunos casos llegan a ser inadecuados (sobre todo en las áreas próximas al litoral). Por otra parte, es necesario considerar que algunas áreas presentan una muy baja accesibilidad a los caminos y a la electricidad, sobre todo aquellas ubicadas al norte y noroeste de la laguna de Chacahua, y las áreas próximas a la localidad de El Corral (el centro del parque). Cabe mencionar que algunas de las áreas de esta clase se podrían favorecer, ya que se encuentran próximas a las localidades incluidas en el estudio.

En lo referente a las superficies con potencial marginal básicamente se presentaron en los lugares donde el uso del suelo y la vegetación resultó inadecuado para proyectos acuícolas, así como las áreas donde la topografía tuvo una gran influencia como limitante. Los suelos, así como la inaccesibi-

lidad a los caminos y a la energía eléctrica, también tuvieron su efecto en determinar el bajo potencial de estas superficies.

Finalmente, las superficies consideradas como inadecuadas presentan la más alta incidencia de factores con potenciales marginales e inadecuados. Con esta perspectiva y los criterios incluidos, cualquier proyecto acuícola en estas áreas enfrentaría grandes problemas, que lo harían inoperable y poco rentable. La conclusión es la misma para aquellas áreas con potencial marginal, ubicadas en los cerros y lomeríos donde la elevación y las pendientes del terreno son el factor limitante.

6. CONCLUSIONES

El estudio revela que utilizando una serie de elementos reales en combinación con un SIG, que influyen en la selección del lugar para el desarrollo de la acuacultura, fue posible localizar y evaluar zonas con distinto potencial para la implementación de unidades de producción acuícola, dentro del PNLC. Así, un grupo de factores y restricciones pudieron ser 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, la aplicación de un método con multicriterios, y la generación de cartografía, que puede servir de apoyo para la toma de decisiones sobre el lugar.

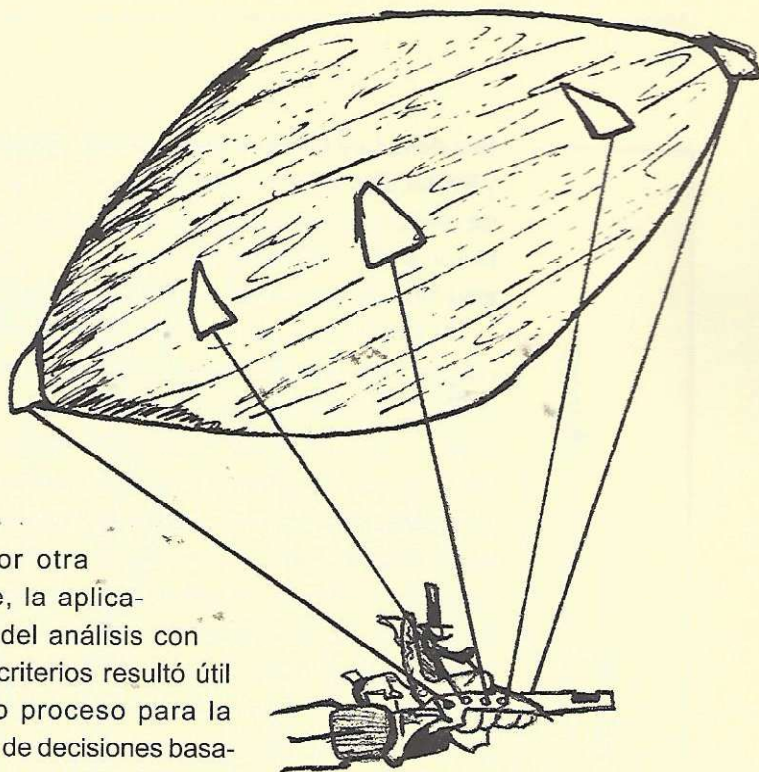
Los resultados de este estudio son indicativos de algunas oportunidades para el desarrollo de la acuacultura costera de camarón y tienen propósitos de una planeación general de "gran visión" y justificación de futuros proyectos. Es necesario llevar a cabo estudios más específicos de campo y con mayor detalle para verificar las áreas identificadas como potenciales. Entonces sería factible realizar mapas y planos más detallados de microlocalización geográfica con levantamientos topográficos, ya que de acuerdo con la *Ley de Pesca*, dicha cartografía debe estar contenida en cualquier solicitud de concesión y de impacto ambiental para el desarrollo de la acuacultura.

Un aspecto que hay que tomar en cuenta y que se puede considerar como una desventaja dentro del método multicriterio empleado es la asignación subjetiva de pesos relativos a los factores considerados. El método requiere de la transformación de los datos de una escala nominal, a una escala ordinal o de razón, en la cual sea factible la utilización aritmética de las variables. Este procedimiento supone altos grados de subjetividad, ya que deben establecerse juicios de valor humano. Es por ello que se consideró llevar a cabo la valoración basándose en la experiencia y los criterios de "expertos", que han aplicado sus estudios en instituciones como la FAO, en el Departamento de Pesca; la Universidad de Stirling, en el 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 y los valores asignados están sostenidos por la información de trabajos anteriores y clasificaciones establecidas de ciertas variables del análisis de los acontecimientos previos del área en estudio. Esta información se encuentra publicada en tesis, artículos e informes previos, que hacen que la asignación de ponderaciones y los resultados tengan solidez y justificación.

La selección de factores y criterios aplicados en este trabajo no es arbitraria, ya que se basó en la revisión de la literatura, así como en la consulta y los comentarios de expertos relacionados con este tipo de estudios. Es claro que mientras más gente haya manejado y aplicado dichos criterios y asignado valores, las posibilidades de incertidumbre en la jerarquización de los factores se reducen, por lo que la probabilidad de acercamiento a las condiciones reales, aumenta considerablemente. Además, la asignación de jerarquías de importancia por el método de la escala de 17 puntos constituye una aproximación válida para la ponderación de criterios, menos subjetiva para integrar información en el SIG, que si se compara con los análisis tradicionales de sobreposición de mapas, en donde se da un peso semejante a todas las capas de información.

Por otra parte, la aplicación del análisis con multicriterios resultó útil como proceso para la toma de decisiones basadas en un sólo objetivo y con alternativas múltiples de selección, así como para establecer la importancia relativa entre los distintos factores. La integración de este método con los SIG, convierten a estos últimos en herramientas altamente eficaces para efectuar, de forma más rápida y eficiente, complejas interacciones entre diversos factores, proporcionando al investigador o al tomador de decisiones, resultados más racionales y objetivos.

Por otro lado, se debe apuntar que el área en estudio se distingue, como lo señala Huerta (1998), por una singular contradicción geográfica que posee dos evidentes contextos contrapuestos: por un lado su situación de parque nacional, con las regulaciones pertinentes; por otro, la esencial presencia humana (alrededor de 3 mil habitantes) derivada de un ancestral proceso de poblamiento con condiciones socioeconómicas y ambientales de sobrevivencia. Del mismo modo, y como ha sido señalado, el área ha sido considerada, tanto por este trabajo como por otros, con características para el desarrollo de proyectos acuícolas de camarón; sin embargo, otros autores [p.e. SEPESCA, 1993 y Calderón, 1999] también han sugerido que se debe revisar y resolver el hecho de que la zona pertenece a una área natural protegida, con actividades productivas restringidas y bajo la tu-



tela de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), lo que impide realizar actividades cinegéticas o de explotación y aprovechamiento de la flora y la fauna silvestres en las zonas núcleo.

Al respecto, cabe señalar que la misma LGEEPA [SEMARNAP, 2000b] menciona en sus Artículos 62, 64, 64 bis1 y 66, Título Segundo, Capítulo I, Sección III del 13/07/1999, que en las áreas naturales protegidas podrán ser modificados los usos permitidos del suelo a través del otorgamiento o expedición de permisos, licencias, concesiones, o en general, de autorizaciones para la exploración, explotación o aprovechamiento de recursos; la SEMARNAP podrá gestionar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, y el desarrollo de actividades productivas y de infraestructura contenidas en el programa de manejo del área protegida. Por lo anterior, se asume la viabilidad legal para la realización de actividades acuícolas en el parque nacional, siempre y cuando cumplan con las especificaciones dictadas por la ley, las normas oficiales y demás reglamentos.

Dentro de este mismo contexto, en años recientes, el Centro para el Manejo Integrado de Recursos Naturales (CIRNAC), como parte de una estrategia alternativa para la problemática que vive la pesca ribereña en toda la península de Yucatán, ha realizado proyectos, referidos en Hirose (1995), enfocados a la promoción de la camaronicultura sustentable en áreas naturales protegidas de la costa de Yucatán (las Reservas de la Biosfera "Ría Lagartos" y "Ría Celestún"), en las cuales se han tenido resultados satisfactorios. Para ello se han planteado opciones de manejo como:

1. Utilización de especies nativas, para la distribución local o regional.
2. Implementación de sistemas semi-intensivos, basados en criterios sustentables.
3. Reciclaje de nutrientes y aprovechamiento de subproductos como insumos para el mismo sistema.
4. Incorporación del conocimiento tradicional local de los ambientes y las especies, así como

una amplia participación de los lugareños en la elaboración de los proyectos, a fin de que éstos satisfagan sus necesidades.

De la misma forma, en la zona del PNLC, desde hace algún tiempo se han presentado acciones, así como una nueva conciencia entre los pobladores, para la conservación y el aprovechamiento de especies animales amenazadas, como: la reproducción en cautiverio de la iguana verde y negra; la existencia de un criadero de cocodrilos, y la protección de la tortuga golfina y al caracol púrpura. Con esto último, se pretende justificar de alguna manera, los antecedentes y la posibilidad de llevar a cabo este tipo de estudios en áreas naturales protegidas, mientras que se busque el desarrollo de una acuacultura congruente con las necesidades sociales, los procesos ecológicos y el uso eficiente de los recursos [Hirose, 1995].

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos el apoyo y la información proporcionada por el personal del Laboratorio de Acuacultura y Producción Acuática de la Facultad de Ciencias de la UNAM, en especial, al M. en C. José Latournerié Cervera; así como al Biólogo Adolfo Lara Vázquez del Instituto Nacional de la Pesca (SEMARNAP). Agradecemos también a las autoridades del Instituto de Geografía de la UNAM y a su *Programa de Becas (PBLg)* el apoyo otorgado para la realización de este artículo. Reconocemos, asimismo, la importancia de los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos.



FIGURA 3
MAPA DE ZONAS CONSIDERADAS COMO RESTRICTIVAS PARA LA ACUACULTURA EN EL ANÁLISIS DE ÁREAS POTENCIALES, PARA EL ESTABLECIMIENTO DE GRANJAS ACUÍCOLAS.

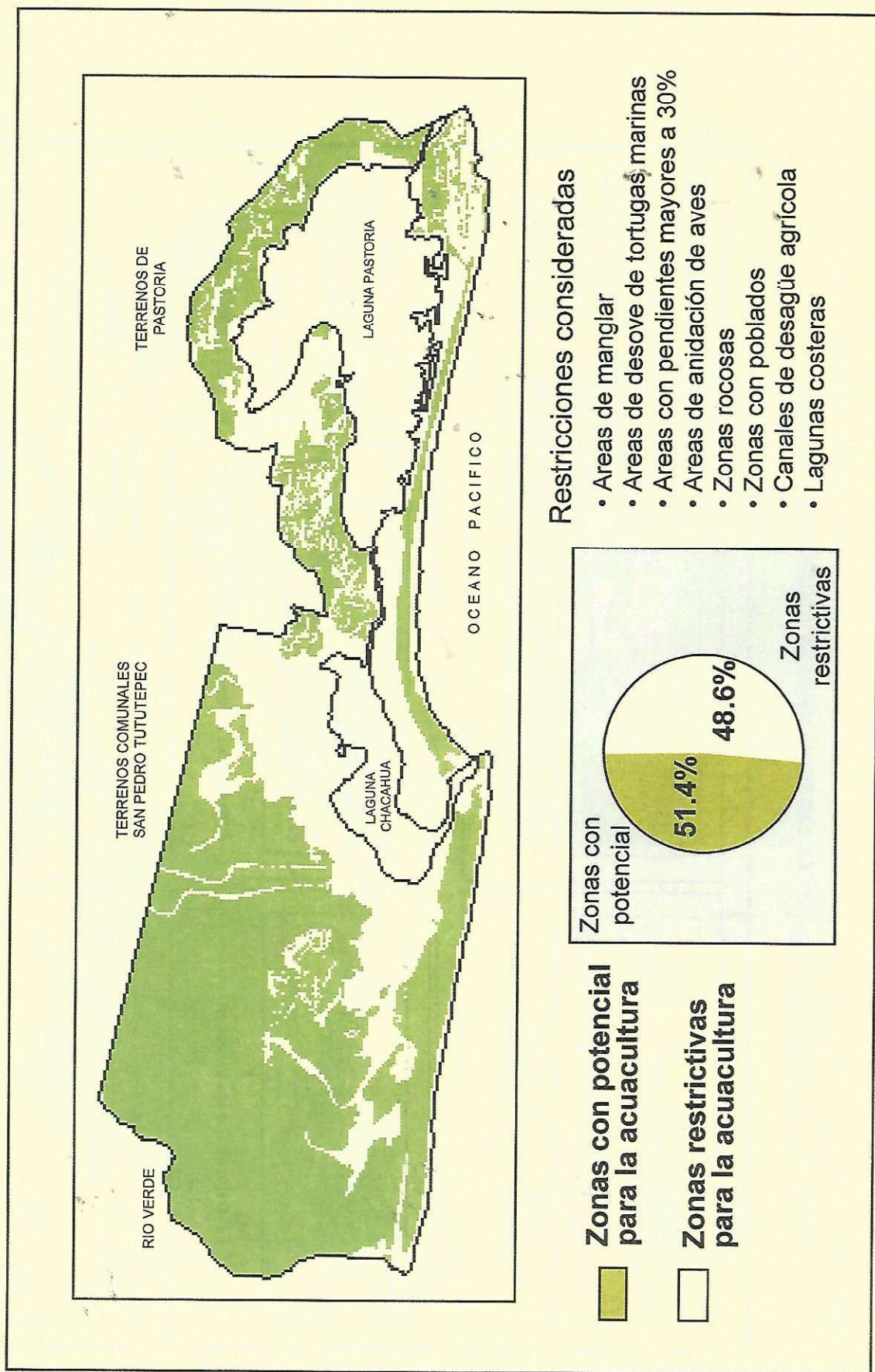


FIGURA 4
MAPAS DE LOS SEIS FACTORES O VARIABLES DECISIÓN CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN, MULTICRITERIO Y ÁREAS
CON ALGUNO DE LOS CUATRO NIVELES DE POTENCIALIDAD.

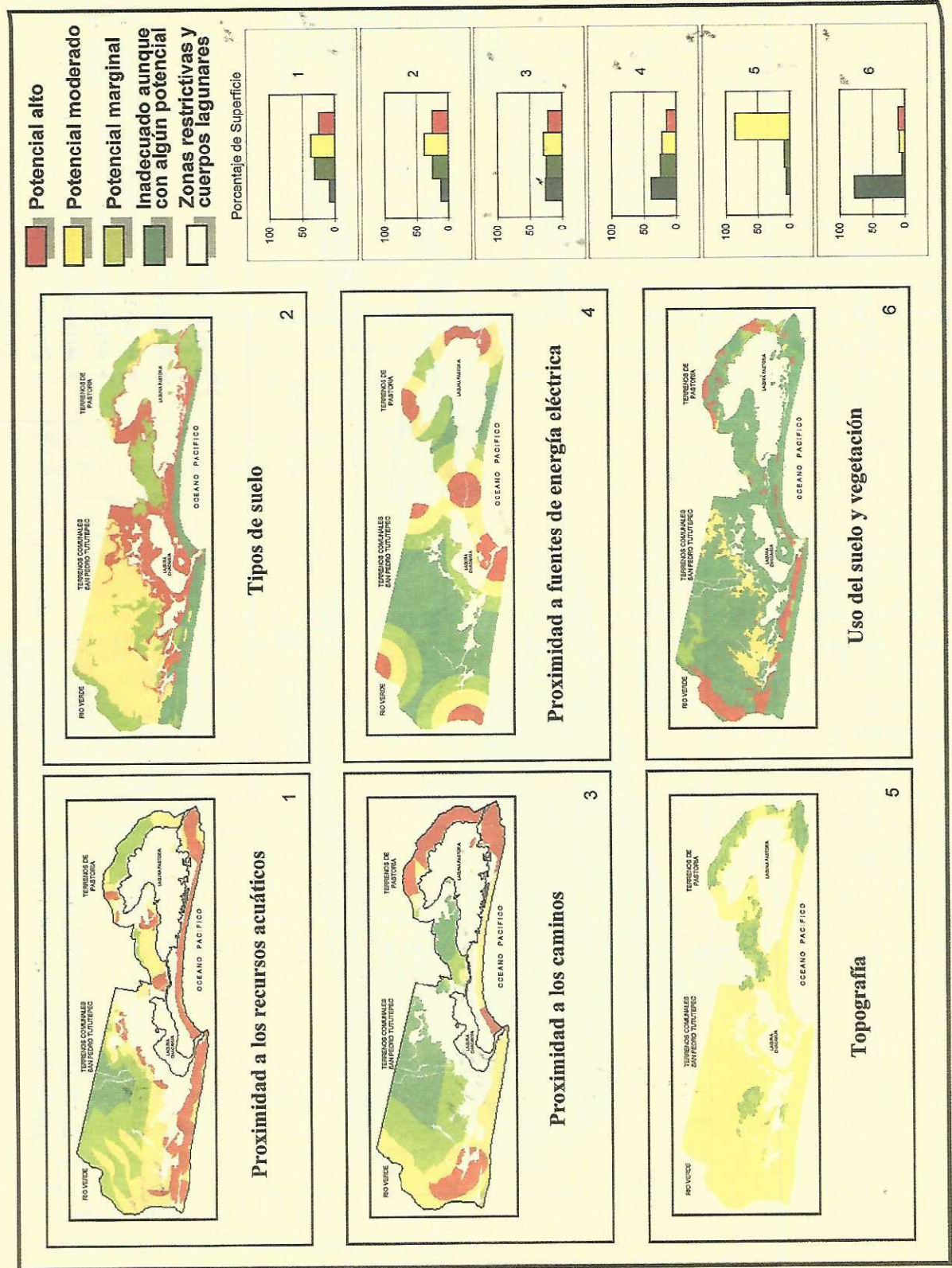
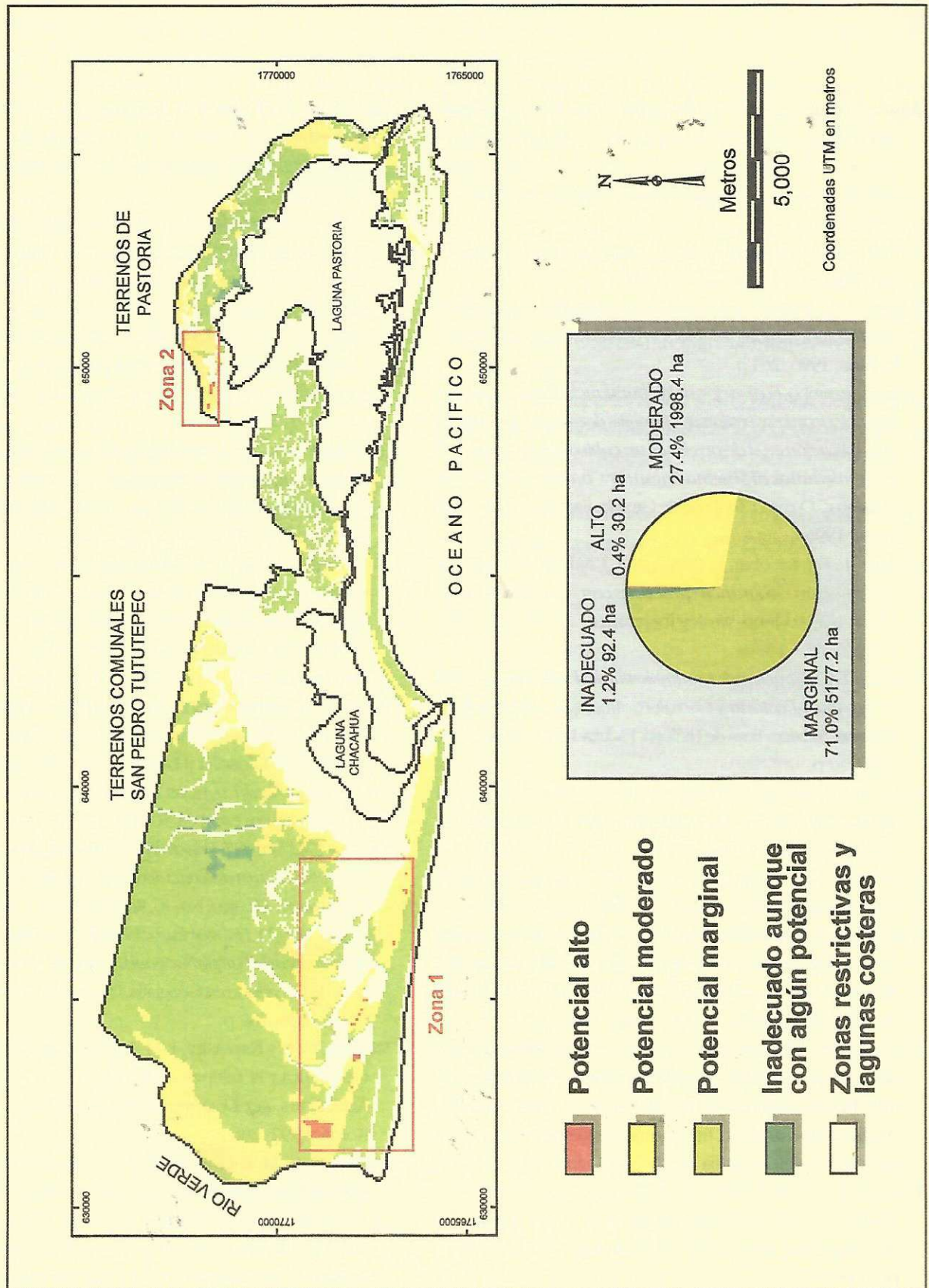


FIGURA 5
MAPA FINAL DE NIVELES DE POTENCIALIDAD ACUÍCOLA COSTERA DE CAMARÓN, EN EL PNLC, OAXACA, OBTENIDO A PARTIR DE LA EVALUACIÓN CON TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO.



BIBLIOGRAFÍA

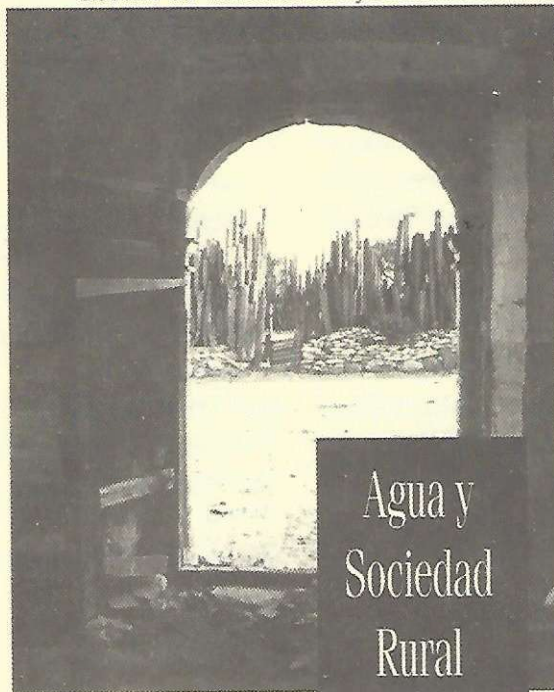
- Aguilar Manjárez, J., *Development and evaluation of GIS-based models for planning and management of coastal aquaculture: a case study in Sinaloa, Mexico*, Thesis Doctor of Philosophy, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland U.K., 1996, 375 p.
- Aguilar Manjárez, J. y Ross L. G., GIS enhances aquaculture development, *GIS World* 8 (3), 1995, pp. 52-56.
- Barredo, C. I., *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio (en la ordenación del territorio)*, Ed. Ra-ma, España, 1996, 264 p.
- Biología de campo, *Evaluación de la abundancia y algunos índices fisiocológicos de las postlarvas y juveniles de camarones peneidos y su aplicación en el desarrollo de un cultivo semi-intensivo en áreas aledañas al Sistema Lagunar Chacabua-Pastoría, Tututepec, Oaxaca*, Biología de Campo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1996.
- Bosque, J., F. J. Escobar, E. García, Ma. J. Salado, *Sistemas de Información Geográfica (prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI)*, Ed. Ra-ma, Addison-Wesley Iberoamericana, EEUU., 1994, 478 p.
- Calderón, F. C., *Caracterización ambiental de dos lagunas costeras (Chacabua-Pastoría y Corralero-Alotengo), del estado de Oaxaca, México*, Tesis de Bióloga, Facultad de Ciencias, UNAM, 1999, 40 p.
- Carver, S., Integrating multi-criteria evaluation with Geographical Information Systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5, No. 3, 1991, pp. 321-339.
- Contreras, E. F., *Ecosistemas costeros mexicanos*, Ed. Comisión Nacional de Biodiversidad y UAM, México, 1993, 415 p.
- Díaz Salgado, J., *Evaluación del potencial acuícola costero mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica: Dos estudios de caso en Oaxaca y Chiapas*, Tesis de Licenciado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1998, 145 p.
- Díaz Salgado, J. y J. López Blanco, *Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG*, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía No. 41:62-80, UNAM, 2000, México.
- Eastman, J. R., P. A. K. Kyem, y J. Toledano. "A Procedure for Multi-Objective decision making in GIS under conditions of competing objectives". *Proceedings, EGIS'93*, 1993, pp. 438-447.
- Eastman, J. R., W. Jin, P. A. K. Kyem, y J. Toledano. "Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions". *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 61(5), 1995, pp. 539-547.
- Eastman, J. R. *IDRISI for Windows user's guide, Version 1.0*, Clark Laboratories for Cartographic Technologies and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA, 1995. 120 p.
- Eastman, J. R. *IDRISI for Windows user's guide, Version 2.0*, Clark Laboratories for Cartographic Technologies and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA, 1997. 201 p.
- Gutiérrez García, A. *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. 1995, 83 p.
- Hirose López, J. "Camaronicultura sustentable, proyectos en áreas naturales protegidas del estado de Yucatán" en: *Memorias de la reunión técnica sobre cultivo de camarón en el Golfo de México y Mar Caribe*, Campeche, México, noviembre 1994, SEMARNAP e Instituto Nacional de la Pesca, 1995, pp. 22-27.
- Huerta, M. A. *Dinámica espacial de la pesca en el sistema lagunar Chacabua-Pastoría, Oaxaca*, Tesis de Licenciado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1998, 128 p.
- INEGI, *Carta topográfica*, hojas: San José del Progreso, Río Grande y El Zapotalito, escala 1:50,000, México, 1988.
- Kapetsky, J. M. y Nath, S. S. *Una evaluación estratégica de la potencialidad para piscicultura dulceacuícola en América Latina*, COPESCAL, Documento Técnico, No. 10, Roma, Italia, FAO, 1997, 125 p.
- Madrigal Uribe, D. *Hábitat y uso del suelo como indicadores de la problemática del Parque Nacional Lagunas de Chacabua, Oaxaca*, Tesis de Licenciado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1986, 180 p.
- Meaden, G. J. y Kapetsky, J. M. Los Sistemas de Información Geográfica y la Telepercepción en la Pesca Continental y la Acuicultura, FAO, *Documento Técnico de Pesca*, No. 318, FAO, Roma, 1992, 266 p.
- Miguel, G. F., M. L. González y C. J. Latournerié. "Efecto del estrés de salinidad sobre el consumo de oxígeno en juveniles de camarón blanco *Penaeus vannamei*, de la laguna de la Pastoría, Tututepec, Oaxaca", en: *Memorias Primer encuentro regional sobre investigación y desarrollo pesquero costero*:

- Guerrero, Oaxaca y Chiapas, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, 1996, pp. 23.
- Muir, J. F. y Kapetsky, J. M. "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, 1998, pp. 45-63.
- Pacheco, T. J. *Efecto del estrés de salinidad en los requerimientos de energía de tres especies de camarones peneidos en el estado juvenil de los sistemas lagunares Comulero-Alotengo y Chacabua-Pastoría, Oaxaca: diferencias estacionales*, Tesis de Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1998, 49 p.
- Saaty, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. Math. Psychology*, 15, 1997, pp. 234-281.
- SEDESOL. *Plan de manejo integral Parque Nacional Lagunas de Chacabua, Oaxaca*, Secretaría de Desarrollo Social y Técnica Informática Aplicada (TIASA), 1995, 249 p.
- SEFESCA. *Sistema Lagunar Chacabua-La Pastoría, Oaxaca, México*, 1990.
- _____. *Bases para el ordenamiento costero-pesquero de Oaxaca y Chiapas (Aspectos Generales)*, Ed. Secretaría de Pesca y Fondepesca, 1990a, 219 p.
- _____. *Estudios especializados de acuacultura y de ordenamiento ecológico en el Estado de Oaxaca*, Contrato No. DGA-EP-43-93, Secretaría de Pesca y Ecoplaneación Consultores, México, 1993.
- SEMARNAP. *Ordenamientos ecológicos costeros* (<http://beta.semarnap.gob.mx/dga/>), hoja de Internet de la Dirección General de Acuacultura de la Subsecretaría de Pesca, 2000.
- _____. *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas* (<http://www.ine.gob.mx/ucanp/data/>), hoja de Internet del Instituto Nacional de Ecología, 2000a.
- _____. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (<http://www.ine.gob.mx/uaj/lgeepa/index.html>), hoja de Internet del Instituto Nacional de Ecología, 2000b.
- SERBO. *El Parque Nacional Lagunas de Chacabua, actualización de la carta de uso de suelo y vegetación*, Sociedad para el Estudio de los Recursos Bióticos de Oaxaca, Oaxaca, México, 1997, 10 p.
- Valenzuela, R. C. y Baumgardner, M. Selection of appropriate cell sizes for thematic maps, *Int. Journal* (3):219-224, 1990.



Septiembre-Diciembre de 1999
Enero-Abril de 2000
Número 3/4
Año 2

Revista de Ciencias Sociales y Humanidades



Agua y Sociedad Rural

TEORÍA SOCIAL

- Gestión colectiva y construcción social de sistemas de riego campesino. Una introducción conceptual
- Problemas del agua en México. Comentarios sobre la bibliografía de la década de 1990

ARTÍCULOS TEMÁTICOS

- Agua para la ciudad: tecnología hidráulica y urbanización en el Alto Lerma
- La esperanza en las aguas de desecho. Construcción de una región irrigada en el Valle del Mezquital

- Agua y agricultura en la cuenca Lerma Chapala
- Formas de organización en torno al agua: los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (Coras) de ayer y hoy
- Economía del agua: el riego y la producción agrícola del Soconusco, Chiapas

REPORTES DE INVESTIGACIÓN

- Educación y cultura política en México
- Avances y reflexiones en torno a la historia de la audiencia eclesiástica del arzobispado de México, 1550-1630
 - Crimen, delincuencia y legitimidad en Querétaro
- El comercio fluvial en los llanos orientales colombianos, 1850-1900

RESEÑAS

- Foucault: una política de la experiencia saber, poder, subjetividad
- La teoría crítica en México

TORRE DE BABEL

CASA DE CORREOS

Frontera Interior es una publicación cuatrimestral. Dirigir correspondencia a la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario Cerro de las Campanas, Querétaro, Qro. C.P. 76000. Tel./Fax: (01 4) 2167526. El costo de la suscripción por un año en México es de \$130.00 pesos. The price for the suscription in the U.S. for 3 issues (one year) is 15.00 us dls. La tarifa no incluye gastos de envío. Price not included mailing charges. Números atrasados \$50.00 pesos en México.