

Bases para el ordenamiento ecológico de la zona costera del norte de Nayarit, México

Arturo Ruiz-Luna¹, César A. Berlanga Robles² y Joanna Acosta-Velázquez³
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental.
A. P. 711, Mazatlán, Sinaloa 82000.

¹arluna@victoria.ciad.mx, ²cesar@victoria.ciad.mx, ³jacosta@victoria.ciad.mx

Por medio de técnicas estándar de teledetección y SIG se caracterizó el paisaje costero de Nayarit, México, dentro de los límites de cuatro municipios en el norte del estado, los cuales sostienen el bosque de manglar más extenso del Pacífico Americano. Las tendencias de cambio para un periodo de 30 años permitieron estimar que las coberturas naturales se han transformado principalmente a agricultura, que ocupa poco más del 20% del paisaje actual, habiéndose desarrollado principalmente sobre selva y vegetación secundaria. Asimismo se encontró que la acuicultura y obras de infraestructura mal diseñadas han incrementado la presión ambiental sobre las principales coberturas naturales. La integración del SIG con la serie temporal de mapas temáticos, la incorporación de los polígonos de las granjas acuícolas y la estimación de las tasas de crecimiento del canal de Cuautla, al norte de la zona de estudio permitió determinar, que el bosque de manglar ha sido perturbado principalmente por el efecto de fenómenos naturales y de actividades antropogénicas. Las coberturas antropogénicas y perturbadas ocuparon más del 40% del paisaje, con tendencias de crecimiento que van de 12 hasta casi 300%. A partir del diseño del SIG, se proponen escenarios para apoyar las decisiones de gestión y ordenamiento ecológico a nivel municipal.

Palabras clave: Ordenamiento territorial, SIG, manglar, selva, MSS, ETM+, clasificación

1. Introducción

La economía del estado de Nayarit, ubicado en el noroeste de México, se sustenta en actividades productivas basadas en la explotación directa de los recursos naturales, para lo cual se utilizan procesos poco tecnificados con métodos tradicionales, escasamente eficientes en algunos casos [1]. Nayarit cuenta con 20 entidades municipales cuyo desarrollo heterogéneo depende principalmente de la cantidad y características de sus recursos naturales, de sus particularidades ambientales y de su grado de desarrollo poblacional, éste último se identifica como elevado, en términos del grado de urbanización, solo en el 35% del territorio [2]. Por sus características ambientales y de desarrollo económico, Nayarit, al igual que la mayoría de las entidades del territorio nacional, se plantea la necesidad urgente de contar con planes de desarrollo basados en esquemas o programas de ordenamiento territorial, que contemplen el aspecto ambiental como base para la sostenibilidad. En términos globales, la zona costera del norte de Nayarit, a la que pertenecen los cuatro municipios objeto del presente estudio, tiene muchas áreas ecológicamente críticas, particularmente la correspondiente al sistema lagunar Agua Brava-Marismas Nacionales que sustenta uno de los bosques de mangle más extensos y de mayor importancia económica y ecológica del país además de un gran número de lagunas y esteros que han sido impactados severamente, lo que se suma a la presión causada por los cambios en los usos de suelo [3], así como de las modificaciones observadas sobre la red hidráulica natural. Bajo estas circunstancias, la necesidad de efectuar programas de ordenamiento territorial se hace prioritaria y por ello se han llevado a cabo diversos intentos que han sido insuficientes o inadecuados debido a su generalidad, a la falta de actualización en la información o a la ausencia de verificación de los resultados. En ese sentido, el presente trabajo forma parte de un programa que cuenta con el apoyo de las autoridades federales y estatales, cuya finalidad es generar información a nivel municipal que permita establecer planes de ordenamiento territorial con base en estudios de las tendencias de cambio en los usos de suelo. Bajo este contexto, y considerando que los cambios en el uso del suelo son indicadores de la dinámica del paisaje y de las relaciones entre sociedad y ambiente [4,5] y que el ordenamiento ecológico promueve, entre otras cosas, el uso del suelo y actividades productivas, protegiendo al ambiente y promoviendo el aprovechamiento de los recursos partir del análisis de sus tendencias y potencialidades de aprovechamiento [6], el presente trabajo propone una caracterización del paisaje de la región costera del norte de Nayarit, en general y por municipio. La caracterización se basa en información derivada del análisis digital de imágenes de satélite para un periodo de aproximadamente 30 años, a partir de lo cual se establecen sus patrones de cobertura y usos del suelo, integrando los resultados a un sistema de información geográfica con el fin de sentar las bases del ordenamiento territorial para los municipios de Tecuala, Santiago Ixcuintla, Rosamorada y Tuxpan, en la planicie costera del norte de Nayarit.

2. Métodos

2.1 Área de estudio

El estado de Nayarit se ubica en el noroeste de México, limitado de norte a sur por los estados de Sinaloa, Durango, Zacatecas y Jalisco y por el océano Pacífico en su extremo oeste (Fig. 1). Ocupa un área de aproximadamente

27,000 km², lo que representa aproximadamente el 1.5% del territorio nacional. La región norte de Nayarit está integrada por siete municipios de los que solamente Santiago Ixcuintla, Tecuala, Rosamorada y Tuxpan se incluyen en el presente estudio. En términos de extensión y de población, estos municipios representan en ambos casos cerca del 20% del total, con aproximadamente 5,000 km² y poco más de 200,000 habitantes en su conjunto. La relevancia de esta región reside en su riqueza natural, conformada por importantes cuerpos de agua costeros, grandes extensiones de vegetación natural, principalmente manglar, selva mediana (caducifolia y subcaducifolia) y un sistema fluvial dentro del que destacan los ríos Acaponeta y San Pedro. Dentro de esta región se ubica el sistema lagunar Agua Brava-Marismas Nacionales (ABMN), donde se desarrolla el bosque de manglar más extenso del Pacífico mexicano y que representa más del 10% del total de manglares a nivel nacional. Este sistema tiene gran relevancia en términos de su riqueza biológica y sus características ecológicas, por la cual se ha elegido como región prioritaria para su conservación, y está incluida en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención de Ramsar. Asimismo cuenta con un importante potencial económico (agricultura, pesca, acuicultura, turismo), que ha sido utilizado de forma inadecuada y que en la actualidad está en riesgo por las modificaciones ambientales que han sufrido los recursos naturales del sistema, tanto por eventos naturales como por los inducidos por actividades antropogénicas, siendo la apertura del canal de Cuautla en 1971 el evento negativo más relevante. Como la mayor parte de la zona costera del estado, cuenta con un clima cálido, con temperatura media anual de 26 a 28 °C y precipitación que va de 1000 a 1200 mm., lo que permite la coexistencia de agricultura de riego, de temporal y por retención de humedad, por lo que su economía está principalmente sustentadas en actividades agropecuarias, aunque la presencia de suelos costeros con una importante composición salino sódica, no apta para cultivos, está propiciando el desarrollo de otras actividades tales como la camaronicultura, actividad que está destacando como una de las principales fuentes de recursos y de trabajo en la región.

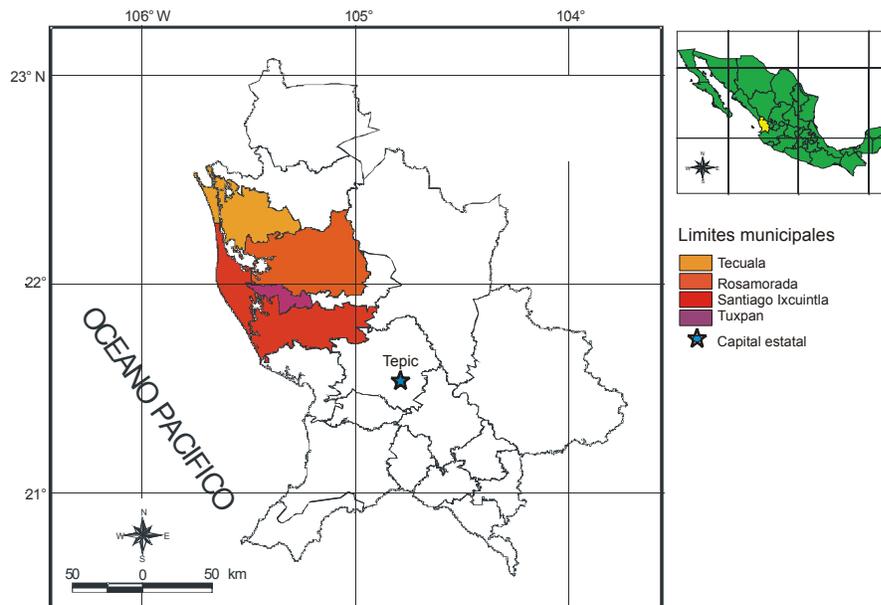


Figura 1. Ubicación del Área de Estudio.

2.2 Métodos

El análisis digital se realizó a partir de imágenes del satélite Landsat MSS y ETM+ proyectadas al sistema UTM, datum NAD27, en la zona 13 norte., para un periodo de 28 años, siguiendo parcialmente el protocolo del Programa de Análisis de Cambio Costero (C-CAP) de la NOAA [7]. Se editaron escenas a partir de los croquis municipales (1:100,000, INEGI, 1999) para los cuatro municipios incluidos, y se generaron mapas temáticos de la cobertura y usos del suelo por métodos de clasificación no supervisada y supervisada [8,9]. Las escenas corresponden a las coordenadas (path/row) 31/44, 31/45 y 30/45, del sistema WRS-2. Las imágenes del sensor MSS de 1973, fueron obtenidas a través del programa North American Landscape Characterization Project (NALC), el cual suministra tripletas de imágenes con las mismas coordenadas, previamente corregidas al sistema UTM, con resolución espacial de 60 m en lugar de los 80 m por píxel, además de que son ajustadas al sistema WRS-2 antes mencionado. Las imágenes más recientes corresponden al sensor ETM+ y en ambos casos la clasificación se realizó por separado, para posteriormente unir los resultados en una escena final. Para la clasificación supervisada se seleccionaron campos de entrenamiento para las clases 1. agua (sistemas lagunares, esteros y ríos); 2. marismas y playas; 3. selva

(incluye selva baja y mediana); 4. manglar; 5. manglar muerto; 6. vegetación secundaria y de matorral (incluye vegetación halófila); 7. agricultura; 8. suelos (incluye suelos destinados a la agricultura); 9. poblados; 10. acuicultura. Los cambios en el uso del suelo se detectaron por medio de un análisis multitemporal postclasificadorio [10,11], comparando mapas de fechas diferentes producidos de manera independiente, con una matriz de detección de cambio [12, 13]. La exactitud de las clasificaciones se evaluó a partir de matrices de error y los coeficientes de exactitud global y Kappa, únicamente para la imagen más reciente, contrastando datos de referencia obtenidos a partir de recorridos por el área de estudio con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y datos procedentes de la clasificación.

Las capas resultantes fueron reclasificadas a un sistema simple según su origen, como áreas naturales (incluye marismas, selva y manglar), áreas de transición, donde se agruparon las clases que fueron identificadas como vegetación secundaria, vegetación halófila y matorrales, debido a la dificultad para su separación, tanto desde el punto de vista espectral, como funcional. El resto de las clases (agricultura, suelos, poblados y acuicultura) se incluyeron en la categoría de inducidas o culturales. A partir de esta reclasificación se evaluó el cambio global en los usos del suelo que se observa para toda la región y por municipio, determinando las principales tendencias de cambio.

Con estos resultados, considerados como datos primarios y la inclusión de datos secundarios provenientes de otras fuentes, se generó un modelo considerado como preliminar, que permite ajustar las políticas de desarrollo y de conservación dentro de los diferentes municipios, tomando como base los cambios de cobertura y los posibles efectos del crecimiento de infraestructura vial, poblacional y para la acuicultura, a través del desarrollo de zonas generadas como corredores, partiendo de una distancia media de 500m . Todos los procesos se llevaron a cabo utilizando los programas IDRISI Kilimanjaro y ArcView 3.2, entre otros.

4. Resultados

El área total estimada por medio del análisis digital de las imágenes Landsat para los cuatro municipios del norte de Nayarit cubrió un total aproximado de 5,000 km², similar a las estimaciones proporcionadas para la región por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI) La mayor discrepancia se obtuvo para el municipio de Santiago Ixcuintla, que también presenta la mayor línea de costa y cuyos límites con relación al área de estudio son los de mayor extensión. Por ello, considerando que la mayor escala para la que se tiene disponible información cartográfica de los límites municipales es 1:100,000, y que los límites municipales son geopolíticos, se requiere de otros datos auxiliares para mejorar la precisión en la delimitación de esta zona.

La evaluación de la exactitud de la clasificación para las imágenes Landsat ETM+ que integran la zona de estudio, alcanzó un valor superior al 90%, lo que hace confiables los resultados obtenidos. Del análisis resultante de la comparación de ambas fechas, se infiere que aunque a nivel global el cambio observado en la región durante el periodo de estudio no rebasa el 10%, pasando de 64% a 57% en extensión para las coberturas naturales (cuerpos de agua, selvas, manglar y marismas), el análisis del cambio implica mayores modificaciones, con un valor para el índice de Kappa de 0.63, lo que implica que más del 35% de las coberturas originalmente estimadas para 1973 se vieron modificadas. De lo anterior, la pérdida de aproximadamente 40,000 ha de cobertura vegetal natural, que representa poco más del 25% del total estimado para 1973 y la ganancia aproximada de 2,000 ha para la clase cuerpos de agua, debido principalmente a la apertura y posterior expansión del canal de Cuautla, son algunos de los aspectos más relevantes resultantes del análisis multitemporal. Para visualizar el cambio detectado en la apertura del canal de Cuautla, se integró al análisis una tercera imagen con fecha intermedia entre las dos consideradas para el presente estudio, a fin de que se observe la evolución que ha seguido este rasgo físico a partir de su apertura en 1971 (Fig. 2).



Fig. 2. Evolución del canal de Cuautla, en Nayarit, abierto de manera artificial en 1971. Las escenas están proyectadas al sistema UTM, datum NAD27, en la zona 13 norte.

En lo que respecta a la cobertura de manglar, el ecosistema costero más representativos de la región, se presentó una pérdida aproximada de 6,500 ha por cambio de uso de suelo, incluida la pérdida por la apertura del canal, pero

aunado a ello se detectaron áreas importantes con presencia de manglar muerto, cubriendo aproximadamente 5000 ha, por lo que hay una reducción real de aproximadamente el 18%. Finalmente, la mayor ganancia por lo que toca a las coberturas inducidas o culturales corresponde a las asociadas con procesos agrícolas, que incluyen a la cobertura agrícola propiamente dicha, a la vegetación secundaria (considerada también como de transición junto con matorrales) y a los suelos, que si bien en términos relativos representan poco más de 15% implica una superficie cercana a las 30,000 ha. Un resumen de los cambios generales observados entre ambas fechas de estudio, considerando por separado a los cuerpos de agua, aunque forman parte de las capas naturales para la evaluación general, se observan en la figura 3.

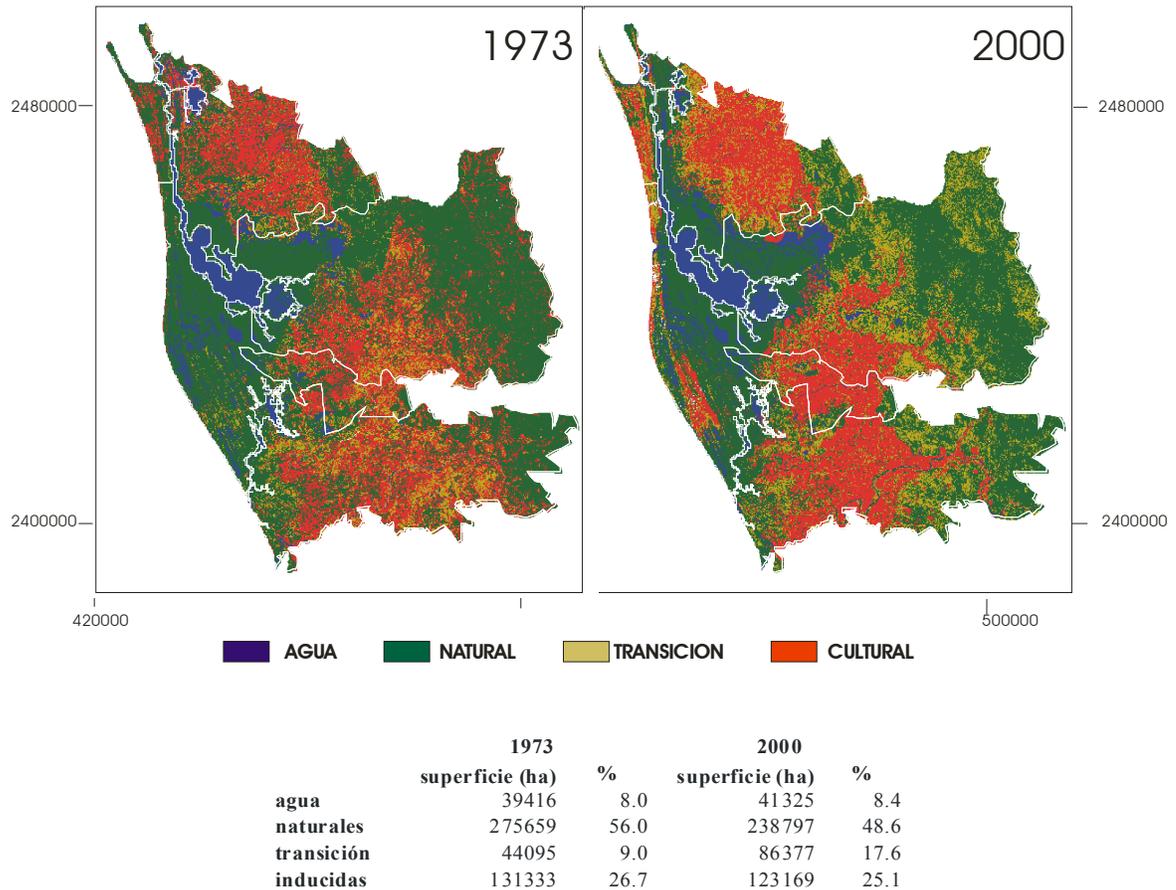


Fig. 3. Variación en la superficie ocupada por coberturas naturales (selva, manglar, marismas), de transición (vegetación secundaria y arbustiva) y culturales (zona agrícola, urbana y rural, suelos desnudos, acuicultura), a partir de clasificación de imágenes Landsat MSS (1973) y ETM+ (2000). Las escenas están proyectadas al sistema UTM, datum NAD27, en la zona 13 norte.

Los resultados encontrados a nivel municipio no difieren en general, ya que es evidente que el mayor cambio de usos de suelo está dirigido hacia el crecimiento de la agricultura en deterioro de las coberturas naturales, pero también ocupando áreas que fueron clasificadas inicialmente como suelos desnudos, que en su mayor parte se asocian con actividades agrícolas. Para el municipio de Tecuala, el cambio total estimado es mayor al 40%, destacando la pérdida de vegetación natural que ha sido reconvertida a agricultura, clase que resultó predominante dentro de los límites de este municipio, pasando del 15 al 33% de extensión, mientras que la clase selva se redujo sensiblemente del 25% ocupado en 1973, al 11% en el 2000 (Fig. 4a).

En el caso del municipio de Santiago Ixcuintla la situación es similar a la anterior, presentándose un cambio general próximo al 35%, destacando un incremento en la cobertura agrícola de más de 25,000 ha, lo que representa un incremento de aproximadamente el 10 al 25%, subsidiada principalmente por la cobertura de selva y la de suelos desnudos, ligada esta última de manera directa a las actividades agrícolas.

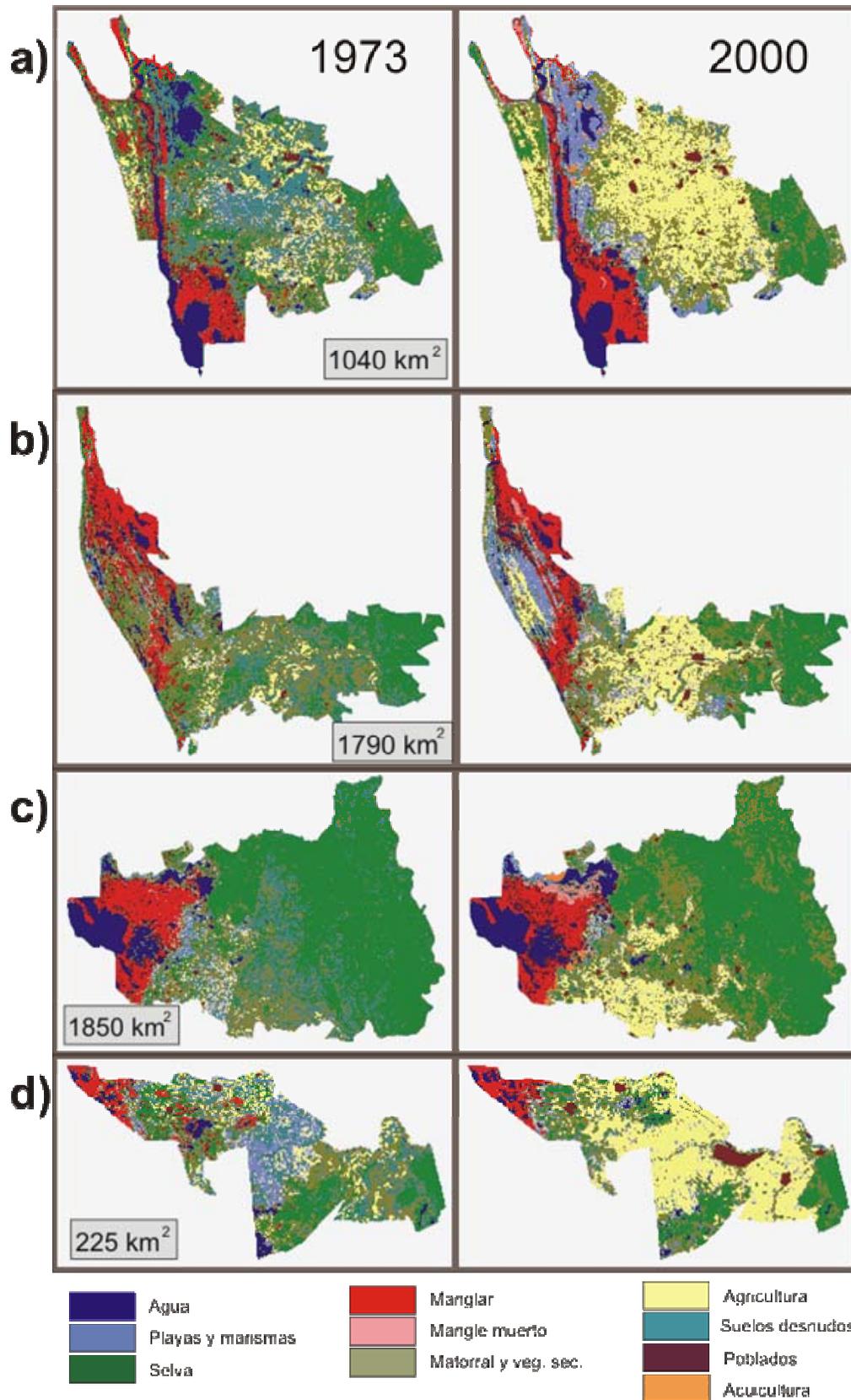


Fig. 4. Cambios detectados en las principales coberturas del paisaje de cuatro municipios de Nayarit, México, estimadas por clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS (1973) y ETM+ (2000).

De los municipios incluidos en el estudio, Santiago Ixcuintla fue el que arrojó mayor pérdida en cobertura de manglar, con una extensión estimada en más de 7000 ha, lo que representa poco menos de la quinta parte del total estimado para 1973 (33,000 ha). En contraste, la cobertura correspondiente a marismas y playas creció de manera importante, especialmente al oeste del municipio, pasando del 2 al 12.5% (Fig. 4b). Cabe destacar que este municipio es el que mayor representación tiene en términos de área destinada a asentamientos humanos dentro de toda el área de estudio, con un total aproximado de 2,590 ha distribuidas en poco menos de 50 localidades.

El municipio de Rosamorada (Fig. 4c) es el de mayor extensión de los cuatro municipios incluidos en el presente estudio, con más de 1800 km², que equivalen a poco más del 6% del territorio estatal. Es también el municipio donde se observa mayor conservación en la cobertura de selva y manglar, ya que en ambos casos se mantiene aproximadamente el 90% del total estimado para estas coberturas en 1973. A pesar de ello, la pérdida de selva asciende a más de 10,000 ha, y en el caso del manglar se pierden más de 1500 ha, además de que se presenta una cobertura asociada a manglar muerto, equivalente a poco más de 2,500 ha. En este municipio el cambio general se estimó en una proporción menor al 25% y evidentemente, siguiendo las tendencias generales, el mayor cambio está dirigido hacia el crecimiento agrícola, que incremento su superficie en aproximadamente 10,000 ha, especialmente al sur del municipio. Sin embargo la cobertura de selva se mantuvo como la más representativa del paisaje del municipio, con aproximadamente el 45% del total de la superficie municipal.

Finalmente, para el municipio de Tuxpan, cuya superficie es la menor dentro de los municipios considerados (< 1% del total estatal), se encontró que su paisaje actual se caracteriza por una fuerte presencia de elementos relacionados con la actividad agrícola, con aproximadamente 50% del total de la superficie. Le siguen en importancia las zonas clasificadas como selva (18%) y vegetación secundaria (13%), que de alguna manera está asociada a la agricultura. En general este municipio tiene asociados cambios globales que representan cerca del 35% de la cobertura originalmente estimada para 1973. Un resumen de los resultados generales encontrados para los cuatro municipios y la región en general se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Proporción del área total por municipio y región, ocupada por los diferentes tipos de cobertura evaluada por clasificación de imágenes landsat MSS (1973) y ETM+ (2000), en el estado de Nayarit, noroeste de México.

Cobertura	Tecuala		Santiago Ixcuintla		Rosamorada		Tuxpan		Regional	
	1973	2000	1973	2000	1973	2000	1973	2000	1973	2000
Agua	12.0	10.1	6.5	6.5	7.7	9.9	4.4	3.9	8.0	8.4
Marismas	3.1	11.4	2.1	12.5	2.1	3.2	10.6	5.2	2.7	8.4
Selva	25.7	11.1	30.2	22.5	51.1	44.9	23.1	18.2	36.8	28.3
Mangle	12.8	10.6	18.5	14.6	9.2	8.3	7.6	4.9	13.3	10.9
Mangle muerto	0.0	0.4	0.0	1.2	0.0	1.3	0.0	0.1	0.0	1.0
Veg. secundaria	7.0	19.4	11.3	15.3	6.9	19.4	14.0	13.3	8.9	17.6
Agricultura	15.4	33.4	9.1	23.5	4.3	10.0	14.8	46.2	8.9	21.5
Suelos	20.9	1.9	16.4	2.1	16.8	1.9	22.2	4.9	17.8	2.1
Poblados	0.9	1.3	0.4	1.4	0.1	0.5	0.4	3.2	0.4	1.1
Acuicultura	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.6	0.0	0.1	0.0	0.3

Finalmente, en una primera aproximación sobre el efecto que tiene el desarrollo de infraestructura sobre los ambientes naturales, además de los cambios de uso de suelo representados principalmente por el desarrollo agrícola, se generó por medio de la creación de corredores tomando como base la extensión actual de caminos pavimentados, granjas acuícolas y poblados. El resultado, para una zona de 500 m generada a partir del límite de las categorías anteriores señala que el mayor efecto se daría sobre coberturas inducidas, contando con un probable impacto sobre las áreas naturales que afectaría principalmente al municipio de Santiago Ixcuintla, tanto en la zona próxima a la línea de costa como en su extremo sureste, donde también existe una importante área con cobertura vegetal natural.

El municipio de Tuxpan es el que menos impacto presenta, considerando que es el que en proporción cuenta con la mayor cobertura inducida (Fig. 5). Asimismo, Rosamorada presenta áreas susceptibles de cambio por efecto de la presencia de infraestructura vial, particularmente hacia la zona serrana, sin embargo la ausencia de desarrollo acuícola y de importantes centros urbanos reduce dicho riesgo, ocurriendo la mayor proporción sobre áreas que estaban previamente afectadas.

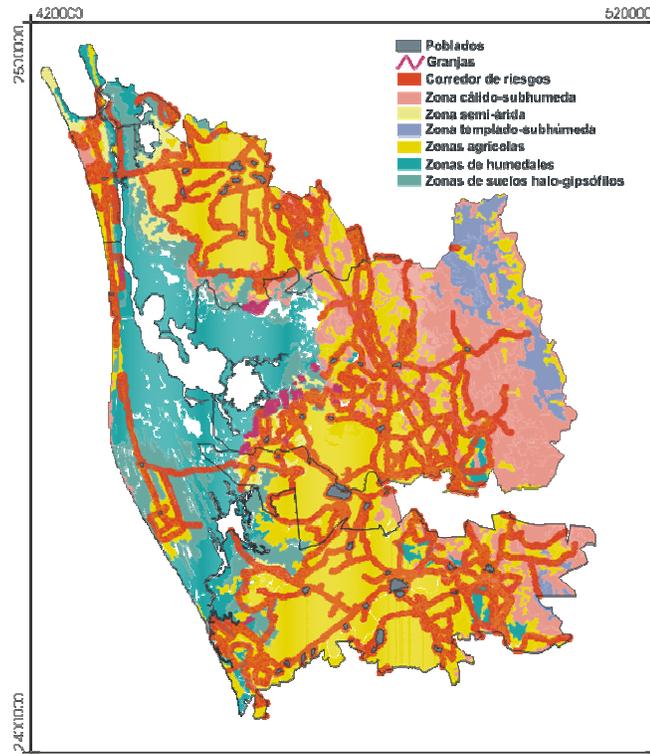


Fig. 5. Generalización de zonas en función de clima y características ambientales, localización de principales poblados y granjas de producción acuícola, así como la representación de áreas susceptibles de impacto por la presencia de infraestructura vial, poblados y granjas, en el norte de Nayarit, México.

4. Discusión

En lo que respecta al análisis multitemporal con imágenes Landsat MSS y ETM+, los resultados indicaron un adecuado nivel de exactitud en la clasificación, lo que permite determinar que el paisaje de la región costera norte de Nayarit está caracterizado por una alta heterogeneidad espacial en las coberturas evaluadas, tanto a nivel regional, como municipal. En este último nivel los resultados mostraron diferencias que se explican en función del desarrollo de las diversas actividades económicas. Sin embargo, en términos generales se identificó a la agricultura y a las clases asociadas (suelos, vegetación secundaria) como las más representativas del paisaje a nivel general. De manera individual (por municipio), la situación es un reflejo de la estructura general, con dominio de las clases relacionadas con procesos agrícolas, variando desde poco más del 30% en el municipio de Rosamorada, hasta casi el 65% en Tuxpan.

El análisis identificó pérdidas considerables en la extensión del manglar y de selva, dos de las principales coberturas naturales, siendo mayor el impacto sobre la segunda de las coberturas mencionadas, misma que además ha sido transformada de manera deliberada para extender los terrenos destinados a actividades agropecuarias. Por otro lado, para el manglar la pérdida se ha asociado principalmente con la apertura del canal de Cuautla y el cambio de condiciones en los patrones hidrológicos de la región, reduciendo el aporte de agua dulce a los sistemas estuarinos, lo que ha traído como consecuencia una marinización de estos sistemas y la consecuente muerte de mangle adaptado a otras condiciones de salinidad. Aunado a lo anterior, el crecimiento de la camaricultura en la región ha venido a incrementar las presiones ambientales, ya que si bien no se ha detectado un desplazamiento importante de la cobertura de manglar por efecto de la infraestructura acuícola, entre los principales impactos indirectos de la camaricultura detectados en los manglares del Golfo de California están los cambios en los patrones hidrológicos, la hipersalinidad y la eutrofización, además de la construcción de caminos y canales [14].

Asimismo es importante destacar que conjuntamente con la apertura del canal de Cuautla, la pérdida de manglar también se asocia con los provocados por los efectos del Huracán Rosa en 1994 [15,16].

Sin embargo, cabe destacar que existe discrepancia entre las distintas estimaciones que se han hecho tanto para valorar la cobertura total de manglar, como para estimar la extensión asociada a mangle muerto [3,16,17,18]. La mayor parte de las discrepancias son atribuibles a diferencias en la extensión y localización del área de estudio, así como a los métodos empleados, algunos de los cuales carecen de valoraciones de la exactitud de la clasificación. En ese sentido, con excepción de algunos de los trabajos realizados por los autores del presente estudio, se conoce poco sobre la estructura del paisaje en la región, por lo que con excepción de los trabajos realizados para evaluar la cobertura de manglar, no existe mayor información al respecto, siendo el análisis de la exactitud de la clasificación la base para la validación de resultados.

Como resultado del presente análisis es evidente que el paisaje de cada uno de los municipios involucrados ha seguido patrones de uso distintos y que se ha sometido a presiones diversas, que han derivado en una menor o mayor explotación de sus recursos naturales, por lo que deberán seguir estrategias distintas para lograr un adecuado nivel de desarrollo regional. Tal como se asume por el Gobierno estatal [1], la mayoría de los municipios del estado tienen una estructura económica propia de escaso desarrollo, con mínima inversión y bajos niveles de tecnificación. Algunos de los procesos derivados de este tipo de estructuras generan un mayor deterioro ambiental, ya que promueven la extensión más que la optimización.

Las tasas de pérdida de coberturas naturales encontradas dentro del presente estudio reflejan de alguna manera la ausencia de planeación en el desarrollo de actividades de índole agropecuario, incluida la reciente aparición de la camaronicultura, por lo que es urgente el desarrollo de programas de ordenamiento que, de acuerdo con los resultados obtenidos, deben seguir estrategias distintas en cada municipio, pero no pueden ser independientes o carentes de integración, ya que existe una fuerte correspondencia entre los ambientes que están enmarcados dentro del área de estudio.

Evidentemente, Rosamorada es el municipio que parece tener mayor presión hacia la conservación de recursos tales como manglar y selva, tanto por la extensión con la que cuenta como por las tasas de mortalidad de manglar, las más elevadas en la región. Sin embargo la conservación de esta cobertura no es posible sin la participación de los municipios de Tecuala y Santiago Ixcuintla donde se localizan las zonas con mayor extensión de este recurso.

El área ocupada por el sistema de Marismas Nacionales también presenta riesgos notables que deben ser tomados en cuenta, ya que en su parte sur se ha generado una importante barrera con la construcción de caminos pavimentados tendientes a conectar algunas de las zonas de mayor importancia turística en el municipio de Santiago. Esta vialidad puede obstaculizar la conexión entre procesos biológicos y ecológicos que se dan en una cobertura que alberga una gran biodiversidad, como es el caso del manglar.

Finalmente es importante destacar que el municipio de Tuxpan es el que se encuentra en la situación más precaria en términos de la conservación de sus recursos, teniendo la mayor parte de la superficie municipal asignada al desarrollo agropecuario. A pesar de su limitada extensión este municipio tiene en proporción un tamaño poblacional significativo, lo cual debiera dirigir el crecimiento de este municipio ya no hacia la expansión de los horizontes agrícolas o a la explotación de sus limitados recursos, sino hacia el desarrollo de actividades productivas de manufactura o de servicios. Dada su posición estratégica, un programa conjunto de los cuatro municipios, descansando en este municipio como cabecera, podría reducir el impacto por cambios en el uso de suelo y promover el desarrollo regional.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Mixto CONACYT – Gobierno del Estado de Nayarit, por su apoyo a los proyectos de investigación 9420, 9593, 9594 y 9595, iniciados en el año 2003, de los que los primeros dos autores son responsables.

Referencias

- [1] Gobierno de Nayarit. 2000. Plan estatal de desarrollo 2000-2005. Gobierno del Estado de Nayarit. 330 p. (formato digital). México.
- [2] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2000. Síntesis de información geográfica del Estado de Nayarit. México. 140 p
- [3] Acosta-Velázquez .J. 2033. Análisis de la condición del ecosistema de manglar en el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava y sus relaciones a nivel de paisaje. Tesis de Maestría. CIAD-Mazatlán
- [4] Houghton, R.A., 1994. The worldwide extent of land-use change. *BioScience* 44:305-313.
- [5] Poudevigne, I. y Alard D., 1997. Landscape and agricultural patterns in rural areas: a case study in the Brionne Basin, Normandy, France. *Journal of Environmental Management*. 50, 335-349.
- [6] Anónimo, (1988). Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. 28 de enero 1988. SEMARNAP. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. México.

- [7] Dobson, J., E. Bright, R. Ferguson, D. Field, L. Wood, K. Haddad, H. Iredale III, J. Jensen, V. Klemas, R. Orth y J. Thomas, 1995. NOAA's coastal change analysis program, guidance for regional implementation. National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report 123, Seattle, Estados Unidos. *On line*: <http://www.csc.noaa.gov/products/ak/html/proto.htm>
- [8] Campbell, J.B., 1996. Introduction to remote sensing. London: Taylor & Francis, 622p.
- [9] Richards, A. J. y X. Jia, 1999. Remote sensing digital image analysis. Springer, Nueva York. 363 pp.
- [10] Mas, J.F., 1999. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20(1):139- 152
- [11] Ruiz, L.A. y C.A. Berlanga R. 2001. El potencial de la camaronicultura para transformar el paisaje en la zona costera. El sur de Sinaloa como caso de estudio. En . Paez O.F. (ed.) camaronicultura y medio ambiente. PUAL-ICMYL- El Colegio de Sinaloa. México Pp 328-34
- [12] Eastman, J.R., J.E. McKendry y M.A. Fulk, 1995. Change and time series analysis. United Nations Institute for Training Research/GRID, Genova, Suiza. 119 p.
- [13] Jensen, J.R., D.J. Cowen, J.D. Althausen, S. Narumalani y O. Weatherbee, 1998. An evaluation of coast watch change detection protocol in South Carolina. En: Lunetta R.S. y C.D. Elvidge (eds), Remote sensing change detection: Environmental monitoring methods and applications. Ann Arbor Press, Chelsea, Estados Unidos. pp. 75-88.
- [14] Páez-Osuna, F., A. García, F. Flores-Verdugo, L. P. Lyle-Fritch, R. Alonso-Rodríguez, A. Roque y A. C. Ruiz-Fernández. 2003. Shrimp aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion. *Marine Pollution Bulletin* 46: 806-815.
- [15] Flores-Verdugo, F. J., F. González-Farías, M. Blanco-Correa y A. Núñez-Pastén. 1997. The Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales mangrove ecosystem on the Pacific coast of México. p. 35-46. En: b. Kjerfve y otros (eds.), Mangroves ecosystems studies in Latin America and Africa. UNESCO.
- [16] Kovacs, J. M., J. Wang y M. Blanco-Correa. 2001. Mapping disturbance in a mangrove forest using multi-date Landsat TM imagery. *Environmental Management* 27: 763-776.
- [17] Pantoja, I. N., O. M. Callejas, B. T. Martínez, H. F. Zaragoza, M. A. D. Olvera y B. C. García. 1991. Marismas Nacionales: Evaluación de cambios por medio de imágenes de satélite. México: Instituto Nacional de Geografía e Informática, Reporte Técnico INEGI/DGG/STDG, 15 p.
- [18] Carrera, G.E. y G. de la Fuente. 2003. Inventario y clasificación de humedales en México. Parte I. Ducks Unlimited de México. 239 p.