

**SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES**

**COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS
NATURALES PROTEGIDAS**



PROGRAMA DE DESARROLLO REGIONAL SUSTENTABLE

**ESTUDIO SOBRE EL CAMBIO DE USO DE SUELOS EN EL
VALLE DE CUATRO CIÉNEGAS PERIODO 2002-2006**

Elaborado por



Diciembre de 2007



Representante Legal
Carlos Zaldivar Alvarado
Dirección: Rey Chimalpopoca 154,
Col. Pascual Ortiz de Ayala
C.P. 58250
Morelia, Michoacán, México
Correo Electrónico: mesomaya_ac@yahoo.com

Desarrollo

Blanca Patricia Velasco Tapia
Ignacio Paniagua Ruiz
Pavel Zaldivar Carranza

Agradecimientos

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por permitirnos colaborar este proyecto, por las facilidades brindadas en los materiales y es especial a Jorge Carranza Sánchez, Subdirector de Análisis de Información Espacial por todas las recomendaciones para el desarrollo de este trabajo.



“© CNES 200_. 2003-2004, producida por ASERCA-CONANP bajo licencia de Spot Image, S. A.”

“SEMAR-SAGARPA-ASERCA-CONANP 2004.

Productos

Impreso Informe Final

Archivos Digitales:

Informe Final (Word y PDF)

Mosaico de ortofotos de INEGI

Imágenes SPOT 2003 georeferenciada

Imágenes SPOT 2007 georeferenciada

Cobertura de Uso del Suelo y Vegetación INEGI serie III

Cobertura de Uso del Suelo y Vegetación 2003

Cobertura de Uso de Suelo y Vegetación 2007

Cobertura de cambio 2003-2007

1,356 Fotografías con sus tres archivos *.jpg, *.aux y *.rrd

52 mosaicos de las fotografías en formato MrSid

Archivos *.mxd de los mapas

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
METODOLOGÍA.....	12
Análisis de Imágenes SPOT	12
<i>Rectificación de imágenes.</i>	13
<i>Diseño de la leyenda.</i>	17
<i>Clasificación</i>	17
<i>Vectorización.</i>	21
<i>Detección de cambio en la cobertura de uso de suelo y vegetación.</i>	23
<i>Cálculo de la Tasa de Transformación.</i>	24
Fotografía Aérea Digital.....	26
<i>El vuelo</i>	26
<i>Rectificación de fotos</i>	27
<i>Mosaicos de Fotografías</i>	30
RESULTADOS.....	32
Análisis de Imágenes SPOT	32
Fotografía aérea digital.....	47
<i>Mosaicos de Fotografías</i>	49
CONCLUSIONES	51
LITERATURA CITADA.....	52
ANEXOS	55

Índice de tablas y figuras

Tabla 1. Datos de las imágenes SPOT.	13
Tabla 2. Número de puntos de control y error medio cuadrático de las imágenes SPOT rectificadas	32
Tabla 3. Datos de uso del suelo y vegetación 2003-2007 con base en la clasificación de las imágenes de satélite SPOT	40
Tabla 4. Matriz de cambio 2003-2007 con base en la clasificación de las imágenes de satélite SPOT	44
Tabla 5. Transformación de Forestal a No Forestal	45
Tabla 6. Tasa de transformación del habitat periodo 2003-2007	45
Figura 1. Área de Estudio, APFyF Cuatro Ciénegas, Coahuila.	07
Figura 2. Área de mosaico de ortofotos de INEGI, área de Cuatro Ciénegas.	15
Figura 3. Líneas de vuelo realizado en octubre del 2006 en el área de Cuatro Ciénegas, Coahuila.	26
Figura 4. Cuadrantes de los mosaicos de fotografías aéreas en la zona de Cuatro Ciénegas, Coahuila	31
Figura 5. Imagen en falso color RGB 4,1,3 SPOT 2003 en el área de Cuatro Ciénegas, Coahuila.	34
Figura 6. Imagen en falso color RGB 4,1,3 SPOT 2007 en el área de Cuatro Ciénegas, Coahuila.	35
Figura 7. Uso del suelo y vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2003.	41
Figura 8. Uso del suelo y vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2007.	42
Figura 9. Áreas de transformación en el periodo 2003-2007.	43
Figura10. Tendencia de la transformación del habitat .	46
Figura11. Mosaico de fotos en un cuadrante.	50

MESOMAYA, A.C.

Mesomaya es una asociación civil orientada a impulsar procesos comunitarios de desarrollo sustentable a través del fortalecimiento de la capacidad grupal para definir y trabajar en torno a proyectos colectivos. Tomando como base temas de importancia para el ser humano como: acceso a la información y a una buena educación, contar con servicios de salud eficientes, una seguridad social que garantice la protección en etapas críticas de la vida, tener oportunidades para el avance hacia niveles superiores en las condiciones de vida individual, familiar y social, así como oportunidades para la producción de bienes materiales.

Para ello, Mesomaya A.C. ha estructurado un modelo de trabajo comunitario que contempla diferentes áreas de acción como son: la formación de recursos humanos, basada en la educación y la capacitación de las comunidades; los derechos humanos y colectivos, en la perspectiva de coadyuvar a su reconocimiento; la comunicación, con base en técnicas y métodos que se usen de manera horizontal y equitativa y por último la intervención, que impulse los procesos de desarrollo a partir del esfuerzo colectivo, proporcionando asesoría técnica y administrativa y brindando apoyo para la gestión y el financiamiento.

La Misión de Mesomaya A.C, es la promoción, la difusión, y el apoyo para coadyuvar en el reconocimiento de los derechos y la cultura de las comunidades, utilizando espacios de consulta y medios desde la perspectiva comunitaria. Fomentando los procesos de desarrollo sustentable a partir de acciones colectivas impulsadas y promovidas en las organizaciones comunitarias, con una gestión permanente y logrando el apoyo de sectores de la sociedad dispuestos a hacer una inversión social que potencie el esfuerzo comunitario.

Entre los objetivos se encuentra: el coadyuvar en el reconocimiento de los derechos y cultura de las comunidades; fortalecer la capacidad grupal y comunitaria para definir y trabajar en torno a proyectos colectivos; enfocados a lograr una vida digna para los individuos, las familias y las comunidades; buscar la participación integral en procesos de organización y transferencia; redefinir la relación con la naturaleza, buscando un aprovechamiento sustentable y racional del potencial de sus recursos; lograr formas de inserción más ventajosas en los mercados y relaciones más justas en la sociedad y mejorar los niveles de bienestar social en las comunidades.

La asociación actualmente cuenta con un equipo de trabajo integrado por más de 20 personas, entre asesores externos, jóvenes técnicos y profesionistas campesinos. En

casi 6 años de trabajo, la labor se ha extendido en varios estados del país como: el D.F., Chiapas, Yucatán, Quintana Roo y Michoacán. Mesomaya A.C. actualmente trabaja en 20 comunidades, atendiendo a una población de aproximadamente 3,000 personas, beneficiando a niños, jóvenes, mujeres, campesinos, productores y artesanos, muchos de ellos de comunidades indígenas del país, principalmente de de la zona maya peninsular en Yucatán y la zona puerhepecha en el estado de Michoacán.

Mesomaya A.C. está constituido por especialistas que funcionan de manera autónoma. Se articulan a través del Consejo Consultivo, el órgano directivo es la Asamblea de Socios que tiene la facultad de definir las líneas directrices y normativas de la asociación de cada una de las tareas y planes programados.

Estrategia operativa

Se basa en un modelo de aprendizaje comunitario para el desarrollo con cuatro grandes áreas de acción:

- 1. Formación de recursos humanos.** En coordinación con instituciones dedicadas a la educación y capacitación de las comunidades a través de programas que contemplen la impartición de educación media superior hasta la investigación para el fortalecimiento del desarrollo. En el sentido de entender <<profesional>> como aquella persona que se ha dedicado permanentemente a una o varias actividades específicas.
- 2. Derechos humanos y colectivos.** Abrir espacios desde las comunidades para el sistema de regulación jurídica de la cultura y las relaciones sociales que se desenvuelven entre las comunidades, como medio alternativo frente al derecho positivo que desconoce su normatividad.
- 3. Área de comunicación.** En esta área los pueblos, han sido tratados como espectadores de manera general y dominante, es necesario que las técnicas y métodos se usen de manera horizontal y equitativa para recuperar los diferentes impactos, aprendiendo y adecuando las experiencias de diferentes niveles.
- 4. Área de intervención.** A través de la coordinación institucional, proporcionar asistencia social para impulsar los procesos de desarrollo colectivo, basándose en diversos programas que fomentan la producción comunitaria y la recuperación de los ecosistemas.

INTRODUCCIÓN.

El Valle de Cuatro Ciénegas forma parte de las 161 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de carácter federal en México, esta localizado en la zona central de Coahuila, se decretó en 1994 como área natural protegida con la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna (APFyF) (CONANP, 1999).

Las áreas naturales protegidas constituyen porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional, representativas de diversos ecosistemas y de su biodiversidad, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado por el hombre y están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo. Con el establecimiento de áreas naturales protegidas se crea una estrategia para la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad de México a fin de asegurar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (LGEEPA, 2007).

Las Áreas de Protección de Flora y Fauna están constituidas de conformidad con las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), de la Ley General de Vida Silvestre, la Ley de Pesca y demás aplicables, en lugares que contienen los hábitat de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres.

Con las áreas naturales protegidas se busca mantener sitios representativos de ecosistemas biológicamente diversos, estos representan el patrimonio natural del país, el cual requiere ser conservado no solo por el valor que representa la naturaleza en sí misma, sino también por los servicios ambientales que éstos proporcionan. Éstas deben ser vistas desde una perspectiva amplia, en donde se puede ordenar el desarrollo regional, proponer alternativas económicas ambientales sustentables y procurar el crecimiento armónico de la población. Sin embargo, es necesario considerar que estas zonas son sujetas a actividades humanas que en muchos casos modifican sus condiciones naturales. Por este motivo es importante contar con información de base del estado de los recursos naturales que coadyuve a platear estrategias para el uso sustentable de los mismos.

El Valle de Cuatro Ciénegas es considerado el humedal más importante dentro del Desierto Chihuahuense y uno de los humedales más importantes en México. A nivel internacional, está clasificado como un sitio RAMSAR, por lo que se lo considera como un humedal prioritario en el mundo.

El Valle de Cuatro Ciénegas es un laboratorio vivo, donde la selección natural y la evolución es fácil de observar debido al aislamiento, este lugar ha mantenido intactas sus características durante miles de años, es una zona muy importante por la biodiversidad que presenta y los ecosistemas que se desarrollan son muy frágiles. Incluye ambientes acuáticos representados por manantiales conocidos localmente como pozas, gran parte de su biodiversidad esta asociada a este complejo diverso de miles de nacimientos geotérmicos que forman pozas, lagunas y ríos.

Algunos de los manantiales han sido utilizados tradicionalmente, con fines recreativos por la población local, en algunos de los cuales se desarrollaron balnearios con instalaciones muy sencillas. Por otra parte el agua que brota de diferentes manantiales es canalizada y utilizada en labores agrícolas, dentro y fuera del valle.

Dentro del área protegida, existen diferentes actividades productivas, como la explotación de sales minerales, utilizando para su aprovechamiento procesos de evaporación, en algunos casos de tipo rústico, en donde el agua se desvía a zonas inundables y se deja secar. Otros cuentan con construcciones en forma de piletas, donde se almacenan el agua y los mas tecnificados bombea el agua del subsuelo y lo lleva a las piletas de evaporación.

El yeso ha sido también explotado tanto en los campos de dunas, que forma en la zona conocida como Los Arenales, como en puntos aislados donde hay yeso superficial de excelente calidad en cuanto a su pureza.

En el valle, se explota con fines comerciales la leña de mezquite, mientras que, en los alrededores del área de protección, se explota la hierba de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*), de la que se extrae una cera conocida como candelilla, esta planta antes de encontraba dentro del polígono del área natural protegida. Los ejidos del área inmediata de influencia tuvieron una cuota autorizada de 325 toneladas de cera para los años de 1995 a 1999. Es importante considerar que se requieren cerca de 250 kg de hierba para extraer 6 kg de cera.

Aunque la información histórica precisa acerca de los cambios en el uso del suelo dentro del área protegida y del municipio ha sido poco documentada, los informes de los censos agropecuarios y ejidales cuenta con información general para el municipio y permite ver los cambios en las actividades agropecuarias que resultan de interés para el humedal, en especial lo que se refiere a superficie de cultivo y superficie irrigada.

La superficie dedicada al cultivo con riego en 1930 era de 1,690 Ha y en 1960 de 3,363 Ha, para 1994 se contaba con 9,321 Ha como tierras agrícolas irrigadas. De 1960 a 1994, el área irrigada se triplicó, en parte como resultado de la construcción de las obras de irrigación por medio de canales dentro del Valle y por otro lado, por la apertura de pozos para riego. En lo que se refiere a tierras de temporal, la superficie dedicada a este tipo de cultivos se duplicó de 1930 a 1994.

De los productos agropecuarios del valle y su área de influencia inmediata, se puede mencionar como el más importantes a la alfalfa, existen datos de producción desde 1930 donde se dedicaban 75 Ha. a su cultivo, entre esa fecha y los años 60's la superficie de cultivo de alfalfa disminuyó. Sin embargo, con los cambios en los sistemas de irrigación, este cultivo se extendió hasta ser hoy el más importante dentro del valle y sus alrededores. Ésta actividad de los cultivos de alfalfa está acabando con la reserva de agua fósil, además, al monopolizar el agua, ha acelerado la desertificación de la zona, donde únicamente caen 150 milímetros de lluvia al año. Desde el punto de vista de Souza, 2004, el uso que se le da al agua que nutre las pozas de Cuatro Ciénegas atenta contra la ecología del lugar y a todas luces es contrastante con las necesidades de la población. Datos confiables indican que se requieren 10 mil litros de agua para producir un litro de leche.

La imagen que obtienen los viajeros cuando llegan al norte es de prosperidad y desarrollo tecnológico, porque a cada paso se pueden ver las redes automatizadas de riego que funcionan las 24 horas del día (unas enormes regaderas para los alfalfares). Sin embargo en las regiones desérticas que rodean a Cuatro Ciénegas esa prosperidad se vuelve desolación cuando el agua deja parches de sal donde no puede crecer nada.

Torren puede imaginarse como un oasis para la industria lechera en medio del desierto, que pudiera competir con Nueva Zelanda o Escocia, donde la abundancia de agua permite el desarrollo del ganado lechero. La incógnita es si el agua fósil del valle de Cuatro Ciénegas durará una década más o aquella zona se convertirá irremediablemente en un páramo desolado.

Éste es uno de los temas ambientales que mayor controversia ha generado en los últimos años en México, la magnitud y el ritmo al que se desmontan los bosques y selvas del país para convertirlos a otras formas de uso del suelo (e.g., campos de cultivo, potreros, zonas urbanas, etc.). El tema no es de menor importancia, toda vez que la deforestación es una de las principales amenazas para la biodiversidad, conlleva

la pérdida de numerosos servicios ambientales fundamentales y porque su ocurrencia es evidente, aún para el observador casual, en muchas partes del país.

Hay aspectos de definición formal que contribuyen a hacer menos claro el significado práctico del término deforestación. Históricamente, la ley forestal mexicana incluye a la vegetación de zonas áridas y semiáridas (principalmente matorrales xerofíticos) como parte de la vegetación forestal del país. Consecuentemente, la evaluación de la deforestación (definida simplemente como la pérdida de vegetación forestal) debe incluir la pérdida de matorrales y no sólo la de bosques y selvas, concepción que contrasta con la más estrecha definición de deforestación adoptada por otros países y por organismos internacionales como la FAO, que sólo incluye la pérdida de vegetación dominada por elementos arbóreos (es decir, bosques y selvas) (SEMARNAT, 2005).

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable identifica al Inventario Nacional Forestal y de Suelos como el instrumento de política nacional en materia forestal que debe proveer, entre otras cosas, la información relativa a los tipos de vegetación forestal, a la superficie y localización de terrenos forestales, así como a la dinámica de cambio de la vegetación forestal del país, que permita evaluar las tasas de deforestación. A la fecha, en México se han completado tres inventarios forestales de carácter nacional (SEMARNAT, 2005).

Los tres inventarios que han sido completados a la fecha difieren sustancialmente uno del otro en cuanto a la información básica empleada fotografías aéreas e imágenes de diferentes satélites, con diferentes niveles de muestreo de campo, las escalas de trabajo desde 1:250 000 a 1:1'000,000 y la clasificación de la vegetación adoptada. Estas discrepancias hacen que sus resultados por ejemplo, los relativos a la extensión de los diferentes tipos de vegetación forestal no sean directamente comparables entre sí y resulte imposible o muy difícil poder utilizarlos como base para la estimación de las tasas de deforestación (SEMARNAT, 2005). Esta carencia ha motivado que, en repetidas ocasiones, diversos autores hayan buscado obtener estimaciones de las tasas de deforestación del país con base en la incompleta información disponible en diversas fuentes y utilizando diversos métodos de cálculo (SEMARNAT, 2005).

Parte de esta dificultad proviene de las características físicas del país que imponen serias limitantes desde el punto de vista metodológico. Por ejemplo, la gran extensión y la inaccesibilidad de varias partes de México restringen severamente la realización de estudios directos en el campo; la alta diversidad y heterogeneidad de la cubierta vegetal

hace que métodos de estudio que se aplican exitosamente en otros países con condiciones menos complejas resulten total o parcialmente inadecuados para el nuestro; la casi continua presencia de una alta cobertura de nubes en buena parte del sur del país limita el uso de imágenes de satélite o de fotografías aéreas, que son la fuente básica de información para este tipo de estudios. Dificultades adicionales provienen de la compleja dinámica de cambio de la vegetación, con algunas áreas donde se destruye, parcial o totalmente, la cubierta vegetal al mismo tiempo que en otras (campos de cultivo y potreros abandonados) tiene lugar la regeneración de bosques o selvas secundarios, frecuentemente en espacios de tiempo muy cortos, a la vez que se llevan a cabo campañas de reforestación y se establecen plantaciones forestales en terrenos previamente desmontados. Esta rápida dinámica de cambios hace difícil incluso la identificación y delimitación de las áreas deforestadas.

Entender la dinámica, cómo y porqué cambian los ecosistemas en el tiempo y el espacio es necesario para la conservación de la biodiversidad y es una condición fundamental para una gestión óptima de cualquier área protegida. Los cambios en los ecosistemas pueden ser ocasionados de forma natural o por causas humanas y la intensidad puede variar de fuerte o severo a ligero o leve. Para conocer lo que existe en los ecosistemas es necesario elaborar un inventario, sin embargo para saber como y porque cambian los componentes en los ecosistemas es necesario contar con datos en el tiempo (Mittermeier y Goettsch, 1997).

El registro continuo de datos en un área a largo plazo permitirá observar cómo funciona, porqué y qué tanto se transforma los ecosistemas. Sin embargo para lograr esto es esencial el establecimiento de la línea de base, ya que mostrará como estaban las condiciones en el tiempo cero en la cual se compararan los datos obtenidos a través del tiempo.

La vegetación constituye el elemento más importante para los ecosistemas y hábitats terrestres, albergando a todos los demás componentes de la biodiversidad. La vegetación es el sustento de la fauna y la biodiversidad en general; y, además es un elemento clave para monitorear los impactos ambientales. Sin embargo, los ecosistemas son unidades altamente complejas muy difíciles de evaluar, donde es posible combinar una variedad de métodos desde muy costosos y complejos hasta más simples y económicos (Wilson, 1988).

Para el monitoreo de los ecosistemas se han identificado dos características, una el tamaño y otra la condición. El tamaño ha sido tomado como indicador, es decir, la

superficie de cada unidad de vegetación presente en el área protegida. La condición se refiere a la calidad del ecosistema como unidad biológica funcional, sobre el cual se han identificado algunos indicadores como el índice de valor conservativo y la presencia o ausencia de especies indicadoras de fauna o de flora que son seleccionadas de acuerdo a las particularidades ecológicas de cada área protegida.

Los ecosistemas en las áreas protegidas son objetos de conservación grandes, diversos y complejos, por lo que es importante establecer el estado actual en el que se encuentran. El conocer aspectos generales como la superficie, forma y extensión, permitirá establecer parámetros básicos para la posterior valoración de cada ecosistema. Apoyados con las herramientas brindadas por la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, los ecosistemas se podrán identificar, tipificar y cuantificar, verificando siempre con datos levantados en campo, ya sea por la metodología básica propuesta por el sistema de monitoreo (mediante observación directa de los guardaparques) o por el trabajo específico de especialistas sobre aspectos biológicos, geomorfológicos, geológicos, etc., o tratando de combinarlos. Este tipo de información posibilita construir mapas de distribución de cada ecosistema, los que posteriormente serán cruzados, con las demás coberturas de objetos de conservación y establecer de esa manera un mapa de valoración conservativa completo de cada área.

En esta ocasión analizaremos la cobertura de uso del suelo y vegetación para el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas, en dos periodos recientes utilizando para esto imágenes de satélite SPOT y comparando los resultados con información que ha sido generada en trabajos previos.

También se trabajara con imágenes obtenidas de vuelos de fotografía aéreas lo que permitirá contar con un mosaico de imágenes a una escala mayor, útiles para el inventario de algunas áreas de interés como son los cuerpos de agua o la identificación de especies invasoras y en general para el desarrollo de los trabajos de conservación y administración del Área Natural Protegida.

AREA DE ESTUDIO.

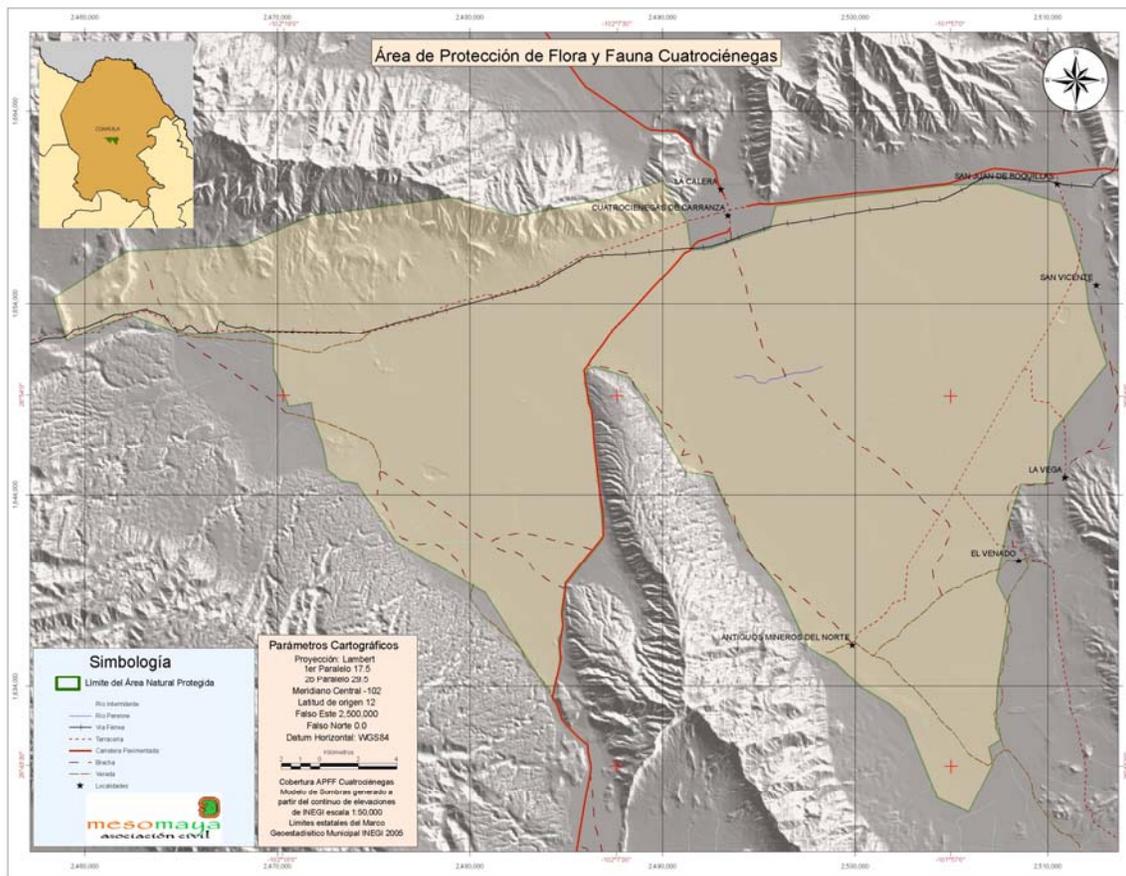


Figura 1. Área de Estudio, APFyF Cuatro Ciénegas, Coahuila.

El Valle de Cuatro Ciénegas esta localizado en la zona central de Coahuila, se encuentra en el municipio de Cuatro Ciénegas se decretó como área natural protegida el 7 de noviembre de 1994 con la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna, el área ocupa una superficie de 84,347 Ha, decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación.

El Valle de Cuatro Ciénegas es considerado el humedal más importante dentro del Desierto Chihuahuense y uno de los humedales más importantes en México. A nivel internacional, está clasificado como un sitio RAMSAR 734, por lo que se lo considera como un humedal prioritario en el mundo. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) lo incluye entre los sitios prioritarios para la conservación terrestre RTP-69 y dentro de las regiones hidrológicas prioritarias Número 48 (Arriaga, 2000). Así como de las áreas de importancia para la conservación

de las aves Clave AICA NE13 (Benitez, et al, 1999). En las Ecoregiones Prioritarias para la Conservación, elaboradas por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), Cuatro Ciénegas está considerado como un sitio importante dentro de la Ecoregión Desierto Chihuahuense (Dinerstein, 1995).

Investigadores de varias disciplinas y nacionalidades han determinado que el origen de Cuatrociénegas se remonta al rompimiento del súper-continente Pangea y a la creación del mar de Tetis. Allí estaba, Cuatro Ciénegas, bajo el mar somero, luego de que el rompimiento de la Pangea separó el Norte del Sur con el mar. Esto ocurrió hace aproximadamente 220 millones de años. Posteriormente emergió México, primero la sierra madre Occidental y después el centro norte de México junto con la masa de la Sierra Madre Oriental. Sin embargo, se volvió a sumergir parte de la meseta central y de la sierra madre oriental debajo del agua hace 95 millones de años con la gran inundación llamada ‘La garra del oso’ (Bear paw). Donde el protogolfo de México se unió a los mares del norte de Europa,

Debido a ese fenómeno geológico, en Cuatro Ciénegas existen bacterias “de mares fríos”, similares a las del mar Ártico y Báltico. El resultado es que Cuatro Ciénegas tuvo agua marina hace cientos de millones de años y tiene agua continental desde hace millones de años. Ambas aguas han estado en contacto, con todo y sus bacterias, cuando el agua quedó atrapada entre el yeso y en las montañas, y en la que vivieron los primeros peces y caracoles. Asimismo, posee estromatolitos o tapetes microbianos, la primera evidencia de vida en nuestro planeta, la cual apareció hace 3 mil 500 millones de años. Todo esto la convierte en un relicto, es decir, en un ecosistema muy antiguo.

Estas colonias de algas calcáreas forman estructuras denominadas estromatolitos, estas algas atrapan diminutas partículas suspendidas en el agua, les adicionan un pegamento y depositan la mezcla junto a ellas, de manera que se asemejan a los corales. Algunos organismos similares fueron los primeros pobladores de los océanos primitivos, cuando no había oxígeno en la atmósfera. Durante más de dos mil millones de años produjeron el oxígeno suficiente para saturar los océanos y, posteriormente, permitir que este gas vital para la atmósfera comenzara a formar la capa de ozono que hoy nos protege de los rayos ultravioleta del sol. Otros lugares que presentan estromatolitos se encuentran en Australia y Groenlandia.

El Valle de Cuatrociénegas es un laboratorio vivo, este lugar ha mantenido intactas sus características durante miles de años, los ecosistemas que se desarrollan son muy frágiles, por ello el decreto que protege a Cuatrociénegas fue el resultado de una serie

de peticiones elevadas al Gobierno Federal por parte de organismos no gubernamentales, centros de estudio e investigación, manejadores de áreas protegidas e instituciones internacionales, que por más de 30 años han estudiado y reconocido la importancia del sitio, los cuales a través de diferentes instancias como foros académicos y reuniones internacionales, han hecho saber a la comunidad internacional el valor y fragilidad del sitio.

En el valle de Cuatro Ciénegas subsisten una gran cantidad de especies endémicas, cuenta con más especies endémicas de cualquier otro lugar en Norteamérica (Stein et al, 2000). Con su alta biodiversidad y más de 70 especies endémicas, este valle desértico se asemeja a las Islas Galapagos en términos de ecosistemas únicos del mundo. La mayor parte de los estudios científicos se han encaminado a conocer la fauna asociada a los ambientes acuáticos y subacuáticos, esto se debe a que desde las primeras excursiones científicas, los colectores se dieron cuenta de la riqueza de endemismos del lugar. Aunque los peces han sido los más estudiados, la riqueza de invertebrados descubiertos, ha incrementado la lista de endemismos y, por otra parte, la presencia de formaciones de estromatolitos en diferentes puntos del Valle, condición poco común en agua dulce, han dado como resultado que un gran número de especialistas encuentren el sitio idóneo para realizar sus investigaciones.

El Área Protegida incluye ambientes acuáticos representados por manantiales conocidos localmente como pozas, se estima que existen alrededor de 300 pozas con una profundidad que varía entre los 15 a 45 pies. La variación entre pozas en términos de caudal, química y temperatura de agua es extensivo, y a menudo sobre escalas espaciales muy pequeñas. La mayoría del agua del valle es alta en sólidos disueltos, motivo por el cual se ha evitado el desarrollo de agricultura ó industria a gran escala en el área. Sin embargo la amenazas a la biodiversidad aquí incluyen explotación no sustentable de agua, especies invasoras no-nativas, desarrollo industrial, aumento rápido de turismo, y crecimiento de la población humana. El sistema hidrológico superficial se mantuvo aislado, debido a que el valle forma una cuenca cerrada. Sin embargo, para fines de aprovechamiento del agua fue interconectada artificialmente por medio de canales con los municipios de La Madrid y Sacramento ubicados al oriente de Cuatrociénegas.

El Valle de Cuatro Cienegas cuenta también con otros recursos relevantes, como son los afloramientos de yeso, que en algunas partes se presentan como campos de dunas, las cuales son las segundas en extensión en América donde se localizan algunas

especies gypsófilas endémicas. También hay áreas con suelos extremadamente salinos que en algunas partes están cubiertos por matorral o pastizal y otros sin vegetación aparente.

El área, considerada como un oasis desde el punto de vista antropológico, fue visitada en forma continua desde antes de la llegada de los españoles por grupos nómadas. Los escasos artefactos como puntas de flecha y lanza, que utilizaban, han sido encontrados tanto en el piso del valle como en las montañas aledañas. En algunas cuevas hay restos de entierros, la mayoría de ellos han sido saqueados y sobre las rocas en distintos sitios hay petroglifos y pinturas rupestres.

Después de la conquista, cuando los españoles iniciaron la colonización de lo que ahora es el norte de México, desde 1598, se hicieron varios intentos para colonizar el área, incluyendo la instalación de sitios ganaderos y misiones. Sin embargo, la ocupación fue muy irregular debido a las constantes incursiones de los indios que destruían la incipiente población. Fue hasta 1800 cuando fue fundada la Villa de Cuatro Ciénegas, que actualmente es una ciudad y cabecera del municipio del mismo nombre.

El desarrollo del valle se basó en la agricultura que se realizaba principalmente en los alrededores de la villa y posteriormente al oriente del valle en las haciendas de San Juan, La Vega y San Pablo, áreas donde los suelos y la calidad del agua permiten esta actividad. Sin embargo, por su posición geográfica y las escasas vías de comunicación, se convirtió en un centro comercial y de intercambio entre el noroeste del estado y otras comunidades más importantes como Monclova, Saltillo y Torreón. Fue y sigue siendo un importante centro de acopio para ganado, minerales y productos como la candelilla y el guayule.

Después del reparto agrario, se formaron varios ejidos, de los cuales once tienen propiedad dentro del área protegida y también muchas de las propiedades privadas fueron fraccionadas, lo que da como resultado un mosaico complejo en cuanto a tenencia de la tierra. Las actividades que ahí se realizan siguen siendo básicamente las agrícolas, aunque los cultivos han cambiado a través del tiempo debido a procesos de salinización. También se practican la ganadería extensiva, el aprovechamiento de madera para leña y la extracción de sales, especialmente de magnesio. Además, se explota el yeso en los límites del área y desde 1996 se canceló definitivamente la extracción de yeso de las dunas, ubicadas en el ejido Seis de Enero.

La extracción de candelilla se practica principalmente en las inmediaciones del área sobre las bajadas de la sierra y se procesa en los centros de población. Las actividades recreativas dentro del área eran practicadas básicamente por los lugareños y sus familias, pero a últimas fechas, actividades como el campismo y natación que se realizan en diferentes sitios, han sido altamente promocionadas con lo que se ha incrementado el número de visitantes.

Como resultado de la exportación del agua fuera del valle y su uso dentro del mismo, se provocaron serios disturbios, como son la interconexión artificial de los manantiales, la disminución de las áreas inundadas dentro del valle y cambios en los niveles de agua en muchas de las pozas.

Los cambios en las poblaciones de los organismos que viven en los ambientes acuáticos, no han sido cuantificados, por lo que se desconoce el nivel de pérdida. En el caso de las dunas de yeso, conocidas localmente como arenales, la remoción de la cubierta vegetal en las áreas de explotación ha registrado cambios importantes y una de las especies endémicas descritas, no ha sido posible encontrarla nuevamente.

En diferentes puntos del valle, se han abierto a través del tiempo áreas agrícolas, muchas de las cuales fueron abandonadas, pero no se ha realizado ningún estudio que muestre los cambios en la vegetación en estos sitios. Sin embargo, es notorio que la recuperación no ha sido completa. A esto hay que agregar la introducción de plantas y animales exóticos de los cuales se conocen algunas de las especies pero no su situación actual, ni los efectos sobre otros recursos.

METODOLOGÍA.

Análisis de Imágenes SPOT

Los satélites SPOT permiten adquirir diariamente imágenes de cualquier punto del globo terrestre; tienen una resolución espacial de 2.5, 5, 10 y 20 metros; una banda pancromática en escala de grises, dos bandas espectrales visibles: verde y rojo, una banda de infrarrojo cercano (NIR) y una banda del infrarrojo medio (MIR) para el análisis temático fino.

En SPOT 5 los productos de 10 m a color corresponden al modo multiespectral que se caracteriza por una observación realizada simultáneamente en 4 bandas espectrales. Las bandas 1, 2 y 3 se adquieren con una resolución de 10 m. en el nivel de la Tierra, la banda MIR (b4) adquirida de 20 m. es remuestreada a 10 m. para este tipo de sensor. Los productos de 2.5 m, (imagen pancromática) parten de dos imágenes pancromáticas de 5 m., adquirida simultáneamente por un mismo instrumento HRG por medio de un detector específico instalado en cada instrumento HRG.

La Secretaría de Marina ha sumado esfuerzos con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, a través de su órgano desconcentrado Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), para llevar a cabo la instalación, custodia y operación de la Estación de recepción México de la constelación Spot (ERMEXS). En su operación, ambas dependencias han integrado también a personal de INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) como un ejemplo de colaboración interinstitucional a fin de responder con prontitud y eficacia, a las necesidades tecnológicas en obtención de imágenes por satélite que permiten resolver problemas en áreas tales como cartografía, planificación urbana, redes de cultivo, defensa, y vigilancia del medio ambiente, entre otros.

El 19 de Febrero de 2004, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) firmó el documento denominado “Compromiso de confidencialidad y especificaciones de copyrigh y derechos de propiedad intelectual, para el uso de productos básicos (SPOT) extraídos en la ERMEXS. A principios del 2007 la CONANP ha recibido 1,018 imágenes, beneficiando a 67 Áreas Naturales Protegidas y 3 Ecoregiones, muchas de estas imágenes han sido utilizadas para la actualización del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT-CONANP, 2007).

Para cumplir con los objetivos y metas del proyecto, la primera tarea fue solicitar las escenas del sensor SPOT5 que cubran la totalidad del área de Cuatro Ciénegas para dos fechas específicas 2002 y 2006. Por no estar disponibles estas fechas fue necesario realizar un ajuste en las fechas de análisis, en virtud de que no se disponía de imágenes del año 2002 fueron adquiridas las imágenes del 2003 y debido a que las imágenes del año 2006 contenían un alto porcentaje de nubosidad no permitió realizar el análisis adecuadamente, por lo que fue necesario hacer una segunda solicitud con imágenes mas recientes del año 2007, de esta forma el periodo de análisis fue 2003-2007. La solicitud de las imágenes fue realizada por el gestor oficial de la CONANP ante la ERMEXS, las imágenes que se trabajaron se presentan en la siguiente tabla. Las imágenes solo fueron utilizadas para fines del presente trabajo y quedan bajo el resguardo de la CONANP.

Tabla 1. Datos de las imágenes SPOT.

ESCENA	Bandas	Modo	Resolución espacial	Fecha
578/296	4	Multiespectral	10	21-Dic-03
579/296	4	Multiespectral	10	03-Dic-03
578/296	4	Multiespectral	10	12-Jul-07
579/296	4	Multiespectral	10	26-Mar-07

La metodología empleada para el análisis de las imágenes de satélite se realizó, con base en lo establecido en el “Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México” elaborado por la CONANP (SEMARNAT-CONANP, 2007). Con el fin de que los datos sean comparables con los obtenidos en las diferentes ANP donde se realiza este análisis.

Rectificación de imágenes.

Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, ya sea fotografía aérea ó imagen de satélite, presenta una serie de alteraciones geométricas debidas a variados factores. Esto explica porque la imagen finalmente detectada no coincide exactamente con la posición, forma y tamaño de los objetos (Velazquéz, *et. al.*, 2001). Los errores sistemáticos (rotación de la Tierra durante la adquisición de la imagen, curvatura de la

Tierra, excesivo campo de visión) y los no sistemáticos (variaciones en altitud y velocidad del satélite, averías del sensor y pérdidas de propiedades) son las principales anomalías que presentan las imágenes recién adquiridas. Para la eliminación de estos errores detectados sobre las imágenes, se debe proceder a la corrección geométrica, mediante el proceso conocido como Rectificación de Imágenes.

Todas las escenas presentaron un nivel de procesamiento “1A”, las cuales presentan una corrección radiométrica pero carecen de un proceso de referencia espacial, por lo cual fue necesario hacer el proceso de georeferencia a cada imagen.

La Rectificación es el proceso de ubicar los datos en un plano de acuerdo con un sistema de proyección decidido por el usuario; es decir la imagen original tomada por el sensor está definida en un sistema local donde la localización de cada píxel queda determinada por su situación en filas y columnas, y cuando se aplica la corrección por medio de Puntos de Control Terrestre (GCP) ajusta esta imagen a un nuevo espacio de referencia, donde cada píxel tiene asignado el valor X y Y que le corresponda en un sistema de proyección cartográfica determinada.

Puntos de Control Terrestre.

Para la georeferencia de las imágenes se utilizó un mosaico digital del servidor de ortofotos del INEGI, el cual se construyó a partir de capturas con referencia espacial para cubrir el área de Cuatro Ciénegas se requirieron 219 capturas escala 1:10,000, con un tamaño de píxel de la ortofoto de 3 m.

Debido a que el área se encuentra en dos zonas UTM (13-14) el mosaico digital se obtuvo tanto en UTM zona 13 Norte, como en Cónica Conforme Lambert con los siguientes datos cartográficos:

Proyección Cónica Conforme Lambert

1er Paralelo 17.5

2º Paralelo 29.5

Meridiano Central -102

Latitud de Origen 12

Falso Este 2'500,000

Falso Norte 0

Datum WGS84

Esferoide WGS84

Unidades Metros

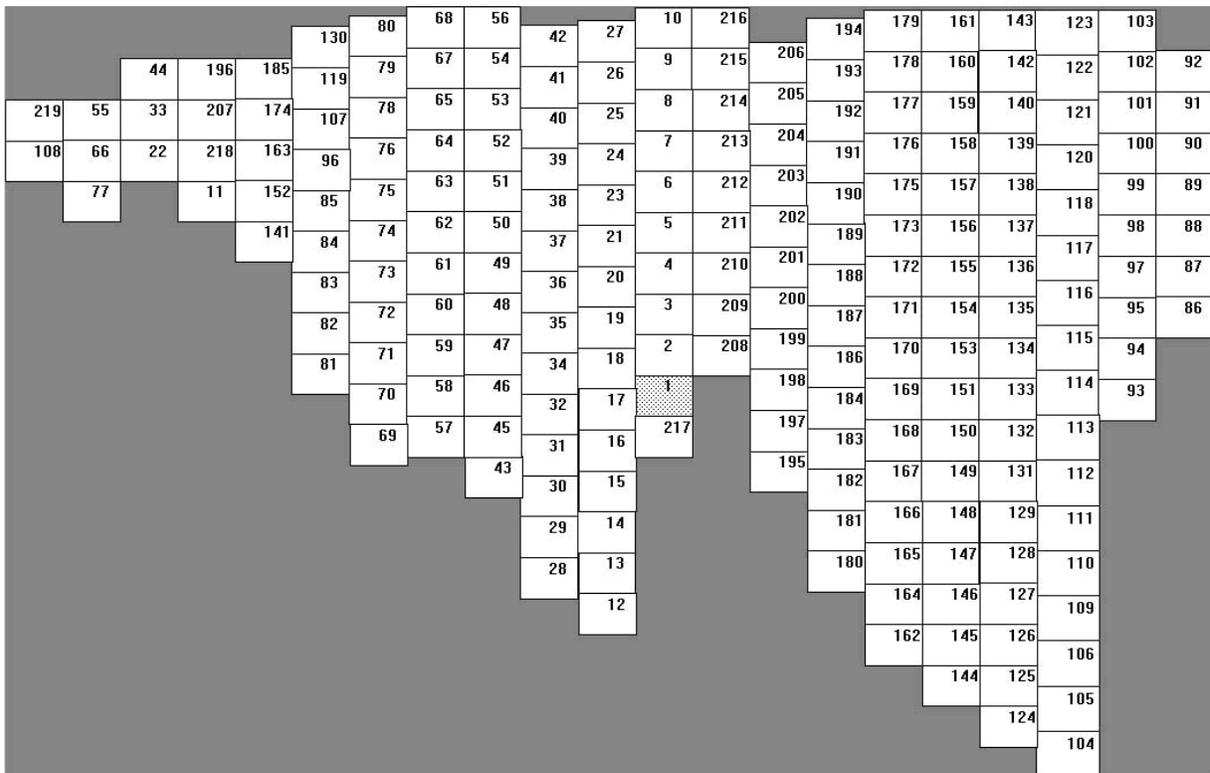


Figura 2. Área de mosaico de ortofotos de INEGI, área de Cuatro Ciénegas.

Al procedimiento de adicionar Puntos de Control Terrestre sobre la imagen, se lo conoce como georeferenciación y consiste en introducir las coordenadas de estos puntos fácilmente reconocibles, tales como cruces de caminos o vías férreas, puentes o accidentes geográficos claros y que no cambien sus formas muy rápidamente. La característica a tener en cuenta en la elección de un punto de control terrestre (GCP) es la capacidad de "localización inequívoca" con la mayor precisión tanto en la imagen como en el terreno. La cantidad de puntos necesarios para una buena rectificación depende del orden del polinomio a usar, del relieve del área y del grado de precisión requerido, Es importante tener en cuenta tres aspectos para la elección de los puntos de control: el número, la localización y distribución. El número depende de la complejidad del terreno y mientras más se usen es mejor, buscando que los puntos no tengan dinamismo temporal y es importante que la distribución sea uniforme en toda la imagen y no que estén concentrados todos en un sector solamente, por ejemplo alrededor de una ciudad.

Transformación “Rubber Sheeting”

Debido a que la transformación pasa exactamente sobre cada punto de una manera no uniforme, el método es llamado “rubber sheeting” lo cual quiere decir que la imagen (hoja) se puede estirar de forma irregular como si fuera de goma (Pala y Pons, 1995). Se recomienda utilizar el método “rubber sheeting” sobre productos del sensor SPOT, debido a la alta resolución espacial que presentan con gran detalle en los elementos geográficos, por lo cual dicho método ajusta de mejor forma a los puntos de control terrestre aun con relieves pronunciados dentro de la escena.

Error Medio Cuadrático (RMS).

La bondad del grado de ajuste de la georeferenciación se mide por la importancia de los residuales. El residual de la regresión es la diferencia entre el valor estimado y el real, para cada una de las observaciones empleadas en el proceso. Cuando mayor sea ese valor, el ajuste entre las variables independientes y dependientes es menor. En nuestro caso la calidad de la corrección geométrica puede valorarse comparando para cada punto de control, las coordenadas estimadas para la regresión con las reales. Es decir el error medio cuadrático (RMS por sus siglas en Inglés) y que corresponde a la distancia entre la posición de un punto de control en el origen (imagen original) y su posición transformada (imagen referenciada).

Método de Remuestreo.

Los píxeles de la imagen horizontal deben ser interpolados a su nueva posición georeferenciada usando uno de los tres métodos de remuestreo: Nearest Neighbor, Bilinear Interpolation y Cubic Convolution (Reuter, 2003):

El método utilizado fue el primer que se denomina como Vecino más Cercano (Nearest Neighbor), por situar en la imagen corregida el nivel digital del píxel más cercano de la imagen original. Esta es la solución más adecuada y recomendada porque es la que supone menor transformación de los niveles digitales de los píxeles originales. Su principal inconveniente reside en la distorsión que introduce en rasgos lineales de la imagen (carreteras, ríos), que pueden aparecer en la imagen corregida como líneas quebradas.

La elección entre uno de los tres métodos depende del proceso y de los recursos informáticos disponibles. El método del Vecino más Cercano (Nearest Neighbor) es el único que resguarda los valores originales al no introducir promedios. Si, por el contrario, se pretende facilitar el análisis visual, habrá de elegir por algoritmos de interpolación más sofisticados, concretamente por el de convolución cúbica si se cuenta con los recursos informativos apropiados.

Diseño de la leyenda.

La leyenda fue diseñada a partir de la cobertura de Uso de Suelo y Vegetación INEGI serie III, realizando modificaciones a dicha leyenda, de las cuales cabe señalar como ejemplo que solo se manejará “Zona Agrícola” sin marcar el rol de la actividad (por Temporal, Humedad, de riego, etc.). Sucede lo mismo para los “Pastizales”, no se separan pastizales de cultivo de los inducidos. Además se incluyen las categorías de “Zona Urbana”, “infraestructura”, que se refiere principalmente a vías de comunicación, “Área sin vegetación Aparente”, la cual de acuerdo al Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2000) se incluyen bajo este concepto los eriales, depósitos de litorales, jales, dunas y bancos de ríos y bancos de materiales que se encuentren desprovistos de vegetación o con una cobertura extremadamente baja o en que ésta no sea aparente y, por ende, no se le pueda considerar bajo alguno de los otros conceptos de vegetación. La ausencia de vegetación puede ser determinada por condiciones naturales como clima muy árido, salinas, o bien porque la vegetación fue eliminada totalmente por actividades humanas. Finalmente se adicionará la vegetación secundaria en el caso de los bosques y selvas.

Clasificación

La etapa siguiente en importancia después de la georeferencia es la clasificación, consiste en dividir el conjunto de píxeles que componen la imagen, en clases temáticas previamente definidas o por definir, según sea el método clasificatorio que se decida utilizar, dicho de otra forma, llevar valores digitales (0-255) de una imagen a categorías temáticas nominales (bosque, pastizales, urbano, etc.) u ordinales (bosque cobertura >60%, 60-40%, < 40%). Es importante para la clasificación correcta de las coberturas vegetales, en la medida de lo posible, utilizar imágenes tomadas en época de secas.

Durante la clasificación digital se requiere la adopción de unos métodos que incorporen reglas de decisión, los cuales se pueden agrupar en dos grandes categorías; los supervisados y los no supervisados (Chuvieco, 2002).

La diferencia fundamental entre ambos tipos de métodos es que, en el caso de los primeros, se requiere necesariamente un conocimiento previo y muy preciso de las clases de información a clasificar, mientras que en los no supervisados la segmentación de las clases espectrales se obtiene en base a un procedimiento estadístico, lo cual genera clases estadísticas, las que posteriormente, deberán ser asignadas a clases o categorías de información de acuerdo con antecedentes de terreno.

Clasificación Supervisada.

La clasificación supervisada, el usuario define los campos de entrenamiento para las diferentes categorías que quedarán agrupadas de acuerdo a sus respuestas espectrales para que posteriormente le sea asignada una etiqueta a cada grupo (Rogan y Chen, 2004). En este caso se dispone de un conjunto de observaciones multivariadas, para las cuales se conocen a priori las clases a las que pertenecen, es decir la variable respuesta está definida.

Fase de Entrenamiento

Consiste en la caracterización de las clases de información de acuerdo con patrones de reconocimiento del terreno. Se trata de delimitar parcelas de muestreo (polígonos), en donde los píxeles que las componen se suponen representativos de cada una de las categorías de información que se desea identificar. Es un ejemplo de problema inverso: en base a las características espectrales que tiene un píxel desconocido se le asigna una categoría temática.

Fase de Asignación

Definidas las clases y sus respectivas parcelas de muestreo, es necesario encontrar una función matemática dentro de los métodos supervisados, para proceder a la asignación de los píxeles de la imagen a cada una de las categorías.

Clasificación No Supervisada.

Tal como se indica, este método no implica conocimientos previos del área de estudio, de modo que la intervención del investigador se orienta hacia la interpretación de los resultados; por tanto, en donde la clasificación de los píxeles se realiza sin seguir ningún tipo de criterio, únicamente definiendo grupos de clases espectrales, asumiendo que los niveles digitales de la imagen forman una serie de grupos o conglomerados (clusters) de relativa nitidez según sea el caso. En este caso se dispone de un conjunto de observaciones multivariadas, pero no se conocen las clases a las que pertenecen.

Estos grupos de píxeles serían equivalentes en términos de su comportamiento espectral más bien homogéneo y, por tanto, deberían definir clases temáticas de interés. Desafortunadamente, la experiencia demuestra que no siempre es factible asociar estos clusters con categorías de información relevantes para los objetivos (Arreola, 1999).

Clasificación automatizada e interpretación visual.

Para obtener los mapas de uso de suelo y vegetación dentro de un análisis multitemporal, se realizarán clasificaciones automatizadas para una fecha base, esto será apoyado por la interpretación interdependiente propuesta por la FAO (1996, 2000). El tratamiento digital permite realizar operaciones complejas o inaccesibles al análisis visual. Garantiza una clasificación más rápida de la zona de estudio, manteniendo una coherencia en la asignación de áreas vecinas a dos categorías, a la vez que permite generar la distribución espacial de variables biofísicas (temperatura, clorofila en el agua, etc.), y simplifica la determinación de cambios temporales. Por su parte, el análisis visual es una alternativa para modificar la cartografía generada a partir de un análisis digital, identificando clases heterogéneas. Auxilia la clasificación digital, aislando sectores de potencial confusión sobre la imagen, o estratificando algunos sectores de la imagen para aplicarles tratamientos específicos.

La interpretación de la imagen puede realizarse con criterios visuales y digitales. En este marco, se puede aprovechar la potencia de análisis de interpretación visual (incluyendo criterios de contexto, textura, formas complejas que puede emplear el intérprete), así como la flexibilidad y potencia del tratamiento digital (imagen georreferida, mejoramiento en su aspecto visual, digitalización de la información en pantalla, etc.). Se trata de una fotointerpretación asistida por el ordenador, que elimina diversas fases de la interpretación visual clásica (restitución, inventario). Con la interacción visual con el intérprete se pueden resolver algunos problemas del

tratamiento digital, que encuentra notables dificultades para automatizar la interpretación de ciertos rasgos de la imagen (algunas nubes, áreas urbanas, etc.) que son bastante obvios al análisis visual. La clasificación automatizada, dentro de la metodología, tiene el objetivo de hacer la separación de los grupos (cluster) que contengan los píxeles con características en sus niveles digitales más parecidos. Este proceso se aplicará a todas las escenas correspondientes a determinada área de interés, que sean de la misma fecha, siendo entonces la clasificación de la cual se genera posteriormente la cobertura de uso de suelo y vegetación para todas las fechas dentro del periodo de análisis.

El método de interpretación interdependiente de la FAO (1996,2000), indica que se marquen en su totalidad todos los polígonos de la primera fecha, para la utilizarlos como base de interpretación de las siguientes fechas, únicamente modificando los polígonos en los cuales se detecten transformaciones. De acuerdo con Ramírez y Zubieta (2005), este es un método muy efectivo por que ayuda a reducir al mínimo los errores más comunes que llevan a la detección de falsos cambios:

- 1) errores de posición, el interprete puede encontrar posibles desplazamientos entre las imágenes, y no señalarlos como cambios;
- 2) errores de clasificación, el método permite moverse fácilmente de una fecha a la otra, por lo que el interprete puede reconocer si se trata de verdaderos cambios o sólo de diferencias en la respuesta espectral de las cubiertas.

Por lo anterior, la primera tarea será clasificar de forma automatizada cada una de las imágenes que se encuentren dentro del polígono del ANP.

Herramienta de relleno (FILL).

Las categorías no siempre pueden equipararse a las clases que se pretenden deducir, por lo que la interpretación visual apoyará a este proceso. La primera interpretación visual asistida por el procesador, será aplicado a la capa raster; re-delimitando las fronteras entre clases, esto se hará con apoyo de la escena multispectral, separando las categorías que se mezclan de forma errada con otras clases. Por lo regular esto sucede principalmente con los cluster de zonas urbanas, pues la respuesta espectral de los elementos terrestres que las conforman, muestran la misma respuesta dentro de otras clases, por lo cual es necesario modificarlo de forma manual utilizando la herramienta de relleno (Fill). Esta herramienta lo que hace es realizar cambios por medio de

rellenos con valores de otra categoría a áreas seleccionadas sobre la capa raster temática (imagen clasificada), esto es, hacer cambios directos sobre la capa clasificada en un formato de celdas (filas y columnas) utilizando los criterios de la interpretación visual. Asimismo, se hacen las primeras correcciones en el área de ligas entre las escenas para que exista la continuidad de clases de una a otra imagen clasificada.

Vectorización.

Al terminar la primera etapa de interpretación visual sobre la capa raster, se realizó la transformación a formato vectorial.

Esta tarea se puede realizar desde el procesador de imágenes ERDAS Imagine siendo una de las principales ventajas que se maneja bajo una Interfase Gráfica del Usuario (por sus siglas en inglés GUI), por lo cual es una tarea sencilla. El problema de utilizar este software recae en las tolerancias de transformación internas que maneja, lo que provoca un ligero desfase de los elementos transformados, dicho movimiento altera la ubicación geográfica espacial por lo cual no se recomienda utilizarlo para esta tarea. Por su parte el ArcMap, tiene la capacidad de realizar esta transformación, obteniendo el formato de salida en *.shp, el cual no contiene los elementos de la cobertura por separado, sino en uno solo, esto es, si es un shape de polígonos, no considera a los arcos que conforman a dicho polígono, por lo que las tareas siguientes requieren de pre-procesos para llegar al resultado requerido.

Lo que se recomienda es utilizar ArcInfo para no alterar los datos debido a la vectorización. Al tener la cobertura de uso de suelo y vegetación (USV) ya en formato vectorial Arcinfo, el siguiente proceso será eliminar la unidad mínima cartografiable (por sus siglas en inglés MUC). Para este procedimiento se siguió lo que menciona Chuvieco (2002) de acuerdo con varios autores (Anderson *et. al.*, 1976; Campbell, 1996; ICA y Ormeling, 2002), los cuales indican que la MUC no debe de ser inferior a 4mm² medidos a escala de mapa. En este caso para una escala de trabajo 1:50,000 se utiliza 2 mm cartografiables como mínimo en el papel obteniendo una MUC de 10,000 m² (1 Ha).

Al eliminar la MUC de la cobertura, es muy probable que existan polígonos vecinos con categoría de uso de suelo o cobertura vegetal similar, entendiendo que los elementos que los separaban se eliminaron por no cumplir con el mínimo de superficie requerido de acuerdo al sensor de origen y a la escala de trabajo. El procedimiento es

eliminar fronteras entre elementos que tengan una clase igual entre ellos, para esto se utilizará la herramienta de disolver (dissolve) del SIG Arcinfo. Esta tarea se hace en base a los atributos de la cobertura, al transformar de formato raster a vectorial, se genera una base de atributos a la nueva cobertura incluyendo un campo de superficie, perímetro, identificadores internos y el GRID-CODE, el cual lleva un valor integral que va a indicar a que categoría de la leyenda diseñada pertenece cada elemento; a partir de este campo se eliminan las fronteras entre polígonos con GRID-CODE similar.

El siguiente paso es realizar un suavizado de los arcos que conforman a los elementos de polígono. Esto es necesario por que al ser transformados del formato raster a elementos de arco, tienen la forma de las fronteras entre píxeles, y de acuerdo a la resolución espacial del sensor utilizado, va a ser la distancia que exista entre los vértices de la cobertura. La cartografía de USV se generó a partir del sensor SPOT, la distancia entre vértices de la cobertura fue de 10 metros. El proceso de suavizado se realiza con la herramienta spline del SIG Arcinfo, esta funciona a partir de la tolerancia Grain de la cobertura, la cual controla el número de vértices de un arco y la distancia entre ellos en formas curvas.

La obtención de cartografía de USV a partir de un formato raster, genera que forma del polígono limítrofe sea de acuerdo a la forma de los píxeles de la imagen, por lo cual, al momento de obtener datos de superficie general o por categoría, nunca coincide a la superficie calculada para el polígono limítrofe del ANP en estudio generando problemas al momento del análisis de transformación. Por lo anterior se requiere de cambiar el límite de la cobertura de USV por el polígono oficial del área.

El campo GRID-CODE de la cobertura, contiene la clase de la leyenda al que corresponde cada elemento, por lo cual a partir de este, se genera la base de atributos de la cobertura de USV. Por ejemplo; el grid-code = 5, corresponde a la categoría “Área sin vegetación aparente”. Por esta razón es muy importante que al momento de realizar la clasificación automatizada, se tenga un control de las categorías adicionadas y la correspondencia al valor numérico que más adelante se transformará en el campo GRID-CODE de la cobertura.

Cubriendo los pasos anteriores, se puede realizar la segunda interpretación visual asistida por el procesador. Se aprovechan las ventajas de despliegue de información georeferida en Arcinfo, utilizando la escena de la imagen de satélite que se ocupo para la obtención de la capa de USV, se marcarán modificaciones en la cobertura de acuerdo

a los rasgos de dicha escena (eliminación de nubes y sombras, redelimitación de rasgos entre categorías, etc).

Detección de cambio en la cobertura de uso de suelo y vegetación.

La detección de cambio en la cubierta vegetal, tiene como objetivo analizar que rasgos presentes en un determinado territorio se han modificado entre dos o más fechas, haciendo referencia al tipo de transformación.

La cuantificación de cambio resulta de la diferencia, mediante sobreposición cartográfica, entre los mapas de cobertura de una fecha base y una fecha a comparar, de ello resulta una matriz de transición, con un valor de cada clase que ha cambiado (más dinámicas), y una indicación de aquellas clases que no han cambiado (más estables). También se deriva una evaluación de clases de cobertura y uso atractoras de territorio de otras clases y de cobertura que pierden territorio con otras clases (UNAM, 2000).

El cruce de los mapas se realizará en el SIG Arcinfo. Del mapa de cambio se exportará la base de datos a un archivo *.dbf del cual se obtendrán datos de superficie total por categoría y la diferencia de superficie entre clases de una fecha a otra.

De acuerdo con Ramírez y Zubieta (2005), se maneja la siguiente matriz de transición que incluye la reagrupación de categorías de acuerdo al tipo de transformación al que hayan sido sometidos dentro del periodo:

Deforestación. Pérdida del arbolado, denso o abierto, por cambio a usos No Forestales.

Perturbación. Pérdida o aclarado del arbolado sin cambio en el uso de suelo.

Recuperación. Restablecimiento de arbolado denso sobre áreas perturbadas, aclaradas o de vegetación arbustiva.

Revegetación. Establecimiento de vegetación secundaria por abandono de parcelas agrícolas, pecuarias o vegetación recuperada después de algún evento de rápida transformación sobre la cobertura vegetal (áreas afectadas por incendios, deslaves, inundaciones, etc).

Crecimiento urbano. Incremento de la superficie ocupada por áreas habitacionales o industriales.

Cambios en nivel del agua. Aumento o descenso en el nivel de los cuerpos de agua.

Vegetación conservada sin cambio.

Vegetación perturbada sin cambio.

Usos agropecuarios sin cambio.

Otras cubiertas sin cambio.

		Uso de Suelo y Vegetación Fecha 2												
		Clases	B1	B2	B...n	Bp1	Bp2	Bp...n	A1	A2	A...n	U	Agua	TOTAL 1
Uso de Suelo y Vegetación Fecha 1	B1													0.00
	B2		B											0.00
	B...n													0.00
	Bp1													0.00
	Bp2						Bp							0.00
	Bp...n													0.00
	A1													0.00
	A2									A				0.00
	A...n													0.00
	U												O	0.00
	Agua													0.00
		TOTAL 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	Deforestación	B	Vegetación conservada sin cambio
	Perturbación	Bp	Vegetación perturbada sin cambio
	Recuperación	A	Usos agropecuarios sin cambio
	Revegetación	O	Otras cubiertas sin cambio
	Crecimiento urbano		
	Cambios en el nivel de		

Diseño de la Matriz de Transición. Los datos se ordenan de mayor a menor grado de antropización de la cubierta, excepto el agua. B = Vegetación Primaria (Bosque-Selvas Densos); Bp= Vegetación Secundaria (Bosque-Selva perturbado); A= Usos Agropecuarios; U= Zona Urbana; Agua = Cuerpos de Agua (lagos, lagunas, ríos, etc.).

Cálculo de la Tasa de Transformación.

La detección de cambios es el proceso de identificar diferencias en el estado de un objeto o fenómeno observado en un periodo de tiempo (Singh, 1989). En general, la detección de cambios envuelve la aplicación de datos multi-temporales, a los cuales se analizan cuantitativamente los efectos temporales de algún fenómeno.

Los tipos de vegetación registrados por fecha de cada ANP, se agruparán en vegetación forestal y vegetación no forestal. La primera contiene al conjunto de plantas dominadas por especies arbóreas, arbustivas o crasas, que crecen y se desarrollan en forma natural

formando bosques, selvas y vegetación de zonas áridas (SEMARNAT, 2007; Ley Forestal, 1997) y la segunda agrupa los usos de suelo derivados de actividades antrópicas y/o desastres naturales. Con base a la información obtenida, de la agrupación de los tipos de vegetación, y tomando como base la superficie terrestre de la reserva, se calculará la tasa de transformación del hábitat de acuerdo a la ecuación utilizada por la FAO (1996), multiplicada por 100 para obtener el valor en porcentaje, expresada de la siguiente manera:

$$\delta = 1 - \left[1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right]^{1/n}$$

Donde:

δ = tasa de cambio

S_1 = superficie forestal, al inicio del periodo

S_2 = superficie forestal, al final del periodo

n = número de años entre las dos fechas

Con la cobertura de USV de cada ANP, se conocerá el estado actual de la cubierta vegetal respecto a los usos de suelo, así como el dato histórico del cual se podrá obtener datos de la dinámica de transformación. Los datos obtenidos de Tasa de Transformación del Hábitat, servirán de base para conocer las tendencias de transformación por actividades humanas o eventos naturales extraordinarios que modifican la superficie ocupada por elementos forestales, o bien en la reconversión de la cobertura vegetal como resultado de los programas de restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales aplicados a las ANP.

Fotografía Aérea Digital.

El vuelo

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas realizó un vuelo en octubre del 2006 sobre el APFF Cuatrociénegas en coordinación la dirección del área, The Nature Conservancy (TNC) y PRONATURA Noreste, contando con el apoyo de la avioneta del gobierno del Estado de Coahuila. El objetivo fue la toma de fotografía aérea digital para determinar la distribución del carrizo gigante *Arundo donax* que esta invadiendo el valle de Cuatro Ciénegas poniendo en riesgo su integridad ecológica. Además de contar con un acervo fotográfico de valor para la CONANP y la dirección del APFF Cuatro Ciénegas el cual favorecerá muchas de las actividades de manejo y conservación.

Para este trabajo se contó con una avioneta tipo Cessna modelo 182 en la cual se colocó sobre una estructura diseñada especialmente para soportar la cámara profesional tipo reflex de la marca NIKON modelo D1X con una resolución de 3008 x 2048 pixel.

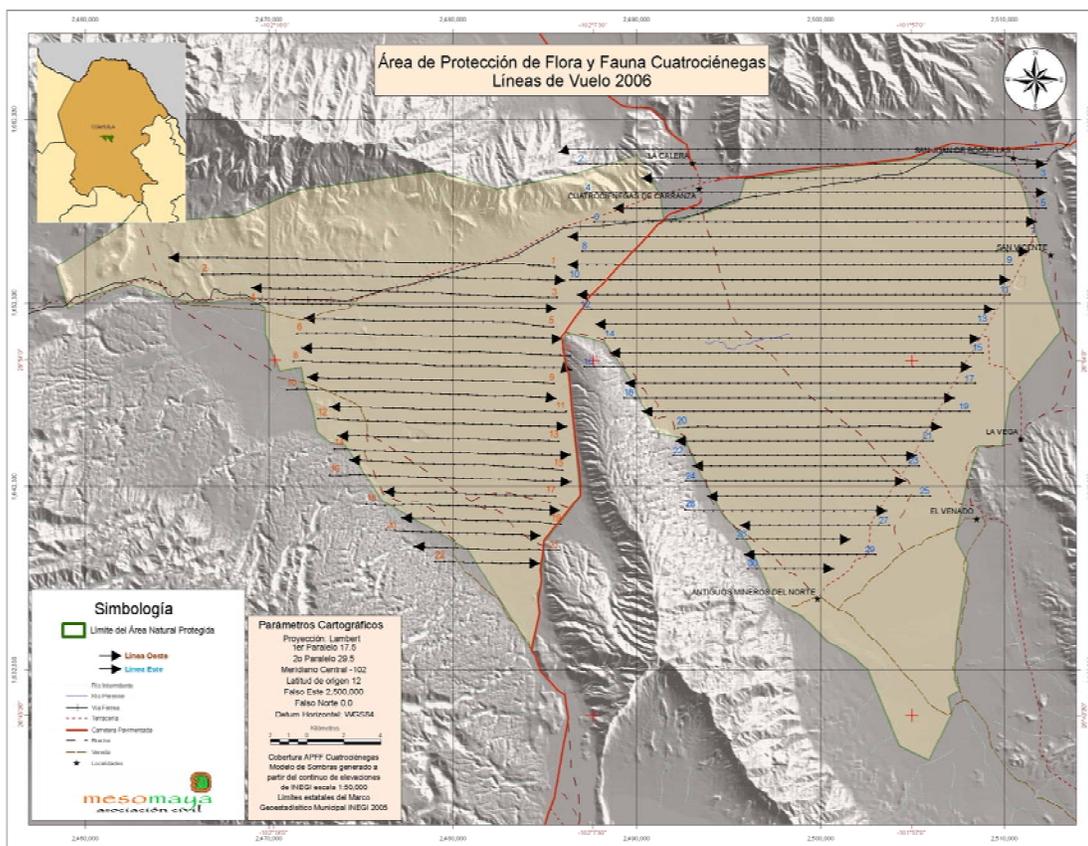


Figura 3. Líneas de vuelo realizado en octubre del 2006 en el área de Cuatro Cienegas, Coahuila.

Para el vuelo se diseñaron líneas paralelas distribuidas en las dos porciones del área protegida tratando de cubrir la mayor porción del área, sobre la zona de inundación y en donde se distribuyen las pozas.

Se volaron un total de 52 líneas, 30 corresponden a la porción Este y 22 a la porción Oeste, el tiempo aproximado de vuelo fue de 7 horas que se cubrieron en dos días, el primero sobre la mayor proporción de la zona Este y el segundo día sobre la zona Oeste y el resto de la zona Este.

Se tomaron un total de 1,654 fotos, la altura de vuelo aproximada fue de XXX pies, con una altura real sobre el terreno de aproximadamente XX pies, la resolución aproximada de cada foto es de 40 cm/píxel.

El primer producto que elaboro la CONANP fue la relación del punto central aproximado de cada foto, lo cual es útil para conocer la ubicación aproximada de cada una de las fotos. Este es un archivo de puntos en formato shape que se puede visualizar utilizando el programa ArcView o ArcMap, se encuentra ligado a la base de datos de la cobertura de puntos lo que nos permite visualizar la foto a través de cualquier programa de edición de imágenes. Hasta aquí las fotos no se encuentran georeferenciadas, solo se conoce una ubicación aproximada en el área protegida.

Rectificación de fotos

Para la georeferencia de las fotografías se utilizó el mosaico de imágenes construido con las Ortofotos de INEGI en UTM zona 13 Norte con un tamaño de píxel de la ortofoto de 3 m (Figura 2).

Las fotografías digitales normalmente no cuentan con información de referencia espacial, sin embargo, las cámaras NIKON D1X permiten la comunicación con un GPS en formato NMEA de tal forma que al momento de realizar el disparo, la lectura de la posición del GPS se almacena en el archivo documento de la imagen, junto con el resto de los parámetros de la cámara y las características de la toma.

La información de la ubicación frecuentemente es inadecuada y los datos no se ajustan completamente con datos geográficos de referencia que se estén utilizando. Para usar los datos de las fotografías aéreas junto con los datos espaciales que se estén utilizando

es necesario alinearlos o georeferenciar al sistema de coordenadas de los datos de referencia en función a la proyección que se desee utilizar.

Generalmente se puede georeferenciar las fotografías aéreas utilizando datos espaciales vectoriales, si hay características en los datos espaciales que son visibles en la fotografía, sin embargo debido a la escala de las fotografía fue mas útil el empleo del mosaico de ortofotos del INEGI debido a que permitió acercarse mas a la escala de trabajo. Para este caso las fotografías cuentan con una escala mayor que el mosaico de ortofotos, pero no contamos con una imagen de mayor resolución que supere la resolución de las fotografías aéreas (~ 0.40 metros).

Todas las fotografías se convirtieron del formato nativo de NIKON (NEF) a formato JPG, fueron referenciadas cada una de las fotos que se encontraban dentro del polígono del APFF Cuatro Ciénegas, para lograr esto, en cada fotografía fueron identificados una serie de puntos de control (GCP), coordenadas conocidas x,y que se ligan con la localización de los datos de las fotografías. Los puntos de control son usados para construir una transformación polinomial que puede convertir las fotografías de su localización original a la localización espacial correcta. La conexión entre uno punto de control en las fotografías y su correspondiente punto de control sobre datos georeferenciados es llamado un “link” o “liga”.

El número de ligas a crear depende de la complejidad de la transformación polinomial que se desee usar para transformar las fotografías al mapa de coordenadas. Sin embargo adherir muchos links no necesariamente alcance un buen registro, los link se deben colocar sobre la imagen completa y no concentrarlos en una sola área. Para este caso se colocaron un link en cada esquina de la foto y unos pocos a través del interior lo que produce mejores resultados, el número de link que se utilizo es aproximadamente 15 por cada fotografía.

Cuando ha creado suficientes link, se puede transformar o deformar las fotografías para que permanezcan igual al mapa de coordenadas de los datos de origen. La deformación usa transformaciones polinomiales para determinar las coordenadas correctas de la ubicación de cada celda en la fotografía.

Mas de tres link introduce el error o residual, que son distribuidos a través de todos los link. Sin embargo se debe adherir mas de tres porque si un link esta en la posición incorrecta este tiene un mayor impacto sobre la transformación. Así a través de las transformaciones matemáticas el error puede incrementarse como se van creando los

link, pero por otra parte también se puede incrementar la exactitud de la transformación.

Transformaciones de mayor orden requiere mas link y esto involucrara mayor tiempo de procesamiento. En general, si las fotografías necesitan ser estrechadas, escaladas o rotadas, se usa una transformación de primer orden. Si los datos necesitan ser suavizados o curvados entonces una transformación de 2º Orden. Para la mayoría de las fotografías se utilizó una transformación de 2º Orden y solo en algunas ocasiones cuando las fotografía requirió de una mayor deformación se empleo la de 3er Orden.

El grado con el cual la transformación puede empalmar en el mapa todos los puntos de control puede ser medido matemáticamente comparando la localización actual del mapa de coordenadas a la posición transformada en la fotografía. La distancia entre estos dos puntos se le conoce como error residual. El error total es calculado tomando el error media cuadrático (RMS) la suma de todos los residuales calcula el error RMS. Este valor describe que tan consistente es la transformación entre los diferentes puntos de control. Los link puede ser removidos si el error es grande y otros puntos puede ser adheridos. El error medio cuadrático obtenido en general para cada una de las fotos fue menor a 2, sin embargo algunas fotos no fue posible obtener este error RMS.

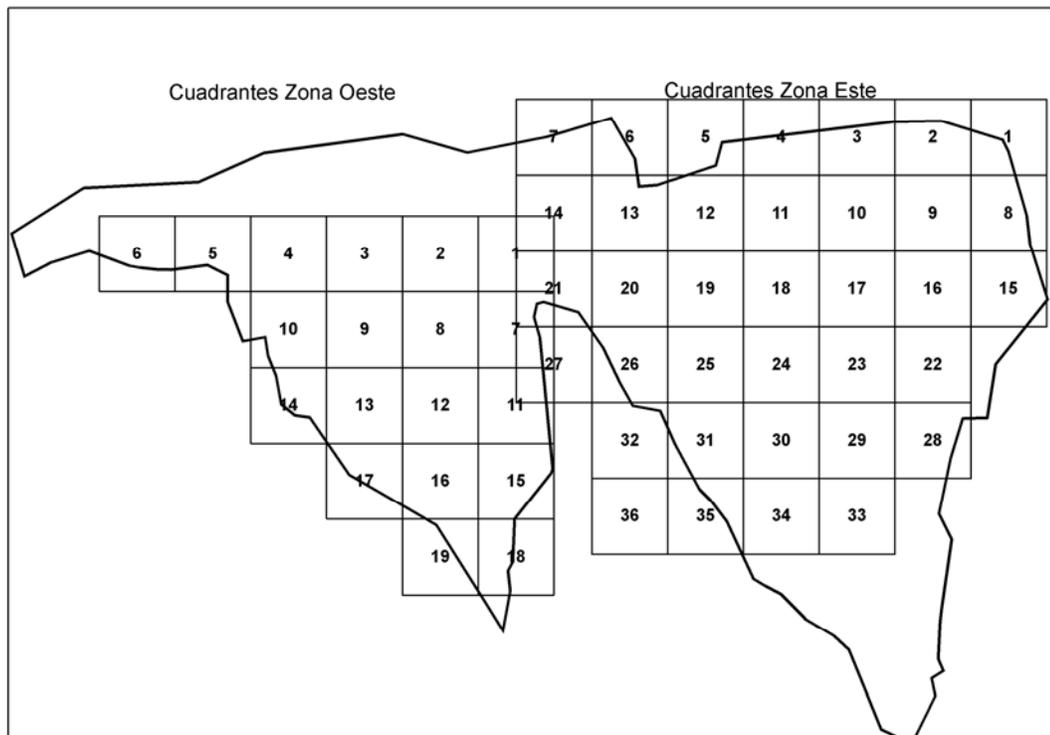
ArcMap no requiere rectificar la fotográfica y convertirla a un formato Raster tipo IMG o TIF, para desplegar con otros datos espaciales. Al rectificar cada fotografía se genera dos archivos el “rrd”y el “aux”, los cuales contienen el mismo nombre que el archivo de origen en “jpg”. Por ejemplo, la fotografía número 60 de la Línea 2 se llama L20060.jpg al realizar la georeferencia se generan los archivos L20060.aux y L20060.rrd. Este sistema de referencia no modifica las características del archivo de la fotografía, incluso se puede observar que mantiene su orientación original. Lo que le da la ubicación en el mapa georeferenciado es el archivo *.aux, al momento de visualizar en ArcMap, por este motivo, si se requiere copiar los archivo se deben copiar los tres archivos que contienen el mismo nombre con las extensiones jpg, aux y rrd.

Esto tiene alguna ventajas, ya que el tamaño de los archivos se reduce por utilizar los formatos comprimidos del “jpg” la otra es que se pueden modificar los niveles digitales de la fotografía y guardar con el mismo nombre y los valores de georeferencia se aplican a la imagen “jpg” modificada. Por último estos valores de georeferencia son reconocidos por algunos programas como es el caso de ERDAS Imagine con el cual se pueden generar mosaicos con una serie de fotografías.

Mosaicos de Fotografías

Por lo anterior se generaron mosaicos de fotografía para la zona, con la intención de simplificar el uso de las fotografías e integrar áreas de mayor superficie que se puedan trabajar con escalas aproximadas a 1:5,000 o mayor.

Para lograr esto se creó una malla en UTM con una distancia de cuadrante de 4 x 4Km, numerados de derecha a izquierda y de la parte superior a la inferior en el mismo orden que se realizó el vuelo.



En cada cuadrante se han integrado aproximadamente 40 fotos, estos mosaicos se encuentran georeferenciados en un formato comprimido denominado MrSID lo que permite ser visualizados en ArcMap y/o ERDAS. Estas imágenes mantienen una proyección de Cónica Conforme Lambert (CCL), con el fin de facilitar la visualización en los diferentes sistemas.

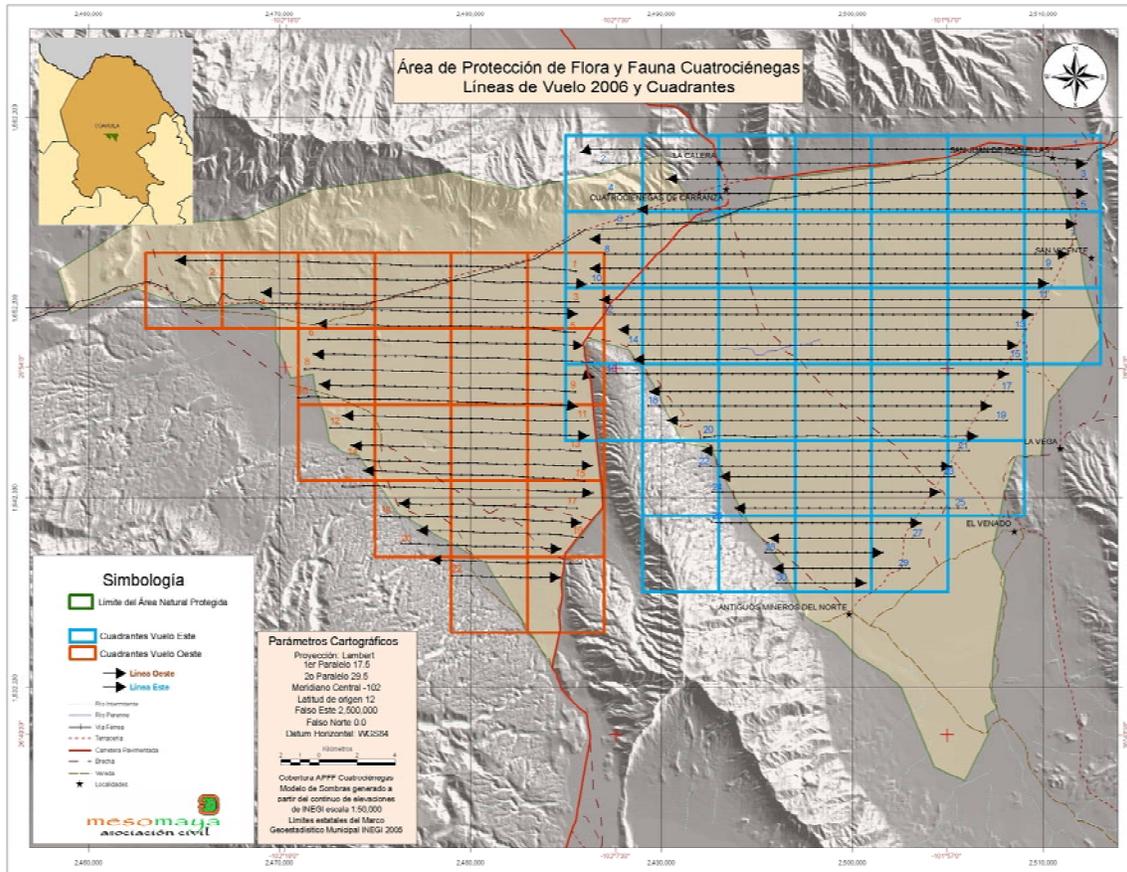


Figura 4. Cuadrantes de los mosaicos de fotografías aéreas en la zona de Cuatro Ciénegas, Coahuila

RESULTADOS

Análisis de Imágenes SPOT

Se trabajaron 4 imágenes multiespectrales de cuatro bandas del satélite SPOT 5, fue necesario utilizar dos escenas para cada periodo para cubrir el área de Cuatro Ciénegas. El número de puntos de control que se utilizaron en cada imagen para la georeferencia se presentan en la Tabla 2. El error medio cuadrático (RMS) que se obtuvo en el procesamiento de cada una de las imágenes se resume en la Tabla 2, el RMS obtenido se encuentra dentro de los valores de 1 a 1.2.

Tabla 2. Número de puntos de control y error medio cuadrático de las imágenes SPOT rectificadas

ESCENA	GCP's	RMS
578/296	80	1.2
579/296	57	1
578/296	90	1.1
579/296	35	1

Con las imágenes rectificadas se procedió a obtener compuestos en falso color RGB 4,1,3 para los años 2003 y 2007 (Figuras 5 y 6). Como se muestra en las imágenes de satélite, Cuatro Ciénegas se encuentra en un valle que cuenta con una extensión aproximada de 150,000 Ha, es un terreno casi plano, con una altura promedio de 700 metros sobre el nivel medio del mar.

Cuatro Ciénegas forma parte de la Provincia de la Sierra Madre Oriental y de la Subprovincia denominada Sierras y Llanuras Coahuilenses. En esta predominan sierras de roca caliza de origen Mesozoico y de origen sedimentario marino, que fueron sometidas a esfuerzos corticales de tensión y compresión, y dieron origen a levantamientos serranos abruptos compuestos de rocas calizas, que se alternan con valles intermontanos orientadas de noroeste a sureste, en su mayoría escarpadas y más bien pequeñas. Entre estas Sierras se extienden amplias bajadas, lomeríos y llanuras de materiales aluviales, como las que conforman el valle. El cual se encuentra rodeado por las siguientes sierras: al norte La Madera y La Menchaca, al oeste La Purísima y San Vicente, al sur San Marcos y Pinos y al sureste La Fragua.

El Valle de Cuatrociénegas es parte de la Región Hidrológica Bravo-Conchos, dentro de la Cuenca Presa Falcón-Río Salado, correspondiendo a la Subcuenca Río Salado-Nadadores. Así mismo, el Valle se encuentra dentro de la zona geohidrológica llamada Cuatrociénegas-San Miguel, en la cual se han identificado dos fuentes de agua subterráneas. Originalmente el valle formaba una cuenca cerrada, por lo que es posible que se formaran en la parte más baja pantanos y áreas inundadas someras.

Por la combinación de las bandas es posible identificar algunos elementos que conforman el área de Cuatro Ciénegas.

En la porción Norte se encuentra la población de Cuatro Ciénegas es fácil de identificar porque presenta un color gris debido principalmente a la presencia de las construcciones y donde convergen los 3 caminos principales.

Colindando con la población de Cuatro Ciénegas hacia la porción SE se puede observar una zona amplia con una actividad agrícola, la presencia de los cultivos y las zonas de labranza generan un mosaico de color verde, café y blanco.

En la zona de los dos valles se pueden apreciar amplias zonas de color azul cielo y tonalidades de verde que se produce en áreas que se encuentran desprovistas de vegetación o bien en aquellas zonas desérticas en donde la vegetación se encuentra muy dispersa, como es el caso de la zona de Dunas.

Todas las zonas que presentan vegetación se pueden observar con diferentes tonalidades de Rojo. Si consideramos que el falso color se construyó con la combinación de bandas RGB 4,1,3 que corresponde al Infrarojo Medio, el verde y el Infrarrojo cercano. De manera que la vegetación tiene una respuesta en tonalidades de rojo, las áreas con color rosa corresponde a la vegetación halófila, mientras que los tonos marrón indican aquellas zonas donde se distribuyen los matorrales y las zonas de rojo mas oscuro es donde se distribuye la zona de los Mesquiales.

Por esta combinación de bandas los cuerpos de agua se muestran con un color azul oscuro

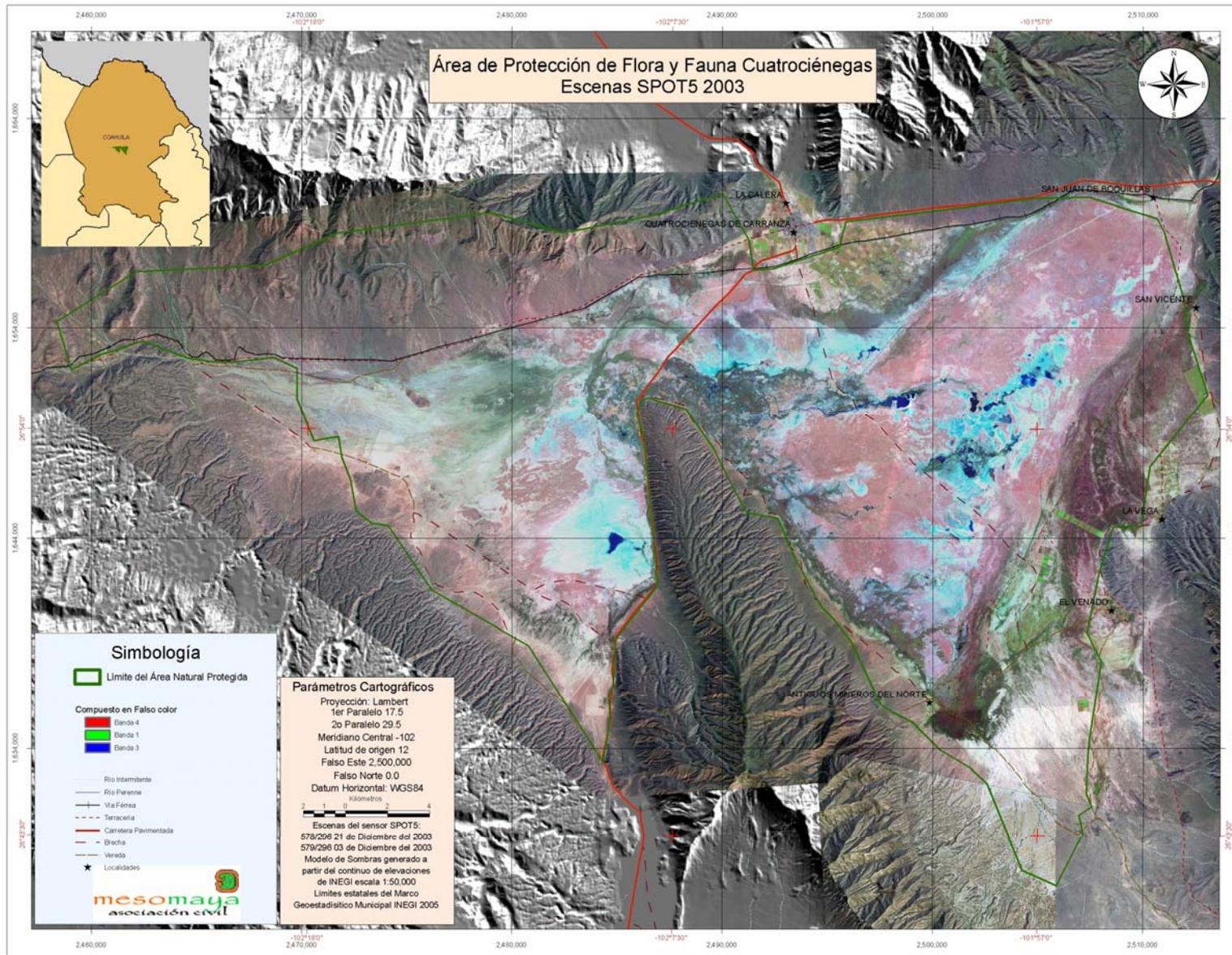


Figura 5. Imagen en falso color RGB 4,1,3 SPOT 2003 en el área de Cuatro Ciénegas, Coahuila.

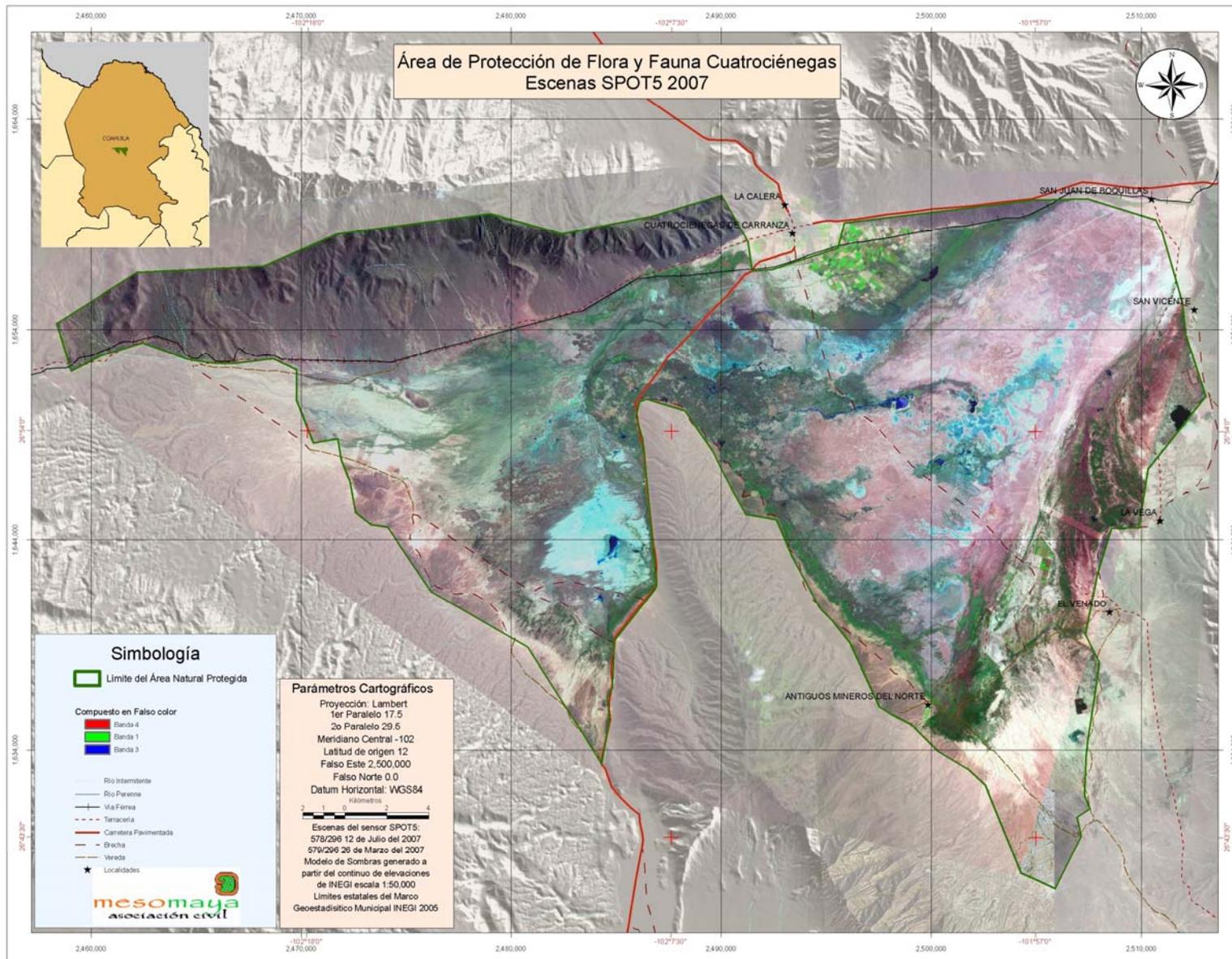


Figura 6. Imagen en falso color RGB 4,1,3 SPOT 2007 en el área de Cuatro Ciénegas, Coahuila.

La leyenda de uso del suelo y vegetación que se obtiene de la clasificación de las imágenes SPOT con base en el diccionario de datos del INEGI 2000, presentan 4 tipos de uso del suelo y 8 tipos de vegetación, además de contar con la presencia de los cuerpos de agua y las zonas que tuvieron un impacto por incendios y quemadas agrícolas. Los diferentes tipos se describen a continuación:

Matorral desértico micrófilo.- Vegetación arbustiva que generalmente presenta ramificaciones desde la base del tallo, cerca de la superficie del suelo y con composición, densidad y altura variable, pero casi siempre inferior a 4 m. Se distribuyen principalmente en las zonas áridas y semiáridas del país.

Especies representativas: *Larrea tridentata* (Gobernadora), *Flourensia cernua* (Hojasén), *Ambrosia dumosa* (Hierba del Burro), *Prosopis* spp. (Mezquites), *Acacia vernicosa* (Chaparro prieto), *Franseria dumosa* (Hierba del burro), *Mimosa* spp (Uña de gato), *Yucca filifera* (Palma china), etc.

Matorral desértico rosetófilo.- Matorral dominado por especies con hojas en roseta, con o sin espinas, sin tallo aparente o bien desarrollado. Se encuentra generalmente sobre xerosoles de laderas de cerros de origen sedimentarios, en las partes altas de los abanicos aluviales o sobre conglomerados en casi todas las zonas áridas y semiáridas del centro, norte y noroeste del país.

Especies representativas: *Agave lechuguilla* (lechuguilla), *Euphorbia antisyphilitica* (candelilla), *Parthenium argentatum* (guayule), *Yucca carnerosana* (palma samandoca), etc.

Mezquital Xerófilo.- Comunidad vegetal formada por árboles bajos espinosos de mezquites. Se distribuye ampliamente en las zonas semiáridas, principalmente sobre terrenos aluviales profundos, a veces con deficiencia de drenaje. Es común que esta especie se encuentre mezclada con huizaches, palo fierro, palo verde, etc. A veces aparenta ser una comunidad secundaria.

Especies representativas: *Prosopis* spp. (mezquites), *Acacia* spp. (Huizache), *Olneya tesota* (Palo fierro), *Cercidium* spp (Palo verde, Brea).

Matorral submontano.- Comunidad arbustiva a veces muy densa, formada por especies inermes o a veces espinosas, caducifolias por un breve período del año; se desarrolla entre los matorrales áridos y los bosques de encino y selva baja caducifolia a

altitudes de 1500-1700 m, principalmente en laderas bajas de ambas vertientes de la Sierra Madre Oriental, desde Querétaro e Hidalgo hacia el norte, penetrando más allá de la frontera política con los E. U. A.

Especies representativas: *Helietta parvifolia* (barreta), *Neopringlea integrifolia* (corva de gallina), *Cordia boissieri* (anacahuita), *Pithecelobium pallens* (tenaza), *Acacia rigidula* (gavia), *Gochnatia hypoleuca* (ocotillo, olivo), *Karwinskia* spp. (coyotillo, tullidota), *Fraxinus greggi*, *Acacia berlandieri* (guajillo), *Amyris* spp. (limoncillo), *Capparis incana* (vara blanca), *Rhus virens* (lantrisco), *Flourensia laurifolia*, *Zanthoxylum fagara*, *Mimosa leucaneoides*, *Mortonia greggi* (afinador), etc.

Vegetación halófila.- La constituyen comunidades vegetales arbustivas o herbáceas que se caracterizan por desarrollarse sobre suelos con alto contenido de sales, en partes bajas de cuencas cerradas de las zonas áridas y semiáridas, cerca de lagunas costeras, en áreas de marismas, etc. Se incluyen en ésta categoría comunidades de gipsófilas, ya que frecuentemente están asociadas. Vegetación arbustiva o herbácea –no con gramíneas- desarrolladas sobre suelos con alto contenido de sales, en zonas áridas o semiáridas.

Gipsófila.- Vegetación arbustiva o herbácea –no con gramíneas- desarrolladas sobre suelos o rocas con alto contenido de yeso en zonas áridas o semiáridas.

Especies representativas: *Frankenia*, *Fouquieria*, *Dicranocarpus*, *Sartwellia*, *Petalonyx*, *Selinocarpus*, *Flaveria*, *Haploesthes*., etc. Son comunes las asociaciones de *Atriplex* spp, (Saladillos, Chamizos, Costilla de vaca), *Suaeda* spp. (Jauja, Romerillo), *Batis marítima* (Vidrillo), *Abronia marítima* (Alfombrilla), *Frankenia* spp. (Yerbareuma), *Limonium californicum* (Lavanda de mar), etc.

Pastizal halófilo.- Comunidad de gramíneas que se desarrolla sobre suelos salinos-sódicos, independientemente el clima; es frecuente en el fondo de las cuencas cerradas de zonas áridas y cerca de las costas.

Especies representativas: *Distichlis spicata* (zacate salado), *Eragrostis obtusiflora* (zacate jihuite), *Spartina spartinae* (zacate espinilla), *Hilaria mutica* (zacate toboso, sabaneta).

Matorral crasicaule.- Tipo de vegetación dominada fisonómicamente por cactáceas grandes con tallos aplanados o cilíndricos que se desarrollan principalmente en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país. Algunas especies son: *Opuntia streptacantha* (nopal cardón), *O. Robusta*, *O. Leucotricha*, *O. Cantabrigiensis*, *O. Tomentosa*, *O. Violacea*, *O. Imbricata* (xoconoxtle), *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo), *Cephalocereus senilis* (viejito), *Carnegia gigantea* (sahuaro), *Pachycereus* spp. (cardón), *Neobuxbaumia tetetzo* (teteche), *Stenocereus* spp. (organos, cardón).

Vegetación secundaria.- Comunidades originadas por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original y en otros casos presenta un aspecto y composición florística diferente. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas.

Áreas sin vegetación aparente.- Se incluye bajo este concepto los eriales, depósitos de litorales, jales, dunas y bancos de ríos y bancos de materiales que se encuentren desprovistos de vegetación o con una cobertura extremadamente baja o en que ésta no sea aparente y, por ende, no se le pueda considerar bajo alguno de los otros conceptos de vegetación. La ausencia de vegetación puede ser determinada por condiciones naturales como clima muy árido o salinas.

Cuerpo de agua.- Extensión de agua limitada por tierra.

Zona Agropecuaria.- Área en la que el suelo es utilizado para la realización de labores agrícolas o algún tipo de actividad pecuaria.

Pastizal.- Los establecidos por el hombre o áreas agropecuarias en descanso, áreas en recuperación (incendios), o desmontes.

Asentamientos Humanos.- Territorio ocupado por comunidades humanas, localidades, poblaciones. etc

Infraestructura.- Área ocupada por vías de comunicación, zonas industriales, aeropuertos, etc.

Área Impactada por Incendio.- Incendios o quemas agrícolas.

En el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas la vegetación se encuentra distribuida entre el Ecosistema matorral xerófilo y pastizal, el primero con presencia de tipos de vegetación de matorral crasicaule, matorral micrófilo, matorral roseto fillo y matorral submontano, mezquital xerófilo y vegetación halófila, algunos con presencia de vegetación secundaria como es el caso del mezquital xerófilo y la vegetación halófila. Mientras que el segundo con la presencia de vegetación de pastizal halófilo.

En las partes mas bajas del Valle se encuentra el pastizal halófilo y la vegetación halófila, así como aquellas áreas identificadas sin vegetación aparente, algunas corresponden a las zona de Dunas y otras a las zonas de inundación. Los matorrales se encuentran en zonas ligeramente mas elevadas, siendo el matorral submontano el que se encuentra sobre las partes mas altas.

Las zonas de uso del suelo se distribuyen en todo el valle, hay una amplia extensión de zona agropecuaria que colinda con la población de Cuatrociénegas, también se presenta otra amplia zona hacia la localidad El Venado y Antiguos Mineros del Norte. En tanto que la porción Oeste del valle se localizan algunos pequeños partes de uso del suelo con actividades agropecuarias.

La mayor superficie se encuentra ocupada por vegetación de tipo forestal que representa el 83.74% y 83.52% de la superficie del APFF., mientras que el 12.56% y 12.54% esta representado por zonas sin vegetación aparente y solo el 3.08% y 3.29% esta representado por zonas con actividades agrícolas.

Los cuerpos de agua como uno de los componentes principales de la zona son muy numerosos, sin embargo solo ocupan una superficie de 251 Ha entre pozas, ríos y canales, que corresponde al 0.3% de la superficie total del área. Aunque hay que considerar que el calculo de la superficie puede variar en función de la escala a la que se mida.

Las zonas transformadas están constituidas por asentamientos humanos, infraestructura, pastizal y zonas agropecuarias que juntos representaban el 3.39% y el 3.60% respectivamente. La otra porción la constituyen las áreas sin vegetación aparente con el 12.56% y el 12.54% de la superficie total del área.

Tabla 3. Datos de uso del suelo y vegetación 2003-2007 con base en la clasificación de las imágenes de satélite SPOT

USO DE SUELO Y VEGETACION	SPOT 2003		SPOT 2007	
	Ha	%	Ha	%
FORESTAL				
Matorral crasicaule	76	0.09	76	0.09
Matorral desértico micrófilo	10,294	12.33	10,290	12.32
Matorral desértico rosetófilo	11,844	14.19	11,844	14.19
Matorral submontano	237	0.28	237	0.28
Mezquital xerófilo	5,379	6.44	5,368	6.43
Pastizal halófilo	8,572	10.27	8,506	10.19
Vegetación halófila	28,979	34.71	28,899	34.61
Mezquital xerófilo /V2	3,970	4.75	3,970	4.75
Vegetación halófila /V2	572	0.68	546	0.65
Subtotal	69,924	83.74	69,737	83.52
NO FORESTAL				
Zona agropecuaria	2,575	3.08	2,744	3.29
Pastizal	209	0.25	214	0.26
Área sin vegetación aparente	10,484	12.56	10,467	12.54
Área impactada por incendio	0	0.00	29	0.03
Asentamientos humanos	3	0.00	3	0.00
Infraestructura	52	0.06	52	0.06
Subtotal	13,323	15.96	13,509	16.18
OTRAS COBERTURAS				
Cuerpo de agua	251	0.30	251	0.30
Subtotal	251	0.30	251	0.30
TOTAL	83,497	100	83,497	100

Las Figuras 7 y 8 muestra el uso del suelo y vegetación para el año 2003 y el año 2007. Con el solapamiento de las dos coberturas se pueden obtener las áreas de cambio como se muestra en la Figura 9, las áreas en amarillo representan aquellas zonas que se encontraban transformadas hasta el año de 1990, y en tonos de rojo se presentan las zonas que se han transformado en los diferentes periodos.

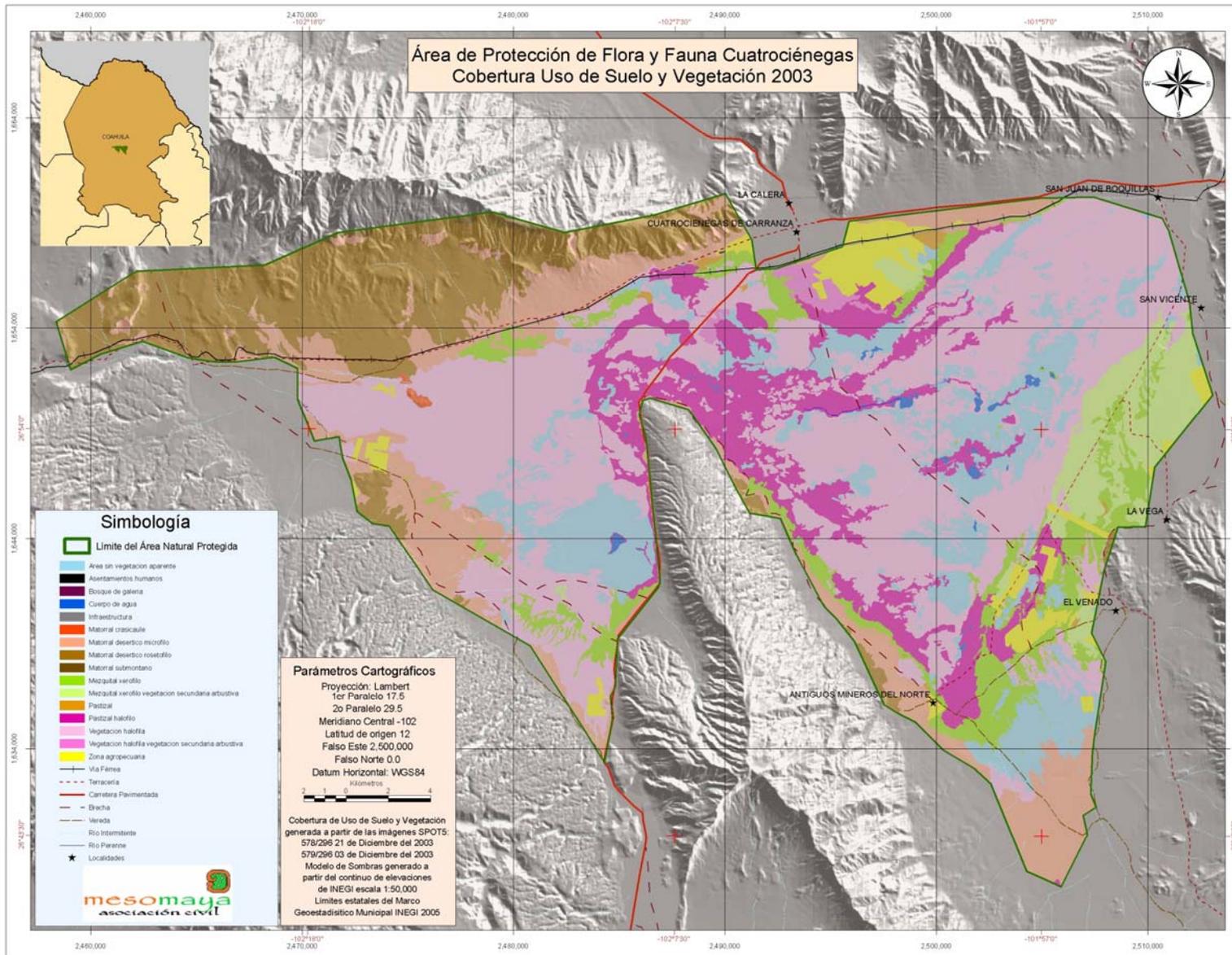


Figura 7. Uso del suelo y vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2003.

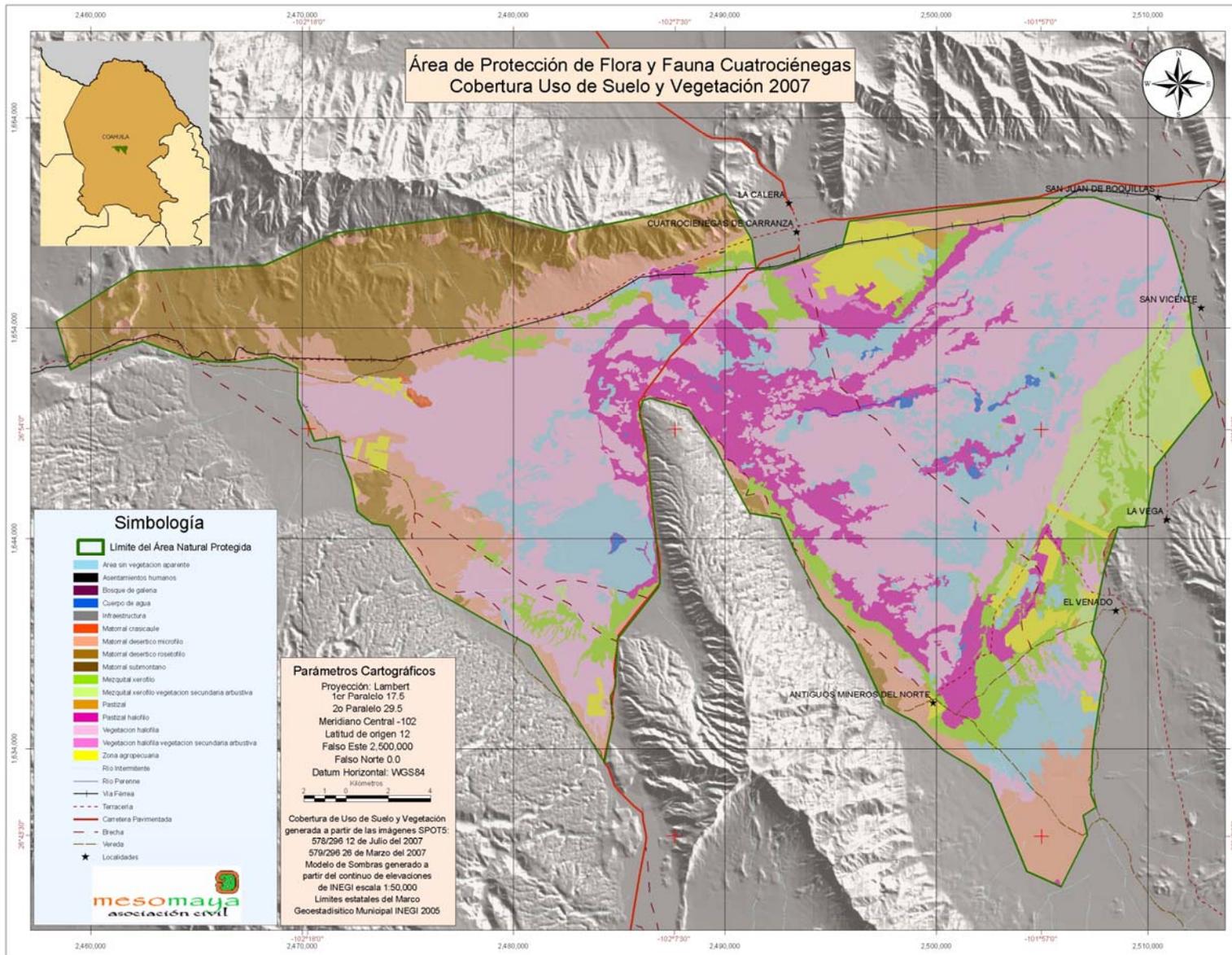


Figura 8. Uso del suelo y vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2007.

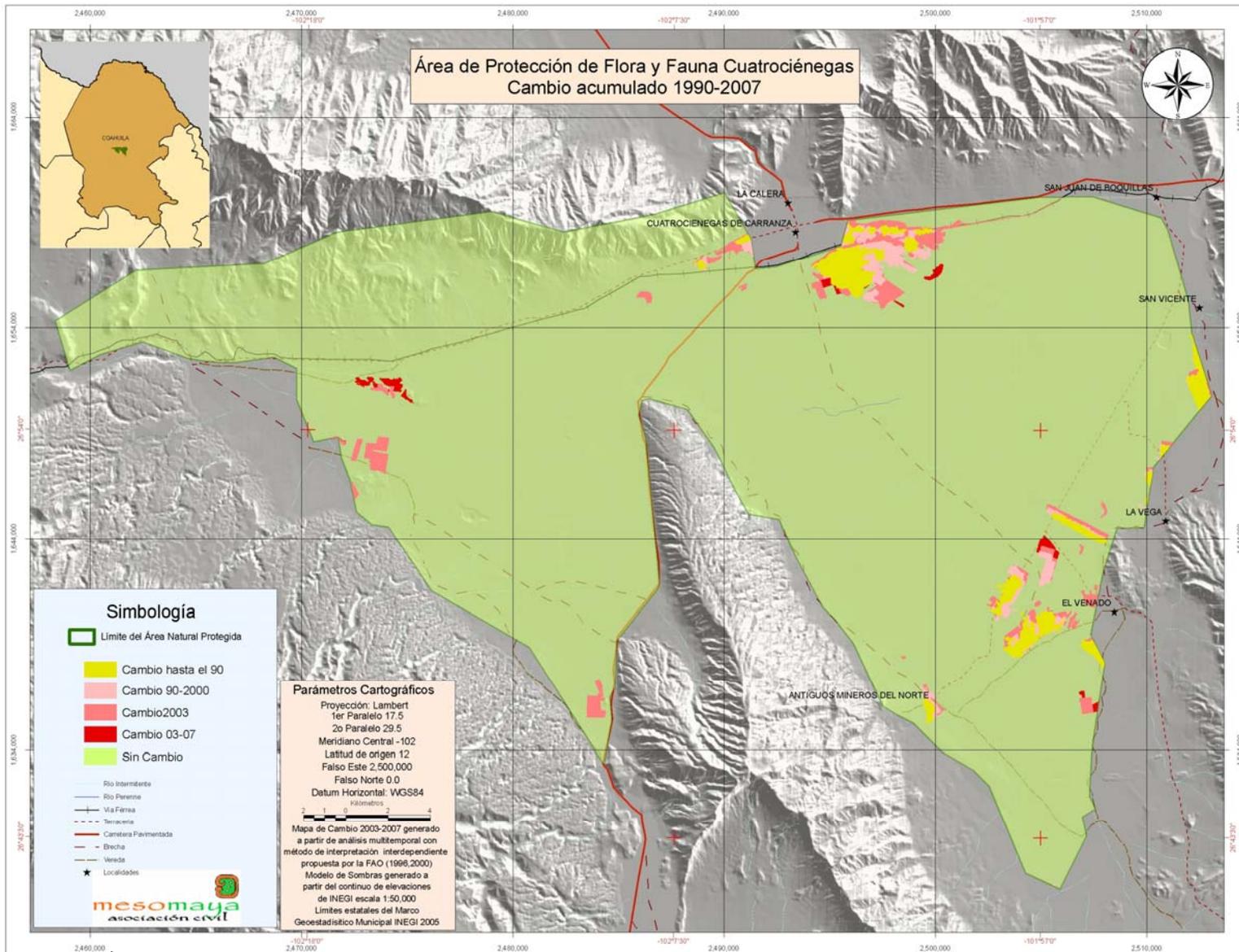


Figura 9. Áreas de transformación en el periodo 2003-2007.

La matriz de transición (Tabla 4) indica una actividad de tipo deforestación, en donde la vegetación primaria y con vegetación secundaria se transforma a uso de suelo para agricultura y pastizal. Áreas de matorral desértico micrófilo, mezquital xerófilo, pastizal halófilo y vegetación halófila se transformaron a usos del suelo de tipo agropecuarios. Mientras que áreas de mezquital xerófilo y pastizal halófilo se transformaron en zonas con pastizales. Estas dos últimos tipos de vegetación también tuvieron un impacto debido a actividades de fuego que puede ser atribuido a quemas agrícolas o incendios forestales.

Tabla 4. Matriz de cambio 2003-2007 con base en la clasificación de las imágenes de satélite SPOT

Matriz de cambio	Matorral crasicaule	Matorral desértico micrófilo	Matorral desértico rosetófilo	Matorral submontano	Mezquital xerófilo	Pastizal halófilo	Vegetación halófila	Mezquital xerófilo /V2	Vegetación halófila /V2	Zona agropecuaria	Pastizal	Área sin vegetación aparente	Área impactada por incendio	Asentamientos humanos	Infraestructura	Cuerpo de agua	Total 2003
Matorral crasicaule	76																76
Matorral desértico micrófilo		10,290				0.00				4.42							10,294
Matorral desértico rosetófilo			11,844														11,844
Matorral submontano				237													237
Mezquital xerófilo					5,368					2.35	4.55		3.55				5,379
Pastizal halófilo						8,506				40.21	0.34		25.12				8,572
Vegetación halófila							28,899			80.00							28,979
Mezquital xerófilo /V2								3,970									3,970
Vegetación halófila /V2									546	25.78							572
Zona agropecuaria										2,575							2,575
Pastizal											209						209
Área sin vegetación aparente										16.52		10,467					10,484
Área impactada por incendio													0				0
Asentamientos humanos														3			3
Infraestructura															52		52
Cuerpo de agua																251	251
Total 2007	76	10,290	11,844	237	5,368	8,506	28,899	3,970	546	2,744	214	10,467	29	3	52	251	

Deforestación
Perturbación
Recuperación
Revegetación

En el periodo analizado se transformaron un total de 202.86 Ha. los usos del suelo a los que se transforman los tipos de vegetación son pastizal y agricultura, en donde la actividad que mayormente impacto a los tipos de vegetación corresponde a la agricultura con 162.29 Ha. (Tabla 5). Hay que hacer notar que actividades de fuego puede ser parte de la preparación de la tierra para el cultivo, esta se presenta de manera evidente en las imágenes del año 2007.

Tabla 5. Transformación de Forestal a No Forestal

Transformación	NO FORESTAL 2007		
	Area impactada por incendio	Pastizal	Zona agrícola
Matorral desértico micrófilo			-4.42
Mezquital xerófilo	-3.55	-4.55	-2.35
Pastizal halófilo	-25.12	-0.34	-40.21
Vegetación halófila			-80.00
Vegetación halófila /V2			-25.78
Area sin vegetacion aparente			-16.52
	-28.68	-4.90	-169.29
Ha Transformadas	-202.86		

La tasa de transformación calculada es de 0.06% que corresponde a 50.72 Ha/año. Datos de la zona se presentaron en el trabajo elaborado por la CONANP y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza para el periodo 1973-2000 (CONANP-FMCN, 2003). Utilizando imágenes de satélite Landsat, los resultados muestran que la tasa en el periodo comprendido fue de 0.10% que equivale a 87 Ha/año. Anterior al decreto de 1994, se presentó una transformación de 1,536 Ha, durante el periodo 1992-2000 se presento una tasa de 0.15% con 127 Ha/año, transformándose 1,020 Ha.

Tabla 6. Tasa de transformación del habitat periodo 2003-2007

	Forestal	%	No Forestal	%	Transformación en el período de vejtación no forestal	Ha/año en el perido
SUPERFICIE ORIGINAL	83,497					
2003	80,408	96.30	2,839	3.40		
2007	80,205	96.06	3,041	3.64	202.86	202.86

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año
2003-2007	80,408	80,205	-203.31	4	0.0006	0.06	50.72

	Año	Transformación acumulada (Ha)
Datos CONANP-FMCN (2003)	1973	237
	1986	778
	1992	1,536
	2000	2,556
Este trabajo	2003	2,839
	2007	3,041

A pesar de que continúa la transformación del área, los datos indican que hay una tendencia a mantener o detener la transformación del habitat, y lo que se espera es que este valor se mantenga a lo largo del tiempo, lo que nos puede indicar que posiblemente las acciones de conservación implementadas en el área, permiten el mantenimiento de los ecosistemas en el Valle de Cuatro Ciénegas.

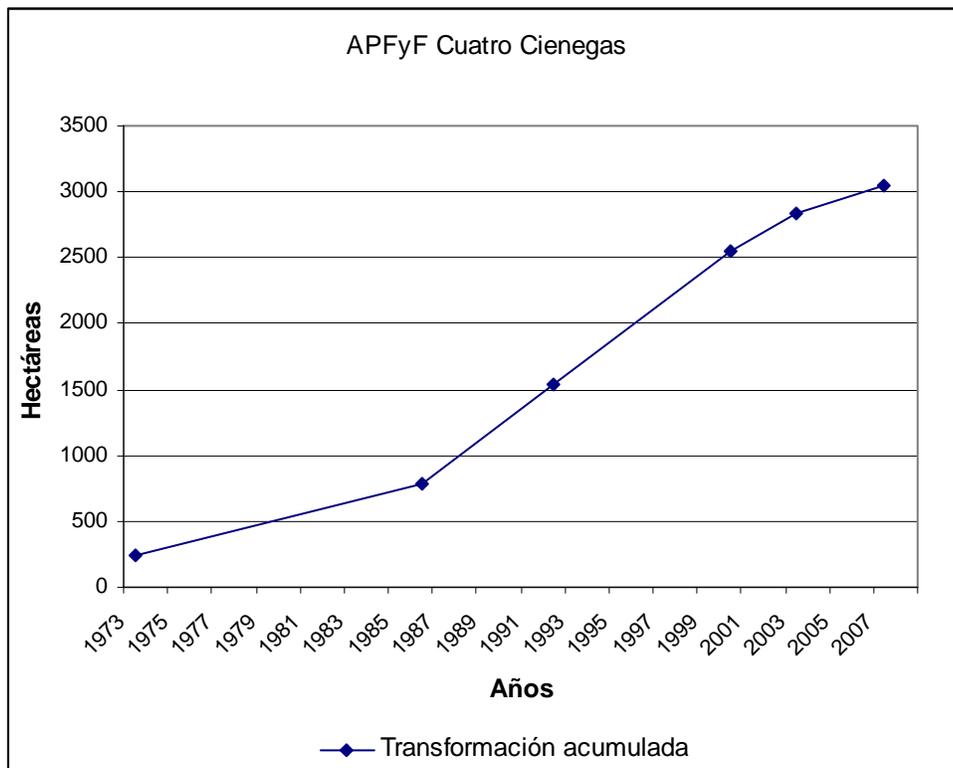


Figura10. Tendencia de la transformación del habitat .

Fotografía aérea digital

Se georeferenciaron un total de XXX fotografías, todas las fotografías que cuenta con referencia espacial están constituidas por tres archivos, *.jpg, *.aux y *.rrd.

El primero corresponde al formato de imagen que fue transferido a partir del formato nativo de NIKON. Todos las fotografías se encuentra crudas sin modificación de los valores de los niveles digitales, lo cual permite modificar los valores digitales según el usuario así lo determine.

El segundo es el archivo de georeferencia que permite ubicar espacialmente a la imagen *.jpg para poder visualizarla sobre información con referencia espacial. Y el último es lo que se conoce como el archivo de pirámides, el cual permite la visualización inmediata de archivos de imágenes que tardan demasiado en el despliegue, este último se crea a partir de las características de la imagen, por lo cual al modificar los niveles digitales de la imagen *.jpg se debe eliminar de la carpeta para que en el momento de cargar el archivo con los nuevos valores digitales se genere de nuevo el archivo de pirámides *.rrd.

Esta foto, vista con dos programas diferentes, un visualizador de imágenes sin referencia espacial con lectura de píxel de 0 a 3004 columnas y de 0 a 2048 líneas.

Foto L250989 vista con un visualizador de imágenes



La misma foto visualizada en programa de Sistema de Información Geografica ArcMap que le da la ubicación espacial, con una lectura de píxel en coordenadas geográficas UTM, motivo por el cual la foto de encuentra con una rotación y un ángulo de inclinación y en algunos casos se puede observar la deformación en función al ángulo de inclinación y la topografía del terreno.

Foto L250989 vista con ArcMap



Mosaicos de Fotografías

Las fotografías fueron agrupadas en los diferentes cuadrantes y se obtuvieron los mosaicos que se presentan en el anexo del documento. Estos mosaicos están compuestos de aproximadamente 40 fotografías y para su fácil manejo han sido colocados en archivos de imagen comprimida tipo MrSID, como a continuación de muestra:

Con las fotografías se permite tener un nivel de escala mayor que puede estar en 1:3,000 y 1:5,000 aquí se permite visualizar algunos elementos que escapan de la visita de las imágenes SPOT, como son algunas actividades de desvío de canales y actividades de quemas agrícolas.

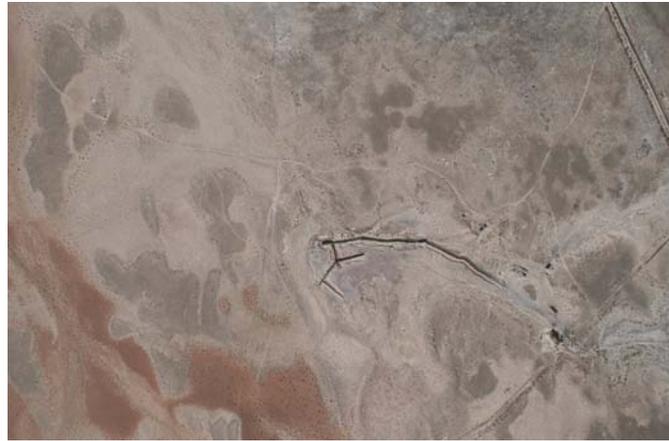


Foto LW70223



Foto L261006

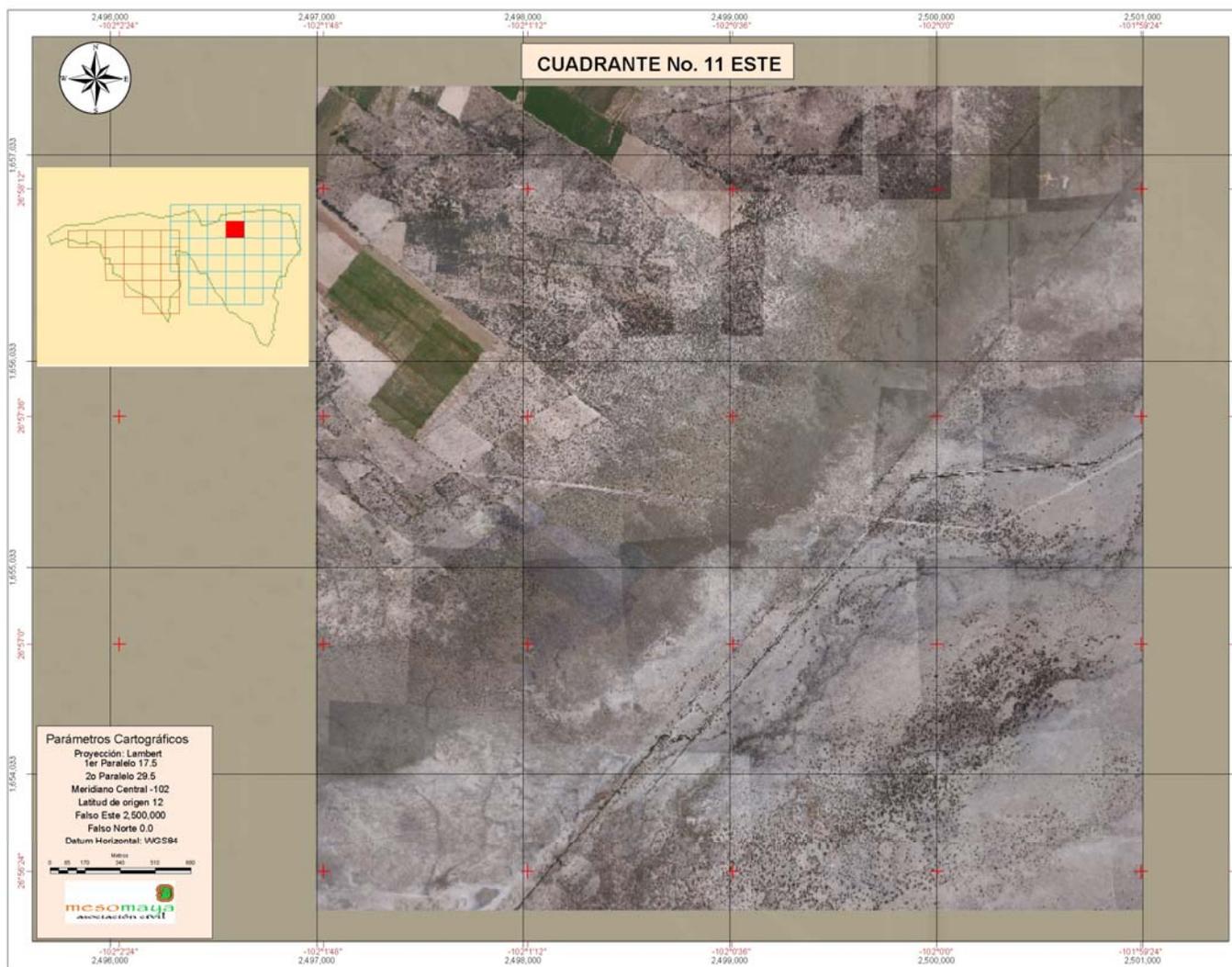


Figura 11. Mosaico de fotos en un cuadrante .

CONCLUSIONES

Los datos obtenidos con la clasificación de las imágenes de satélite muestran que el área la mayor proporción en los tipos de vegetación corresponde a la vegetación halófila con el 34% de la superficie total del área, seguida del pastizal halófilo con el 10%. Mientras que los matorrales desértico micrófilo y roseto filo representan el 12% y el 14% de la superficie total.

Los datos agrupados indican que la vegetación de tipo Forestal esta representado en el 83% de la superficie total. Mientras que las área que presentan actividades humanas representan solo el 3.39%. En tanto que la contabilidad de los cuerpos de agua con el empleo de estas imágenes es de 251 Ha.

Los tipos de vegetación se ven afectados principalmente por la apertura de tierras para la agricultura. Esto puede llegar a ser crítico si se considera que los cultivos de alfalfa son uno de los principales productos que amenazan la sostenibilidad de los cuerpos de agua.

Sin embargo la tendencia en la transformación del habitat en el valle de Cuatro Ciénegas tiende a estabilizarse lo que indica que cada año es menor la tasa. Para el periodo 2003-2007 se registra una actividad de 50.72 Ha/año lo que representa una tasa de cambio anual del 0.06% de la superficie del 2003.

Por otra parte las fotografías aéreas georeferenciadas permitirán tener un mejor conocimiento de la zona, se podrán cuantificar de una mejor manera las pozas y los ríos que se encuentran en el valle. Al contar con información a una escala mayor permitirá monitorear algunas de las actividades que no son detectables en las imágenes de satélite. Es conveniente dar seguimiento a este tipo de información para contar con un registro continuo y sistemático que permita comparar algunas de las actividades a escala mayor a través del tiempo.

LITERATURA CITADA

Anderson, J.R.; Ardí, E. E.; Roach, J.T. y Witmer, R.E. 1976. "A Land Use and Land Cover Classification System For Use with Remote Sensor Data", U. S. Geological Survey. Prof. Paper, Washington, D.C., 964 p.

Arreola, A.V. 1999. Marginación y cambio de uso de suelo en tres fronteras forestales de Chiapas, Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 294 pp.

Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Benítez, H., C. Arizmendi y L. Marquez. 1999. Base de Datos de las AICAS. CIPAMEX, CONABIO, FMCN y CCA. México. (<http://www.conabio.gob.mx>).

Campbel, J. B. 1981. "Spatial correlation effects upon accuracy of supervised classification of land cover" Photogrametric Engineering and Remote Sensing, 47, 355-363 pp.

CONANP, 1999. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. México 167 p.

CONANP-FMCN, 2003 Estimación de la Tasa de Transformación del Habitat en el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas, periodo 1973-2000 Informe Final 32 p.

Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3 edición. Rialp, S.A. Madrid España. 568 p.

Chuvieco, E. 2002. Teledetección Ambiental. 1ª edición. Rialp, S.A. Madrid España. 568 p.

Dinerstein, E., Olson, D.M., Gram, D.J., Webster, A.L., Primm, S.A., Bookbinder, M.P. y G. FEDEC. 1995. A conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean. WWF, The World Bank. Washington, D.C. 129 p.

FAO. 1996. Introduction to Remote Sensing, 2ª ed., Nueva York, The Guilford Press.

FAO. 2000. FAO, The Strategic Framework for FAO 2000-2015. Roma 1999. (puede consultarse en: <http://www.fao.org/docrep/X3550E/x3550e00.htm>)

ICA Anson R. W. and Ormeling F. J. 2002. Basic Cartography for Students and Technicians. International Cartographic Association. Association Cartographique Internationale. Volume 2, Second Edition.

INEGI. 2000. Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación. México. 50 p. (puede consultarse en: http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/usue_250.pdf)

Mittermeier, R. Y C. Goettsch Mittermeier, 1997. Megadiversidad, Los países biológicamente más ricos del mundo. CEMEX, México.

Pala, V. y Pons, X. 1995. "Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 935-934 pp.

Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.

Reuter, F., 2003. Carpeta de Trabajos Prácticos-Teledetección Forestal. Facultad de Ciencias Forestales-UNSE.

Rogan, J. and D. M. Chen. 2004. Remote Sensing Technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. Progress in Planning 61. 301-325 pp.

SEMARNAP, 1997. Ley Forestal. México. 51 p.

SEMARNAT 2007. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2007. México

SEMARNAT, 2005. Informe de la Situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. México

SEMARNAT-CONANP. 2007 Protocolo para la Evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México (En Revisión)-México, D.F. julio 2007-53 pág.

Singh, A. 1989, Digital change detection techniques using remotely sensed data. *Internacional Jpournal or Remote Sensing*, 10, 989-1003 pp.

Souza, Saldívar Valeria (2004). Reporte del análisis de las comunidades bacterianas de Cuatro Ciénegas y su posible relación con el Valle de El Hundido, Informe B, Coahuila. Instituto de Ecología, UNAM.

Stein, Bruce A., Lynn S. Kutner, Jonathan S. Adams, editors. *Precious Heritage: The Status of Biodiversity in the United States*. Oxford University Press, Oxford, 2000.

UNAM, Instituto de Geografía, 2000. Informe del Inventario Forestal Nacional 2000-2001, México, 266 p.

Velázquez, A., J.F. Mas, R. Mayorga-Saucedo, J L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González, I. Trejo, J. López-García, M. Palma, A. Peralta y J. Prado-Molina 2001. El Inventario Forestal Nacional 2000: Potencial de Uso y Alcances. *Ciencias*, 64: 13-19 pp.

Velázquez, A., Mas, J.F., Díaz,-Gallegos, J.R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P.C., Castro, R., Fernández, T. Bocco, G., Palacio, J.L., 2002 Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica INE* 62, 21-37 pp.

Wilson, E. (Editor). 1988. *Biodiversity*. Washington, National Academy Press.

ANEXOS