



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Análisis mediante teledetección y S.I.G. de la lámina de agua, vegetación y usos del suelo en el Parque Natural “Les Salines de Santa Pola” durante el periodo 1992-2001.

Autor: Miguel Verdú Bernabeu

Institución: Asociación de Ciencias Ambientales de la Comunidad Valenciana (ACACV)
E-mail: miguelverdu@mambiental.com



RESUMEN:

Los humedales se han demostrado actualmente como uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra, jugando un papel esencial en el ciclo bioquímico como el del carbono. Las Salinas de Santa Pola (Alicante) conforman un ejemplo de que la explotación humana puede crear y mantener ecosistemas muy ricos en biodiversidad, lo que ha generado que se declare como Parque Natural por la Generalitat Valenciana, y como LIC y ZEPA de la Red Natura 2000. La gestión del agua en este tipo de ecosistemas es esencial debido a su carácter propio de humedal. Pero para una correcta gestión se debe saber el estado del mismo y sobre todo se deben tener indicadores objetivos que muestren la evolución de sus factores conforme a la gestión que se ejecuta sobre ellos. Las técnicas de inventariado y diagnóstico inicial por Teledetección y Sistemas de Información Geográfica se han mostrado muy útiles en este campo por lo que se emplean para poder determinar la evolución de la lámina de agua, la vegetación y los usos del suelo por ocupación del Parque Natural de Las Salinas de Santa Pola durante el periodo comprendido entre 1992 y 2001. Para ello se realiza un inventario de la zona. Posteriormente se analizan dos escenas de la plataforma LANDSAT de la zona de estudio para el periodo comprendido entre 1992 y 2001 mediante un análisis visual de imágenes monocromáticas de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7. Seguidamente se estudian las composiciones en falso color RGB: 1,2,3 ; 4,3,2 ; 7,4,2 y 4,5,3. Seguidamente se realiza un análisis diferencial de las bandas 1 y 7 para observar la evolución de la lámina de agua y se realiza un análisis de las bandas 3 y 4 obteniendo el índice de vegetación NDVI. Por último se realiza una catalogación visual a partir de las composiciones en falso color RGB 4,5,3 vectorizando toda la escena en ocho tipos de clases y comparándolas.



1 INTRODUCCIÓN.

Los humedales en una época más o menos reciente tenían una imagen de lugares insalubres, sucios y de ser focos de infecciones y enfermedades. Esta imagen ha ido cambiando paulatinamente y actualmente se ha demostrado que los humedales constituyen uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra, y que juegan un papel esencial en los ciclos biogeoquímicos a través de la producción anaeróbica de gases como el metano, siendo la mayor fuente de carbono del planeta. Los humedales también desempeñan un papel importante en el ciclo hidrológico, ya que almacenan agua en los períodos secos mientras que en los episodios de inundación reducen los niveles del agua y filtran los sólidos en suspensión, ayudando así en el control de la calidad del agua y en la recarga de acuíferos. (<http://www.ramsar.org>).

Las Salinas típicas del litoral mediterráneo están clasificadas como humedales. Las Salinas de Santa Pola muestran unas características a nivel ambiental envidiables, como la gran cantidad de biodiversidad que alberga que le hizo merecedora de la figura de protección de Parque Natural, estar adherida al convenio internacional de protección de los humedales RAMSAR, ser un LIC y una ZEPA de la Red Natura 2000 de la Unión Europea. Todas estas características justifican la correcta gestión de todos los elementos que lo componen y configuran su estado actual y futuro. Además tratándose de un humedal, la gestión del Agua es un elemento básico y quizá el más importante. Si bien toda gestión empieza por un inventario exhaustivo de sus componentes (lámina de agua, vegetación, flora, relaciones entre sus elementos constituyentes...), una clasificación de los mismos y una apreciación de como han ido evolucionando a lo largo del tiempo.

La teledetección está siendo utilizada como herramienta en diversas áreas científicas, relacionadas con el medio ambiente. Una de las principales aplicaciones se centra en el inventariado de humedales (<http://www.ramsar.org>), si bien las imágenes por satélite en combinación con técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha resultado ser la metodología que mejores resultados ofrece en el campo del análisis, tanto en términos de rapidez como de calidad. (GIRAUT, M. 1992)

Por ello en este trabajo se combinan técnicas de análisis digital aplicado a



imágenes por satélite, seguidas de un análisis visual y otro por técnicas de análisis propias de los sistemas de información geográfica para lograr los objetivos del proyecto.



1.1 OBJETIVOS.

El objetivo global del trabajo es realizar un diagnóstico inicial para detectar si ha existido una correcta gestión del Parque Natural de "*Les Salines de Santa Pola*", así como de las áreas próximas al mismo, durante el periodo 1992–2001, para detectar la evolución del Parque durante este mismo periodo. Para ello se fijan los siguientes objetivos fundamentales:

- Definir la cantidad de suelo inundado (ocupado por agua) en los dos periodos y mostrar la tendencia de variación si existiera, exponiendo si las aportaciones de agua son suficientes para la supervivencia del ecosistema del Parque.
- Definir claramente la cantidad de suelo ocupado por la vegetación en los dos periodos y averiguar si se han producido cambios tanto en la cantidad de suelo ocupado por la vegetación como en el tipo de esta, clasificándola en dos grandes grupos: vegetación densa y vegetación poco densa.
- Definir los diferentes tipos de cubiertas del suelo (agrícola, explotación salinera, suelo inundado para uso de agua, vegetación, urbano, etc.) en los dos periodos estudiados y comparar la variación, si existiera, intentando definir tendencias que pudieran afectar al Parque Natural.

Para ello se partirá de dos escenas de satélite de la plataforma LANDSAT, con mismo emplazamiento y fechas distintas, unas del LANDSAT 5 realizadas con fecha de 1992, y otras del LANDSAT 7 realizadas durante el 2001, y analizándolas por medio de software de análisis y técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica.

1.2 ALCANCE.

El alcance temporal del proyecto corresponde al periodo comprendido entre 1992 y 2001, 9 años, tiempos suficiente para poder apreciar cambios significativos consecuencia de la gestión realizada sobre el Parque Natural.

El alcance espacial del estudio se centra en el área delimitada como Parque Natural de "*Les Salines de Santa Pola*" y sus zonas adyacentes, formando un área de planta cuadrada con un área de 129.960.000 m², 12.996 ha.



En cuanto al alcance de proposiciones quedan reflejados claramente en los objetivos marcados en el punto 1.1.



2 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

2.1 PROBLEMÁTICA DEL PARQUE NATURAL DE "LES SALINES DE SANTA POLA".

Si bien los problemas que ha de enfrentar el parque de "Les Salines de Santa Pola" en el futuro son múltiples y variados, a continuación se destacan los más importantes:

- *Calidad y cantidad de aportaciones de agua:* de ellas depende la existencia del ecosistema total del parque dado que es un humedal. Además se convierte en un tema de vital importancia por las condiciones del paraje en sí que se caracteriza por un clima seco.
- *Acumulación de basuras:* tanto vertederos incontrolados como municipales, que afectan de diversas maneras a la flora, la fauna y la misma estructura del Parque.
- *Caza y pesca furtiva:* que invalida el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG).
- *Presencia de visitantes incontrolados en exceso.*
- *Proyectos de infraestructura:* La carretera N-332 que pasa actualmente por el Parque y la existencia de un proyecto de autovía.

2.2 SITUACIÓN.

La zona de estudio se limita al Parque Natural de "Les Salines de Santa Pola" y sus zonas adyacentes, que se sitúa al Sur de la Comunidad Valenciana, en la provincia de Alicante, concretamente en la comarca del *Baix Vinalopó*, a 20 km de Alicante, 89 km de Murcia, 205 de Valencia y a 437 km de Madrid.

Su extensión es de 2.496 km² que en su gran mayoría pertenecen al municipio de Santa Pola, exceptuando una pequeña parte (al Oeste) que se localiza en el municipio de Elche.



Figura 1: Situación del Parque Natural “Les Salines de Santa Pola”. Fuente: Propia.

La carretera nacional 322 atraviesa el Parque Natural desde su extremo Noreste, hasta la parte Sur, dividiéndolo en una zona de menor tamaño al Sur conformada por las salinas de *Bonmatí*, y una de mayor tamaño al Norte compuesta por las salinas del *Braç del Port*.

Se trata de una zona de gran valor ecológico que fue clasificada como Paraje Natural el 12 de diciembre de 1988. Posteriormente se catalogó como Parque Natural (ley del 27 de diciembre de 1994) por su gran biodiversidad, sus abundantes endemismos y a la compatibilidad de los usos económicos con la conservación ecológica por la explotación salinera. Es un parque de gran importancia como demuestra su reconocimiento internacional por la Convención internacional RAMSAR, cuyo objetivo es impedir la desaparición de las zonas húmedas. También se seleccionó para declararlo Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) cumpliendo requisitos de la Directiva 79/409 CEE. Posteriormente, el 10 de Julio de 2001 fue propuesto como Lugar de Interés Comunitario (LIC) cumpliendo con los requisitos de la Directiva 92/43 CEE, para que formara a pasar parte de la Red Natura 2000.

El Parque Natural de “*Les Salines de Santa Pola*” es uno de los humedales del Sur de Alicante, que tiene origen natural ya que, junto con el “*Fondó d'Elx*” formaba la antigua “*Albufera d'Elx*”, donde desembocaba el río Vinalopó, que año tras año fue



depositando sus sedimentos hasta colmatarla en el siglo XVII, separándola en estos dos humedales. Posteriormente el hombre realizó algunos cambios en su configuración que permitieron su aprovechamiento como Salinas.

El 97 % de la extensión del parque es de propiedad privada frente al 3% que es suelo público.

En el caso particular del Parque Natural de “*Les Salines de Santa Pola*” la explotación de la sal ha sido durante siglos compatible con la gran diversidad de ecosistemas existentes en el Parque Natural.

Estos ecosistemas o ambientes los podríamos clasificar en:

- Acuáticos: Salinas y charcas de agua dulce.
- Balsas: creadas por el hombre para la extracción de la sal, con profundidades y salinidad variadas.
- Terrestres:
 - Líneas de playa.
 - Dunas.
 - Saladares.

2.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.

Dado que no existe ninguna estación meteorológica en todo el municipio de Santa Pola, para la caracterización climatológica del Parque Natural de “*Les Salines de Santa Pola*”, se estudiaron los datos meteorológicos del “*Atlas Climático de la Comunidad Valenciana 1961-1990*” editado por la *Conselleria d’Obres Públiques i Transport* de la *Generalitat Valenciana*. de las estaciones más cercanas: Elx, CHS; Alacant, L’Altet; Guardamar del Segura; y La Marina, si bien esta última fue descartada por no registrar datos pluviométricos.

Todos los datos climáticos utilizados han sido extraídos de la publicación: “*Atlas Climático de la Comunidad Valenciana 1961-1990*” editado por la *Conselleria d’Obres Públiques i Transport* de la *Generalitat Valenciana*.

Los índices y diagramas seleccionados para la caracterización climatológica de la

zona a partir de datos de temperatura y precipitaciones, por ser comúnmente utilizados en diversos estudios de flora y vegetación, fueron:

a) El coeficiente pluviométrico de Emberger (Q_2);

Tabla 1. Coeficiente pluviométrico de Emberg.					
Estación	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q_2	Zona climática
Elx, CHS	238,7	34,4	8,6	21,51	Francamente árida
Alacant, L'Altet	301,6	30,7	6,5	33,50	Francamente árida
Guardamar del Segura	311,8	31,5	7,1	33,11	Francamente árida

b) El índice de termicidad de Rivas-Martínez (I_t):

Tabla 2. Termotipo y horizonte termoclimático según el índice de termicidad de Rivas-Martínez.						
Estación meteorológica	T	m	M	I_t	Termotipo	Horizonte termoclimático
Elx, CHS	20,8	8,6	16,4	458	Termomediterráneo	Termomediterráneo inferior
Alacant, L'Altet	17,9	6,5	16,6	410	Termomediterráneo	Termomediterráneo inferior
Guardamar del Segura	17,5	7,1	16	406	Termomediterráneo	Termomediterráneo inferior

a) Ombroclimas de Rivas-Martínez

Tabla 3. Ombrotipos según la clasificación de Rivas-Martínez.		
Estación	P (L/m²)	Ombrotipos
Elx, CHS	238,7	Semiárido
Alacant, L'Altet	301,6	Semiárido
Guardamar del Segura	311,8	Semiárido

De los índices anteriores extraemos que se trata de un humedal dispuesto en un terreno muy susceptible a la pérdida de agua.

2.4 FACTORES BIÓTICOS.

2.4.1 Flora.

Dada la gran extensión de las especies vegetales presentes en el Parque Natural de "Les Salines de Santa Pola", se han agrupado las más importantes por ecosistemas:

- **Ecosistemas acuáticos y ecotonos con saladar.** En estos ecosistemas destaca



la *Posidonia oceanica* (de carácter prioritario según la Directiva 92/43/CE).

- **Ecosistemas de saladar.** En estos ecosistemas destacan: *Tamarix boveana* (endémica del SE peninsular); *Halocnemum strobilaceum* (por su interés botánico); *Limonium santapolense* (endemismo de la zona); *Cynomorium coccineum* (especie protegida parásita); *Halogeton sativus* (de interés industrial); *Tamarix canariensis* (iberoafricanismo); *Anacyclus valentinus* (endemismo del País Valencià); y diversas especies del género *Limonium* por ser endemismos del SE de la península: *L. supirum*; *L. asgustebracteum*; *L. thiniense*; *L. caesisim*; *L. parvibracteum*; *L. furfuraceum*; *L. girardianum*.
- **Ecosistema dunar.** Destacan: *Teucrium dunense* (por estar protegido legalmente); *Carpobrotus edulis* (invasora muy extendida); *Periploca angustifolia* (endemismo iberoafricano); *Chamaerops humilis* (iberoafricanismo); y por ser parásitas: *Orobanche racemosa subsp mutelii* y *Cistanche phelypaea*.

2.4.2 Fauna.

Aunque no estén dentro de los listados de fauna, cabe destacar la importancia que tienen para estos ecosistemas la presencia de microorganismos que son la base de toda la cadena trófica tales como: *Diploneis bombus*, *Emiliana huxleyi*, *Conyaulax polyedra*, etc.

Estos microorganismos son capaces de vivir en aguas con elevadas concentraciones de sales, y para la obtención de su energía vital utilizan unos pigmentos que dan ese tono rosado a las aguas de las balsas cristalizadoras que ayuda a que la evaporización sea más rápida. Además son el sustento fundamental de otro gran eslabón de la cadena trófica como es el caso de la *Artemia salina*, sustento a su vez de otras especies de la macrofauna tan importantes como el flamenco. El resto de la fauna presente en el parque la dividiremos en:

- **Peces:** *Lebias ibera*, *Atherina boyeri*, *Solea solea*, *Dicentrarchus Labrax*, *Sparus aurata*, *Mugil cephalus*, *Carassius auratus*, *Anguilla anguilla*,



Gambusia affinis.

- **Invertebrados:** *Artemia salina*, *Pimelia modesta*, *Tentyria elongata*.
- **Reptiles:** *Psammodromus algirus*, *Acanthodactylus erithrurus*, *Lacerta lepida*, *Psammodromus hispanicus*, *Molpolon monspersulanus*, *Elaphe escalearis*, *Hegoaldeko suge*.
- **Mamíferos:** *Rattus norvegicus*, *Mus musculus*, *Crocidura russula*, *Suncus etruscus*, *Vulpes vulpes*, *Mustela nivalis*, *Oryctolagus cuniculus*.
- **Aves.** Sin duda el grupo faunístico más significativo y característico del parque, tanto por número como por variedad. Esta abundancia y diversidad hicieron que se catalogara como Parque Natural, se incluyera en el convenio RAMSAR y haya sido propuesto como ZEPA y LIC. El ave más emblemática sin duda el flamenco *Phoenicopterus ruber*, otras especies a destacar: *Anas clypeata*, *Netta rufina*, *Anas penelope*, *Ardea cinerea*, *Egretta garzetta*, *Recurvirostra avosetta*, *Himantopus himantopus*, *Charadrius alexandrinus*, *Sterna hirundo*, *Sterna albifrons*, *Larus cachinnans*, *Marmaronetta angustirostris*, *Charadrius sp*, *Actitis hypoleucos*, *Calidris ferruginea*.



2.5 HIDROLOGÍA.

Dada la importancia que el proceso de la extracción de la sal tiene para la creación y mantenimiento del ecosistema del parque, a continuación se explicará brevemente el circuito que siguen las aguas para este proceso.

El parque de "Les Salines de Santa Pola" está formado principalmente por dos áreas dedicados a la extracción de la sal a partir de las aguas marinas: *el Braç del Port* y *el Braç del Pinet (salines de Bonmatí)*. Ambas tienen el mismo funcionamiento básico.

El agua marina entra por canalizaciones directamente desde el mar mediterráneo hasta las balsas preconcentradoras, donde por evaporación se van concentrando las sales que contiene hasta llegar a una concentración de entre 36 y 70 gramos de NaCl por Litro de agua.

Posteriormente este agua se pasa a las balsas concentradoras donde la salinidad es de entre 70 y 300 g NaCl/L. De allí, pasa a las balsas cristalizadoras, donde se alcanza una concentración de entre 300 y 370 g NaCl/L. Las sales presentes en estas balsas cristalizadoras es tal que comienza a precipitar junto con otros elementos. Esos precipitados, después de un breve tratamiento, es la sal que se comercializa. El sobrante del agua se devuelve al mar por una desembocadura artificial.

La dinámica de circulación de las aguas en las salinas no se detiene en ninguna época del año, de manera que las balsas están siempre inundadas y es lo que posibilita la existencia de estos ecosistemas artificiales de gran biodiversidad.

Es necesario especificar que el aporte de aguas que recibe el Parque no es único y exclusivo de las aguas marinas, sino que también existen aportes de agua dulce por

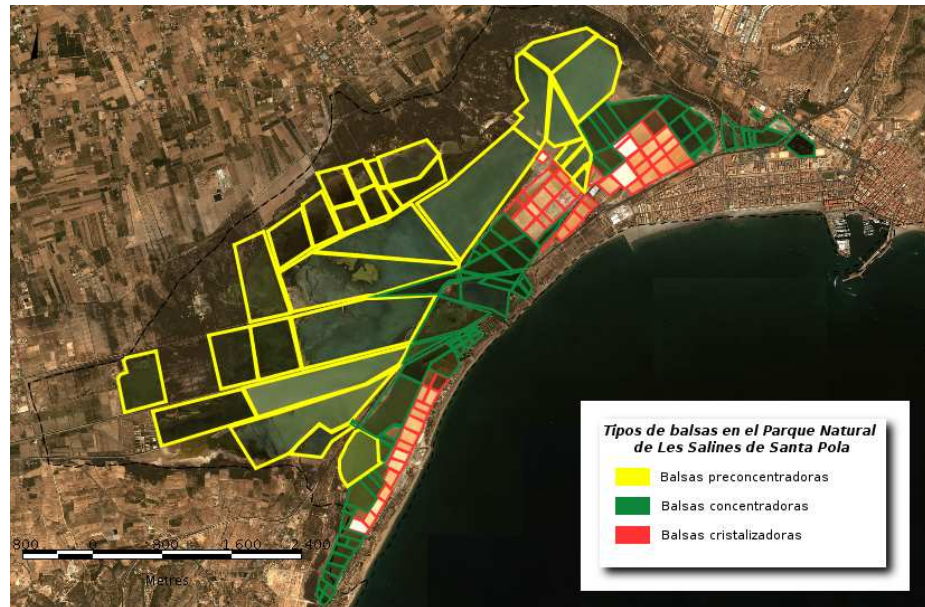


Figura 2:

dos vías: las aguas pluviales que de manera natural buscan los lugares de menor cota, y los retornos de riego de las zonas de cultivo adyacentes.

3 MATERIAL Y MÉTODOS.

A continuación se detallará la metodología empleada para la consecución de los objetivos marcados. En un primer se describirá el software empleado, seguido de la descripción de las imágenes que han sido utilizadas, y finalmente se describirán los métodos específicos empleados para la consecución de los objetivos. n graba la información en un formato apropiado.

3.1 SOFTWARE UTILIZADO.

El software que se emplee en los trabajos de teledetección y SIG son cruciales, pues sin ellos no se podrían realizar los análisis digitales, resumiéndose el análisis de las imágenes a un análisis visual tal y como se realizaba en la fotointerpretación clásica.

En este caso como programa principal de análisis de imágenes raster se ha utilizado el programa *MicroMSI for Windows*[®] (<http://www.nima.mil/micromsi>). Herramienta de trabajo de imágenes raster multi e hiperespectrales programado por el Coronel Scott A. Loomer profesor de ciencias de la información espacial del Departamento de Geografía e Ingeniería Ambiental de la academia militar de los Estados Unidos de West Point.

El programa posee una interfaz muy cómoda y amigable (Figura 16.) que facilita el trabajo pudiendo trabajar por ventanas de manera que podemos estar viendo varias imágenes a la vez, aquellas en las que estamos trabajando y otras que nos pueden servir

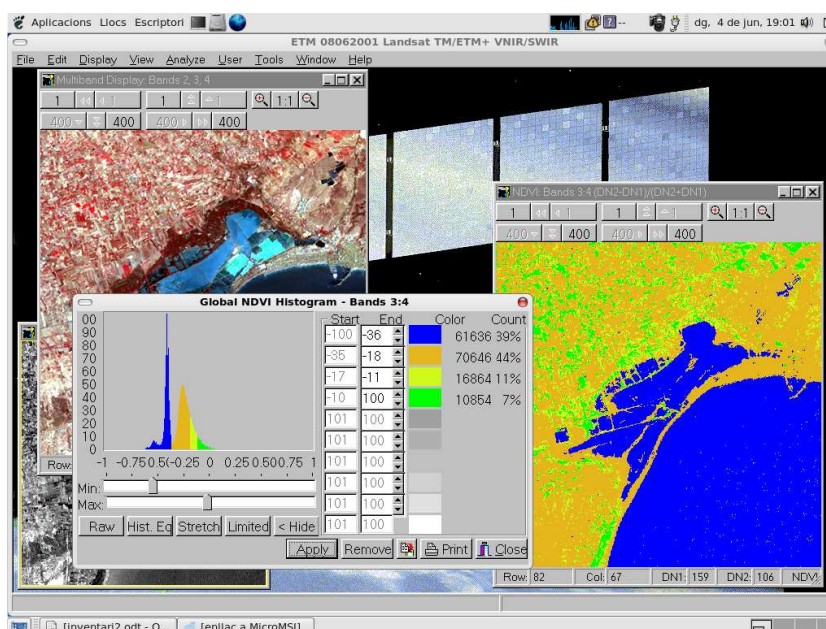


Figura 3: Interfaz del programa *MicroMSI for Windows*[®]. Fuente: propia.

de ayuda para localizar algún elemento o realizar alguna interpretación visual.

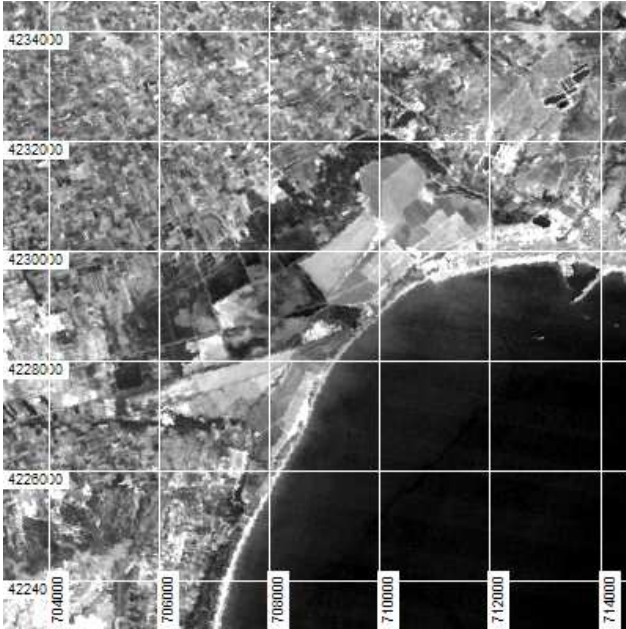
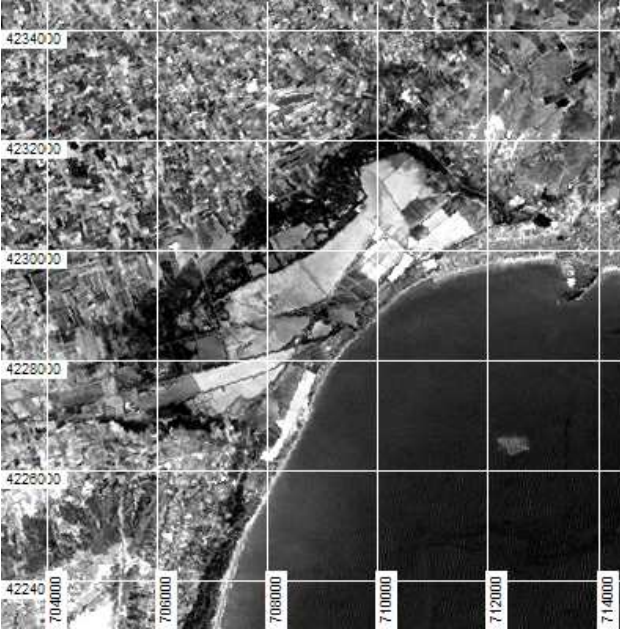
El programa principal para el análisis con técnicas de Sistemas de Información Geográfica ha sido gvSIG 1.1.2 (<http://www.gvsig.gva.es>) con las extensiones ofrecidas por el software SEXTANTE (<http://www.sextantegis.com>).

3.2 LAS IMÁGENES DE TRABAJO.

Las imágenes utilizadas corresponden escenas diferentes, una de 1992 y otra de 2001, con el mismo emplazamiento.

Tabla 4. Datos de las imágenes empleadas en el proyecto.

Escenas Path 199, row 033, WRS-2

Sensor TM (20/4/1992)	Sensor ETM+ (8/6/2001)
	
<p>La primera de ellas corresponde a 6 bandas (1,2,3,4,5 y 7) del satélite LANDSAT 5 tomadas con el sensor TM (Thematic Mapper) con fecha: 20 de Abril de 1992.</p>	<p>La segunda escena corresponde a las mismas bandas (1,2,3,4,5 y 7) del satélite LANDSAT 7 tomadas con el sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) con fecha: 8 de Junio de 2001.</p>

Ambas imágenes corresponden al mismo emplazamiento y están formadas por 400x400 píxeles con una resolución espacial de 28,5 m por píxel. El hecho de que ambas escenas tengan exactamente las mismas resoluciones, tanto radiométricas, espectrales, como espaciales, es básico para poder compararlas y poder discernir las conclusiones de



manera coherente.

En cuanto al factor temporal, hay que destacar la importancia de cuando deben tomarse las fotografías, intentando evitar la presencia de nubes. También mencionar que el periodo estacional en el que fueron tomadas muestra una ligera desviación, estando tomada la del TM durante el mes de Abril, y la del ETM+ durante el mes de Junio. En principio, esta característica puede inducir a pequeñas variaciones estacionales, tales como la disminución del agua presente, la mayor concentración de sales en las balsas de las salinas, e incluso una ligera regresión de la vegetación. Por tanto este hecho se tendrá en cuenta de cara a las conclusiones del trabajo.

También hay que mencionar que existen ligeras diferencias entre las imágenes obtenidas por los dos sensores, ya que el sensor ETM+ dispone de algunas mejoras técnicas que hacen que estas sean un poco más nítidas entre otras características.

3.3 METODOLOGÍA.

La metodología que se ha empleado en el trabajo consiste en una primera fase de recopilación de información para poder realizar la caracterización ambiental del emplazamiento de estudio. Posteriormente se realizan visitas, para comprobar que toda la información tomada fue correcta y además tener una visión más real de la zona de estudio.

Una vez terminada la parte previa de estudio de las imágenes, ha de seleccionarse el tipo de datos (plataforma, resoluciones, fechas, etc.) que serán fruto de estudio. En este caso se han seleccionado dos escenas de la plataforma LANDSAT. Ambas están compuestas por 6 bandas (1,2,3,4,5 y 7) pero tomadas en fechas distintas y con sensores distintos, TM y ETM+.

Posteriormente se realiza el procesado de las dos escenas multispectrales en las que se realizan los tratamientos digitales de las imágenes, seguidos de un primer análisis visual que permite realizar interpretaciones que de otra manera no podrían llevarse a cabo. Finalmente se emplean los métodos específicos para cumplir los objetivos principales del estudio especificados más adelante.



3.3.1 Density slicing.

El *Density slicing* es una técnica consistente en convertir un imagen de tonos grises en una serie de intervalos de densidad, llamados cortes (*slicings*), cada uno de ellos correspondiente a un rango digital específico. Esta técnica es muy útil en imágenes monobanda, incluyendo aquellas diferenciales, como las que son resultado de un ratio 1/7 o del índice NDVI. Por esa razón esta técnica será empleada en el estudio para además poder contabilizar mejor los rangos o cortes, correspondientes a alguna superficie medida.

3.3.2 Composiciones en falso color.

Las imágenes de cada banda representan niveles de intensidad (N_d) dentro de una banda concreta (azul, verde, rojo, infrarrojo cercano, térmico, etc.), pero los dispositivos con los que trabajamos para poder visualizar las imágenes, monitores y tarjetas gráficas, solo pueden representar los colores a partir de tres tonos básicos: el rojo, el verde y el azul (*Red, Green, Blue: RGB*).

Como los sensores TM y ETM+ disponen de más de tres bandas, podemos combinarlas a nuestro antojo, asignándole cada uno de los tres colores básicos (RGB) a las tres bandas que deseemos, para generar visualizaciones en falso color, para poder resaltar los elementos que presentan mayor reflectividad. Las composiciones en falso color son útiles gracias a que el ser humano tiene mayor sensibilidad a las variaciones de tono, lo que comúnmente llamamos color, que de valor (N_d). Si bien estas composiciones se muestran muy útiles para discriminar geología, morfología urbana, etc. para discriminar ciertas cubiertas se obtienen mejores resultados analizando imágenes consecutivas en el tiempo (ALONSO FERNÁNDEZ, I. 2001)

3.3.3 Ratio 1/7.



El ratio de las bandas espectrales 1 y 7 se utiliza para cuantificar la lámina de agua dado que en la banda 1 (color azul) el agua muestra su reflectividad máxima, y en la banda 7 (infrarojo) muestra su reflectividad mínima.

El método ratio 1/7 se realiza mediante el programa *MicroMSI for Windows*[®]. Lo que el programa realmente hace es crear una nueva imagen a partir de las dos imágenes correspondientes a las bandas 1 y 7. Los valores de N_d de la nueva imagen se obtienen del cociente de los valores de las otras dos, de manera que los píxeles con N_d más altos (de color blanco) serán aquellos en los que el valor del numerador (correspondiente al valor en la imagen de la banda 1) sea mayor que en el del denominador (correspondiente al valor en la imagen de la banda 7). Por el contrario los píxeles con valores bajos de N_d , serán aquellos en los que el denominador (banda 7) sea mayor que el numerador (banda 1).

Posteriormente por la técnica de *density slicing* se asignarán dos colores a la imagen para poder diferenciar de manera más evidente la diferencia entre las láminas de agua y el resto de la superficie.

3.3.4 Índice de la vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Los índices espectrales de vegetación son transformaciones desarrolladas para caracterizar las cubiertas vegetales reforzando la contribución espectral de la cubierta vegetal, y a su vez minimizando por un lado la del suelo y la de la misma atmósfera. El índice de la vegetación de diferencia normalizada, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) es el más difundido de todos los existentes (ALONSO SARRÍA, F. 2005) por ello es el método escogido para la cuantificación de la cubierta vegetal para este estudio.

Para calcularlo se utilizan dos bandas, la banda 3 que es aquella para la cual la vegetación muestra su reflectividad más baja, y la banda 4 donde la vegetación muestra su reflectividad más alta (ver su signatura espectral en las figuras 12 y 13). Por tanto, cuanto mayor sea la diferencia entre ambas bandas, indicará mayor presencia de vegetación y mejor salud de la misma. Esto es debido a que el comportamiento reflexivo de la vegetación sana difiere del de la vegetación enferma o con menor contenido en agua.

La fórmula para poder calcular el índice NDVI (Fórmula 3.) dará valores entre -1 y +1, lo que facilitará la interpretación de los resultados.

Fórmula 1. Cálculo del índice NVDI siendo Banda4 infrarrojo cercano y Banda3 rojo visible.

$$NDVI = \frac{Banda4 - Banda3}{Banda4 + Banda3}$$

Una vez calculada la nueva imagen NDVI a partir de las de las bandas 3 y 4, se realizará un fraccionamiento ó “*density slicing*” para cuantificar la vegetación.

3.3.5 Clasificación de cubiertas.

El primer paso para poder realizar la clasificación de las cubiertas del suelo (en función de su uso u ocupación) es definir los tipos de cubiertas que queremos distinguir o identificar independientemente del método de clasificación que utilicemos. A estos tipos de cubiertas las llamaremos “clases”.

En este caso los tipos de cubiertas del suelo se han clasificado en ocho clases distintas para obtener el análisis que cumpla con los objetivos marcados y se ajusta a las características del análisis visual y digital.

Tabla 5. Diferentes clases de los usos del suelo para las escenas de estudio.	
	0. Sin clasificar
	1. Lámina de aguas profundas, Mar.
	2. Lámina de aguas someras: salinas y balsas de regadío.
	3. Suelo urbano.
	4. Suelo desnudo: Canteras, suelos roturados.
	5. Vegetación1: carrizales
	6. Vegetación2: muy densa y activa, cultivos y pinar.
	7. Vegetación3. Zona de matorral o vegetación escasa, pero no de suelo desnudo.
	8. Resto de suelo: formado por combinación de cultivos casi abandonados, suelos roturados, viviendas unifamiliares y zona de matollar en proporciones similares.

Una vez definidos los tipos de cobertura del suelo se debe seleccionar el método de interpretación para realizar la clasificación buscada. Entre estos podemos distinguir



básicamente dos métodos: los métodos propios que utilizan técnicas de tratamiento de imágenes, y los métodos directos o visuales. En este caso se han descartado los métodos basados en técnicas de tratamiento de imágenes, tanto los no supervisados, como los supervisados. De manera que se utilizará un método visual a partir de la composición (4,5,3).

Este método utiliza un criterio totalmente visual, a través del cual se analizan las dos imágenes en falso color con la combinación RGB 4,5,3. Una vez obtenida la imagen en falso color y con las clases definidas se vectoriza la escena en falso color correspondiente al sensor TM (escena 1992) creando polígonos con la forma de la extensión que abarcara una clase y asignándole el valor de dicha clase. Posteriormente se repite el mismo procedimiento para la escena del sensor ETM+ (escena 2001).

Seguidamente mediante técnicas de geoprocesamiento del software SIG empleado se fusionan las dos capas con los mismos tipos de clases para ver donde se habían dado cambios y de que tipo son, pudiendo contabilizar sus áreas correspondientes para obtener las conclusiones oportunas.

4 PRODUCTOS DE TRABAJO.

4.1 ANÁLISIS VISUAL INICIAL Y UBICACIÓN DE CUBIERTAS TIPO.

La primera fase después de la recopilación de información para poder realizar la caracterización ambiental, ha consistido en la realización de visitas de campo a puntos representativos de la zona de estudio para comprobar que toda la información tomada fue correcta y además tener una visión más real de la zona de estudio. De esta manera se pudo realizar un primer análisis visual de las imágenes ubicando suelos tipo y zonas características del parque, ubicándolas en una imagen en falso color (RGB 4,5,3).



Figura 4. Primer análisis visual y ubicación de zonas tipo. Fuente: propia.



1. **Torre de Tamarit:** La torre de Tamarit es un vestigio histórico de planta cuadrada ubicado en una de las balsas centrales del Parque Natural que aún se mantiene pese a su estado de gran deterioro. En la antigüedad servía de comunicación a la zona interior del aviso de llegada por mar de los invasores berberiscos. Es es muy representativa y emblemática del Parque, al igual que el flamenco y el color rosado de las balsas cristalizadoras.
2. **Zona de carrizo:** toda la parte interior de las salinas está rodeada de una extensión más o menos grande de una zona de carrizo combinada con vegetación de saladar que confieren un color verde oscuro en la imagen de falso color 4,5,3.
3. **Polígono industrial:** En este punto se observa el polígono industrial de Santa Pola, que ofrece dos tonalidades, una blanca, que indica suelos desnudos debido a que está en fase de construcción y expansión por lo que se muestran suelos totalmente desnudos; y otra de color gris con tonos azulados debidos a la parte ya construida formada por zonas asfaltadas y las mismas naves industriales.
4. **Núcleo urbano:** Los núcleos urbanos son representados con colores grises con tonalidades azuladas e incluso en ocasiones verdosas debido a la diversidad de materiales y distintas reflectividades que muestran.
5. **Salinas:** Las montañas de sal son parte del paisaje característico de la zona viéndose desde gran distancia. Existen dos zonas, una correspondiente a las Salinas de *Bonmatí* y otras a las Salinas del *Braç del Port*.
6. **Entrada de agua:** La entrada del agua marina en toda la red de balsas de distintos tipos se ubica en este punto.
7. **Balsas cristalizadoras:** Este tipo de balsas, que tiene un nivel de concentración en sales muy elevado, muestra unos tonos rojizos, blancos y rosados.
8. **Playas y dunares:** Se ubican en la línea de costa y aunque muestran una vegetación típica de ecosistemas dunares, al ser esta tan poco densa por un lado, y la resolución espacial que muestra la imagen (28,5 m por píxel) por otro lado, se muestran como suelo totalmente desnudo caracterizado por tonos blancos.
9. **Pinares:** Ubicados de forma paralela a la línea de costa existe una zona de pinar formada en su gran mayoría por *Pinus halepensis*, que muestran su actividad fotosintética con un marcado tono rojizo en la imagen de falso color 4,5,3.
10. **Cantera:** Ubicada muy cerca de la urbanización de La Escuera se muestran como un terreno completamente blanco debido a la gran reflectividad de el suelo desnudo en todas las longitudes de onda.
11. **Balsas concentradoras:** Las balsas concentradoras tienen una concentración en sales más o



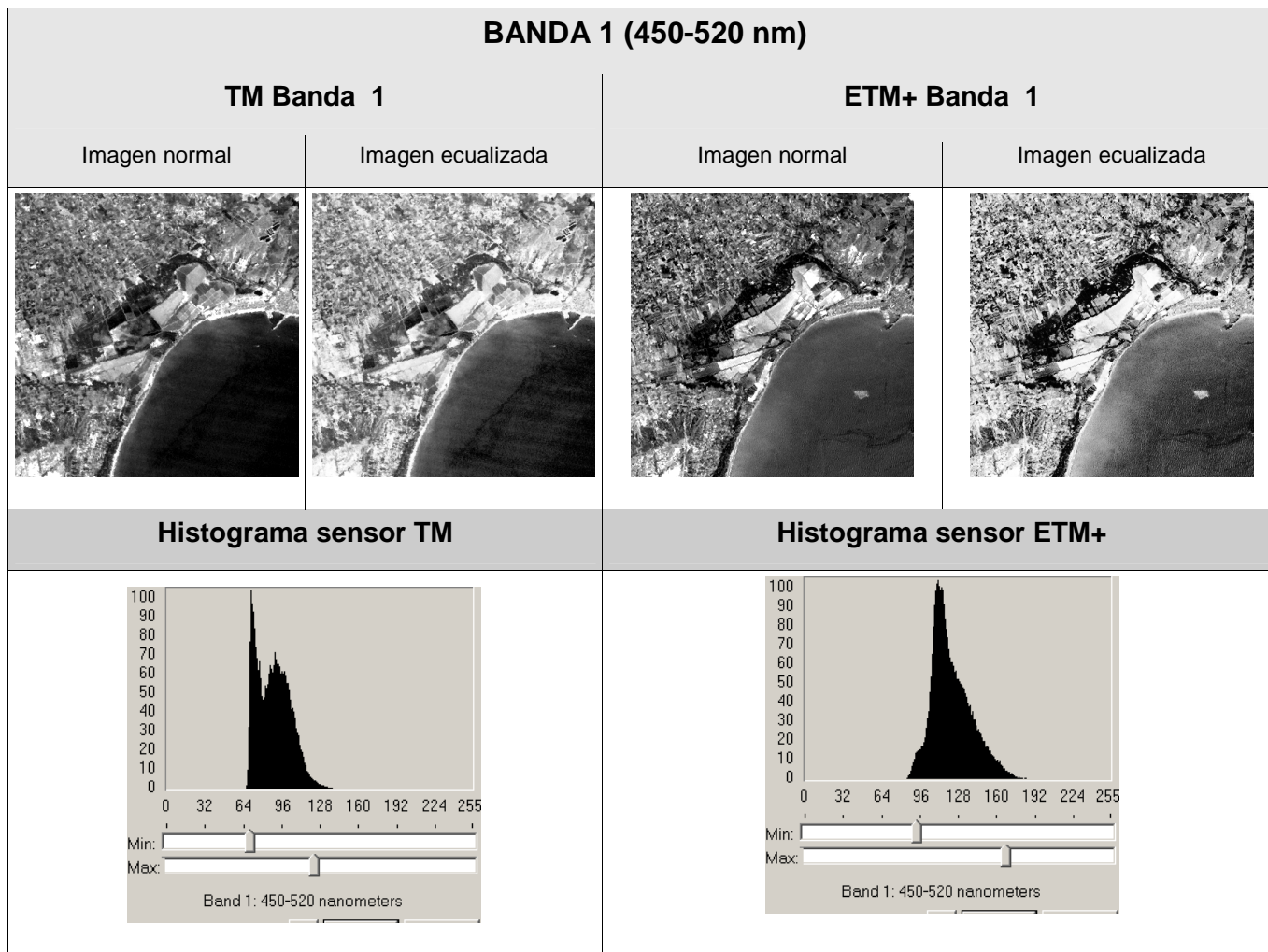
menos elevada de manera que la vegetación es menor que en las preconcentradoras y es de carácter mucho más halófila.

12. **Balsas preconcentradoras:** Muestran principalmente una vegetación exuberante cuya especie más representativa es el carrizo. Esto se debe a que los aportes de agua de estas balsas no es solo de las aguas marinas, sino también de las pluviales y retornos de riego.

El siguiente paso del análisis de las imágenes, es el análisis visual para todas las bandas en imagen monocromática, ya que mediante el análisis visual se pueden percibir detalles o realizar interpretaciones muy difíciles de acometer por el análisis digital. A continuación se procederá al análisis visual de las composiciones en falso color.

4.2 IMÁGENES MONOCROMÁTICAS POR BANDAS.

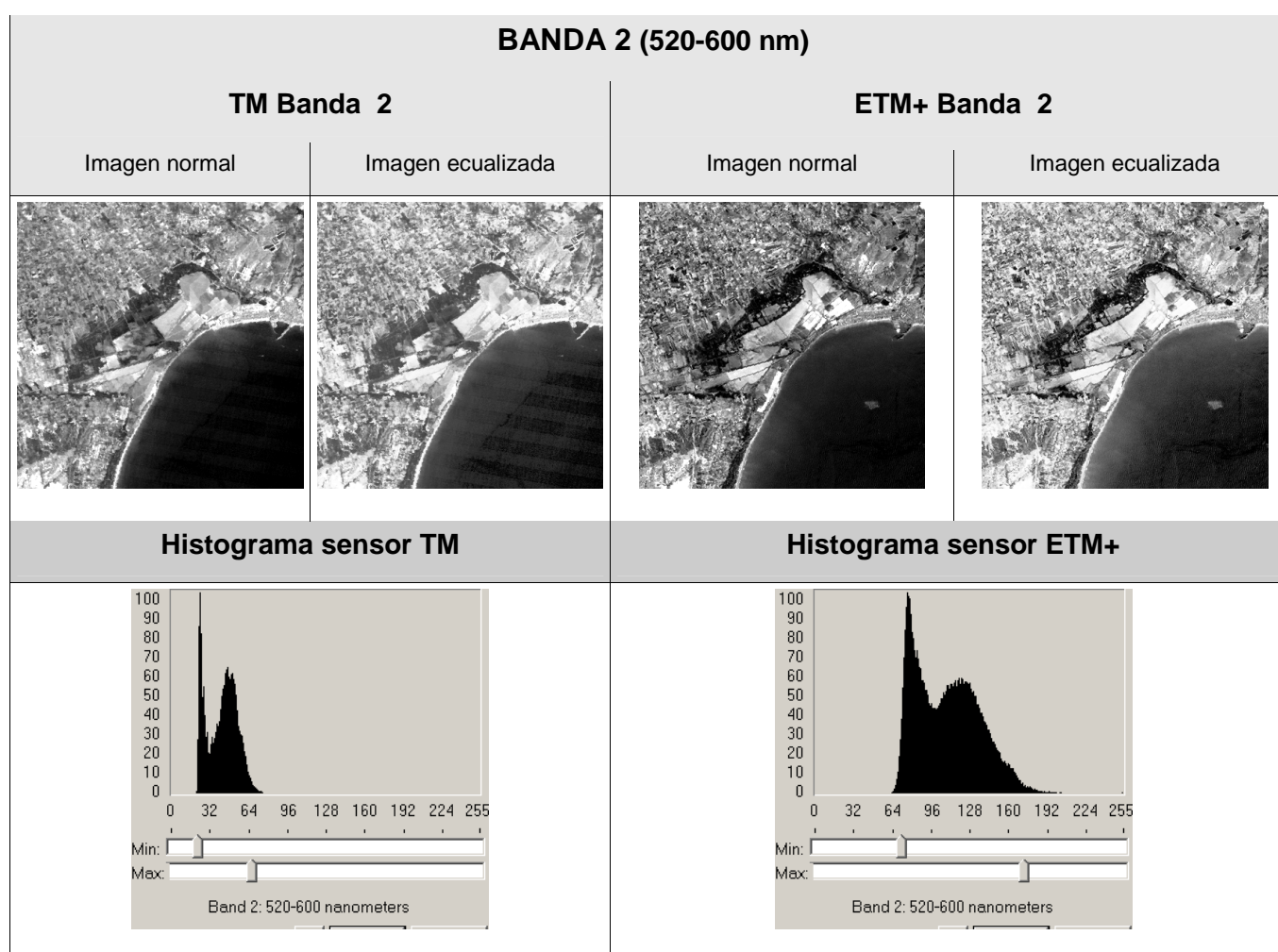
A continuación se muestran y comentan las imágenes en cada una de las bandas de estudio para las dos escenas, TM y ETM+, en imágenes monocromáticas antes y después de realizar un realce por ecualización del histograma. A su vez, también se muestra para cada conjunto de imágenes su correspondiente histograma. En él, el eje de ordenadas muestra el tanto por ciento de píxeles en la imagen que corresponden a un valor, mientras que en el eje de abscisas se muestran los posibles valores que puede tener cada píxel, también llamado nivel digital (N_d) o nivel de gris, que son entre 0 y 255 debido a que la resolución radiométrica de las imágenes es de 8 bits ($2^8=256$ valores posibles).



La banda 1 (450-520 nanómetros) corresponde al color azul, por ello las aguas

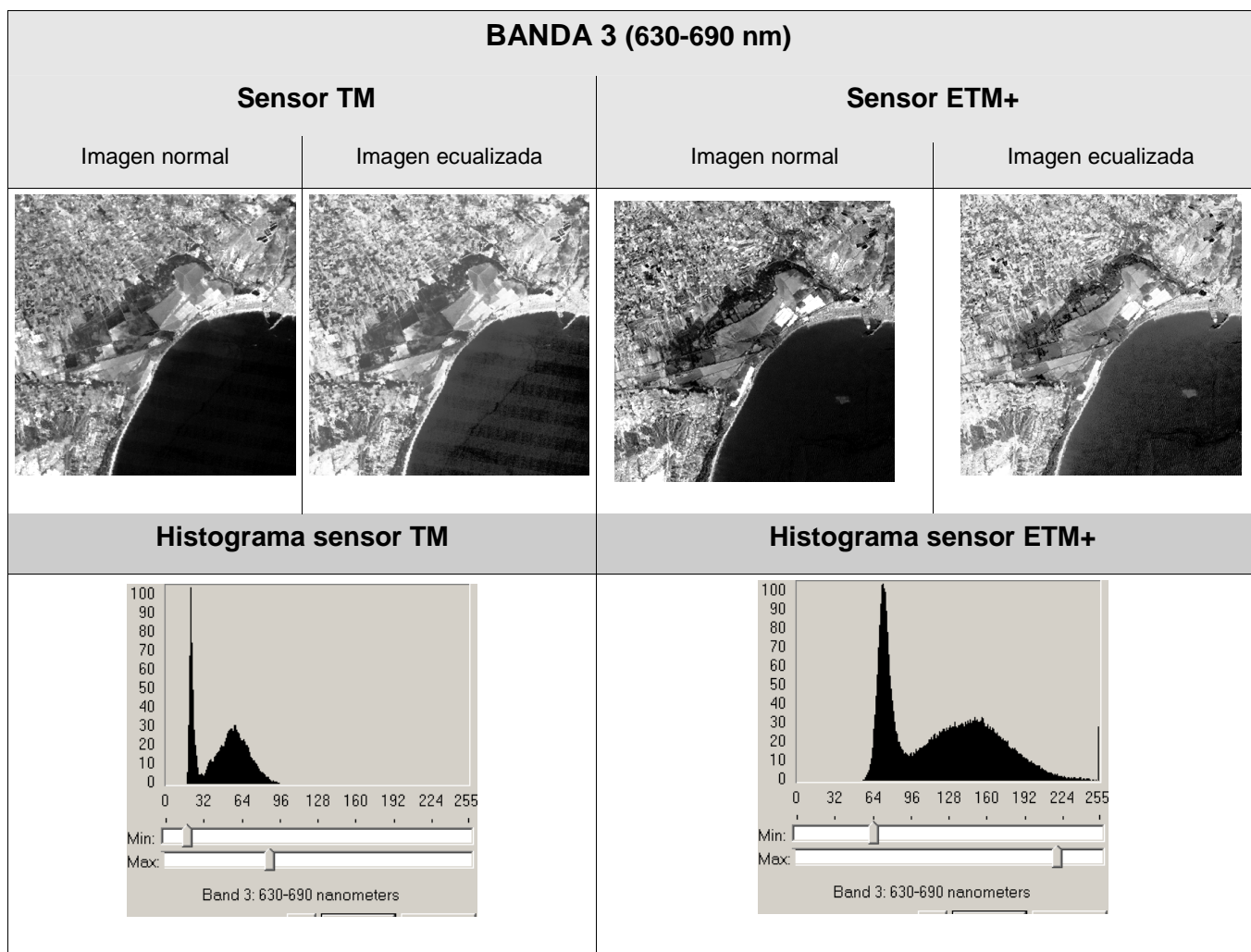
poco profundas que en la realidad vemos de color azul (como las balsas preconcentradoras o partes más cercana a la costa en las playas) muestran bastante intensidad frente a zonas de aguas profundas que se ven en color oscuro. Por otra parte, aquellas zonas con alta reflectividad en todas las bandas (colores claros en la realidad, como las arenas blancas y suelos desnudos) lógicamente muestran unos valores altos de N_d también en esta banda.

En la escena del sensor ETM+ apreciamos como diferencia respecto a su análoga del sensor TM una mayor nitidez debida a que al ser de una época posterior integra instrumentos de mayor precisión y correcciones en su diseño.



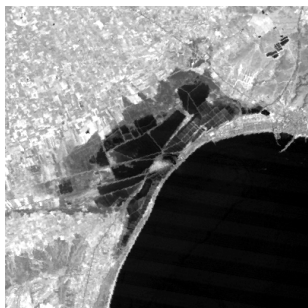



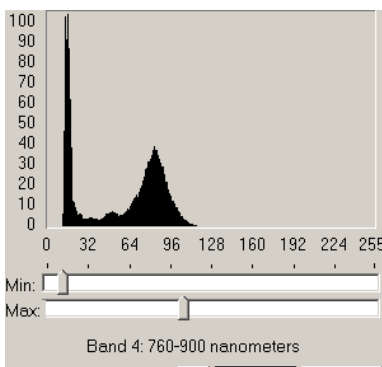
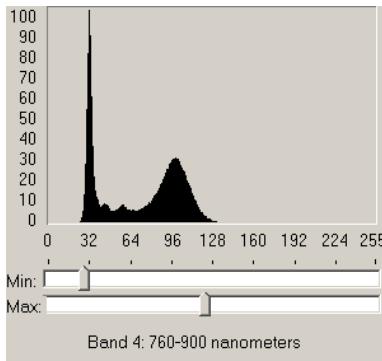
La banda 2 (520-600 nanómetros) corresponde al verde, por lo que se aprecia con mayor intensidad toda la vegetación, sobretodo aquella que es más vigorosa como los campos de cultivo de regadío. El agua muestra su reflectancia más alta, aunque sigue

siendo la más baja respecto al resto de superficies (primer pico del histograma). Aun así, las balsas de las salinas, debido a las altas concentraciones de sustancias disueltas, muestran valores más altos de N_d , estando algunas de ellas incluso con costras de sal.

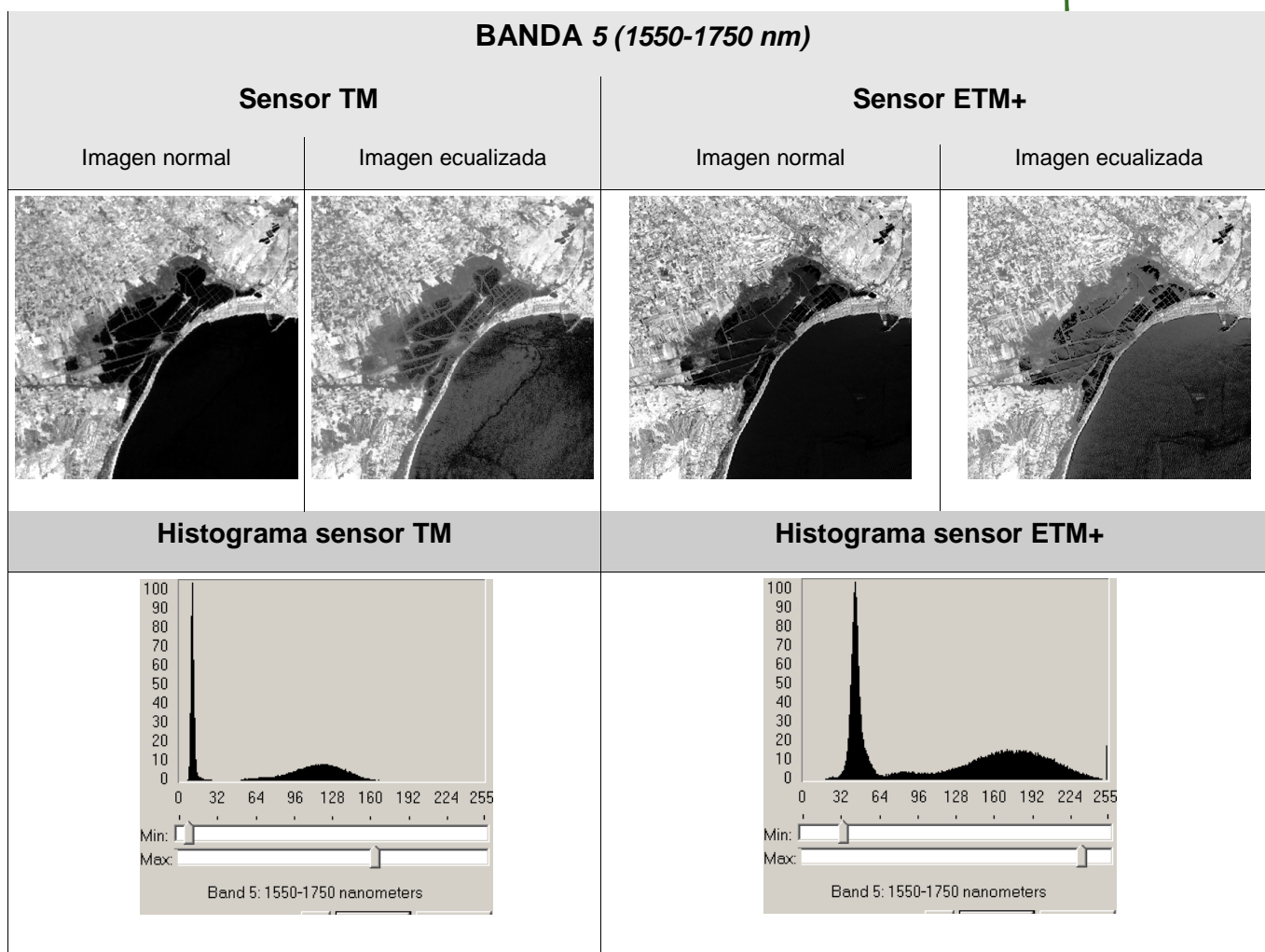


En esta banda (630-690 nanómetros) se aprecian con mayor intensidad los tonos rojos y rosados que muestran las balsas cristalizadoras de las salinas. En el histograma, el pico con valores de N_d bajos corresponde de nuevo al agua que en la imagen se muestra oscuro debida a su baja reflectividad.

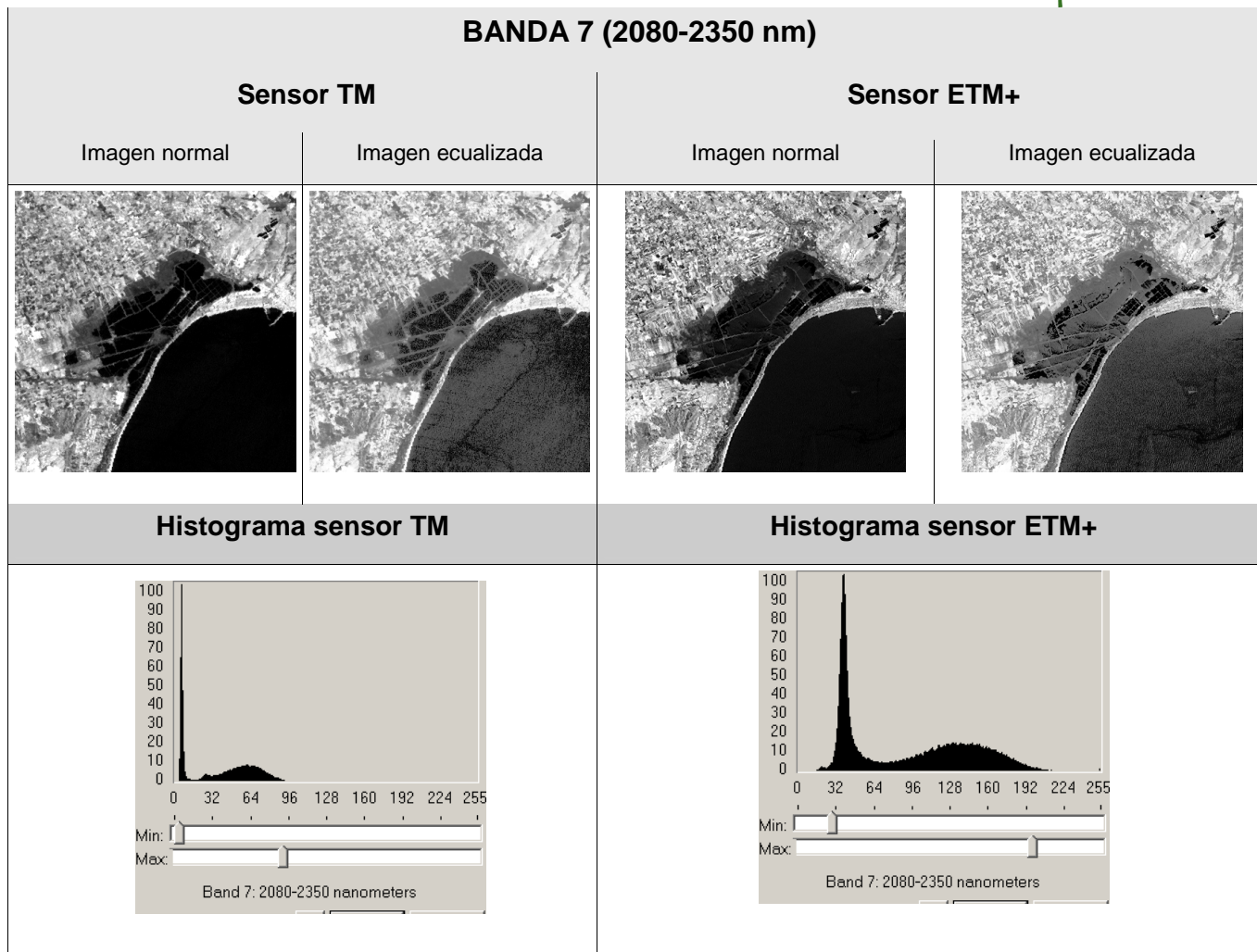
En la escena del sensor TM se aprecian una serie de bandas oblicuas en la zona marina que se deben a una anomalía en la adquisición de la escena, originada por el sensor, corregida satisfactoriamente para la porción terrestre del área de estudio.

BANDA 4 (760-900 nm)			
Sensor TM		Sensor ETM+	
Imagen normal	Imagen ecualizada	Imagen normal	Imagen ecualizada
			
Histograma sensor TM		Histograma sensor ETM+	
			

Esta banda (760-900 nanómetros) corresponde al infrarrojo cercano. El primer pico que se aprecia en el histograma también corresponde al agua, que muestra bastante absorción y baja reflexión por esta banda, lo que hace que aparezca en un tono oscuro. Por el contrario la vegetación muestra una gran reflectividad en esta banda, adquiriendo valores de N_d elevados, cuanto más vigorosa sea más intensidad mostrará. Destacar que el suelo desnudo también muestra una alta reflectividad.



En esta banda (infrarojo intermedio 1550-1750 nanómetros) destaca la bajísima reflectividad del agua, de hecho el agua pura no tiene reflectividad en esta banda, el primer pico del histograma, que de nuevo corresponde al agua, se debe a que el agua que se observa en la imagen contiene bastantes sales disueltas. Por otro lado los valores más elevados de N_d se corresponden al suelo desnudo, seguido de la vegetación.



Esta banda (2080-2350 nanómetros) todavía perteneciente al infrarrojo, muestra los valores más bajos de todas las bandas para el agua. Los más altos también corresponden al suelo desnudo que se aprecia muy bien en el polígono industrial al Nordeste, en algunas partes del núcleo urbano, y al Sur de la imagen junto a las últimas balsas de las salinas de *Bonmatí*.

4.3 COMPOSICIONES EN FALSO COLOR.

4.3.1 Composición RGB (3,2,1).

Esta combinación de bandas corresponde a las bandas de azul, verde y rojo, por lo que se obtendrán imágenes muy parecidas o idénticas a lo que veríamos directamente con nuestros ojos desde el espacio, por ello se llama combinación en color natural.

Tabla 6. Combinaciones en color RGB (3,2,1) para las escenas TM y ETM+.

Sensor TM	Sensor ETM+
	
<ul style="list-style-type: none"> ● Marrón: corresponde a los suelos desprovistos de toda vegetación como los roturados (zona noreste). ● Beige-naranja: representa las balsas de cristalización donde la concentración de sales es tan elevada que han comenzado a precipitar junto con una gran cantidad de algas y microorganismos. ● Gris-rosado: indica suelos sin vegetación, como laderas, suelo urbano y carreteras. ● Azul oscuro: el azul oscuro corresponde principalmente al mar, concretamente a aguas profundas. ● Azul claro: indica aguas de poca profundidad. Esta diferencia entre aguas de gran y poca profundidad es debida a que las bandas visibles dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente, y por tanto nos sirven para discriminar aguas profundas, turbias, corrientes, etc. ● Verde oscuro: zonas de pinar y de carrizal. ● Verde claro: representa a las algas presentes en grandes concentraciones en las balsas preconcentradoras y también a la vegetación más vigorosa correspondiente a parcelas de regadío sobretodo por el Noroeste. ● Blanco: corresponde a zonas de suelo con máxima reflectividad, arenas, depósitos de sal, y canteras o suelos desnudos. 	

4.3.2 Composición RGB (4,3,2).

Esta combinación de bandas crea una imagen chocante dado que son colores ficticios, pero nos aporta bastante información en cuanto a la vegetación.

Tabla 7. Combinaciones en color RGB (4,3,2) para las escenas TM y ETM+.



Sensor TM	Sensor ETM+
<ul style="list-style-type: none"> ● Rojo intenso: Las zonas de color rojo más intenso se corresponden con zonas de vegetación vigorosa, normalmente cultivos de regadío, cabe destacar un punto de este tono en el interior del núcleo urbano correspondiente al campo de fútbol de la localidad. ● Granate-Rojo oscuro: el granate más oscuro corresponde a la zona de carrizales que rodea las balsas de las salinas, y prácticamente con el mismo tono se presentan las pinadas, tanto la del Sur al lado de la playa, como la del Nordeste, mucho más pequeñas. ● Rosas: áreas de vegetación menos densa, en estado temprano de crecimiento y las zonas de matorral aunque son también de tono rosado tienen una intensidad más oscura. ● Blanco: corresponde a las zonas de máxima reflectividad en las tres bandas, a zonas totalmente descubiertas de vegetación, arenas, y/o depósitos de sal. ● Azul oscuro-negro: Superficies cubiertas por aguas profundas. ● Azul claro: señala las aguas poco profundas y con concentraciones de sal más o menos altas. ● Gris azulado: área urbana y carreteras. 	



4.3.3 Composición RGB (7,4,2).

Esta combinación también muestra imágenes en falso color, mostrando colores muy vivos. Si bien a primera vista parecen más similares a la combinación de colores reales, existen diferencias.



Tabla 8. Combinaciones en color RGB (7,4,2) para las escenas TM y ETM+.

Sensor TM	Sensor ETM+
	
<ul style="list-style-type: none"> ● Verde brillante: corresponde a las zonas de cultivos, de vegetación muy vigorosa y activa. ● Verde oliva: corresponde a los carrizales y a los bosques de pinos con una actividad inferior. ● Azul oscuro: aguas profundas, el mar. ● Azul claro: aguas de poca profundidad ● Rosados-grises: corresponde a las zonas urbanizadas. Las carreteras aparecen menos rosadas. ● Marrón rosado: indica zonas con poca vegetación, no muy densa, de matorral poco activa. ● Blanco: corresponde a zonas de suelo con máxima reflectividad, arenas, depósitos de sal, y canteras o suelos desnudos. 	

4.3.4 Composición RGB (4,5,3).



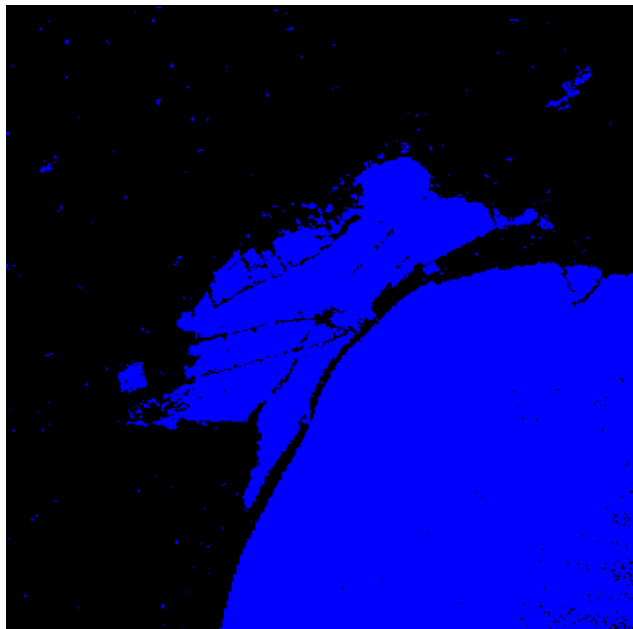
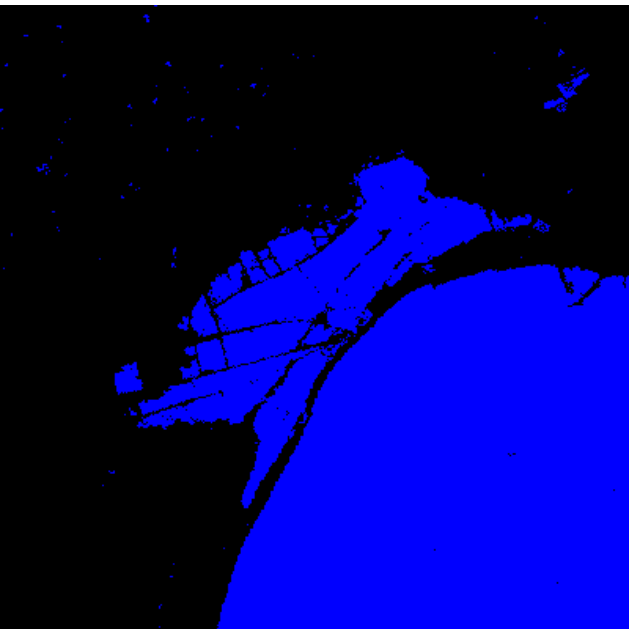
Esta combinación es una de las múltiples combinaciones utilizadas para la clasificación de suelos. Es muy útil para realizar esta clasificación de manera visual, y de hecho es la combinación escogida para realizar la clasificación de manera visual, vectorizando las diferentes zonas.

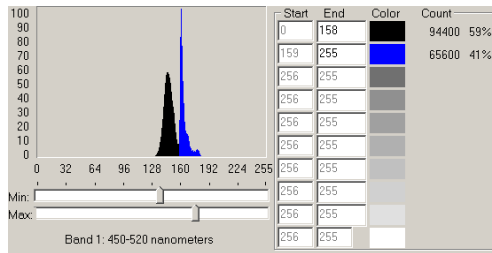
Tabla 9. Combinaciones en color RGB (4,5,3) para las escenas TM y ETM+.

Sensor TM	Sensor ETM+
	
<ul style="list-style-type: none"> ● Verde claro: corresponde a las zonas de matorral y vegetación muy poco densa. Zona que de manera natural sería predominante. ● Verde oliva: corresponde a las zonas de carrizo y vegetación típica de saladar. ● Blanco: muestra suelos totalmente desnudos donde la reflectancia es máxima o muy alta para todas las longitudes de onda correspondiendo a las canteras y suelos roturados, bien para cultivar en ellos o para realizar construcciones. ● Azul oscuro: indica la menor reflectancia posible, es decir que se absorbe la mayoría de la radiación recibida desde el Sol. Corresponde a las aguas profundas como es el caso del agua del Mar. ● Azul claro: indica láminas de agua someras o poco profundas correspondientes a las balsas de las salinas y a algún embalse de regadío de pequeño tamaño. ● Grises: corresponden a las zonas urbanas tales como polígonos industriales, urbanizaciones, carreteras, etc. si bien muestran tonalidades de un poco diferentes, gris rosado, gris verdoso, gris azulado, etc. ● Rojo intenso: corresponde a las zonas ocupadas por vegetación muy activa y vigorosa, que en esta zona no se dan de manera natural, por lo que indican zonas de cultivos de regadío. ● Granates: vegetación de menor actividad o menor regada que la anterior, pero lo bastante para destacar ese tono rojizo. Corresponde a campos de frutales, y a las zonas de pinar. 	

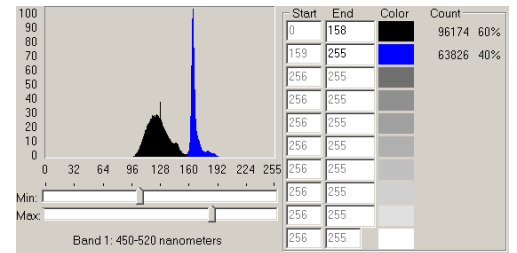
4.4 LÁMINA DE AGUA.

Tabla 10. Análisis de la lámina de agua.

TM (1992)	ETM+ (2001)
 <p data-bbox="284 1122 858 1149">imagen resultado del ratio 1/7 para la escena del sensor TM</p>	 <p data-bbox="954 1122 1557 1149">imagen resultado del ratio 1/7 para la escena del sensor ETM+</p>
 <p data-bbox="331 1794 810 1821"><i>Density slicing</i> aplicado a la imagen del sensor TM</p>	 <p data-bbox="1002 1794 1513 1821"><i>Density slicing</i> aplicado a la imagen del sensro ETM+</p>



Histograma, *density slicing* y proporciones de píxeles para TM.



Histograma, *density slicing* y proporciones de píxeles para ETM+.

Se ha calculado la lámina de agua con el método del ratio 1/7 tal y como se especificó en el apartado de metodología y posteriormente se creó una nueva imagen con la técnica *density slicing*, aplicando un color azul para las láminas de agua y un color negro para el resto de la superficie, tanto para la escena del sensor TM, como para la escena del sensor ETM+.

Es muy importante el comentar que en el análisis del sensor TM aparecen puntos negros en el mar, a la vez que algunos píxeles de zonas cercanas a las láminas de agua son interpretadas como tal sin serlo (por ejemplo los brazos del puerto). Esto es debido a la menor precisión del sensor TM respecto de su homólogo posterior el ETM+ que se incorporó con posterioridad. Por otro lado, existen otros errores de interpretación que podríamos llamar falsos positivos como es el caso por ejemplo de las montañas de sal de las salinas, que con este método se interpretan como parte de la lámina de agua. Esto sucede por la idiosincrasia del método, debido a que no mide directamente el agua, sino que es un ratio entre los píxeles de la banda de mayor reflexión para el agua y la de menor reflexión para la misma, pero en el caso de las lomas de sal, dan una reflexión tan elevada en la banda 1 que después de aplicar el ratio son interpretadas como agua sin serlo.

Tabla 11. Tantos por ciento y área de lámina de agua y otras superficies.

Tipo de superficie	TM (1992)		ETM+ (2001)	
	%	Área (m²)	%	Área (m²)
Lámina de agua	41	53.283.600	40	51.842.668,5
Otras superficies	59	76.676.400	60	78.117.331,5
TOTAL	100	129.960.000	100	129.960.000

Comparando las dos escenas, se ve que existe una disminución de la superficie ocupada por láminas de agua en el periodo comprendido entre las dos escenas, 1992 y 2001. Esta pequeña disminución podría deberse al factor estacional de la toma de las escenas, ya que la del sensor ETM+ fueron tomadas en Junio, la del TM fueron tomadas en Abril, mes bastante más lluvioso que el de Junio (diagramas 1, 2 y 3). Pero si nos fijamos en los distintos tipos de láminas de agua presentes en la escena, que son principalmente tres (mar, balsas de las salinas, y balsas de aguas dulce-salobres), se observa que la lámina de agua marina no ha variado (como es lógico), las balsas perimetrales de aguas dulce-salobres tampoco lo han hecho, al menos de manera significativa, pero sí que se observa el cambio en algunas de las balsas preconcentradoras de las salinas, ubicadas en la zona más interior de las mismas. Al fijarnos en detalle, como muestran las figuras 22 y 23, se observa que la lámina de agua ha sido sustituida por vegetación de carrizo y saladar, lo que parece indicar que esa pérdida de la lámina de agua no es de carácter estacional y que más bien tiene un carácter definitivo. Lo cual muestra un avance de la vegetación frente a la lámina de agua, si bien es a pequeña escala.

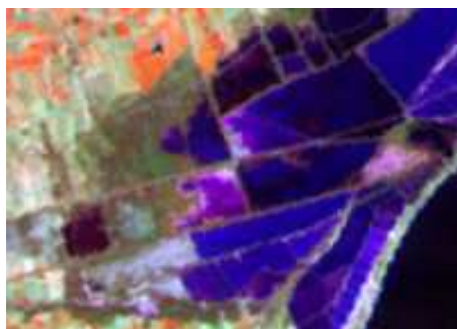


Figura 6. Detalle balsas preconcentradoras 1992.

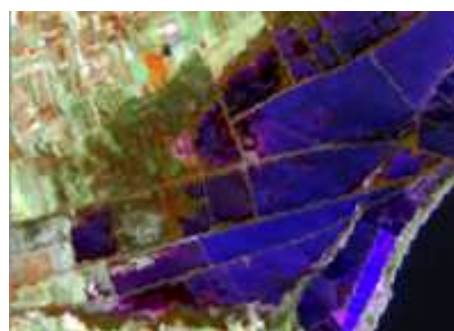
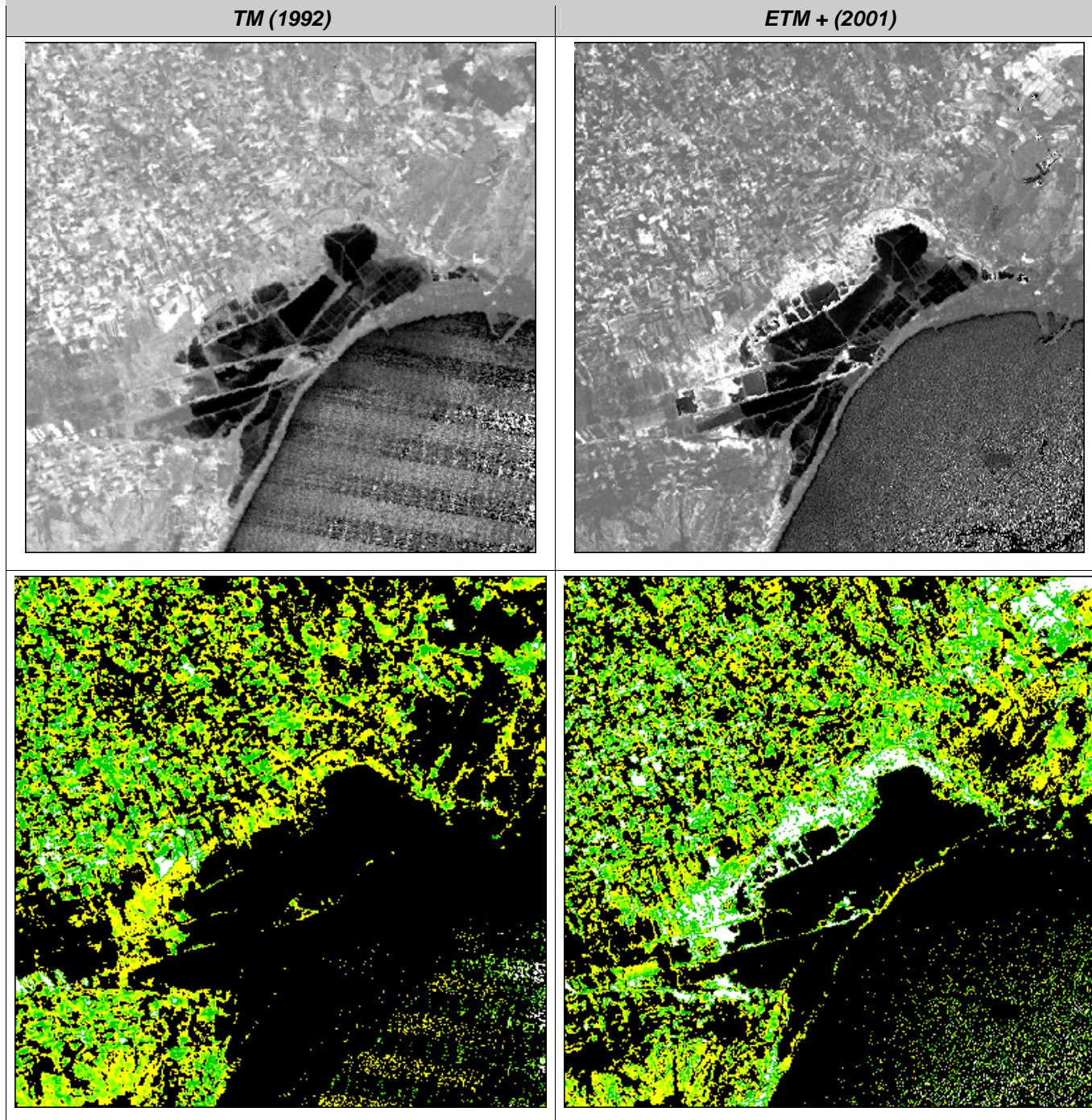
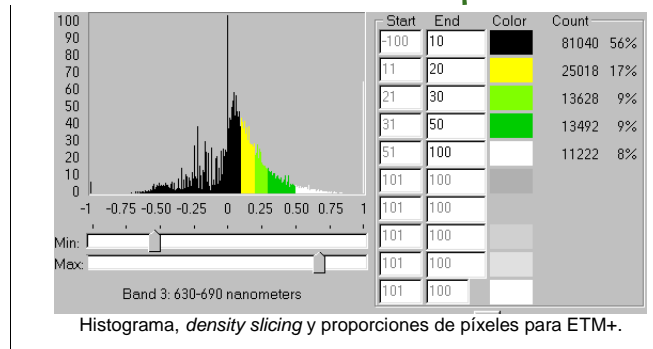
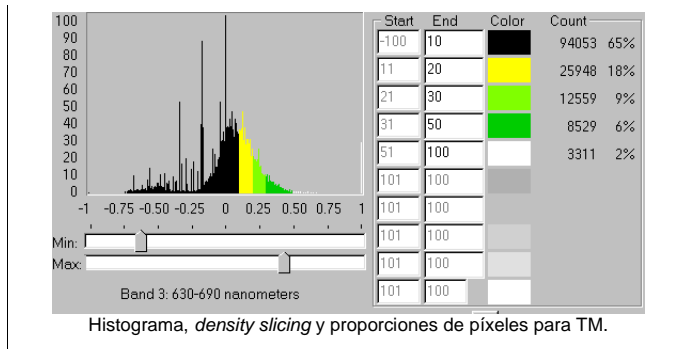


Figura 5. Detalle balsas preconcentradoras 2001.

4.5 ÍNDICE NORMALIZADO DE LA VEGETACIÓN INDEXADO (NDVI).

Tabla 12. Análisis del Índice Normalizado de la Vegetación Indexado (NDVI).










Se ha calculado la cantidad y el estado de la vegetación con el método de análisis NDVI (Índice Diferencial Normalizado de la Vegetación) tal y como se especificó en el apartado de metodología y posteriormente se ha creado una nueva imagen con la técnica *density slicing*, aplicando un rango de tonos para los valores positivos del análisis NDVI, los lugares donde existe vegetación, y un color negro para el resto de la superficie, tanto para la escena del sensor TM, como para la escena del sensor ETM+.

Es muy importante el comentar que en ambas escenas, tanto para el sensor TM como para el ETM+, aparecen puntos positivos en la región sureste de la imagen correspondiendo esta zona al mar. Lógicamente en esta región el análisis no debería dar valores positivos para el NDVI, y como puede apreciarse, estos valores positivos siguen patrones ilógicos con la realidad que indican que pueden ser catalogados de ruido visual. La razón de este ruido es un efecto colateral del procesamiento previo de las imágenes, concretamente del procesamiento de *sustracción del cuerpo oscuro*.

Tabla 13: Análisis cuantitativo del análisis NDVI para las escenas TM y ETM+.

Tipo de superficie	Leyenda	TM		ETM+	
		%	Área (m ²)	%	Área (m ²)
Zonas desprovistas totalmente de vegetación.		65	84.647.700	56	72.936.000
Zonas de vegetación prácticamente seca, con muy poca actividad fotosintética.		18	23.353.200	17	22.516.200
Zonas de vegetación de poca densidad (matollar)		9	11.303.100	10	12.265.200
Zonas de vegetación		6	7.676.100	9	12.142.800
Zonas de vegetación densa y húmeda con mucha actividad fotosintética (cultivos de regadío, zonas de carrizo, ...)		2	2.979.900	8	10.099.800
TOTAL		100	129.960.000	100	129.960.000

Analizando los resultados, lo primero que salta a la vista es el incremento de la zona ocupada por vegetación en la segunda escena, correspondiente al sensor ETM+. Donde se aprecia que desde el año 1992 al 2001 se ha incrementado el área ocupada por la vegetación de un 35% a un 44% sobre el área total de estudio.

Por otro lado, desglosando el análisis podemos apreciar que los tipos de vegetación que han incrementado su extensión en mayor proporción son los tipos de vegetación de mayor actividad fotosintética y densidad. Lo que indica que la vegetación incrementada pertenece o bien a cultivos de regadío o a especies bien irrigadas.

4.6 CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS DEL SUELO.

Utilizando las técnicas anteriormente mencionadas, se ha realizado un análisis visual a la composición en falso color RGB (4,5,3) para obtener los mapas de usos de las cubiertas del suelo para las dos escenas obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla 14. Clasificación de las cubiertas del suelo. Criterio visual a partir de RGB (4,5,3).



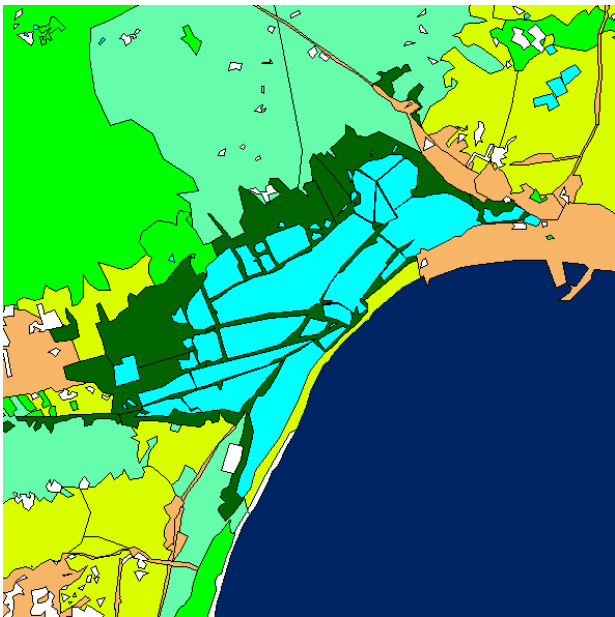
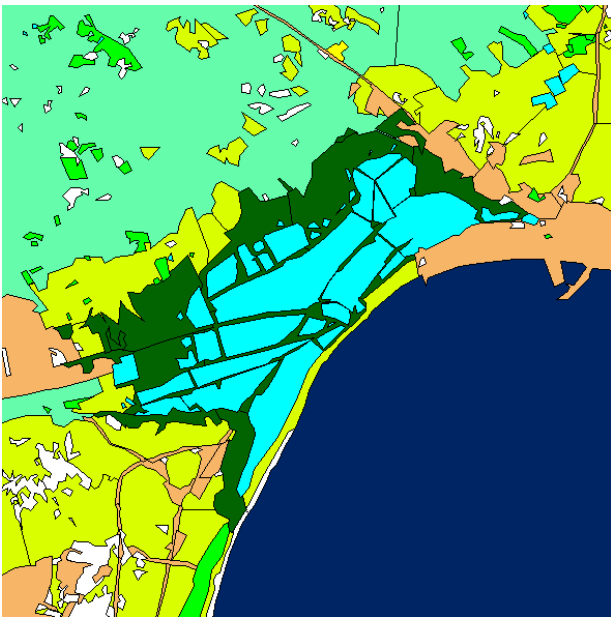
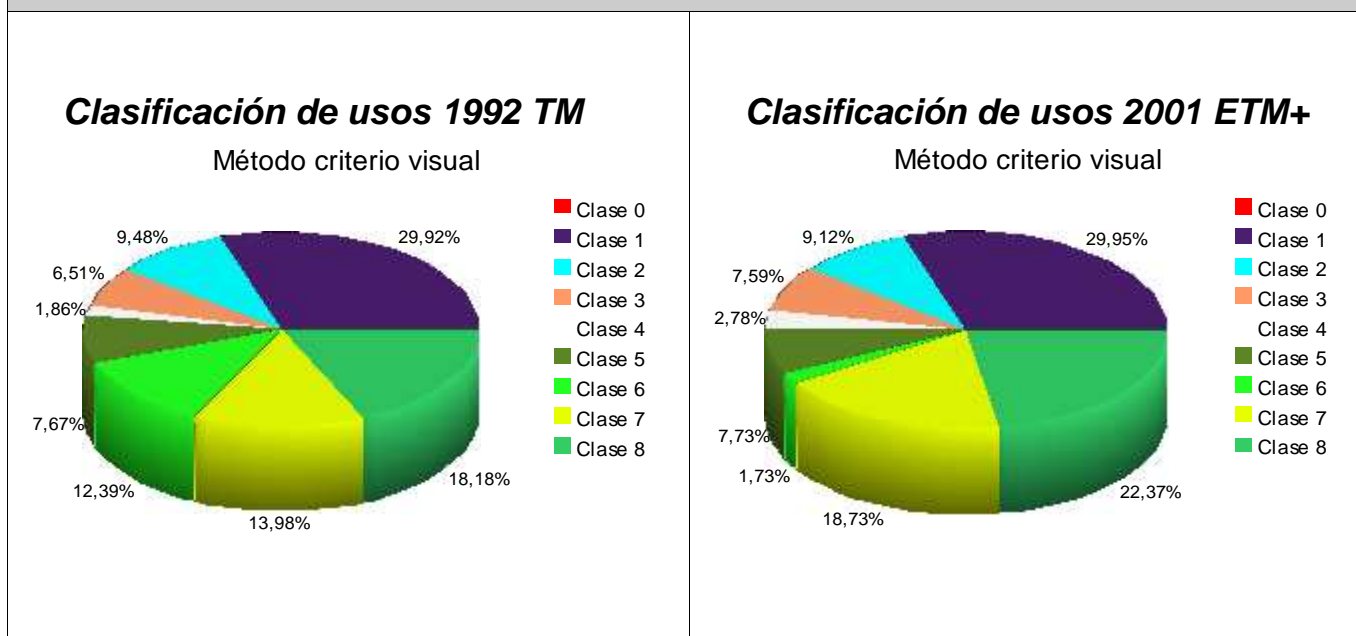
TM 1992	ETM+ 2001
 <p data-bbox="341 1227 798 1254">TM 1992 Composición en falso color RGB 4,5,3</p>	 <p data-bbox="1019 1243 1492 1270">ETM 2001 Composición en falso color RGB 4,5,3</p>
 <p data-bbox="478 1904 659 1930">Clasificación 1992</p>	 <p data-bbox="1165 1904 1345 1930">Clasificación 2001</p>

Tabla 15. Diagramas circulares de clasificación de los usos de las cubiertas del suelo (1992-2001)



Haciendo un análisis de los datos obtenidos, se aprecian varias cuestiones de manera bastante significativa:

- El incremento de la Clase 8, correspondiente a suelos correspondientes a zonas de cultivo poco regadas, suelo de vegetación de matorral natural, y viviendas unifamiliares y otro tipo de, de manera que en esta clase no destaca ninguno de ellos en particular, y confieren un entramado bastante heterogéneo.



Figura 7. Detalle de la escena de 1992 que muestra bastantes campos de cultivo.



Figura 8. Detalle de la misma zona de la figura 24, en el año 2001, se incrementa la clase 8.

- El incremento de la vegetación de matorral, Clase 7, correspondiente al crecimiento de la vegetación natural que crece sin ayuda hídrica ante el abandono de algunos campos de cultivo y terrenos en general.

- La gran disminución de la Clase 6 debida a la menor cantidad de agua disponible para las plantas, debido bien a que se riega menos o por abandono de cultivos e influenciado, si bien se debe indicar que también puede deberse en cierta medida al estatus fenológico de la vegetación.



Figura 9. Detalle de la escena de 1992 que muestra bastantes campos de cultivo (clase 6).



Figura 10. Detalle de la misma zona de la figura 26, en el año 2001, se incrementan las clase 7 y 8.

- Incremento de la Clase 3, suelo urbano, sobretodo en dos zonas concretas, la urbanización de La Escuera al Sudoeste, y la zona Norte del núcleo urbano de Santa Pola. También cabe destacar la existencia de nuevas carreteras que han hecho crecer la zona urbana debido a que este tipo de infraestructuras lineales también suelen conllevar una ocupación urbana de las zonas adyacentes.



Figura 11. Detalle de la zona de La Escuera y La Marina (1992) con menor suelo blanco (clase 4) y mayor zona de cultivos bien regados (clase 6)

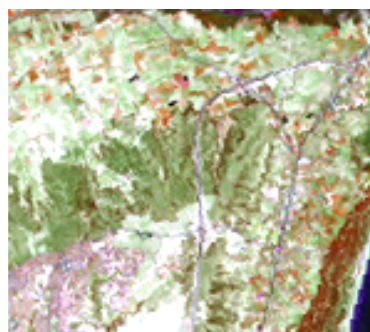


Figura 12. Detalle de la zona de La Escuera y La Marina (2001) donde se aprecian incremento de las clases 3, 4 y 8.

- Ligero incremento de la Clase 4, suelo desnudo, correspondiente a nuevas zonas urbanas proyectadas y al abandono de terrenos agrícolas o roturaciones de las mismas.



Figura 14. Detalle de la zona Noreste de la imagen de 1992. Algunos campos de cultivo muestran clase 4 (suelo desnudo) quizá debido a que son parcelas recién roturadas y cultivadas donde todavía no ha crecido la vegetación (seguramente frutales).



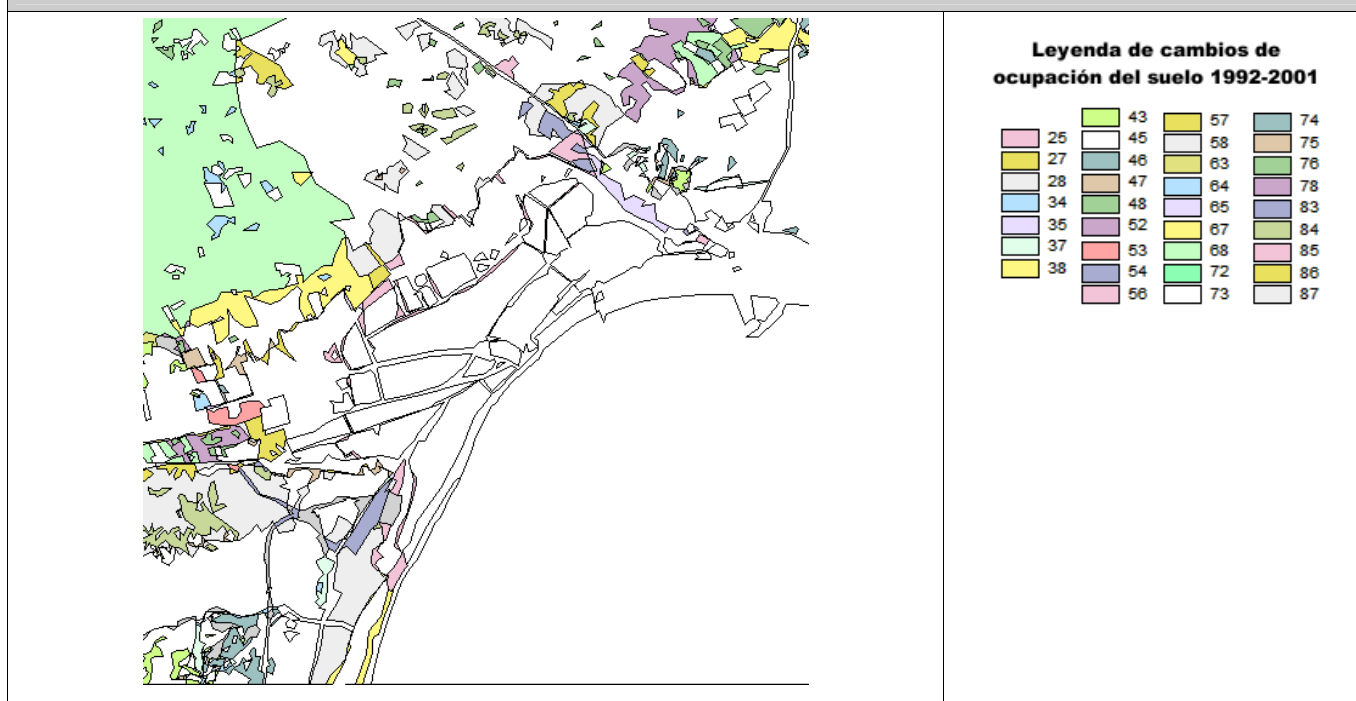
Figura 13. Detalle de la zona Noreste de la imagen de 2001. Incremento de suelo desnudo (clase 4 esquina arriba derecha) y de suelo con vegetación de matorral (clase 7)

Tabla 16. Clasificación de usos del suelo periodo 1992-2001 en área y tanto por ciento.

Tipo de superficie		TM (1992)		ETM+ (2001)	
		%	Área (m ²)	%	Área (m ²)
	0. Sin clasificar	0,00	0	0,00	0
	1. Lámina de aguas profundas, Mar.	29,92	38.884.030	29,95	38.923.020
	2. Lámina de aguas someras: salinas y balsas de regadío.	9,48	12.320.210	9,12	11.852.350
	3. Suelo urbano.	6,51	8.460.400	7,59	9.863.960
	4. Suelo desnudo: Canteras, suelos roturados.	1,86	2.417.260	2,78	3.612.890
	5. Vegetación1: carrizales	7,67	9.824.980	7,73	10.045.990
	6. Vegetación2: muy densa y activa, cultivos y pinares.	12,39	16.102.040	1,73	2.248.310
	7. Vegetación3. Zona de matorral o vegetación escasa, pero no de suelo desnudo.	13,98	18.168.410	18,73	24.341.510
	8. Resto de suelo: formado por combinación de cultivos casi abandonados, suelos roturados, viviendas unifamiliares y zona de matollar en proporciones similares.	18,18	23.626.730	22,37	29.072.050
TOTAL		100	129.960.000	100	129.960.000



































Para poder discernir mejor las conclusiones en cuanto a la evolución de las distintas ocupaciones del suelo, se ha creado un mapa de cambios donde solo aparecen en colores las zonas donde han existido cambios de clase. En la leyenda se especifica para cada color el cambio producido indicado por dos dígitos, el primero de ellos correspondiente a la clase que dicho polígono tenía en la escena de 1992 (sensor TM), y el segundo dígito correspondiente a la clase que dicho polígono tenía en la escena de 2001 (sensor ETM+), de esa manera, un valor 53 correspondería a que en 1992 pertenecía a una clase 5, de vegetación de carrizal, y en 2001 ha cambiado a 3 (una zona urbana).

Tabla 17. Mapa de cambios de clasificación de usos del suelo para el periodo 1992-2001.



A continuación se muestra una tabla con los distintos cambios producidos en la ocupación del suelo y la extensión en m² de dichos cambios. En ella se han despreciado los valores con dígitos iguales (Ej. 22, 33, 44, ... ya que no corresponden a ningún cambio). De igual modo, aquellas fracciones de la cubierta del suelo que cambiaban a un valor 0, tampoco han sido representadas debido a que la clase 0 corresponde a suelo sin identificar que se obtenía como resultado de procesos de geoprocesado del *software* utilizado. Además, esta última clasificación era casi despreciable por su poca extensión en m².

Tabla 18: Tabla de cambios en la clasificación de ocupaciones del suelo.

Color en mapa	Tipo de cambio	Área (m²)	Color en mapa	Tipo de cambio	Área (m²)
	De clase 6 a 8	11967391		De clase 6 a 4	293388
	De clase 8 a 7	6120224		De clase 7 a 6	293362
	De clase 6 a 7	2205105		De clase 5 a 8	288178
	De clase 7 a 8	1383156		De clase 4 a 7	215605
	De clase 8 a 4	1046286		De clase 7 a 5	185453
	De clase 5 a 7	910022		De clase 4 a 5	154869
	De clase 7 a 3	779114		De clase 3 a 4	140802
	De clase 7 a 4	737252		De clase 6 a 3	65574
	De clase 8 a 3	687210		De clase 4 a 6	50556
	De clase 8 a 5	607919		De clase 5 a 4	26119
	De clase 4 a 3	496302		De clase 6 a 5	23339
	De clase 2 a 5	481569		De clase 3 a 8	15318
	De clase 4 a 8	449030		De clase 5 a 6	8647
	De clase 5 a 3	398213		De clase 5 a 2	7676
	De clase 3 a 7	390595		De clase 2 a 8	3286
	De clase 3 a 5	357161		De clase 2 a 7	834
	De clase 8 a 6	352817		De clase 7 a 2	718



5 CONCLUSIONES.

Las conclusiones de todo el estudio son diversas y pueden agruparse en dos bloques. Uno en el que se ha realizado un análisis de la zona de estudio, caracterizándolo en una zona de gran importancia por la biodiversidad que sustenta, con un clima eminentemente seco, y de gran fragilidad por diversas razones como la gran presión humana que se ejerce y se ha ejercido a lo largo de la historia sobre ella. Todo esto justifica sin lugar a dudas la catalogación de zona protegida del Parque y muestra la gran importancia de la gestión de los recursos naturales, especialmente del agua, que se ejerzan sobre la misma.

Un segundo bloque de conclusiones serían las obtenidas directamente de los resultados del análisis que se habían marcado como objetivos que son las siguientes:

- **Lámina de agua.**

- La lámina de agua ha descendido en menos de un 1% durante el periodo comprendido entre 1992 y 2001, lo que supone una pérdida de aproximadamente 129 ha. que han sido sustituidas por vegetación en su mayoría de especies de carrizo. Esto puede deberse en parte por la reducción de los retornos de riego, puesto que el aporte de aguas marinas no conlleva ningún problema.

- **Vegetación.**

- La vegetación colindante con las balsas del Parque Natural, en su mayoría especies de carrizo y otras plantas típicas de ecosistemas de saladar, han aumentado en un 0,06% lo que supone una extensión de 22 ha. sustituyendo zonas inundadas y otras de cultivos.
- Las zonas de cultivo de regadío que muestran una vegetación con una actividad fotosintética muy elevada han reducido su extensión en un 10,66 % lo que suponen 1.385 ha. Esta conclusión es debida a que gran parte a la clasificación empleada en el proyecto, debido a que existe otra clase que también contempla las zonas de cultivos, pero con una actividad fotosintética (y por tanto cantidad de agua presente debido a riego). Lo que ha ocurrido es que han disminuido los campos muy regados y han sido sustituidos por parcelas rurales abandonadas, parcelas roturadas (bien sea para realizar



construcciones o cambios de plantaciones), y/o campos de cultivo con un riego mucho menor.

- Aumento de un 4,75% (617 ha.) del suelo ocupado por vegetación poco densa y activa típica de matorral. La mayor parte de este aumento es debido a zonas de cultivo que han sido abandonadas donde este tipo de vegetación se extiende de manera natural rápidamente.
- **Evolución de los usos de suelo por ocupación del mismo.**
 - La zona urbana se ha incrementado en un 1,08% (140 ha) por extensión de zonas urbanizadas como viviendas, de un polígono industrial y la creación de carreteras.
 - A su vez el suelo desnudo ha crecido en un 0,92% (119 ha) en parte debido a roturaciones de terrenos cultivados que se están replantando con nuevas especies agrícolas, y en parte por extensión de zonas urbanas que se están construyendo.

De estos datos se obtiene por un lado que la presión humana sobre las zonas colindantes al Parque Natural de "*Les Salines de Santa Pola*" sigue siendo muy elevada, y por otro que los recursos hídricos de la zona se han reducido en el periodo estudiado.



6 BIBLIOGRAFÍA.

- CHUVIECO, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. Ed. Rialp. Madrid.
- GIRAUT, M. (1992). GIS methodology applied to hydrological hazard mapping in flat areas. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, EPFL, Suisse.
- MADDOZ, P (1845). Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de Ultramar. Pascual Madoz. Madrid.
- MAS I MIRALLES, A. (1998). Toponimia de Santa Pola. Una aproximació lingüística. Quaderns de Santa Pola nº 1. Ajuntament de Santa Pola. Santa Pola.
- NAVARRO PEDREÑO, J., MATAIX SOLERA, J., GUERRERO MAESTRE, C., GÓMEZ LUCAS I. (2000). Sistemas de Información Geográfica y el Medio Ambiente. Cuaderno nº 2 Introducción a los SIG y teledetección. Universidad Miguel Hernández..
- PINILLA RUIZ, C. (1995). Elementos de teledetección. RA-MA Editorial. Madrid.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1981). Les étages bioclimatiques de la végétation de la Península Iberique. Actas III Congr. OPTIMA. *Anales Jardin Botanique Madrid* 37(2):251-268.
- RIVAS MARTÍNEZ, S., J.C. BASCONES, T.E. DÍAZ, F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ & J. LOIDI (1991). La vegetación del Pirineo Occidental y Navarra. *Itinera Geobot.* 5:5-456
- SERRA LALIGA, L. (1998) La flora de Santa Pola. Quaderns de Santa Pola nº 2. Ajuntament de Santa Pola. Santa Pola.
- STÜBING, G. & PERIS, J.B. (1998). Plantas Silvestres de la Comunidad Valenciana. Ediciones Jaguar. Madrid M-40.019-1998
- TORY PETERSON, R., MOUNTFORT, G. & HOLLOWAY, P.A.D. (1995). Guía de campo de las Aves de España y de Europa. Omega. Barcelona
- ALONSO FERNÁNDEZ, I. (2001). El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ - Satélite Landsat.
- [FAO DOCUMENT REPOSITORY. SATÉLITES AMBIENTALES. \(Febrero, 2006\)](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/T0355S/T035)



[5S05.htm](#)

- <http://www.ramsar.org>
- http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter1/chapter1.html
- <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- <http://www.srgis.cl>
- <http://cth.gva.es> (Enero, 2006)
- <http://www.eduspace.esa.int/eduspace/subtopic/default.asp?document=295&language=es> (Mayo, 2006)
- SNEIG México (Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica)
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/ortomapa/espaciom01.cfm?c=203> (Mayo, 2006)