

**Escuela Universitaria Politécnica
La Almunia de Doña Godina**

**AFORO DE SUPERFICIES DE
CULTIVO EN LA ZONA DEL
FLUMEN (HUESCA) MEDIANTE
TELEDETECCION**

Trabajo fin de carrera de Ingeniero Técnico Agrícola

Alumno: Carlos Gil Sendra

Zaragoza, 28 de Junio de 1991

El presente trabajo se ha realizado en el Servicio de Investigación Agraria de la Diputación General de Aragón y en Trabajos Catastrales S.A. de la Diputación Foral de Navarra, bajo la dirección del Dr. Juan Herrero Isern (S.I.A. - D.G.A.) y del Ingeniero Agrónomo Miguel Arán Mayoral (T.C.S.A.).

Debo expresar mi agradecimiento a ambas instituciones y a su personal, en particular a Luis Díaz (S.I.A. - D.G.A.), por su ayuda en el trabajo de campo, a Lourdes Albizua (T.C.S.A.), por su ayuda en el proceso de imagen, y a M^a Auxiliadora Casterad (D.G.A. - S.I.A.).

*J. Herrero pertenece desde 2008 a
Ahorra ~~ra~~ EEAD-CSIC; Zaragoza, España.*

1 - INTRODUCCION

1.1. - Introducción a la teledetección	1
1.2. - Comportamientos espectrales	2
1.2.1. - Vegetación	2
1.2.2. - Suelo	4
1.2.3. - Agua	5
1.3. - Justificación y objetivos del trabajo	6

2 - DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. - Localización	8
2.2. - Geomorfología	10
2.3. - Suelos	11
2.4. - Clima	13

3 - MATERIAL

3.1. - Material cartográfico	17
3.2. - Material para trabajo de campo	17
3.3. - Imágenes de satélite	18
3.4. - Equipo informático	18

4 - METODOLOGIA

4.1. - Descripción del método	21
4.2. - Selección de la imagen	21

1 - INTRODUCCION

1.1. - Introducción a la teledetección	1
1.2. - Comportamientos espectrales	2
1.2.1. - Vegetación	2
1.2.2. - Suelo	4
1.2.3. - Agua	5
1.3. - Justificación y objetivos del trabajo . .	6

2 - DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. - Localización	8
2.2. - Geomorfología	10
2.3. - Suelos	11
2.4. - Clima	13

3 - MATERIAL

3.1. - Material cartográfico	17
3.2. - Material para trabajo de campo	17
3.3. - Imágenes de satélite	18
3.4. - Equipo informático	18

4 - METODOLOGIA

4.1. - Descripción del método	21
4.2. - Selección de la imagen	21

4.3.- Realización del inventario en campo . . .	23
4.3.1. - Selección de los segmentos	23
4.3.2. - Diseño y realización de la encuesta	23
4.3.3. - Obtención de los datos del trabajo de campo	24
4.3.4. - Expansión directa a toda el área .	25
4.4. - Proceso de imagen	26
4.4.1. - Corrección de la imagen	26
4.4.2. - Acciones en proceso de imagen . .	28
4.4.2.1. - Digitización de límites . .	28
4.4.2.2. - Obtención de las firmas espectrales	28
4.4.2.3. - Clasificación supervisada .	29
4.4.3. - Estimador por regresión	31

5 - RESULTADOS

5.1. - Inventario en campo	34
5.2. - Expansión directa	36
5.3. - Obtención de firmas espectrales	38
5.4. - Matrices de confusión	46
5.5. - Datos por clasificación	49
5.6. - Datos de regresión	51
5.7. - Resultados del estimador por regresión .	53

5.8.	- Comparación de la expansión y la regresión	55
6 - DISCUSION		
6.1.	- Firmas espectrales	57
6.2.	- Matrices de confusión	59
6.3.	- Comentario a los resultados estadísticos	61
6.3.1.	- Distribución de los cultivos en los segmentos	61
6.3.2.	- Regresión de la verdad-terreno sobre la clasificación	63
6.3.3.	- Aforo de superficies de cultivo .	64
7 - CONCLUSIONES		
		66
8 - BIBLIOGRAFIA		
		68
ANEJO FOTOGRAFICO		

1 - INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

1.1. Introducción a la teledetección

La teledetección es una técnica que permite obtener información a distancia de un objeto, sin un contacto físico entre la superficie observada y el observador. El instrumento de observación puede ser una cámara fotográfica, un sensor radiométrico u otro, que pueden ir aeroportados (avión o satélite) o bien ser utilizados a mano.

En agricultura se emplea esta técnica para aplicaciones muy variadas: fotointerpretación edafológica, geomorfológica y de zonas de cultivo, estudio de cubiertas vegetales en grandes áreas, inventario de cultivos, estimación de cosechas, índices de vegetación, etc.

Existen distintos satélites provistos de diversos tipos de sensores. Los más usados se basan en la medida de la intensidad de la radiación reflejada por la tierra, generalmente proveniente del sol, en unas determinadas longitudes de onda.

El intervalo de radiación más usado en satélites de recursos naturales se sitúa entre los $0.4 \mu\text{m}$ y los $12 \mu\text{m}$ de longitud de onda. Estos satélites suelen registrar sólo determinadas bandas de frecuencias, generalmente aquellas en que la atmósfera resulta más transparente.

En el caso del satélite LANDSAT 5, el sensor TM tiene 7 bandas: la 1 de 0.45 a 0.52 μm , 2: 0.52 - 0.60 μm , 3: 0.63 - 0.69 μm , 4: 0.76 - 0.90 μm , 5: 1.55 - 1.75 μm , 6: 10.40 - 12.50 μm , 7: 2.08 - 2.35 μm .

La reflectividad de los objetos en cada una de las bandas se traduce en un registro por parte del sensor del satélite. Este registro está además influido por factores tales como el ángulo de iluminación y estado de la atmósfera, resultando una información o "intensidad de gris" en cada banda. Esta información es adquirida por el satélite como un "nivel digital" desde 0 a 255.

El conjunto de niveles digitales en cada banda se denomina respuesta o firma espectral de un determinado píxel. La población de respuestas de los píxeles de una determinado cultivo u otra cubierta es la firma espectral de dicha cubierta.

1.2. Comportamientos espectrales

1.2.1. Vegetales

El espectro visible se extiende desde 0.38 μm hasta 0.72 μm . En esta región la respuesta de los vegetales depende principalmente de los pigmentos de las hojas, sobre todo de la clorofila. La mayor parte de la radiación que llega a la hoja es absorbida, otra pequeña parte es transmitida y el resto es reflejada.

La vegetación sana tiene dos bandas de absorción más importantes situadas en el rojo (0.65 μm) y en el

azul ($0.45 \mu\text{m}$). Entre estas dos bandas queda una, la verde a $0.55 \mu\text{m}$, en que la absorción es menor y la reflexión mayor. Esta es la causa del color verde de las plantas.

Cuando una planta está bajo condiciones de estrés se produce una disminución de la producción de clorofila. Ello supone un aumento de la reflexión en el rojo, que da a la planta una tonalidad amarilla o clorótica.

En otoño desciende la producción de clorofila y aparecen o aumentan los carotenos (amarillos) y las antocianinas (rojos) con lo que las hojas toman coloraciones amarillentas o rojizas.

Por ello la respuesta de la vegetación en esta parte del espectro depende mucho de la cantidad de materia verde con alta actividad.

En el dominio infrarrojo la vegetación presenta un incremento notable de la reflexión, coincidiendo con el límite del visible ($0.7 \mu\text{m}$).

En el infrarrojo próximo ($0.7 \mu\text{m} - 1.3 \mu\text{m}$) la vegetación sana tiene una reflectividad y transmitividad alta (45% - 50% en ambos casos) y una baja absorción (<5%). La reflexión en esta región depende de la estructura interna de la hoja, por lo que resulta muy variable según las especies.

En el infrarrojo medio ($1.3 \mu\text{m} - 2.6 \mu\text{m}$) la respuesta de la vegetación está caracterizada por las bandas de absorción debidas al agua. Hay tres muy notables: $1.4 \mu\text{m}$, $1.9 \mu\text{m}$ y $2.7 \mu\text{m}$. En estas bandas de absorción la reflectividad y la transmitividad son bajas (35% y 20% a $1.4 \mu\text{m}$ y $1.9 \mu\text{m}$ respectivamente). La absorción para estas bandas es del 30% y 60%

respectivamente. Los picos de reflectividad están a 1.6 μm y 2.2 μm aproximadamente.

Así, cuando el contenido de agua disminuye, la reflectividad en el infrarrojo medio aumenta notablemente; sin embargo no causa diferencias importantes en la forma de la curva espectral hasta que el contenido de humedad es muy bajo.

1.2.2. Suelo

Su curva de reflectividad es bastante plana, aumentado progresivamente desde el visible hasta el infrarrojo. Esta respuesta depende de la composición mineralógica, textura, estructura y humedad.

La composición mineral es la principal causa del color del suelo, por lo que afectará a su comportamiento en la banda visible. En cuanto a las propiedades físicas, la reflectividad es mayor en suelos de textura gruesa, apelmazados y con poca materia orgánica. La humedad influye mucho en el infrarrojo cercano y medio debido al gran poder de absorción del agua en esta región, por tanto, a igualdad de condiciones, los suelos húmedos tendrán una reflectividad menor.

La mayoría de los sensores de los satélites sólo captan la información de la superficie del suelo. Como los suelos son objetos tridimensionales, muchas de sus propiedades no se reflejan en características superficiales lo que dificulta su estudio por teledetección.

1.2.3. Agua

El agua absorbe o transmite la mayor parte de la radiación que recibe, aumentando la absorción con la longitud de onda. La mayor reflectividad se produce en el azul, reduciéndose en el infrarrojo cercano, donde es casi nula.

La mayor variabilidad de la curva de reflectividad del agua se produce en el visible y depende del contenido de clorofila y de las partículas en suspensión que tenga. También en aguas superficiales la reflexión aumenta por el efecto del fondo.

El comportamiento comparado de las distintas cubiertas se puede ver en la Figura 1.1.

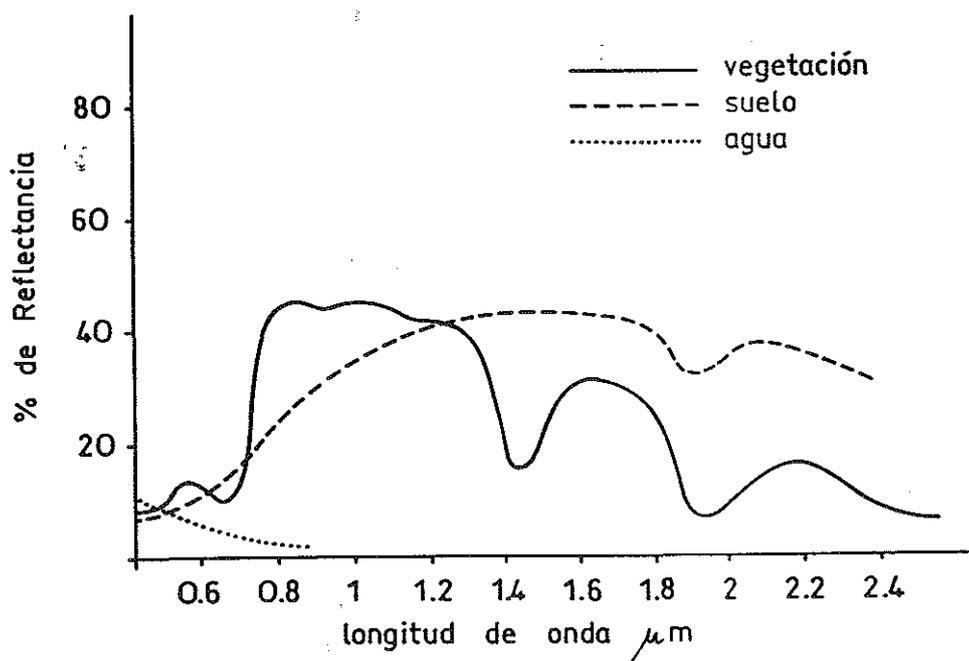


Figura 1.1 Comparación de las respuestas espectrales de la vegetación, suelo y agua (según Mulders, 1987, modificado).

1.3. Justificación y objetivos del trabajo.

Una de las necesidades para la planificación agraria son los datos estadísticos de las superficies de los cultivos. Los organismos oficiales, tanto la Administración Central (M.A.P.A.) como la autonómica (D.G.A., Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes) generan y utilizan estos datos estadísticos.

La obtención de las superficies ocupadas por los cultivos en España se inicia en cada campaña con las encuestas "1-T", que señalan la extensión de los cultivos en cada municipio. Los formularios son cumplimentados por los Secretarios de las Cámaras Agrarias Locales y remitidos a los Departamentos de Agricultura regionales que elaboran y depuran los datos y los transmiten al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Este sistema está rodado y organizado, por lo que no es sustituible a corto plazo.

Hay desventajas inherentes al sistema, como son la lentitud de elaboración, la ausencia de estimadores de la precisión y la imposibilidad de ubicar los cultivos y de obtener agregaciones de datos que no sean sumas de municipios enteros.

La Comunidad Económica Europea a través de su Centro Común de Investigación de Ispra (Italia), lanzó un plan de investigación y desarrollo de 10 años para introducir la teledetección espacial en la estadística agrícola (proyecto MARS).

El impulso dado por la CEE a este tema responde a la necesidad de las instituciones europeas (EUROSTAT) de información precisa, rápida y objetiva acerca de los principales cultivos. El volumen del presupuesto agrícola en la Comunidad ha hecho apremiantes las estimaciones homogéneas entre diferentes países, con posibilidad de extrapolación supranacional y periódica. Estos procesos se basan de forma inequívoca en los sensores espaciales. Sin embargo, estas acciones no contemplan la obtención de estadísticas por términos municipales o por polígonos de riego, salvo excepciones.

El método adoptado en la C.E.E. es el muestreo por marco areolar y estimador por regresión, o método de los segmentos, que se resume en el apartado 4.1. El presente trabajo tiene por objeto explorar la aplicabilidad de este método a una superficie de menor tamaño (unos 260 Km²) que las de estudios similares, con parcelación intensa y con graves problemas de salinidad en amplias extensiones. Todas estas circunstancias aumentaban a priori las dificultades para la obtención de resultados estadísticos fiables.

2 - DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

2. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. Localización

El área de estudio queda comprendida entre el Canal del Flumen y los ríos Flumen y Alcanadre, correspondiendo a los sectores IV al XI del Regadío del Flumen. Se encuentra situada al sur de la provincia de Huesca en el confín de la comarca de los Monegros. (Figura 2.1.).

La superficie total son 25.746 ha. y pertenece a los siguientes municipios:

Muni	Haya	región N.A.P.A (ha)
"	-Sangarrén.	3229.38
"	-Albero Bajo.	2218.12
"	-Piracés.	2528.59
"	-Barbués.	1955.78
"	-Torres de Barbués.	1401.09
"	-Almuniente.	3741.87
"	-Grañén.	12335.91
"	-Tramaced.	1532.34
"	-Alberuela del Tubo.	2068.28
"	-Poleñino.	3494.38
"	-Huerto.	8648.13
"	-Lalueva.	8839.87
"	-Capdesaso.	1751.41
"	-Sariñena.	29481.19
"	-Albalatillo.	913.14
15		<u>84434.48</u>

(Lalueva, Bellemea, parte del 100 muellos)

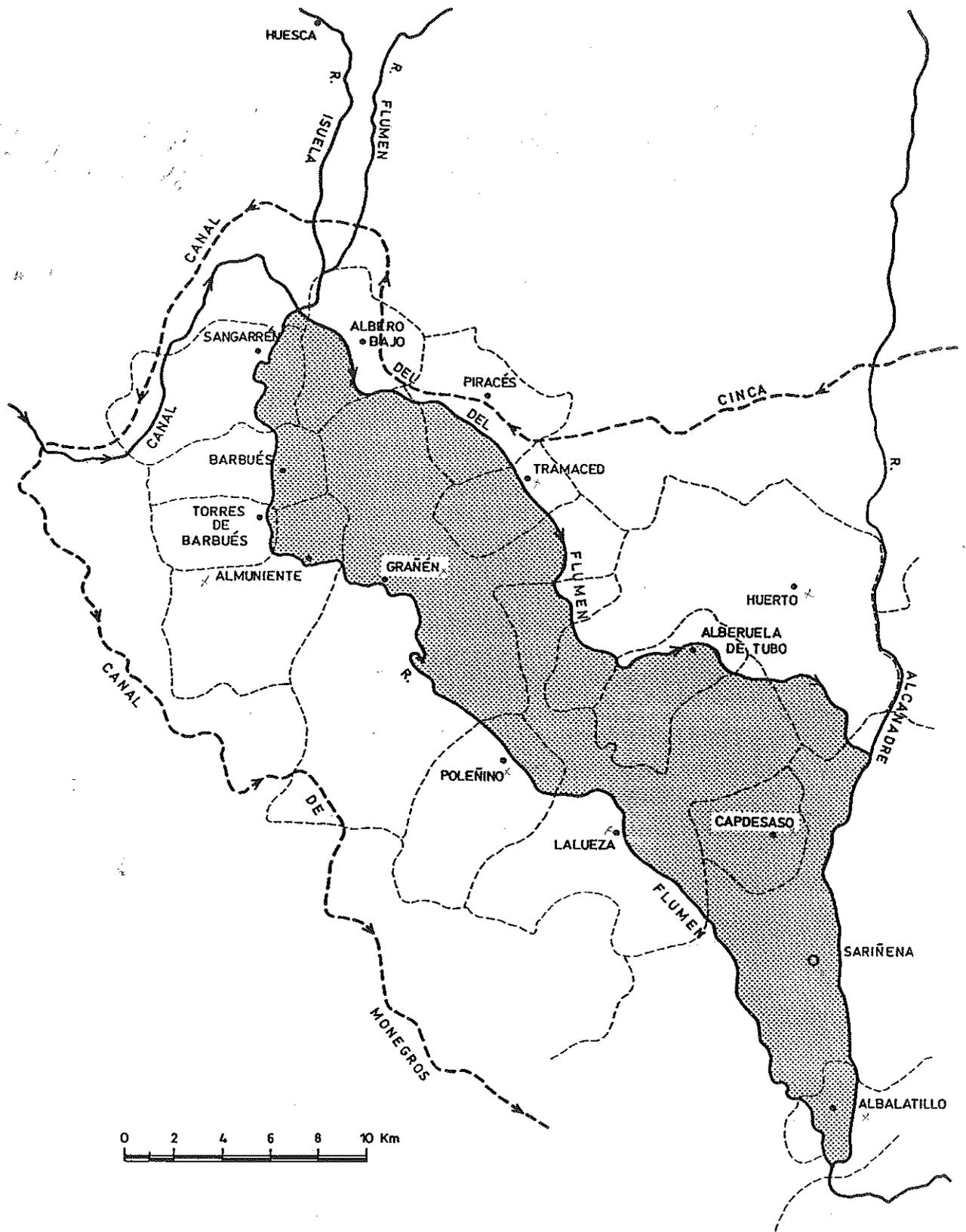


Figura 2.1. Localización de la zona de estudio y los términos que la componen.

Predominan las formas tabulares del relieve y la altitud está comprendida entre los 250 y 400 m sobre el nivel del mar.

2.2. Geomorfología

Las principales formas del relieve (Rodríguez et al. 1989), son las plataformas estructurales dominantes de la Sierra de Alcubierre, las plataformas residuales pliocuaternarias, las vertientes y los fondos.

Las plataformas estructurales dominantes están formadas principalmente por calizas y arenitas. Estos materiales han resistido la erosión pliocena a lo largo del cuaternario, dando relieves en gradería.

Las plataformas residuales se han originado también por erosión. Se trata de glacis formados por materiales detríticos gruesos. La erosión de los ríos ha dado lugar a la forma actual de plataformas. Estas plataformas pedregosas, en la zona, se denominan sasos.

Hay dos tipos de vertientes: las desnudas, que suelen dar acantilados, y las vertientes en glacis, que suelen enlazar los relieves estructurales y las líneas de drenaje actual.

El fondo está representado por la depresión de Sariñena.

2.3. Suelos

Los suelos se caracterizan por la abundancia de zonas con altos contenidos de sales. Se han catalogado (Herrero y Aragués, 1988) como salinas 15.682 ha (60.1%) de las cuales 7.979 ha (30%) son salino-sódicas.

Las principales unidades de suelo (IRYDA, 1975), son las siguientes:

- Suelos de llanuras onduladas sobre arenisca: son suelos de profundidad variable, textura franco-limosa y franco-limoso-arcillosa, la permeabilidad es baja y no suelen presentar problemas de salinidad. Su aptitud para riego es variable, aunque suele ser buena. Se recomienda el riego por aspersión.

Estos suelos se encuentran en lugares diseminados por el norte, en la zona de Barbués.

- Suelos sobre margas: el material parental salífero ha originado suelos salinos. La actividad humana ha modificado mucho su evolución. Su profundidad es variable, su textura es fina, su permeabilidad es de baja a moderada y suelen ser salinos y sódicos. Su pH es alto (7.5-9). Estos suelos presentan problemas graves para su puesta en riego y su recuperación es difícil.

Estos suelos se presentan en una ancha franja entre Tramaced-Grañén y en Poleñino.

- Suelos de los sasos: son de topografía plana, formados a partir de un material parental muy heterogéneo, constituido por gravas y cantos rodados con arcilla, arena y carbonato cálcico en alta proporción. Son suelos con alto grado de evolución. Su alta

permeabilidad ha permitido lavar los carbonatos y formar un horizonte petrocálcico. Suelen ser suelos profundos, no presentan problemas de salinidad y son buenos para el riego.

El saso más extenso es el de Sariñena, que abarca todo el límite este de la zona. Hay otros muchos pequeños sasos dispersos por todo el área.

- Suelos de laderas erosionadas: el grado de evolución de estos suelos es casi nulo y las margas suelen ser superficiales. Tienen una textura de franco-limosa a arcillosa, su permeabilidad es baja, presentan problemas de sodicidad y salinidad y su pH es alto (8.5-9.0). Su puesta en riego es bastante problemática.

Estos suelos están diseminados y suelen presentarse al pie de los sasos y cerros testigos. Un grupo importante de sasos y laderas es el que bordea la llanura aluvial Piracés-Almuniente; también hay un grupo importante al oeste del saso de Sariñena y al oeste de Marcén.

- Suelos de valles de erosión: su profundidad es variable, la textura arcillo-limosa, la infiltración es muy baja, presentan problemas de salinidad y sodicidad y su pH es muy alto (8-9,5). Suelen tener la capa freática alta y es problemática su puesta en riego.

Hay cuatro grandes valles de erosión: el de Albero-Barbués, Fraella-Grañén, Marcén-Lalieza y el cuarto, asimétrico, apoyado en el borde del saso de Sariñena.

- Suelos de llanura aluvial: son suelos poco evolucionados, profundos, textura arcillo-limosa, su permeabilidad es baja y presentan problemas de salinidad

y alcalinidad. El pH suele ser alto (8-8.5). Son suelos problemáticos para el riego.

En la zona hay una llanura aluvial importante que va desde Piracés hasta Almuniente.

- Suelos de terraza y aluviales: tienen distintos grados de evolución, son profundos, su textura es de franca a franco-arcillo-arenosa, la permeabilidad es buena y no presentan problemas de salinidad. Son suelos buenos para el riego.

De los dos ríos de la zona, Alcanadre y Flumen, es en el primero donde se diferencian mejor. En el Flumen hay terrazas en la zona de Lalueza-Poleñino y en Grañén-Almuniente.

2.4. Clima

Los observatorios más próximos a la zona de estudio son los de Monflorite (Huesca), Montesodeto y Montesusín (Grañén) y Pallaruelo de Monegros. Se presentan los datos de Montesodeto que es el único situado dentro de la demarcación estudiada. Los datos corresponden a una serie de 10 años desde 1960 a 1970.

Las temperaturas y la precipitación medias para este observatorio están en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Temperatura (°C) y precipitación (mm) medias de Montesodeto.

	Tª.media	Tª.m.max.	Tª.m.min.	Precipit.
Enero	5.6	10.0	1.2	32.8
Febrero	6.7	12.4	1.0	39.6
Marzo	10.0	16.7	3.4	43.4
Abril	13.1	20.2	6.0	39.6
Mayo	17.7	25.6	9.9	44.4
Junio	22.3	30.3	14.3	37.5
Julio	24.3	32.5	16.1	22.4
Agosto	24.2	32.2	16.2	36.5
Septiembre	20.9	28.4	13.3	58.6
Octubre	15.6	22.5	8.7	52.6
Noviembre	9.7	15.2	4.2	51.2
Diciembre	4.2	8.9	-0.4	29.5
Año	14.5	21.2	7.8	488.6

De estos datos se desprende que el período cálido comprende los meses de Junio, Julio y Agosto y el período frío abarca de Noviembre a Abril.

El período medio de heladas va del 10 de Noviembre al 1 de Abril, siendo la primera helada en los 10 años el 20 de Octubre y la última el 26 de Abril.

En cuanto a las precipitaciones también se ve en el Cuadro 2.1. que la pluviometría máxima del año se da en otoño (Septiembre, Octubre, Noviembre), con otro máximo

relativo en primavera (Marzo, Mayo), dándose la mínima precipitación en verano (Julio) con otro mínimo importante en invierno (Diciembre, Enero).

La E.T.P. por el método Blaney-Criddle es de 1054 mm y 804 mm por el método Thornthwaite, siendo el déficit 563 mm y 313 mm respectivamente que abarca desde Abril hasta Octubre. Los meses secos, según el diagrama ombrotérmico, son Junio, Julio y Agosto.

La clasificación climática según Thornthwaite es $C_1B_2db_4$ (semiárido, mesotérmico, con poco o ningún exceso de agua) y según el criterio de Papadakis el régimen térmico es templado cálido, el régimen de humedad mediterráneo seco y el tipo de invierno/verano es avena fresco/arroz.

En cuanto al viento, la zona, como en el resto del Valle Medio del Ebro, tiene dos vientos característicos: el cierzo y el bochorno.

El cierzo es un viento frío, seco y racheado del NW. Es más frecuente y persistente en primavera y en invierno.

El bochorno es un viento cálido, húmedo y más suave; sopla del E y SE, principalmente en verano, y suele traer temporales de lluvia.

Así la rosa de los vientos aparece notablemente deformada con un predominio de las frecuencias en el sentido NO-SE.

Desde el punto de vista de la teledetección debe destacarse la escasa cobertura nubosa durante la mayor parte del año, sobre todo en verano. Ello repercute en la gran disponibilidad de imágenes libres de nubes, que se

ha podido constatar revisando los "quick look" de LANDSAT de los años 1988 y 1989.

3 - MATERIAL

3 - MATERIAL

3.1. Material cartográfico

Los mapas topográficos más adecuados para este trabajo serían los de escala 1:25000. Al no estar cartografiada toda la zona de trabajo se ha empleado el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50000. Las hojas utilizadas han sido las 286 (Huesca), 324 (Grañén), 325 (Peralta de Alcofea), 356 (Lanaja) y 357 (Sariñena).

Se dispone de las fotografías aéreas de los vuelos USAF-B de 1956 y de los del IRYDA de 1975 y de 1977 a escalas 1:30000, 1:12000 y 1:18000 respectivamente. Las fotografías del vuelo USAF se desecharon por su antigüedad y baja resolución. De los dos vuelos del IRYDA se escogió el de 1975 ya que su mejor escala compensa su mayor antigüedad.

3.2 Material para trabajo de campo

De las fotografías aéreas se obtuvieron unas fotocopias a una escala aproximada de 1:8000. En el centro de dichas fotocopias se trazó el recuadro correspondiente al segmento a muestrear llevándose éstas para anotar los cultivos

3.3 Imágenes de satélite

Para la realización de presente trabajo se dispuso de una imagen de verano del satélite de recursos naturales LANDSAT 5 obtenida con el sensor TM, correspondiente a la escena 199-031 del 20 de julio de 1990 (Figura 3.1.).

Se trata de información "raster" en cintas magnéticas compatibles con ordenador (C.C.T.), de 6250 b.p.i., en formato B.Q.S. (Bandas en secuencia), correspondiente a las 7 bandas del sensor TM. Dicha cinta fue adquirida a la E.S.A. (Agencia Espacial Europea).

3.4 Equipo informático

Para el tratamiento de la información digital procedente del satélite se ha utilizado el ordenador DIPIX ARIES III en soporte de MICRO-VAX II con los siguientes periféricos:

- Unidad "streamer".
- Pantalla y teclado.
- Monitor de video.
- Tableta de manipulación de video.
- Tabla digitizadora.
- Impresora.

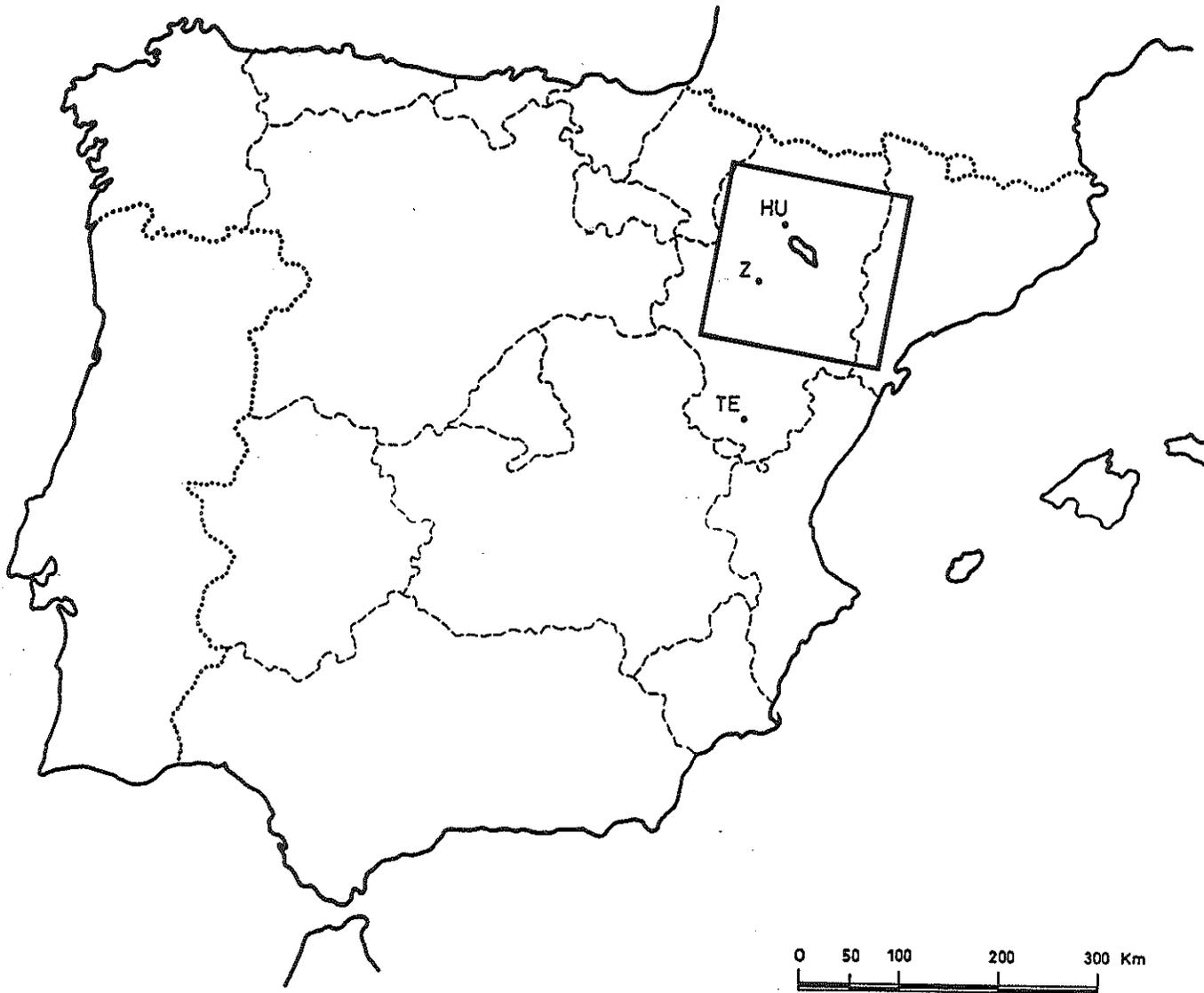


Figura 3.1. Localización de la escena 199-031 del Landsat 5-TM y de la zona de estudio.

Este sistema dispone de un software específico para el tratamiento de imágenes de satélite (ARIES III).

El equipo es el utilizado por el departamento de teledetección de T.C.S.A. (Diputación Foral de Navarra).

4 - METODOLOGIA

4. - METODOLOGIA

4.1. Descripción del método

La experiencia existente en el aforo de superficies de cultivo por teledetección en el Valle del Ebro (T.C.S.A. 1988), conduce a aplicar un método de muestreo representativo de todo el área de estudio. Por ello se aplicó el método del marco areolar y estimador por regresión (I.T.A. 1987, Gallego 1990). Este método fue desarrollado por el USDA e introducido en Europa por el C.C.I. (Centro Común de Investigación) de la C.E.E. (Ispra, Italia).

El método consta de tres etapas:

- Muestreo de los segmentos y expansión directa de los datos de campo.
- Proceso de imagen y clasificación multiespectral supervisada.
- Estimación de superficies mediante el estimador por regresión.

4.2. Selección de la imagen

Con la experiencia anterior de otros trabajos en el Valle medio del Ebro (T.C.S.A., 1988; Casterad, 1990) se eligió el satélite LANDSAT 5, que posee una resolución

radiométrica satisfactoria por tener 7 bandas. Su frecuencia de paso es regular (cada 16 días), lo que permite disponer de antemano del calendario de pasadas. Esto implica una disponibilidad de datos mayor que la del satélite SPOT cuya activación es más irregular y depende de las solicitudes previas del usuario, habiendo distintas prioridades en la programación del satélite a distinto coste. Estas condiciones, junto con la menor resolución radiométrica del SPOT (sólo tiene tres bandas), hace más idóneo para este trabajo al LANDSAT pese a su menor resolución espacial (30 m x 30 m frente a los 20 m x 20 m del SPOT).

La imagen a seleccionar debe corresponder a un período con respuestas espectrales diferenciadas en los cultivos que se pretende aforar. Tanto la fenología como el manejo de los cultivos condicionan tal respuesta, pero la experiencia de otros trabajos (T.C.S.A., 1988; Casterad, 1990) en el Valle del Ebro, indica que el período del 15 de julio al 15 de agosto resulta adecuado. Hay que considerar a continuación el calendario de pasadas del satélite y la necesidad de sincronizar la campaña de inventario con unas de tales pasadas. Finalmente, antes de adquirir las C.C.T., debe comprobarse por medio de los "quick look" que no hay nubosidad que perturbe las operaciones del tratamiento de la información.

En este caso las fechas de la campaña de inventario fueron del 18 al 26 de Julio. Por ello la escena escogida fue la 199-031 del 20 de Julio de 1990.

4.3. Realización del inventario en campo

4.3.1. Selección de los segmentos

El primer paso para determinar los segmentos a estudiar en campo es elegir el sistema de muestreo y el porcentaje de muestra a inventariar. Se efectuó un muestreo aleatorio en toda el área de estudio, aplicando una tasa de muestreo de un 2.5 %.

Se sortearon las fotografías aéreas de la zona en base a su numeración. Si la mayor parte del fotograma caía fuera de los límites del área de estudio (ríos y canal) se desechaba y se sorteaba otra. En el centro del fotograma se situaba el cuadrado que delimitaba el segmento. Ocasionalmente cuando una parte del mismo se salía de los límites del regadío, se desplazaba hacia el E o el W ligeramente hasta que entrara todo. Así se seleccionaron hasta un total de 26 segmentos.

4.3.2. Diseño y realización de la encuesta

Para la encuesta en campo se han empleado las fotografías aéreas del vuelo de 1975. A cada fotografía se le superponía un transparente con un cuadrado dibujado en el centro que a la escala de la fotografía eran de 500 m x 500 m. Posteriormente se hizo la fotocopia ampliada al 150% del conjunto, lo que daba a la fotocopia una escala aproximada de 1:8000.

En este trabajo se empleó un equipo de 2 personas con un vehículo todo-terreno.

Para el reconocimiento y orientación en campo se usó la fotografía, utilizando la fotocopia como minuta. En cada parcela interior al recuadro se anotaba, sobre la fotocopia, el uso que tenía. En los casos que no coincidían las parcelas se trazaban de forma aproximada o se dejaban sin anotación, escribiendo las correspondientes observaciones en su reverso. A cada uso del suelo se le asignó un número y en algunos casos con subíndices para diferenciar los estados vegetativos del cultivo. La fotografía se usaba como consulta para delimitar parcelas poco claras o localizar los caminos de acceso.

La duración del trabajo de campo fue de 7 días, a razón de 6 horas por día.

4.3.3. Obtención de los datos del trabajo de campo

La delimitación de parcelas uso junto con la información recogida en campo de cada segmento se transfirieron a un transparente para su posterior digitización y planimetración. La superficie ocupada por cada uso en cada segmento se cargó en un nuevo archivo superponible a la imagen.

Así se obtienen las estadísticas de los principales usos para cada segmento (Cuadro 5.1.).

4.3.4. Expansión directa a toda el área

A partir de los datos de campo se obtiene la expansión a todo el territorio según la siguiente fórmula:

$$X = \bar{x} * \frac{N}{n}$$

Donde:

X = superficie total.

\bar{x} = media en los segmentos para cada uso.

N = nº total de segmentos posibles.

n = tamaño de la muestra.

A partir de la media de los segmentos se ha calculado la desviación típica según la fórmula siguiente:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Se obtiene así una estimación rápida de superficies de los cultivos, con los estadísticos correspondientes (Cuadro 5.2.). Esta última característica hace superior este método al actualmente empleado en las estadísticas oficiales (encuestas "1-T").

En la expansión directa no intervienen los datos de satélite, y su precisión depende sólo de la distribución de cada cultivo y de la tasa de muestreo. La posterior

incorporación de la clasificación multiespectral de los cultivos consigue reducir el coeficiente de variación de las estimaciones.

4.4. Proceso de imagen

4.4.1. Corrección de la imagen

En el ordenador se cargó la cinta con la imagen completa. Se visualizó la imagen decimada para hacer una inspección general de su calidad y reconocer la zona de estudio. De toda la imagen se seleccionó y recortó un área que englobaba la zona de trabajo, para no trabajar con un gran volumen de datos innecesarios.

Una vez recortada la imagen, la segunda operación a realizar con la información digital de las cintas es la corrección de los errores geométricos de la imagen bruta. Además de la deformación por la proyección existen unos errores en la imagen debidos al propio satélite como son el cabeceo, aleteo, giro, variaciones de altura y velocidad y los debidos a la rotación de la tierra (se tarda 28 segundos en tomar la imagen y en ese tiempo la tierra ha girado sensiblemente).

La corrección geométrica consiste en crear una función que relaciona el sistema de coordenadas de la imagen (línea, columna) con un sistema cartográfico (UTM en este caso). Para ello la imagen es visualizada en el monitor de vídeo usando la combinación de bandas 4-5-3, que se hacen corresponder al rojo, verde y azul. Se buscan puntos de control distribuidos por todo el mapa

topográfico que sean visibles en la imagen (cruces de caminos y carreteras, puentes, pequeñas balsas, etc). Las diferencias entre la localización de los puntos en el mapa y en la imagen sirve para determinar las transformaciones necesarias para la corrección. En esta corrección se obtiene un error en X, equivalente al píxel, y otro en Y, equivalente a la línea. En este caso se tomaron 27 puntos, obteniéndose un error residual de 18.7 m en píxel y 18.1 m en la línea.

Para crear esta nueva imagen es preciso trasvasar los niveles digitales de la imagen original a esa nueva posición. En teoría cada píxel de la imagen corregida debe corresponder a uno de la inicial. Pero lo normal es que los píxeles de la nueva imagen se coloquen entre varios de la original, ya que este proceso supone una alteración considerable de la geometría de la imagen. También es posible cambiar el tamaño del píxel mediante remuestreo, con lo que se complica el proceso. Hay tres métodos para hacer este trasvase: vecino más próximo, interpolación bilineal y convolución cúbica. Se empleó éste último por ser el de efecto visual más correcto ya que relaciona los 16 píxeles más cercanos. Además se hizo un remuestreo a píxeles de 20 m.

Así es posible localizar cualquier elemento de la imagen en el mapa topográfico y viceversa, con un error inferior a un píxel.

4.4.2. Acciones en proceso de imagen

4.4.2.1. Digitización de límites.

El perímetro de la zona estudiada, constituido por los ríos Flumen y Alcanadre y el canal del Flumen, se digitizó sobre la propia imagen para obtener estimaciones estadísticas dentro de los límites del área de estudio.

De esta manera se contabilizaron 643645 píxeles y teniendo en cuenta que el píxel era de 20 m x 20 m resultó una superficie de total de 25746 ha.

Con este proceso se obtiene una máscara de todo lo clasificable. De esta forma se genera un archivo, que se podrá usar en futuros estudios plurianuales de la zona.

4.4.2.2. Obtención de firmas espectrales.

La clasificación digital supervisada se inicia definiendo cada una de las clases que quieren discriminarse. Se trata de obtener un rango de niveles digitales que identifique a cada categoría. Esto se logra delimitando en la imagen unas áreas de entrenamiento para "entrenar" al ordenador en el reconocimiento de las categorías. Es decir, a partir de ellas el ordenador calcula los niveles digitales que definen a cada clase para luego asignar al resto de píxeles de la imagen a una de esas categorías. Finalizada la selección, el ordenador calcula las estadísticas elementales de cada cultivo: media, desviación típica, rango, matriz de covarianza. Este cálculo se aplica a todas las bandas que intervienen en la clasificación (todas las del satélite excepto la 6, correspondiente al infrarrojo térmico).

4.3.2.3. Clasificación supervisada

Una vez obtenidas las firmas espectrales, el ordenador calcula los coeficientes de correlación de cada una de las bandas con respecto a las demás. De este modo se pueden desechar las que estén más correlacionadas, debido a que proporcionan una información superflua. También se reduce el tiempo de cálculo. En este trabajo se emplearon las 6 puesto que el ordenador utilizado tiene la suficiente potencia para trabajar con todas.

Para proceder a asignar los píxeles a una clase hay dos tipos de clasificación: supervisada y no supervisada. Debido a que el método supervisado utiliza los datos de verdad-terreno como un conocimiento previo resulta más exacto y fiable. Esta clasificación se basa en el análisis estadístico de discriminantes, en el cual se toman áreas de entrenamiento de cada uso del suelo.

Una vez acabada la selección y estudio de categorías, se inicia la fase de clasificación, en la que se trata de incluir cada uno de los píxeles de la imagen en una de las clases. Esta asignación se realiza en función de los niveles digitales para cada banda.

Hay diversos tipos de criterios de asignación de píxeles: mínima distancia, por paralelepípedos y de máxima probabilidad. En este trabajo se empleó este último método. Considera que los niveles digitales de cada clase se ajustan a una distribución normal o gaussiana. Esto permite definir a esa categoría por una función de probabilidad. Así se calcula la probabilidad de cada píxel de pertenecer a cada una de las clases y es asignado a la que su probabilidad sea mayor. Aunque es el método más complejo, es el más empleado por ser el que da los mejores resultados.

Para hacer una estimación de la exactitud de la clasificación se calcula la matriz de confusión (Cuadro 5.9.) que analiza los resultados del clasificador comparados con la verdad-terreno en las áreas de entrenamiento. Es decir compara píxel a píxel la clase de verdad-terreno en la cual se encuentra y la obtenida por clasificación.

Se trata de una matriz bidimensional en donde las columnas representan la verdad-terreno y la filas las categorías obtenidas por clasificación. La diagonal de esta matriz representa el número de píxeles en donde la clasificación coincide con la verdad-terreno del total de píxeles utilizados como áreas de entrenamiento, mientras los marginales representan los errores de asignación. A partir de esta matriz se pueden sacar las matrices de bondad de clasificación (Cuadro 5.10.) y de significancia temática (Cuadro 5.11.).

La bondad de clasificación indica qué porcentaje de píxeles de una clase se han clasificado correctamente al analizar dicha clase individualmente. La significancia temática expresa el porcentaje de píxeles clasificados de una determinada clase que son realmente de esa clase, al considerar la clasificación sobre el conjunto de todas las clases.

Por ejemplo sea el arroz. De 455 píxeles introducidos como verdad-terreno 308 han sido clasificados como arroz, 109 como maíz, 2 como alfalfa, 2 como girasol y 34 no han sido clasificados. A la inversa, de 331 píxeles clasificados como arroz 308 son arroz realmente, 22 son de maíz y 1 es de alfalfa.

De las matrices de confusión se pueden sacar los errores de omisión y comisión. Los errores de omisión se

corresponden aquellos píxeles que, perteneciendo a una clase conocida, no se ha incluido en ella. Los errores de comisión son aquellos píxeles que no perteneciendo a una clase se han clasificado pertenecientes a ella.

Por ejemplo, el arroz tiene un error de omisión con el maíz importante (un 23%), mientras que el error de comisión es mucho más pequeño (6%). Con estos datos se puede decir que el arroz está infravalorado

Una vez hechos estos análisis se clasifica dentro de los segmentos, obteniendo una estadística por clasificación comparable con la estadística por trabajo de campo.

Posteriormente se hace una clasificación para toda el área de estudio.

4.4.3. Estimador por regresión

Al objeto de hacer comparables las estadísticas en campo con la clasificación digital, se efectúa el cálculo del estimador por regresión para cada cultivo.

Se correlacionan para los segmentos los datos de las superficies de cultivo obtenidas por verdad-terreno con las obtenidas por clasificación.

Con estos datos se corrige la estimación de superficies realizada por expansión directa. Para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$\bar{Y}_{reg} = \bar{y} + B (\bar{X} - \bar{x})$$

siendo,

Y_{reg} = estimación de superficie media para una clase en los segmentos.

y = superficie media de la clase para un segmento según la encuesta del terreno.

X = superficie media de la clase por segmento, frente al total de la población tras la clasificación multiespectral global del territorio.

x = superficie media de la clase determinada por clasificación multiespectral en los segmentos de la muestra.

B = pendiente de la recta de regresión de las superficies de verdad-terreno sobre las de clasificación multiespectral en los segmentos.

La estimación por regresión mejora la realizada sólo por expansión, ya que reduce la varianza de la estimación. En este caso el error típico es:

$$E.T._{reg} = E.T._{exp} * \sqrt{1-r^2}$$

La mejora conseguida por la clasificación multiespectral puede evaluarse mediante la "eficacia de la regresión" que se calcula con la siguiente fórmula :

$$E = \frac{1}{1 - r^2}$$

Esta eficacia indica cuantas veces habría que multiplicar el muestreo en campo para igualar la precisión obtenida por el estimador por regresión.

5 - RESULTADOS

5. - RESULTADOS

5.1. Inventario en campo

Las superficies de los principales usos y cultivos inventariadas en campo se presentan, desglosadas por segmentos, en el Cuadro 5.1.

La numeración de los segmentos corresponde a los números de las fotografías aéreas empleadas.

Cuadro 5.1. Superficies (ha) de los principales usos y cultivos en cada segmento según el inventario en campo.

SEGM.	ARROZ	MAIZ	LABRA.	RASTR.	GIRAS.	ALFAL.
693	0	2.69	4.48	8.34	0	0
696	0	0	1.27	22.01	0	0
697	0	0	2.78	12.35	3.39	0
700	0	3.44	2.69	3.49	1.13	2.36
711	19.14	0.80	1.93	1.98	0	1.13
718	23.18	0	0	0.52	0	0
721	0	14.14	0	6.13	1.23	1.93
729	19.6	0	0	3.44	0	2.97
747	0	8.15	0	2.36	12.35	0.47
751	0.71	0.24	3.91	16.87	0	1.74
755	2.87	0.05	0	15.83	0	0
758	3.53	5.70	1.88	3.25	2.64	6.69
762	13.05	0	1.08	8.81	1.7	0
781	0	1.46	0	5.42	0	7.35
794	0	13.66	0.33	3.16	1.23	2.59
796	2.78	0	13.48	0	2.21	2.07
797	12.86	0	2.69	0	0	0
814	0.33	1.70	0.94	15.55	2.36	0
815	2.83	0.61	0	13.24	0	0.99
817	7.87	0	3.11	0	0	0
818	0	1.88	0	6.55	0	0.33
826	5.94	0.33	3.77	7.59	0	0
827	0	0.28	0.47	0	0	12.91
837	0	1.37	0.38	5.23	0	0
841	0	0	1.27	0	9.61	9.61
847	0	0	0	10.60	0.38	0
TOTAL	115.02	56.50	46.46	172.69	38.21	53.15

5.2. Expansión directa

Siguiendo la metodología y la fórmulas explicadas en el apartado 4.3.4., se realiza la expansión directa de los datos obtenidos en campo.

Teniendo en cuenta que el número total de segmentos posibles es de 1029.8 y el número de segmentos estudiados es de 26, se ha realizado la siguiente expansión (Cuadro 5.2.).

Cuadro 5.2. Estimación de superficies de los principales usos por expansión directa.

Clase	Hectáreas				%
	Media segm.	Desv. típica	Total	Error típico	Coefic. variac.
Arroz	4.42	6.96	4555.8	1406.8	30.8
Maíz	2.17	3.82	2234.7	771	34.5
T. arado	1.79	2.72	1843.3	549	29.8
Rastrojo	6.64	6.04	6837.9	1219.1	17.8
Girasol	1.47	2.94	1513.8	593.4	39.2
Alfalfa	2.04	3.3	2100.8	666.1	31.7

5.3. Obtención de firmas espectrales

Con los datos de los niveles digitales procedentes del satélite se han obtenido las firmas espectrales de los principales usos y cultivos y los coeficientes de correlación entre bandas, que se presentan en los Cuadros 5.3. al 5.8. En ellos:

Media= Nivel digital medio para esa banda.

D. típica= desviación típica de los valores para esa banda.

Las gráficas de las firmas espectrales representan en el eje X las bandas del satélite y en el eje Y el nivel digital medio para cada banda.

Cuadro 5.3. Firma espectral del arroz en Flumen (20-7-90)

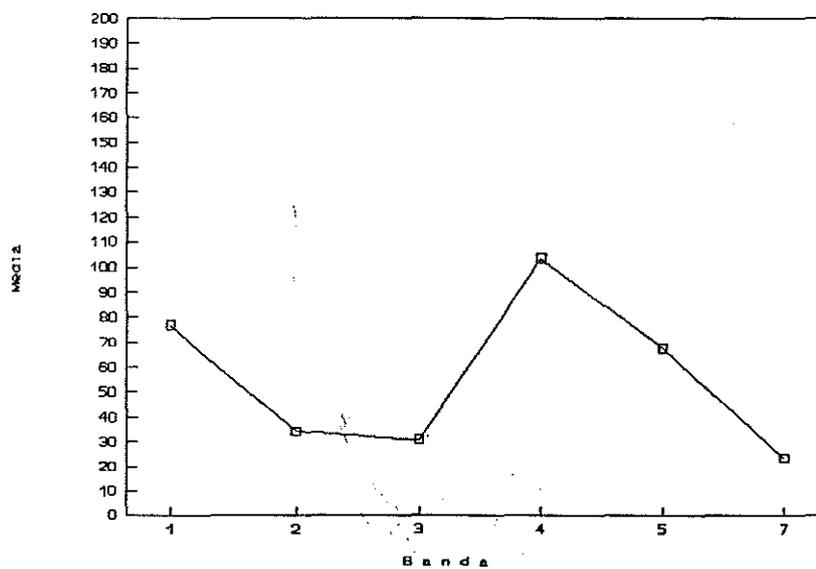
A R R O Z

Banda	Media	D.típica.
1	76.74	3.67
2	34.10	2.93
3	30.74	5.71
4	103.63	14.69
5	67.60	9.11
7	23.36	5.31

Coefficientes de correlación

Banda	1	2	3	4	5
2	0.830				
3	0.851	0.943			
4	-0.337	-0.381	-0.453		
5	0.395	0.312	0.283	0.525	
7	0.558	0.570	0.581	0.131	0.820

Firma espectral del arroz



Cuadro 5.4. Firma espectral del maíz en Flumen (20-7-90)

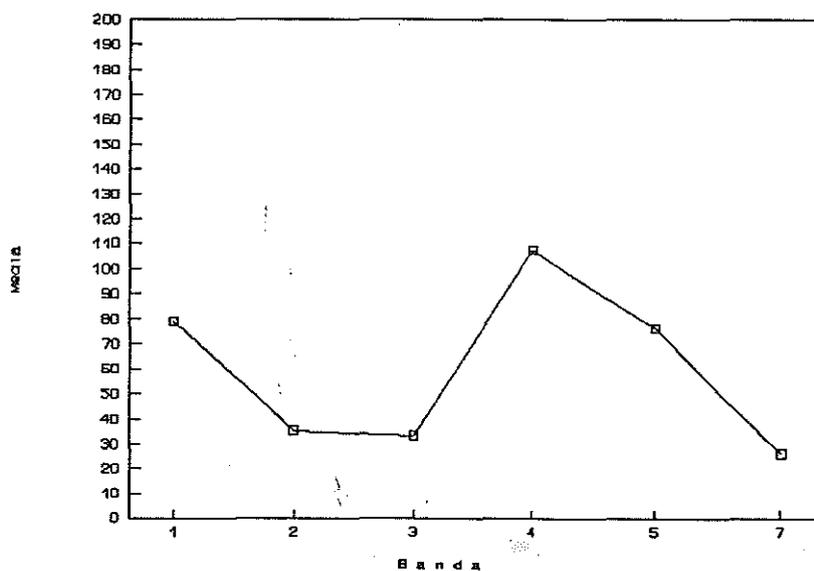
M A I Z

Banda	Media	D.típica.
1	78.78	4.41
2	35.32	3.36
3	33.21	6.08
4	107.88	7.16
5	76.16	10.26
7	26.11	7.47

Coefficientes de correlación:

Banda	1	2	3	4	5
2	0.920				
3	0.929	0.963			
4	0.017	-0.056	-0.067		
5	0.864	0.804	0.822	0.117	
7	0.882	0.856	0.875	0.044	0.966

Firma espectral del maíz



Cuadro 5.5. Firma espectral del terreno arado en Flumen (20-7-90)

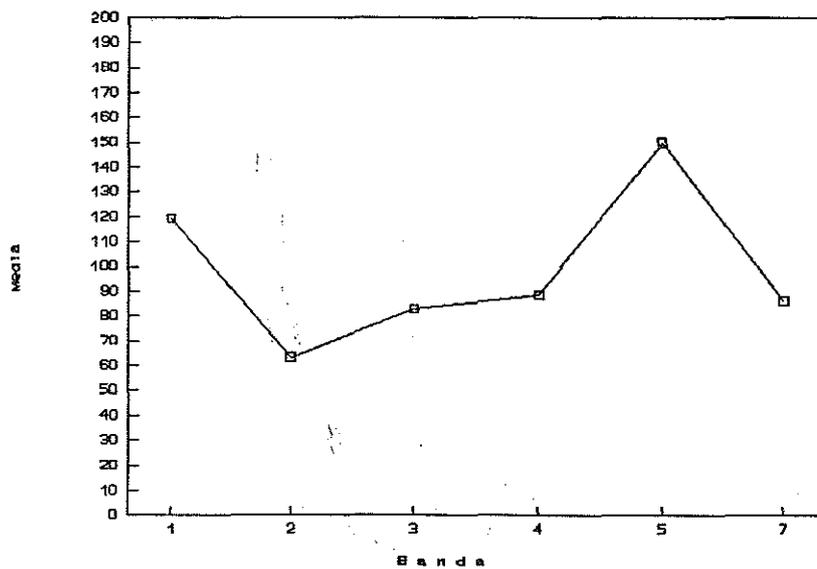
TERRENO ARADO

Banda	Media	D.típica
1	119.49	5.55
2	63.36	5.02
3	82.98	7.24
4	88.56	5.88
5	150.04	7.66
7	86.17	7.16

Coefficientes de correlación

Banda	1	2	3	4	5
2	0.895				
3	0.783	0.947			
4	0.495	0.649	0.655		
5	0.216	0.268	0.347	0.137	
7	0.291	0.425	0.544	0.223	0.811

Firma espectral del t. arado



Cuadro 5.6. Firma espectral del rastrojo en Flumen (20-7-90)

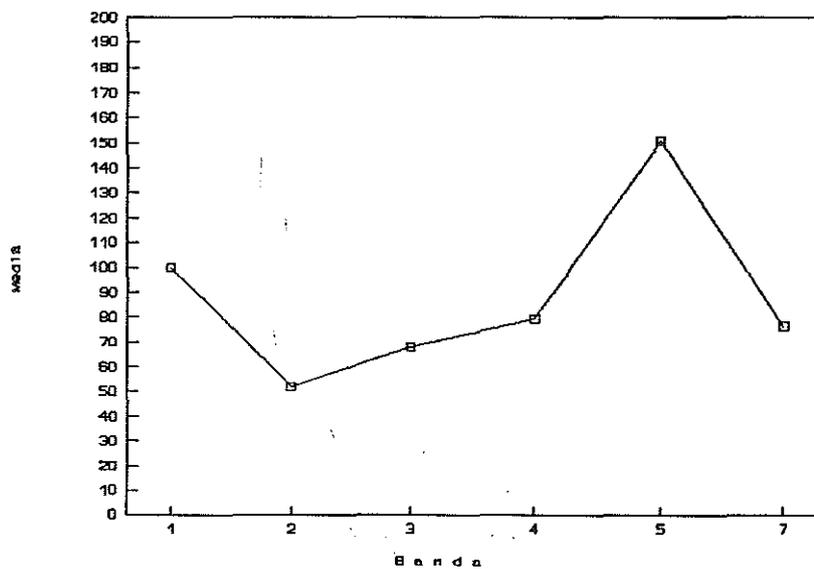
R A S T R O J O

Banda	Media	D. típica
1	99.89	5.81
2	51.70	5.37
3	67.83	7.83
4	79.12	8.16
5	151.00	12.22
7	76.35	11.08

Coefficientes de correlación

Banda	1	2	3	4	5
2	0.905				
3	0.883	0.964			
4	0.28	0.547	0.497		
5	0.524	0.318	0.416	-0.379	
7	0.694	0.503	0.536	-0.353	0.857

Firma espectral del rastrojo



Cuadro 5.7. Firma espectral de la alfalfa en Flumen
(20-7-90)

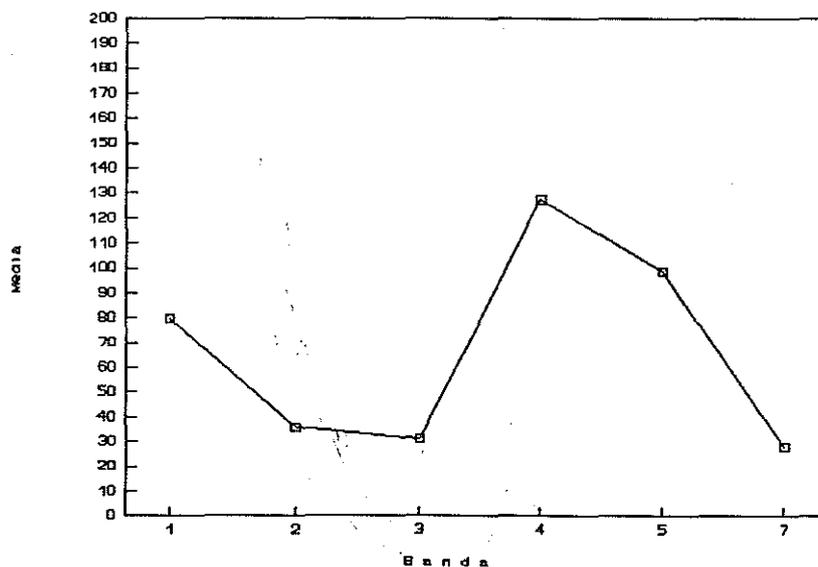
A L F A L F A

Banda	Media	D. típica
1	79.70	2.74
2	35.91	2.00
3	31.27	3.98
4	127.42	16.55
5	98.72	6.91
7	28.06	5.28

Coefficientes de correlación

Banda	1	2	3	4	5
2	0.772				
3	0.804	0.891			
4	-0.471	-0.54	-0.677		
5	0.544	0.699	0.622	-0.091	
7	0.718	0.838	0.832	-0.53	0.805

Firma espectral de la alfalfa



Cuadro 5.8. Firma espectral del girasol en Flumen (20-7-90)

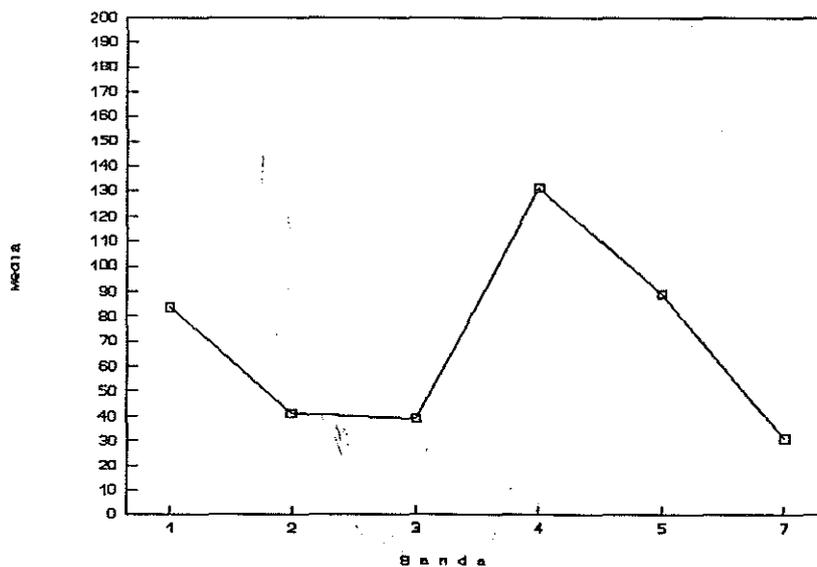
G I R A S O L

Banda	Media	D. típica
1	83.60	3.86
2	40.93	3.67
3	38.94	7.15
4	131.10	12.15
5	88.79	9.68
7	30.90	8.60

Coefficientes de correlación

Banda	1	2	3	4	5
2	0.858				
3	0.912	0.962			
4	-0.257	-0.026	-0.25		
5	0.777	0.72	0.748	-0.222	
7	0.752	0.639	0.719	-0.405	0.934

Firma espectral del girasol



La comparación de las matrices de los coeficientes de correlación de los Cuadros 5.3. a 5.8. indica cuales son las bandas más correlacionadas para las clases espectrales correspondientes. Además el Cuadro 5.9. presenta las medias de los valores de dichos coeficientes obtenidos a partir de los Cuadros 5.3. a 5.8. correspondientes a las clases espectrales estudiadas.

Cuadro 5.9. Valor medio de los coeficientes de correlación para las clases estudiadas, en las áreas de entrenamiento.

Bandas	1	2	3	4	5
2	0.75				
3	0.74	0.89			
4	0.12	0.19	0.23		
5	0.35	0.32	0.33	0.08	
7	0.45	0.43	0.48	0.11	0.75

5.4. Matrices de confusión

Las matrices de confusión comparan los datos de verdad campo con los de la clasificación digital.

La matriz de confusión general (datos en píxeles) hace referencia a los resultados de la clasificación en las áreas de entrenamiento.

A partir de estos datos se obtienen las matrices de bondad de clasificación y significancia temática.

En todas las matrices, en las columnas se representa la verdad terreno y en las filas la clasificación.

Cuadro 5.10. Matriz de confusión (datos en píxeles)

V-terr. Clasif.	Arroz	Maíz	T.ara	Rastr	Alfa.	Gira.	Total
Arroz	308	22	0	0	1	0	331
Maíz	109	169	0	0	6	1	285
T.arado	0	0	143	20	0	0	163
Rastrojo	0	0	11	379	0	0	390
Alfalfa	2	7	0	0	196	10	215
Girasol	2	8	0	0	5	75	90
No clasif.	34	13	6	16	12	3	
Total	455	219	160	415	220	89	

Cuadro 5.11. Bondad de clasificación (en %)

	Arroz	Maíz	T.arado	Rastro.	Alfalfa	Girasol
Arroz	67.69	10.05	0	0	0.45	0
Maíz	23.96	77.17	0	0	2.73	1.12
T.arado	0	0	89.38	4.82	0	0
Rastrojo	0	0	6.88	91.33	0	0
Alfalfa	0.44	3.2	0	0	89.09	11.24
Girasol	0.44	3.65	0	0	2.27	84.27
No clas.	7.34	5.94	3.75	3.86	5.45	3.37

Cuadro 5.12. Significancia temática (en %)

	Arroz	Maíz	T.arado	Rastro.	Alfalfa	Girasol
Arroz	93.05	6.65	0	0	0.3	0
Maíz	38.25	59.3	0	0	2.11	0.35
T.arado	0	0	87.73	12.27	0	0
Rastrojo	0	0	2.82	97.18	0	0
Alfalfa	0.93	3.26	0	0	91.16	4.65
Girasol	2.22	8.89	0	0	5.56	83.33

5.5. Datos por clasificación

Los datos de la clasificación multiespectral supervisada de los segmentos se presenta en el Cuadro 5.13.

Cuadro 5.13. Superficies (ha) de los usos y cultivos en cada segmento según la clasificación multiespectral supervisada.

SEGM.	ARROZ	MAIZ	LABRA.	RASTR.	GIRAS.	ALFAL.
693	0.52	0.8	4.85	9.28	0	0
696	0	0	3.49	20.03	0	0
697	0	0	4.66	12.91	0	0
700	2.78	4.24	2.36	4.95	0.57	1.74
711	11.73	1.84	0.66	0.57	0	0.75
718	13.76	2.64	0.24	0.38	0.24	0.19
721	2.97	10.37	0.05	4.57	0	1.23
729	13.43	1.70	0	2.73	0.14	2.12
747	0.24	5.09	0.85	2.92	3.72	0.33
751	0.09	0.05	2.92	16.02	0.09	0.05
755	1.70	0.57	0	16.02	0.09	2.21
758	2.17	0.71	0.85	2.31	2.21	6.22
762	6.79	2.64	3.35	3.68	0.90	0.05
781	0.28	0.14	3.86	5.42	0.57	5.98
794	2.59	7.96	0.05	1.79	0.38	1.98
796	1.74	0.19	6.31	0.52	1.32	1.37
797	7.87	1.18	5.37	0.28	0.42	0
814	0	0	10.74	5.84	0	0
815	1.79	0	2.73	7.54	0.24	0.24
817	1.79	0.33	4.90	0.94	0	0.66
818	0.57	1.46	0.75	4.38	0.85	1.65
826	2.5	2.87	4.9	4.99	0.05	0.19
827	0.28	0.52	5.37	0.52	1.46	6.74
837	0.66	0.80	0.71	7.77	0	0.05
841	0.05	0.42	1.37	0.94	1.18	4.43
847	0.33	0.85	1.08	11.21	0.94	0.61
TOTAL	76.62	47.36	72.42	148.52	15.36	38.78

5.6. Datos de regresión

Con los datos de clasificación por segmentos y los de inventario en campo el ordenador calcula la regresión lineal de las superficies de verdad-terreno sobre las obtenidas por clasificación supervisada, en los segmentos, y sus correspondientes parámetros estadísticos. La recta de regresión es $y = A + Bx$, siendo x la variable clasificación e y la verdad campo.

El Cuadro 5.14. recoge las ecuaciones para cada una de las clases estudiadas.

Cuadro 5.14. Datos de regresión de las superficies de verdad-terreno sobre las obtenidas por clasificación.

	A	B	r	r ²
Arroz	0.43	1.64	0.96	0.92
Maiz	-0.36	1.36	0.87	0.75
T.arado	0.54	0.46	0.42	0.18
Rastrojo	0.83	1.02	0.91	0.82
Girasol	-0.02	2.52	0.70	0.49
Alfalfa	-0.27	1.52	0.91	0.82

5.7. Resultados del estimador por regresión

Si siguiendo la metodología explicada en el punto 4.5.3 se calculan las estimaciones de superficies mediante el estimador por regresión (Cuadro 5.14.).

Siendo $N = 1029.8$ segmentos, el total de hectáreas estimadas será $1029.8 * Yrg.$

Cuadro 5.14. Resultados del estimador por regresión (Flumen 1990)

Clases	Has.	B	Hectáreas				r	r ²	Has.	%	E
	y		X	x	Yrg	N*Yrg			SErg	CVrg	
Arroz	4.42	1.64	1.98	2.95	2.83	2914.3	0.96	0.92	397.9	13.7	12.5
Maiz	2.17	1.36	1.52	1.82	1.76	1812.4	0.87	0.75	385.5	21.3	4
T.arado	1.79	0.46	2.62	2.79	1.67	1719.8	0.42	0.18	497.14	28.9	1.22
Rastrojo	6.64	1.02	5.28	5.71	6.2	6384.8	0.91	0.82	517.18	8.1	5.55
Girasol	1.47	2.52	0.64	0.59	1.6	1647.7	0.70	0.49	421.31	25.6	1.96
Alfalfa	2.04	1.52	1.38	1.49	1.83	1884.5	0.91	0.82	282.56	15.0	5.55

y = Media de la verdad-terreno.

B = Pendiente de la recta de regresión.

X = Media de la clasificación total.

x = Media de la clasificación en los segmentos.

Yrg = Media en los segmentos por regresión.

N*Yrg = Ha totales por regresión.

r = Coeficiente de regresión.

SErg = Error típico de la regresión.

CVrg = Coeficiente de variación por regresión.

E = Eficacia de la regresión.

5.8. Comparación de la expansión y la regresión

En el cuadro 5.15. se presentan los datos de la expansión directa del inventario en campo y se comparan frente a los datos obtenidos mediante el estimador por regresión.

Se incluyen también los datos de la clasificación multiespectral.

Cuadro 5.15. Comparación de los resultados de los datos de expansión directa, clasificación y regresión (Flumen 1990).

Clase	Superficie (ha) obtenida por:			Coefic. variac.		r	E.R.
	Expansión	Clasific.	Regresión	Expans.	Regres.		
Arroz	4555.8	2042.1	2914.3	30.8	13.7	0.96	12.5
Maíz	2234.7	1568.6	1812.5	34.5	21.3	0.87	4.0
T. arado	1843.3	2697.3	1719.8	29.8	28.9	0.42	1.2
Rastrojo	6837.9	5441.7	6384.8	17.8	8.1	0.91	5.6
Girasol	1513.8	663.8	1647.7	39.2	25.6	0.70	2.0
Alfalfa	2100.8	1420.3	1884.5	31.7	15.0	0.91	5.6

6 - DISCUSSION

6. - DISCUSION

6.1. Firmas espectrales

-Arroz:

Es una clase fácilmente distinguible en la imagen del satélite por los tonos rojos oscuros y negros debidos al agua. Por esto existe una mayor heterogeneidad en las respuestas de los distintos píxeles según predomine la vegetación sobre el agua o viceversa. Esto hace que se confunda con el maíz. En el Cuadro 5.3. se aprecia esta heterogeneidad destacando las desviaciones típicas, sobre todo en las bandas 4 y 5.

- Maíz:

También se puede distinguir visualmente en la imagen aunque su contraste es menor que para el arroz. Ya en campo se pudo comprobar la heterogeneidad de las diferentes parcelas debido a la gran sensibilidad de este cultivo a características adversas del suelo. La sensibilidad de esta especie a la salinidad, hace que en una misma parcela haya rodales sin cultivo o con escaso desarrollo. Otro problema es el maíz de segunda cosecha, puesto que en estas fechas (20 de julio) la planta aún es pequeña y deja ver mucho el suelo, con lo cual hay la variabilidad es mayor. Todas estas observaciones en campo están de acuerdo con la notable desviación típica en la banda 5, (Cuadro 5.4.) que es la banda de mayor influencia del suelo.

- Terreno arado:

Presenta la típica reflectividad del suelo, con un máximo muy marcado en la banda 5 (Cuadro 5.5.). Su respuesta es bastante heterogénea debido a que hay muchos tipos de suelos.

- Rastrojo:

Esta clase también tiene la respuesta espectral del suelo puesto que éste domina sobre los restos del cereal. El rastrojo tiene un pico en la banda 5 más acentuado y contrastado respecto a las 3 y 4 que en el caso del terreno arado (Cuadros 5.5. y 5.6.). Esto daba una tonalidad blanquecina más verdosa.

- Alfalfa:

Esta clase presenta diferentes respuestas en función del estado vegetativo, representado en la gran desviación típica de la banda 4 (Cuadro 5.7.). En concreto, cuando está recién cortada, se pudo apreciar visualmente que la influencia del suelo hace aumentar la reflectancia en la banda 5, dando un color más marrón.

- Girasol:

Este cultivo, cuando está en plena vegetación, se aprecia bien en la imagen por un color rojo brillante. Esta clase presenta diferentes respuestas en función de los diferentes estados de desarrollo (en floración, desarrollado, segunda cosecha). A este problema se le añade la escasa representación de este cultivo en la zona y los rodales causados por salinidad. En algún segmento en el que presentaba mejor desarrollo y era más homogéneo se veía que se clasificaba mejor (Cuadros 5.1. y 5.13., segmento 758).

Una clase que se veía bien en la imagen era el suelo muy salino, con vegetación halófila y/o costra salina, que daba color blanco con tonalidades levemente azuladas. Esto se nota en un nivel de la banda 3 frente a la 5 más alto, mientras la banda 4 es prácticamente igual.

Para tantear las posibilidades de la clasificación automática del terreno salino se tomaron unas áreas de entrenamiento correspondientes a dichos suelos, con vegetación halófila y/o costra salina. Aunque no se hizo regresión se pudo comprobar visualmente que el terreno salino se clasificaba aceptablemente.

Del estudio del Cuadro 5.9. se puede ver que las combinaciones de bandas que tienen un coeficiente de correlación más bajo son en las que interviene la banda 4. También tienen un coeficiente de correlación bajo las combinaciones con la banda 5. Por ello, se ve que las bandas menos correlacionadas con las demás son la 4 y la 5. Del resto de las bandas se escogería una del visible (la 4 y la 5 son del infrarrojo cercano) que es la 3, ya que es la banda más cercana al infrarrojo y es la más interesante para el estudio de la vegetación.

6.2. Matrices de confusión

- Arroz:

La significancia temática es bastante mayor que la bondad de clasificación; esto significa que lo que clasifica como arroz suele ser arroz realmente (93% de los casos), mientras que del arroz que hay en el campo solo ha clasificado como tal el 68%. En cambio los datos

de regresión son mejores, puesto que la regresión entre la clasificación y la verdad campo tienen un coeficiente de correlación (r) de 0.90.

- Maíz:

La bondad de clasificación es del 77% confundiéndose principalmente con arroz (10%) y quedando un 6% sin clasificar. La significancia temática es un 58% y también se confunde con el arroz.

- Terreno arado:

La bondad de clasificación es del 89% debido a la heterogeneidad causada por el suelo y se confunde con el rastrojo (7%). Ha quedado sin clasificar un 4%. La significancia temática es un 88% y se confunde también con el rastrojo.

- Rastrojo:

Su bondad de clasificación es del 91%, confundiéndose con el terreno arado debido a la influencia del suelo. Queda sin clasificar un 4%. La significancia temática de esta clase es de un 97%.

- Alfalfa:

La bondad de clasificación es el 89%. Esta clase se confunde con maíz (2.7%) y con el girasol (2.3%). Esta confusión es debida a la heterogeneidad debida a las diferentes respuestas según el estado vegetativo del cultivo. Queda no clasificado un 5.5%. La significancia temática es del 91.2%, habiendo una ligera confusión con el maíz (3.3%) y con el girasol (4.4%).

- Girasol:

La bondad de clasificación es del 84.3%, confundiéndose principalmente con la alfalfa (11.2%), debidas a las irregularidades explicadas en el punto 6.1 donde se hace referencia al girasol. Queda un 3.4% sin clasificar. La significancia temática es del 83.3% confundiéndose principalmente con el maíz (8.9%) y con la alfalfa (5.6%).

6.3. Resultados estadísticos

6.3.1. Distribución de los cultivos en los segmentos

En los histogramas de la Figura 6.1. se observa, primeramente, una irregular distribución de las superficies de cada cultivo en los segmentos. La excepción es el rastrojo lo que se traduce en el menor coeficiente de variación de todos los cultivos.

También se puede observar que la mayor parte de la superficie de las clases se concentra en unos pocos segmentos, mientras que en el resto apenas si tienen superficie.

Asimismo se advierte que se pierde superficie en los segmentos con mayor número de hectáreas, como consecuencia de que se quedan píxeles sin clasificar. Esto se achaca a las grandes irregularidades intraparcelsares, debidas a los diferentes estados

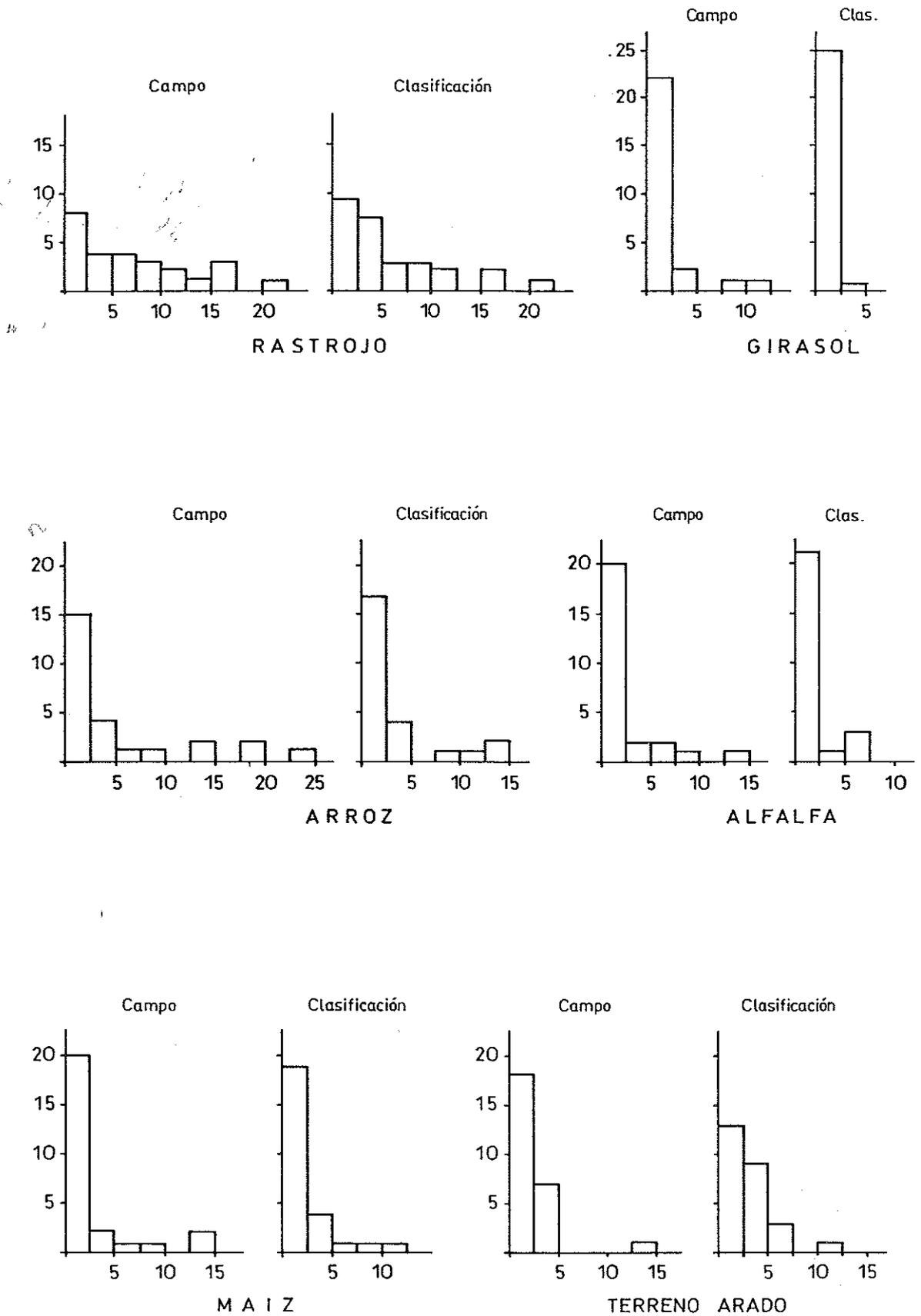


Figura 6.1. Histogramas de frecuencias de superficies de los cultivos por segmentos

hd

vegetativos y los rodales con mal desarrollo producidos por salinidad.

6.3.2. Regresión de la verdad-terreno sobre la clasificación

- Arroz. Su coeficiente de regresión es bueno ya que está bastante próximo a 1, ($r=0.96$) y su regresión es significativa al 1%.

- Maíz. La regresión es peor que en el caso del arroz ($r=0.86$) pero es significativa al 1% también.

- Terreno arado. La regresión es mala ($r=0.40$) y además no es significativa. Esto es debido a que no clasifica bien por los problemas comentados en el punto 6.1.

- Rastrojo. Los resultados de regresión son buenos ($r=0.91$) y ésta es significativa.

- Girasol. La regresión aparentemente es buena ($r=0.70$) pero observando la nube de puntos de la gráfica de la regresión se ve que hay un punto extremo que tiene mucho peso en la misma. Revisando la minuta correspondiente al segmento se pudo ver que el segmento era anómalo por la gran cantidad de irregularidades dentro de todas las parcelas de girasol. Se optó por eliminar este segmento en la regresión, con lo que está empeoraba mucho ($r=0.31$) y no era significativa. Esto quiere decir que el cultivo está en el límite de la aplicabilidad práctica del método de los segmentos debido a su escasa superficie en la zona. Dicho de otro

modo, hay pocos puntos para ajustar una recta de regresión.

- Alfalfa. La regresión es significativa al 1% y su coeficiente de regresión es bastante alto ($r=0.91$).

6.3.3. Aforo de superficies de cultivo

En general los resultados por expansión directa del trabajo de campo y los datos por regresión son bastante similares (Cuadro 5.15.). La única excepción es el arroz, en el cual los dos valores son muy diferentes (4555 ha y 2914 ha respectivamente). El resultado que parece ser más fiable es el de regresión, ya que tiene un coeficiente de regresión próximo a 1 y el error típico es mucho más pequeño que por expansión. La explicación a este error por expansión puede ser la peculiar distribución espacial del arroz. Hay zonas correspondientes a los antiguos cotos arroceros en que se da mucho el arroz y en otras es inexistente, y puede darse la circunstancia de que muchos segmentos caigan en las primeras zonas.

Otro dato interesante es la "eficacia de la regresión" que sería las veces que hay que aumentar la tasa de muestreo en campo para conseguir, sólo con expansión, la misma precisión que por regresión. Son notables los casos del arroz con una $E=12$ y del rastrojo y la alfalfa con una $E=5.5$. El que menor eficacia presenta es el terreno arado ya que su regresión es mala ($r=0.42$).

Es de notar el alto coeficiente de variación del maíz tras la regresión, debido a las diferentes respuestas consecuencia del escalonamiento de las siembras y los rodales.

En cuanto al rastrojo, su coeficiente de correlación relativamente bajo se debe a la respuesta bastante homogénea y a su alta representación en la zona.

El terreno arado tiene un coeficiente de variación alto y no mejora con el proceso de imagen debido a su heterogeneidad causada por los diferentes tipos de suelo.

El girasol no es aforable mediante este método debido a su bajo coeficiente de regresión, baja significación y su poca superficie total. Si su superficie aumenta en el futuro, será necesario y posible su aforo.

7 - CONCLUSIONES

7 - CONCLUSIONES

- El arroz es un cultivo que se clasifica bien con la información digital del satélite, por su buena regresión.

Para disminuir la heterogeneidad y su confusión con el maíz sería conveniente adelantar la fecha a primeros de julio, para asemejarlo al agua, o retrasarlo a mitad de agosto, para que predomine el cultivo sobre el agua.

- El maíz también se clasifica bien aunque en menor medida siendo el principal problema los rodales por sal y la segunda cosecha.

- No ha sido posible aforar con exactitud el girasol, fundamentalmente a causa de su escasa presencia. Podrá ser aforarable si en el futuro aumenta su superficie.

- La sustitución de esta imagen de satélite por una más tardía, hacia mitad de agosto, contribuirá a mejorar los aforos tanto del maíz como del girasol.

- En cuanto a los principales cultivos, los que presentan mayor superficie son los de invierno representados por el rastrojo y el terreno labrado y una parte del maíz y girasol de segunda cosecha.

- El principal cultivo de verano es el arroz.

- También hubo problemas de coincidencia de parcelas y usos al superponerlas a la imagen debido a las reparcelaciones. Una posible mejora sería en empleo de

ortofotomapas o, si no se dispusiera se ellas, fotografías más recientes ampliadas.

- Otro problema es el tamaño de las parcelas, lo cual causa problemas a la hora de digitizar por tener los píxeles 20 m x 20 m. Una posible solución sería hacer una estratificación, separando el regadío moderno y huerta vieja, incluso desechando esta última para la clasificación por los problemas que causa.

- Del estudio del Cuadro 5.9. se ve que las bandas menos correlacionadas son la 4 y la 5. Del resto se escogió la 3, correspondiente al rojo, que es la más interesante para el estudio de la vegetación. Por lo cual si se quiere trabajar con menos bandas por problemas de tiempo o de ordenador se emplearán estas 3 bandas.

8 - BIBLIOGRAFIA

8 - BIBLIOGRAFIA

CASTERAD, M^a. A. (1990): "Utilización de datos de satélite para el aforo de superficies de cultivo en el centro del Valle del Ebro". Trabajo de investigación fin de carrera. E.T.S.I. Agrónomos. U.P.C., Lérida. 130 pags.

CHUVIECO, E. (1990): "Fundamentos de Teledetección espacial". Editorial Rialp. 453 páginas.

GALLEGO, J. (1990): "El proyecto de teledetección aplicada a las estadísticas agrarias de la C.E.E.: estimación de superficies y rendimientos de cultivos anuales. Seminario sobre teledetección aplicada a la agricultura. Colegio oficial de ingenieros agrónomos. Madrid.

IRYDA (1977): "Estudio de suelos de la zona regable del Flumen". INYPSA.

I.T.A. (1987): "Remote sensing in agriculture". Ministerio de agricultura y bosques de Italia. 100 páginas.

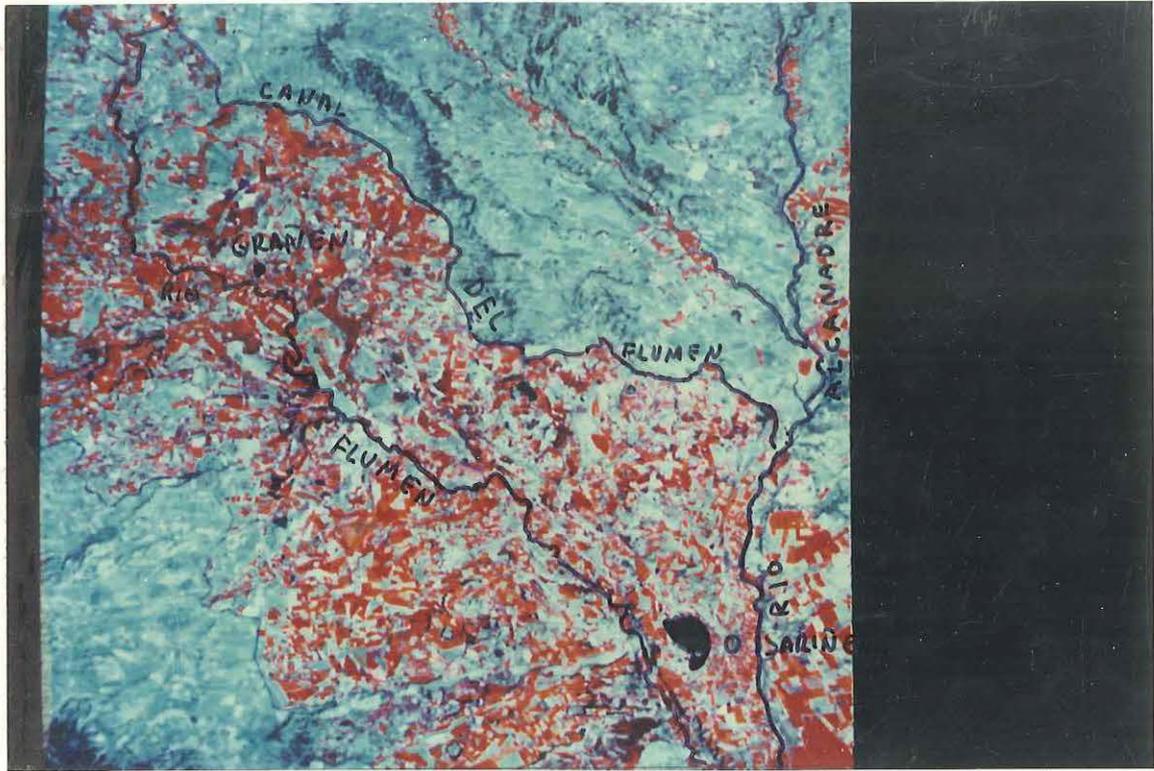
MULDERS (1987): "Remote sensing in soil science". Editorial Elsevier. 379 páginas.

RODRIGUEZ, R.; HERRERO, J. & PORTA, J. (1989): "Suelos de regadío con drenaje enterrado". XVI Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Lérida. 93 páginas.

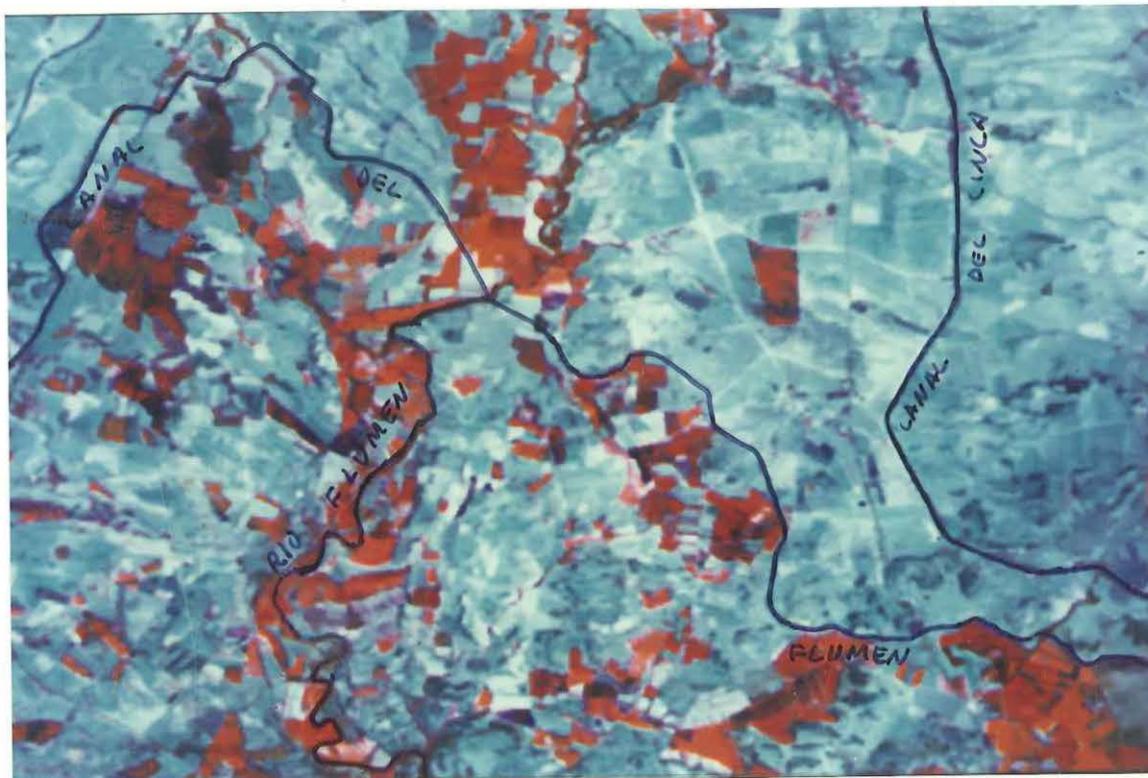
T.C.S.A. (1988): "Estudios de las aplicaciones de los satélites de recursos naturales en Navarra en la campaña 87 (Peralta). Documento de difusión restringida. Trabajos Catastrales S.A. Pamplona, 122 páginas.

ANEJO FOTOGRAFICO

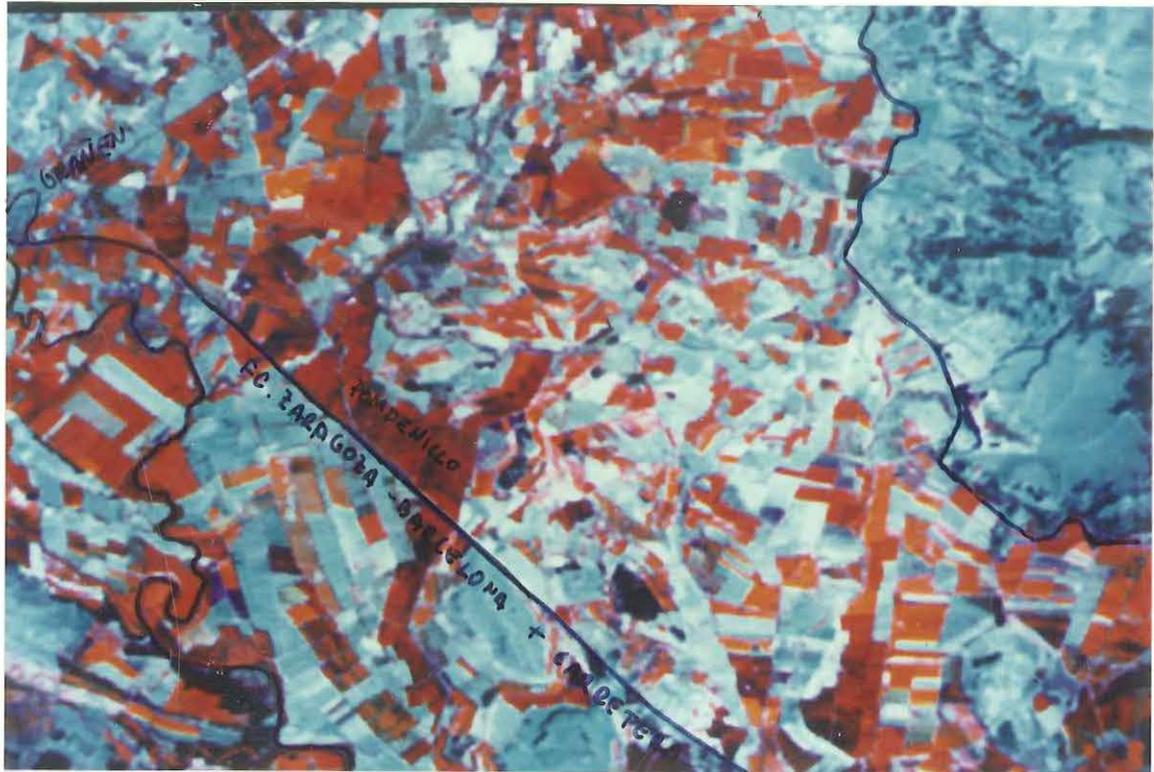
Las siguientes imágenes corresponden a la escena 199-031 del 20 de Julio de 1990 del satélite LANDSAT 5-TM, corregida y remuestreada a píxeles de 20 metros. Se ha utilizado la combinación de bandas 4-5-3 a las que se le asignan los colores rojo-verde-azul, y se han fotografiado directamente de la pantalla.



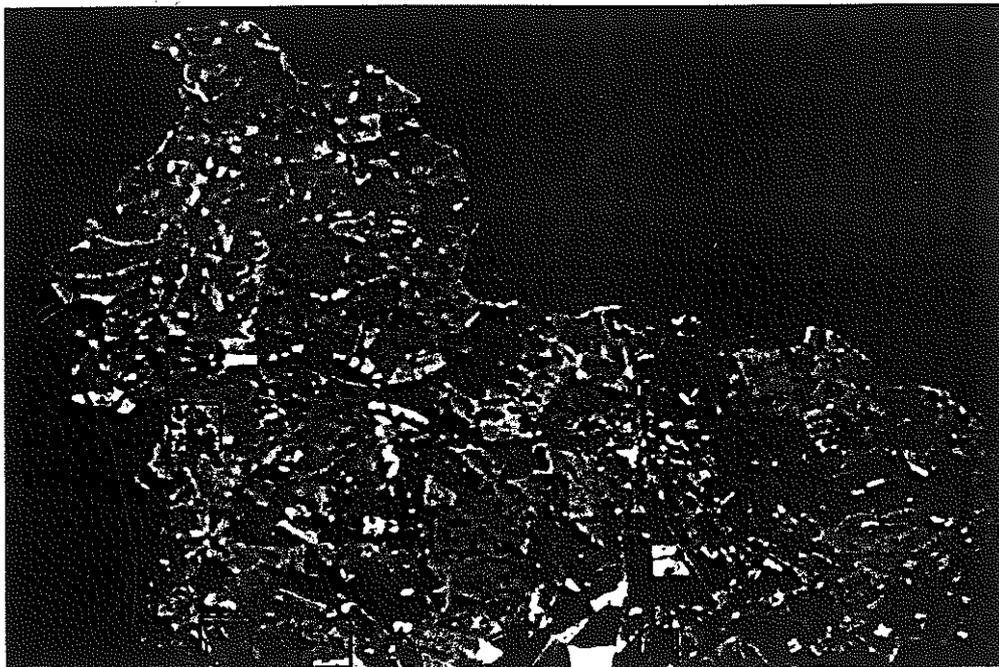
Fotografía 1: Visión general de la zona de estudio. El regadío destaca por el predominio de los todos rojos. Aquí se ven los regadíos de Monegros y Flumen.



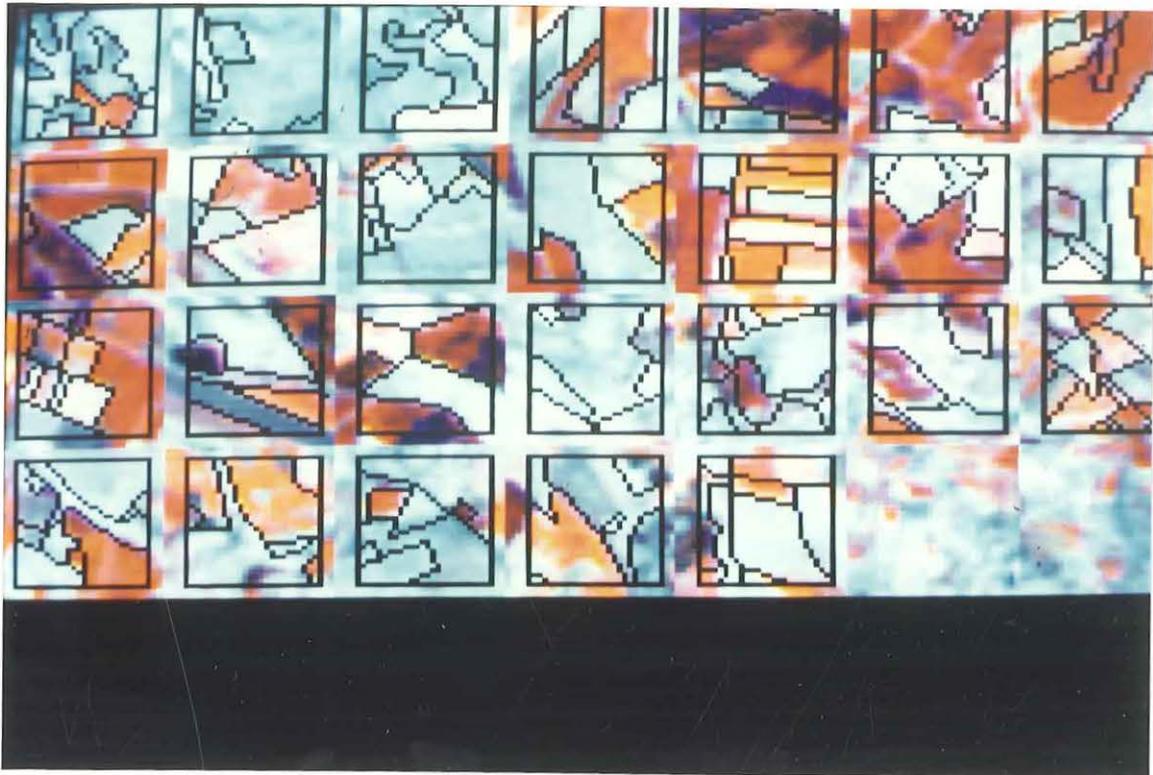
Fotografía 2: Detalle de la zona norte del regadío del Flumen. Con color rojo se distinguen los cultivos. A la derecha, como una línea oscura, puede verse el Canal del Cinca. También se distingue el río, de norte a sur, y la Acequia del Flumen, en dirección NO-SE. Se aprecia que el área dominada por ella, en esta fotografía, tiene pocos cultivos de verano debido a su topografía ondulada.



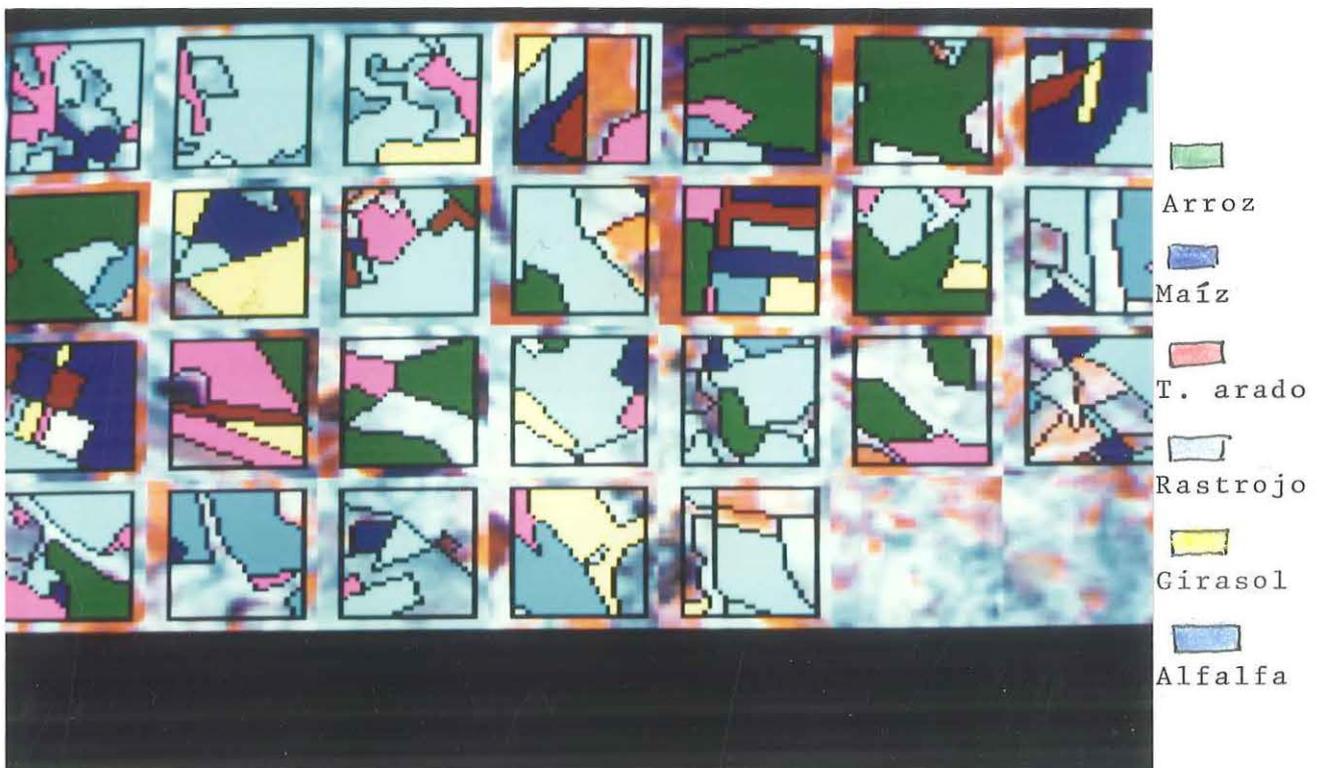
Fotografía 3: Detalle de la zona central. En el centro, junto a la carretera y en color rojo oscuro con zonas negras, se ve un conjunto de parcelas de arroz. Al sur de éstas de éstas las zonas de color blanco-verdoso corresponden al rastrojo. En la zona superior derecha se ve el secano (color azulado, con el matorral más oscuro) y debajo, en la zona regada, se observan varias parcelas de alfalfa en color rojo intenso.



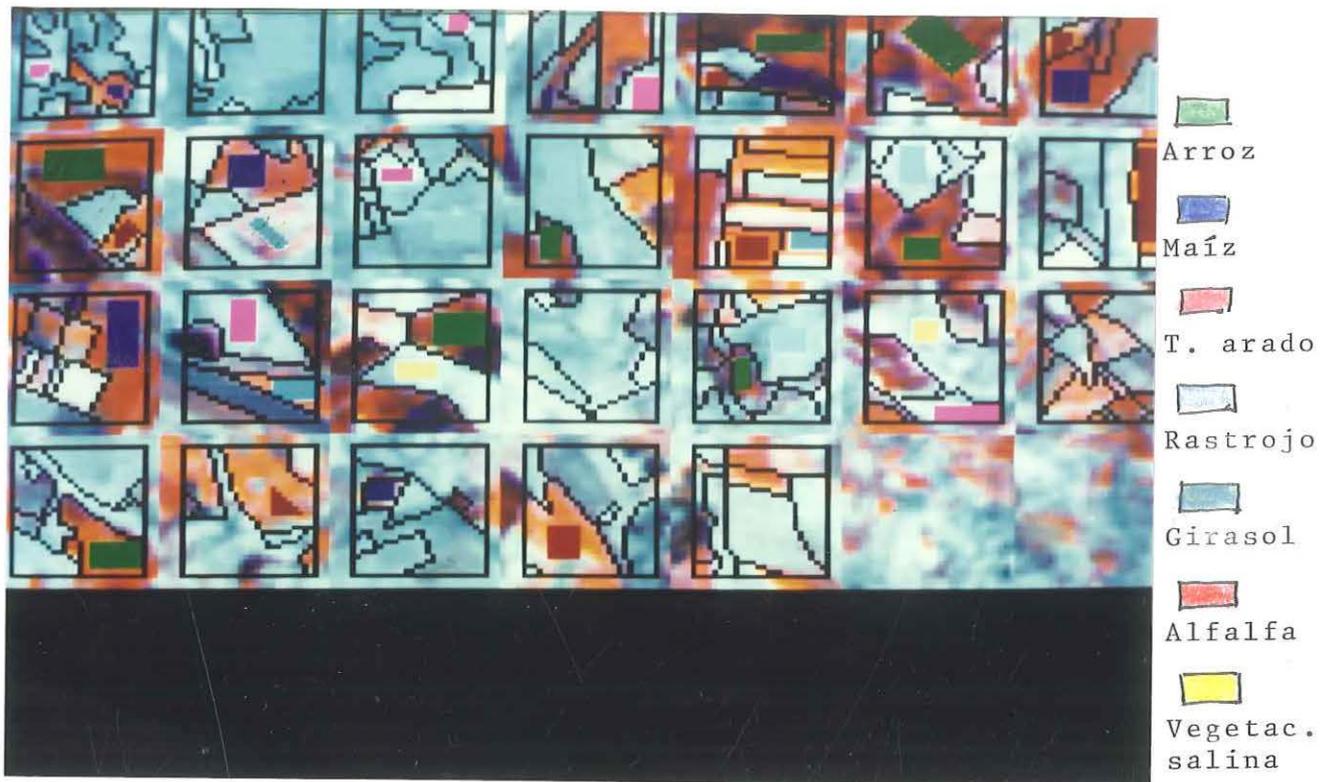
Fotografía 4: Detalle del zona norte con la ubicación de los segmentos comprendidos en ella.



Fotografía 5: Composición hecha con los segmentos, colocados por orden numérico creciente.



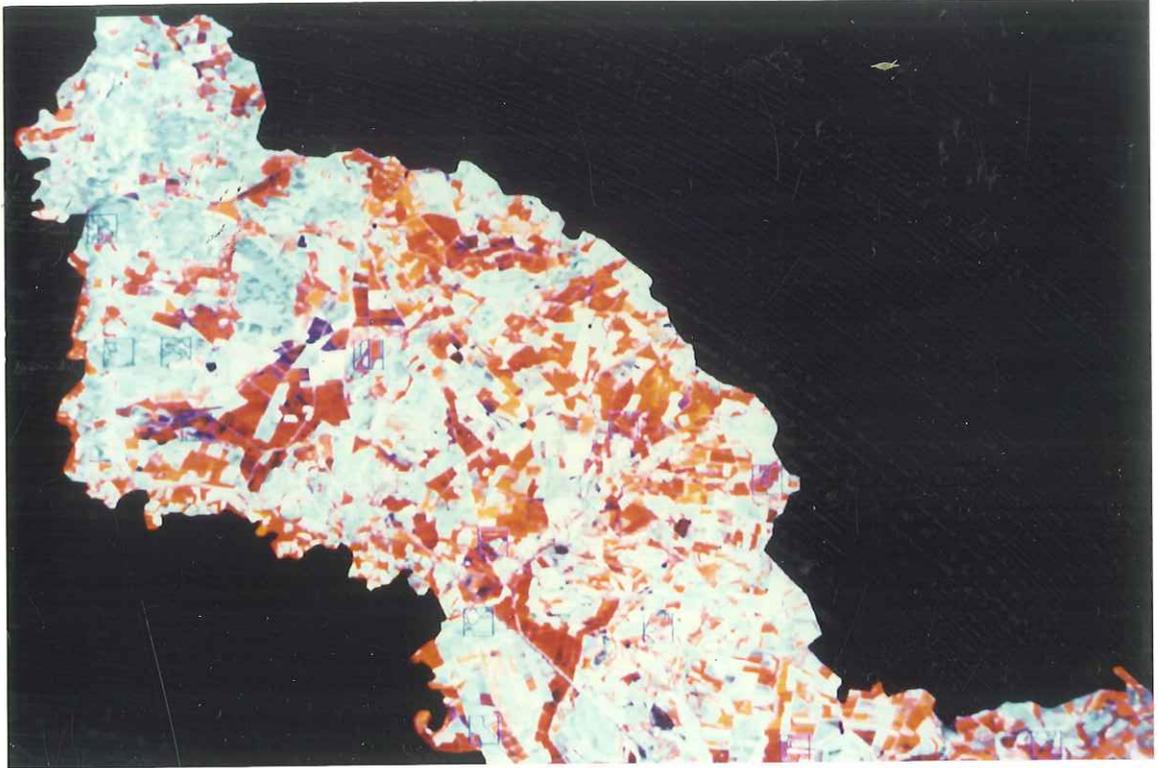
Fotografía 6: Clases de verdad-terreno de los segmentos con asignación de colores para las distintas clases temáticas.



Fotografía 7: Los recuadros de colores representan las áreas de entrenamiento de píxeles tomadas para cada una de las distintas clases.



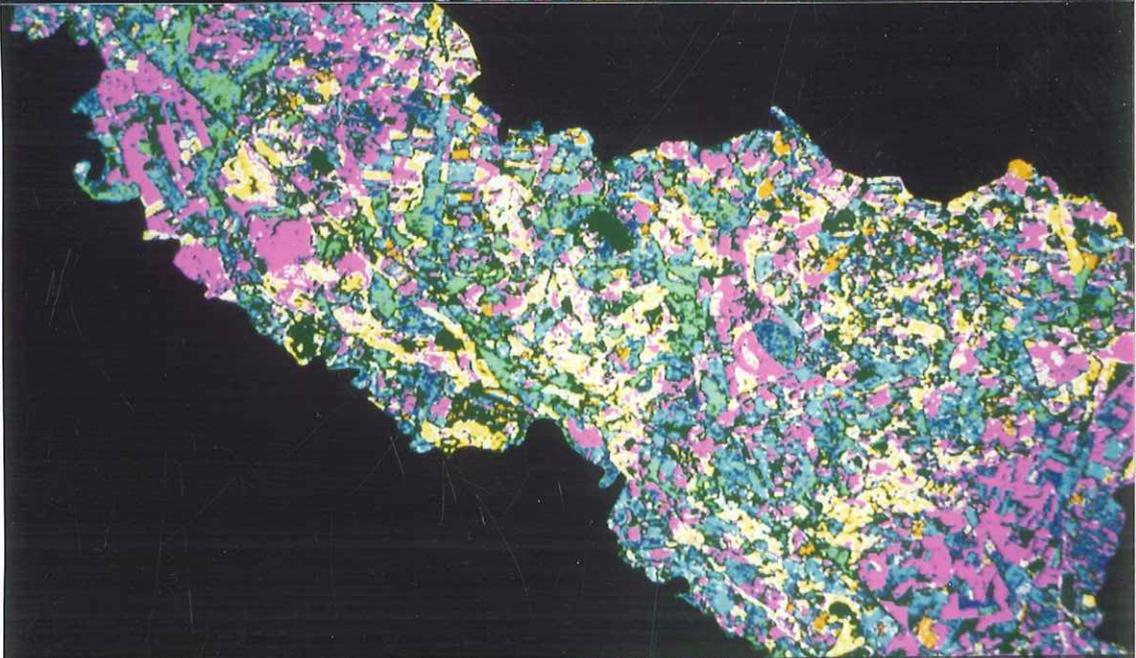
Fotografía 8: Clasificación multiespectral automática de las áreas de entrenamiento.

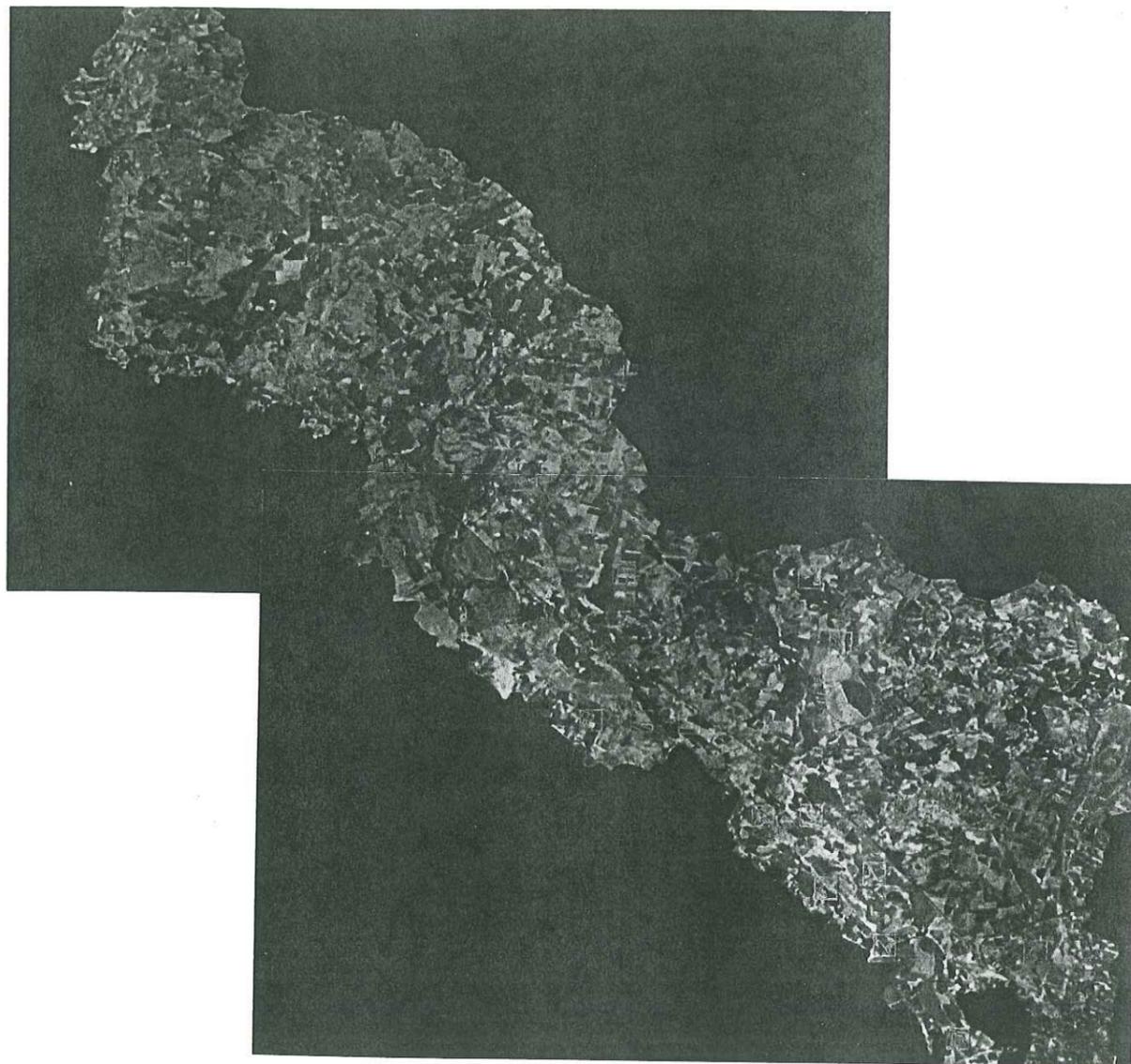


9



10





Fotografía 9: En estas fotografías se puede comparar la imagen del satélite sin tratar con la imagen clasificada, a la que se ha asignado un color a cada uso del suelo.

También se puede ver en las fotografías de la izquierda los segmentos en colores azul y amarillo.



Arroz	Maíz	T. arado
		
Rastrojo	Alfalfa	Girasol
		
No clasificado		
		