

## EVALUACION DE SUPERFICIES DE CULTIVOS DE FRESON MEDIANTE IMAGENES LANDSAT-TM. SU USO EN UN SISTEMA DE PRONOSTICO DE COSECHA

J.M. MOREIRA; A. RAMOS; A. LOBATO y A. FERNANDEZ

Agencia de Medio Ambiente - Junta de Andalucía. Avda. de Eritaña 1. Sevilla

### RESUMEN

La existencia de datos referidos a la signatura espectral de los cultivos procedentes de sensores de alta resolución espacial, ha abierto una nueva vía de trabajo para poder predecir el volumen esperado de una cosecha en espacios territoriales amplios. Determinados cultivos de localización espacial restringida, hacen que las condicionantes meteorológicas puedan ser consideradas como homogéneas para el espacio que si sitúan. También el nivel de manejo alcanzado puede hacer que la influencia del clima se vea muy mermada (cultivos bajo plástico). Esto permite que, bajo determinados presupuestos, se pueda pronosticar la cosecha esperada, haciendo uso de imágenes de satélite para la obtención de datos referidos a la superficie del cultivo y a su distribución territorial y de coeficientes de rendimientos por zonas, los cuales, relacionados con su superficie y distribución, facilitan una utilización relativamente sencilla de los sensores multispectrales de alta resolución para un pronóstico de cosechas.

**Palabras clave:** Cultivo fresón, Inventario superficie, Imágenes Landsat-TM, Pronóstico

### ABSTRACT

The existence of high spatial resolution satellite data related to spectral signature of crops has opened a new working way for estimating crop yield in a vast territorial space. The meteorological conditions usually related to any particular crops of restricted spatial location might be considered as homogeneous for that place. The weather influence has been very reduced owing to the high level of agricultural techniques achieved (crops under plastic). This allows, under particular assumptions, the expected harvest to be predicted by establishing a relation between satellite data and vegetation parameters such as spatial distribution of crops, leaf area index; a relatively straightforward use of the multispectral and high spatial resolution radiometer.

**Key words:** Crops surface, Landsat-TM data, Harvest forecast, Strawberry

## 1. INTRODUCCION

En la década de los años 70 comienzan a desarrollarse en la provincia de Huelva los cultivos forzados, haciendo su aparición los cultivos bajo plástico con un índice de crecimiento no muy elevado pero con un grado de monoespecificidad no alcanzado en ningún otro punto de la región andaluza.

Es así, como, frente a la variedad de cultivos utilizados en las provincias de Almería y Cádiz, Huelva destaca por su especialización en el cultivo del fresón bajo túnel o tunelillo, con una superficie de 4.375 Ha de este tipo de uso agrario durante el año 1987, considerándose que sólo un 1 por 100 de esta superficie no se dedica al cultivo del fresón.

A tenor de este crecimiento superficial, por otra parte totalmente incontrolado (\*), se han desarrollado diversas industrias dedicadas a la manipulación, envasado y comercialización del fresón de Huelva, que bajo distintas sociedades llega a controlar una gran parte de la producción provincial y, con ello, de la producción nacional.

No obstante, si este control sería adecuado para conocer con antelación el comportamiento de los precios de mercado, en función de la cosecha prevista, surgen numerosos problemas que ocasionan, a veces, el

---

(\*) El crecimiento ilegal es tan acentuado que han sido detectadas ocupaciones de desmontes realizados para el trazado del gaseoducto Huelva-Sevilla.

hundimiento de los precios, entre otras causas porque la oferta del producto no es estable y sufre fuertes oscilaciones condicionadas por la campaña anterior.

Conocer con cierto grado de exactitud la superficie de cultivos bajo plástico, antes de que se produzca la irrupción en el mercado del fresón, posibilitaría un control de la oferta y de los precios, absolutamente necesario para el futuro de la agricultura forzada en la provincia de Huelva.

Sin embargo, los sistemas de evaluación estadística convencionales carecen de la agilidad necesaria para poder ofrecer unos resultados con suficiente rapidez y economía en el control de las estadísticas de un cultivo como el aquí mencionado. Un inventario tradicional suele realizarse con periodicidades quinquenales, convirtiéndose sus datos en algo meramente histórico ante el dinamismo de las nuevas agriculturas y de procesos de "conquista de espacios" como los que se están llevando a cabo en la costa de Huelva. Por otra parte, controlar la superficie de estos cultivos implicaría disponer de un sistema de detección de la misma acomodado a su ciclo. Este ciclo se restringe, por lo que se refiere al plástico, como elemento más peculiar del sistema de cultivo, a los meses de enero a abril.

La teledetección espacial con su elevado grado de dinamicidad en el análisis de los recursos naturales terrestres puede solucionar este problema dando una alternativa complementaria a los inventarios convencionales.

Por otra parte, la mayoría de los procedimientos de evaluación de superficies de cultivos con imágenes de satélite se vinculan a tratamientos estadísticos de los datos relacionados y corregidos, mediante encuestas de campo, (Pastorelli, M.R., 1989) en diferentes segmentos de control. En estos sistemas la representación espacial de los cultivos carece de importancia, siendo lo esencial la bondad de la tendencia estadística. No son muy frecuentes los procedimientos que unen y obtienen el resultado estadístico a partir de la cartografía de dichas imágenes, ya que son numerosas las confusiones de firmas espectrales en medios muy diversos.

Para conseguir obviar esta problemática sería preciso generar programas de clasificación de imágenes que incluyesen, no sólo la asistencia habitual de parcelas conocidas en campo para inicializar la clasificación, sino también la experiencia de un intérprete humano, que es capaz de diferenciar (a pesar de respuestas digitales o visuales idénticas) aquellos medios donde es imposible la existencia de determinados fenómenos.

En el presente trabajo, en el que la localización espacial del fenómeno de ocupación ilegal de terrenos públicos era esencial, se ha pretendido desarrollar un sencillo procedimiento que permite mejorar, notablemente, los resultados estadísticos vinculados a los resultados cartográficos y aumentar igualmente la calidad del producto cartográfico obtenido.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La implantación de los cultivos bajo plástico en Huelva constituye un fenómeno relativamente reciente (Tabla 1), pero que provoca una actividad económica de extraordinaria dinamicidad en el tercio sur de la provincia. Este espacio territorial ofrece unas peculiaridades climáticas y edáficas (suelos arenosos y margo arenosos) que favorecen el desarrollo de procesos vinculados a las nuevas agriculturas de cultivos forzados y bajo plástico tempranos y extratempranos.

**TABLA 1**  
**Evolución de la superficie de cultivos bajo plástico en la provincia de Huelva**

Año	Inventario y macrotúneles		Túnel, tunelillo y acolchados		Total Ha
	Ha	%	Ha	%	
1981	10,0	1,3	749,0	98,7	759,0
1982	10,6	1,1	973,0	98,9	983,6
1983	19,3	1,3	1.428,0	98,7	1.447,3
1984	32,5	1,6	1.985,0	98,4	2.017,5
1985	53,0	2,0	2.582,0	98,0	2.635,0
1986	57,2	1,5	3.724,0	98,5	3.781,2
1987	722,3	19,8	3.653,3	80,2	4.375,6

Fuente: Dirección General de Agricultura, Ganadería y Montes. 1989.

Gráfico 1. — Situación de la zona de estudio (Huelva), con respecto a la delimitación administrativa a nivel regional y comarcal.

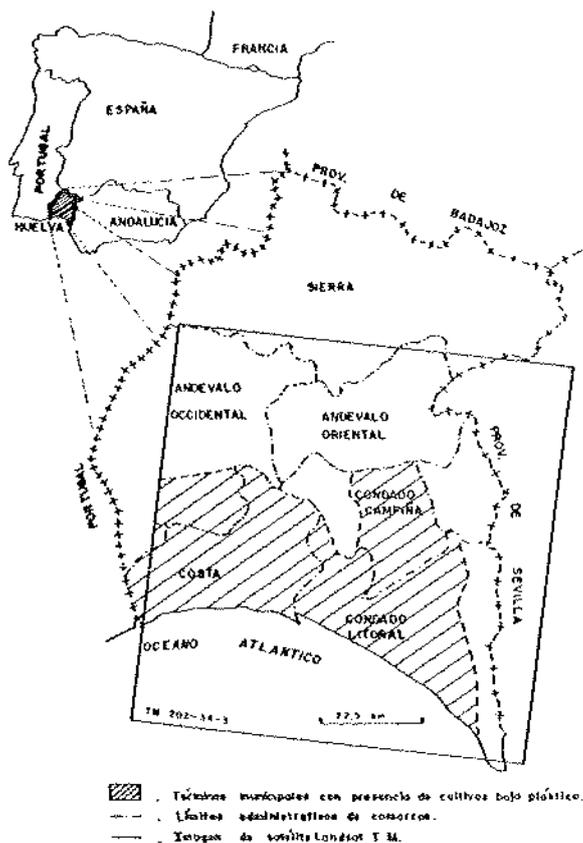


Figura 1.— Situación de la zona de estudio (Huelva), con respecto a la delimitación administrativa a nivel regional y comarcal.

Por otra parte, la provincia de Huelva es un espacio donde la frontera entre las tierras "vírgenes" y el "campo" aún existe de una forma muy nítida, incluso, en el litoral, compitiendo con los usos turísticos, y ello debido a que sus tierras no ofrecían una utilización productiva competitiva bajo el enfoque de las agriculturas tradicionales.

Los nuevos procesos introducidos por una agricultura avanzada han permitido "rescatar" para la producción unas tierras hasta ahora consideradas marginales. Si a este hecho se añade la situación de paro estructural que viene caracterizando al sector agrícola y la abundancia de montes comunales en los ayuntamientos afectados por estos procesos, se comprenderá cómo es posible que se produzcan situaciones de "conquista" de tierras vírgenes con frecuentes invasiones ilegales de espacios públicos.

El territorio afectado por este proceso de cambio se restringe a los municipios próximos a la costa de Huelva (figura 1), implicando a las comarcas del Andévalo Occidental, Costa, Condado Campiña y Condado Litoral de un modo desigual (Tabla 2).

En este territorio las condiciones de los cultivos bajo plástico son muy diferentes a las existentes en otras zonas de elevada concentración de este tipo de usos, como Almería (Hernández Porcel 1988). Efectivamente, en Huelva predomina un sistema de manejo no vinculado a los invernaderos (estos suponen sólo un 0,6% de la superficie total), sino al denominado tunelillo y/o sistema de acolchado para la planta en los primeros momentos de crecimiento. Este hecho explica el distinto comportamiento de la signatura espectral del plástico en Huelva y Almería, donde predomina el invernadero (figura 2). Dado que los tunelillos dejan, entre túnel y túnel, suelo desnudo, la signatura espectral del plástico se ve afectada por la respuesta del suelo, (arenas en su mayor parte), lo

que hace aumentar los valores digitales del infrarrojo medio. De otra parte, la utilización de plástico negro para acolchado bajo el tunelillo blanco disminuye los valores de respuesta en el espectro visible, haciendo cambiar algo la forma de la signatura definida en Almería para el sistema de invernaderos (figura 3).

**TABLA 2**  
**Distribución comarcal de la superficie de cultivos de fresón en la provincia de Huelva**

Comarca	1986		1987	
	Superficie Ha	%	Superficie Ha	%
Andévalo Occidental	184,6	4,9	202,7	4,6
Costa	1.147,1	30,3	1.686,3	38,5
Condado-Campiña	205,5	5,4	321,2	7,3
Condado-Litoral	2.244,0	59,3	2.165,4	49,5
Total Provincia	3.780,0	100,0	4.375,7	100,0

Fuente: Dirección General de Agricultura, Ganadería y Montes.1989

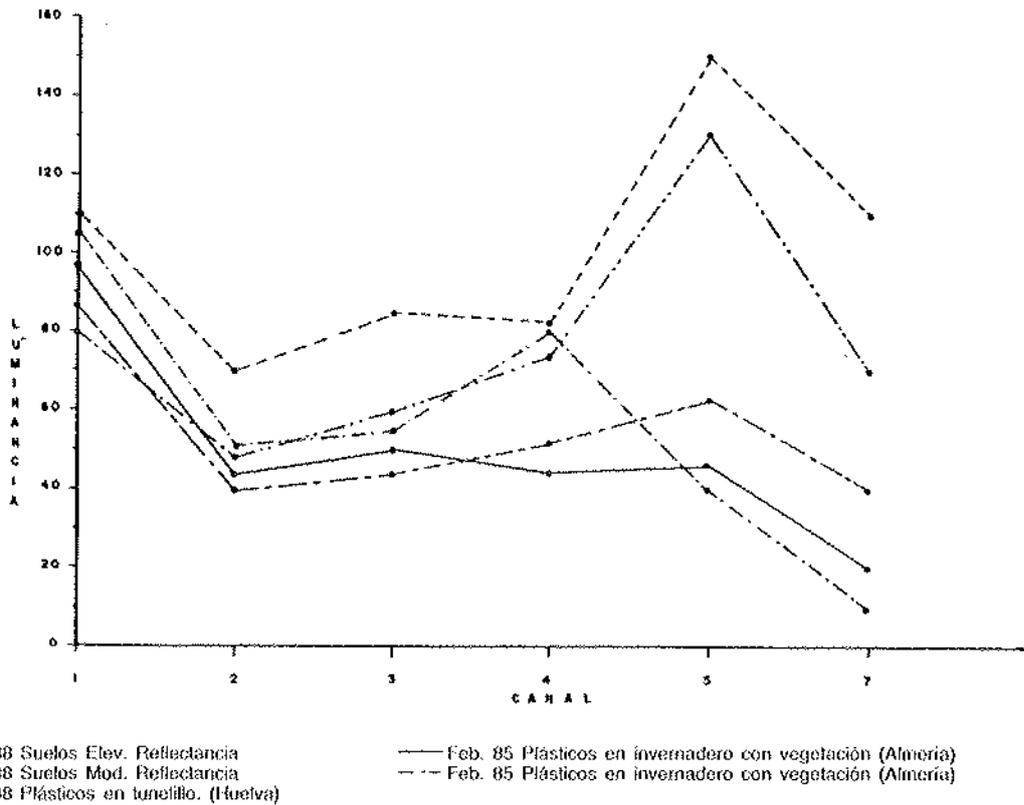


Figura 2.— Comparación de firmas espectrales para cultivos bajo plástico en tunelillo (Huelva) e invernaderos (Almería). Relación con la firma espectral de suelos sin vegetación.

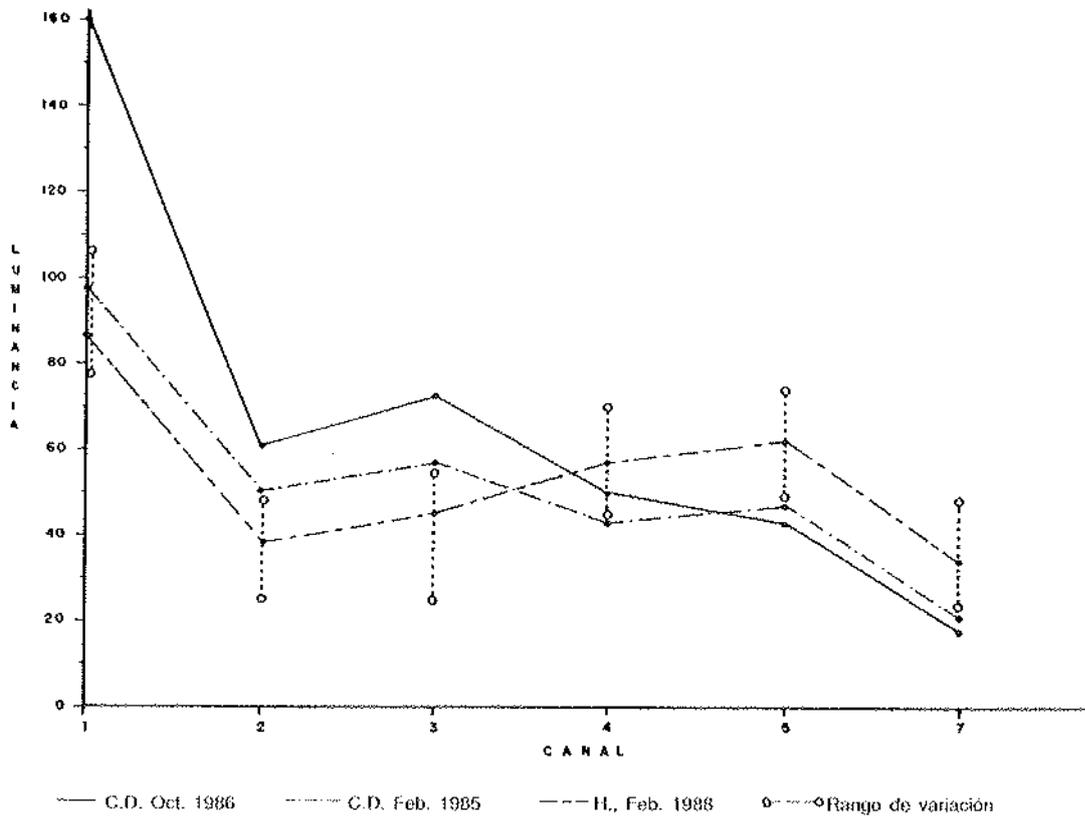


Figura 3.— Valores digitales medios de cultivos bajo plástico en Almería (C.D.) y Huelva (H.).

También la estructura de la propiedad ha de ser tenida en cuenta a la hora de abordar el proceso de análisis con imágenes, ya que, frente a las, relativamente fáciles de cartografiar, masas de invernaderos de Almería, en Huelva, la media superficial de las explotaciones es de 2,1 Ha, siendo característica la dispersión propia de frentes pioneros. Las pequeñas parcelas no permiten obtener signaturas puras, siendo frecuentes los píxeles de borde, aumentando, con ello, los problemas de una clasificación de imagen destinada a extraer estadística superficial.

### 3. OBJETIVOS

El trabajo aquí abordado pretende utilizar las imágenes del sensor TM de los satélites Landsat para intentar pronosticar la cosecha esperada de fresón en la provincia de Huelva a partir de las superficies, determinada mediante tratamiento digital de estas imágenes, de cultivos bajo plástico. Sobre dicha superficie se aplicarán unos coeficientes de rendimientos sectorializados, los cuales, permitirán lograr el objetivo definido.

El desarrollo de este trabajo ha sido propiciado por una sociedad exportadora interesada en conocer, antes del final de la campaña de 1988, cuál era el pronóstico de cosecha esperada.

Un segundo objetivo busca la obtención de una cartografía automática que permita analizar y evaluar el fenómeno de ocupación ilegal de tierra de propiedad y gestión pública, hasta ahora escasamente conocido en la costa onubense.

### 4. MATERIAL Y METODOS

Las mayores posibilidades radiométricas del sensor TM y su menor coste global han dirigido los trabajos hacia este sensor, con el cual ya se han realizado otros estudios de evaluación de superficies bajo plástico con resultados altamente significativos y ajustados a la realidad (Moreira, et al. 1987).

En este sentido, iniciado el proceso de selección de imágenes en el mes de enero de 1988, no fue hasta el 26 de febrero que se obtuvo una imagen con suficiente calidad radiométrica y sin cobertura nubosa.

El proceso de trabajo seguido (\*) para lograr los objetivos anteriormente mencionados se ha dividido en 2 fases:

- Realización de un trabajo piloto sobre una imagen del año 1987 para la que se disponía de un inventario de cultivos bajo plástico realizado por la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía.
- Evaluación estadística, para toda la zona estudiada, en cuanto a superficies de cultivos bajo plástico, en febrero de 1988, con obtención de cartografía automática a escala 1:50.000

La primera fase de trabajo se inició en el mes de enero de 1988 sobre una imagen TM 202-34, Q2, de fecha 07.02.1987. Fue seleccionado un pequeño sector de la imagen, significativo en cuanto a los posibles problemas de confusión en la signatura espectral de los objetivos a clasificar y en cuanto al número de hectáreas de cultivos bajo plástico existentes. Dicho sector fue delimitado para los términos municipales de Moguer y Palos de la Frontera, cuya superficie de cultivos bajo plástico en 1987, había sido evaluada, con trabajo de campo, en 978 Ha y 506 Ha, respectivamente. La zona utilizada en el trabajo piloto que definiría el método y la fiabilidad estadística, "a priori", de los resultados a obtener, abarcaba un 32 por 100 de la superficie dedicada a este tipo de usos en Huelva, siendo, pues, suficientemente significativa.

El análisis de los patrones de firmas de objetos muy diversos (figura 4) permitía vislumbrar las posibles confusiones que se presentarían en los procesos de clasificación posteriores. Las mayores confusiones de producción entre las signaturas espectrales del plástico y los vertidos de yesos del Polo industrial de Huelva, núcleos de población y obras de ingeniería, carreteras y líneas de rompiente de las olas en la costa. Estas confusiones quedaron reflejadas, en un primer proceso de clasificación realizado, considerando, como valores medios para cada objeto, aquellos obtenidos por extracción de una muestra de puntos situados en parcelas de control.

El primer proceso de clasificación empleado, agregación en torno a centros de gravedad móviles, con sólo tres iteraciones, mostró un elevado número de puntos de información erróneos y una aproximación estadística muy deficiente. Para resolver este problema se inició un segundo procedimiento que generaba

---

(\*) El tratamiento digital de las imágenes se llevó a cabo en un ordenador Micro-VAXII de Digital, siendo realizado con un conjunto de programas de ordenador, desarrollados por los autores de esta comunicación, en la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

**TABLA 4**  
**Resultados comparativos de diferentes procesos de clasificación**

Proceso	Zona test 1987 (Ha)	Evaluación estadística (%)	Huelva 1988 (Ha)
A. Clasificación sin segmentación	1.887	A/C = 27%	5.073
B. Clasificación con segmentación	1.572	B/C = 6%	4.026
C. Datos de inventario	1.484	—	—

Es igualmente preciso señalar que, el resultado cartográfico obtenido (a escala 1:50.000), y del cual sólo se muestra una pequeña síntesis en la figura 1, se caracteriza por presentar un buen ajuste a la distribución espacial del cultivo del fresón en Huelva, habiéndose constatado la desaparición de la mayor parte de los pixeles clasificados anteriormente como erróneos.(\*)

Por lo que se refiere a la distribución espacial del fresón en el sur de la provincia de Huelva, han sido evaluadas y localizadas numerosas situaciones de ocupación de montes públicos, los cuales, sobre todo en el sector Bonares, Moguer y Palos de la Frontera, están sometidos a un fuerte proceso de retroceso por talas y quemas incontroladas.

Hay que mencionar que, una vez desarrollado todo el proceso de clasificación para la campaña de 1988, la superficie evaluada de cultivos bajo plástico fue de 4.067 Ha. De ellas un 1 por 100 pertenecería a otros cultivos diferentes al fresón, de modo que ése abarcaría a 4.026 Ha en Huelva. No obstante, en esta superficie no se contabilizan aquellas parcelas del cultivo que el día de paso del satélite Landsat (26 de febrero) no estuviesen cubiertas por plástico.

Para poder proceder a la aplicación de los indicadores de rendimientos por zonas (Tabla 3) a la distribución espacial del cultivo, se ha evaluado la superficie en Ha por cuadrantes y sectores, que supone el cultivo del fresón en todo el territorio estudiado (figura 6). En esta figura aparece un conjunto de cuadrantes ajustados a una división en zonas que, a efectos de producción, se puede establecer en el sur de Huelva.

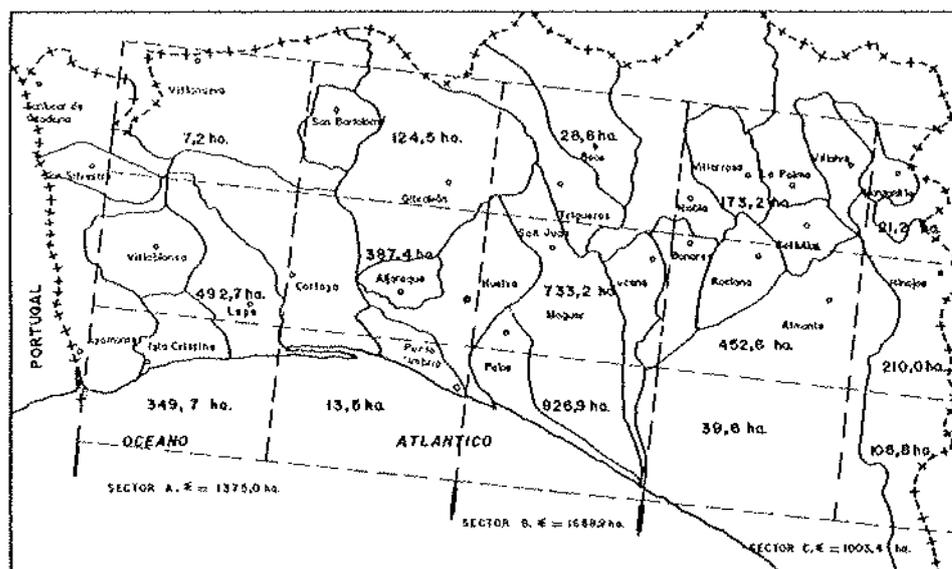


Figura 6.— Esquema de situación de la zona de estudio. Superficies estimadas, en Ha por cuadrantes y sectores.

(\*) Sólo pequeñas urbanizaciones costeras, no controladas en el proceso de interpretación previo, han seguido dando problemas de clasificación, si bien éstas han sido descontadas en el cómputo final estadístico.

De los resultados de superficies obtenidas se desprende una disminución absoluta de las mismas en relación con la campaña de 1987. En este punto es preciso considerar que, durante dicha campaña, hubo una deficiente regulación de cultivos y un hundimiento de los precios de mercado(\*\*), siendo más que razonable pensar que, dadas las peculiaridades estructurales del sector, numerosos agricultores no arriesgarían de nuevo sus mermadas arcas. Frente a una superficie total en 1987 de 4.375 ha, ésta se reduce en 1988 a 4.026 Ha. También por sectores cambia algo la significación porcentual relativa, ya que frente a promedios del 39 por 100, en las zonas A y B (Tabla 3) y del 21 por 100 en la zona C, la significación de la zona A disminuye en 1988 hasta un 34 por 100.

Una vez evaluada la superficie absoluta y relativa del cultivo de fresón en la provincia de Huelva se ha procedido a utilizar unos sencillos indicadores de rendimientos y número de plantas por zonas (Tabla 3), los cuales permiten llegar a establecer un pronóstico de la producción para la campaña de 1988 (Tabla 5).

**TABLA 5**  
**Estimación de la cosecha de fresón para la campaña 1988**  
**en la provincia de Huelva**

Sector	Superficie de cultivos* bajo plástico (Ha)	Superficie estimada* de fresón (Ha)	Producción estimada (Tm)
Zona A . . . . .	1.375,0	1.361,3	49.789,5
Zona B . . . . .	1.688,9	1.672,0	47.974,7
Zona C . . . . .	1.003,4	993,4	27.815,2
Total . . . . .	4.067,3	4.026,7	125.579,4

La cosecha estimada se situó, así en más de 125.000 Tm por el procedimiento comentado de tratamiento digital de imágenes Landsat-TM. Hay que decir que, una vez pasada la campaña, e igualmente mediante estimaciones provenientes de supuestos como, peticiones de créditos, compras de envases, etc., una entidad bancaria evaluaba la cosecha habida en 117.000 Tm ( $\pm 5\%$ ) y la propia Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía lo hacía en 137.000 Tm ( $\pm 10\%$ ). De este modo, la cifra obtenida, a través de las imágenes de satélite, estaba en un punto intermedio con las derivadas por otros procedimientos a campaña pasada.

## 6. CONCLUSIONES

La utilización de datos procedentes de sensores remotos, en combinación con indicadores de rendimientos se ha mostrado como una vía de trabajo adecuada para poder establecer un pronóstico de cosecha en condiciones muy particulares. Sin embargo, el uso de procedimientos convencionales de clasificación de imágenes da lugar a fuertes errores en las estimaciones de superficies del cultivo.

Al emplear un nuevo sistema de clasificación de imágenes, en el que la asistencia de un fotointérprete genera un neocanal de ayuda a la clasificación se mejora, sensiblemente, los resultados estadísticos obtenidos, de modo que es posible el uso conjunto de análisis cartográficos y estadísticos.

Existe, no obstante, un grave problema vinculado al plazo de tiempo en el que es posible el desarrollo de este tipo de trabajos. Así, si bien el coste temporal de realización es muy corto (2 técnicos durante 15 días), los plazos de recepción de la información digital de satélite siguen siendo excesivamente amplios como para satisfacer la necesidad de una respuesta acorde con la demanda del mercado. Sólo en el caso en que los plazos de acceso a la imagen de satélite se reduzcan a un máximo de 15 días los resultados obtenidos podrían ser utilizados en una sistemática operativa de predicción de cosecha para regulación de los precios de mercado.

(\*\*) Es esta crisis de precios la que provocó una demanda, por parte de una sociedad exportadora, de análisis de superficie de cultivo, previo al final de la campaña de 1988, para poder realizar, así, la regulación del mercado.

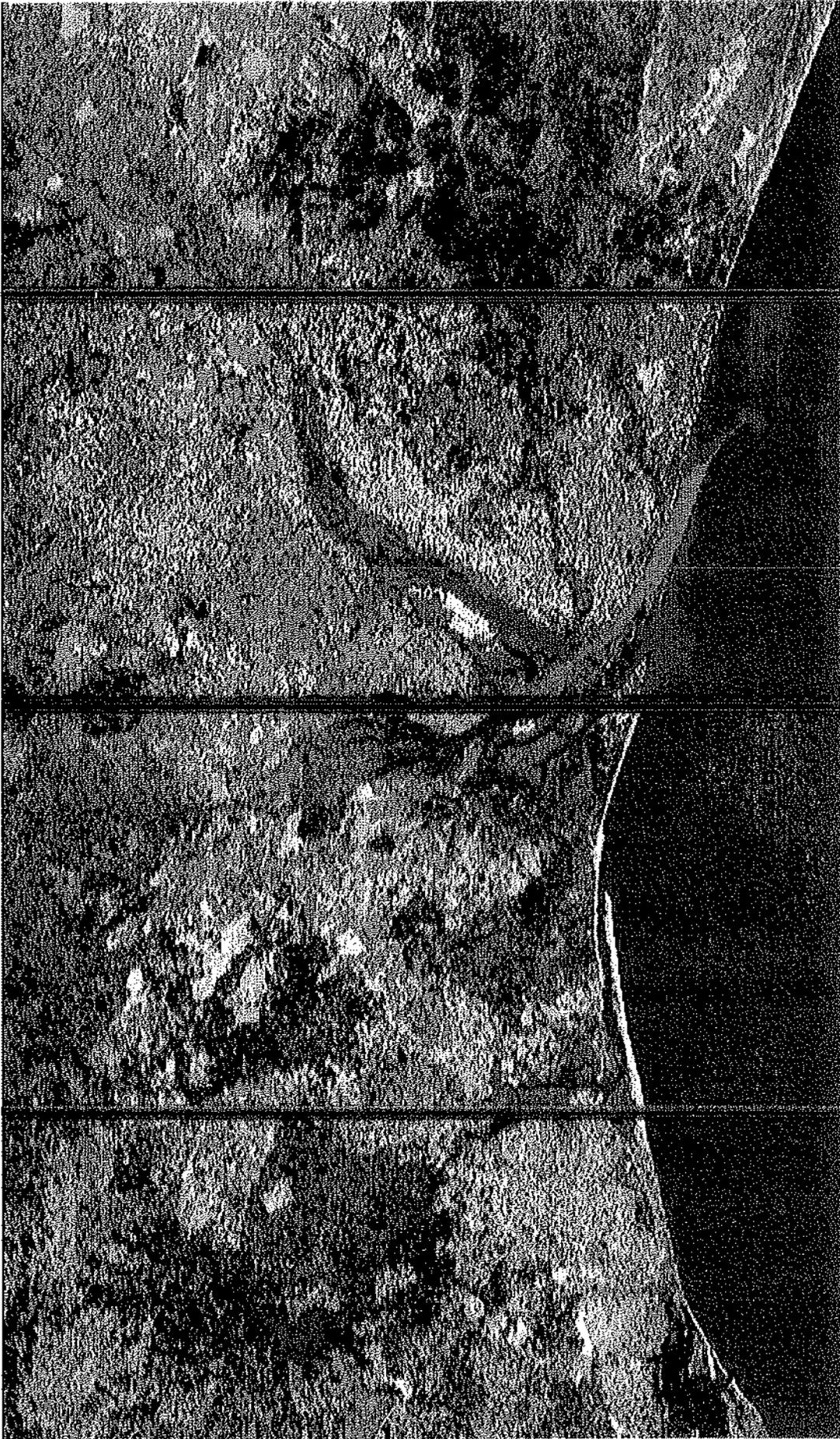


Figura 7. Clasificación asistida con sectores de contexto del sur de la provincia de Huelva. Los cultivos bajo plástico aparecen en rojo.

## BIBLIOGRAFIA

- Dirección General de Agricultura, Ganadería y Montes, 1989. **Inventario de Cultivos forzados (año 1986) y cultivo del fresón (año 1987) en la provincia de Huelva**. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- Hernández Porcel, M.C., 1987. Campo de Dalfas. **Rev. Paralelo 37º**. Excma. Diputación Provincial de Almería. Almería.
- Moreira, J.M.; Lobato, A.; Ramos, A.; Otero, F. y Martínez, M.J. 1988. El Tratamiento de imágenes TM como ayuda para la actualización de usos del Territorio. En **II Reunión Nacional del Grupo de Trabajo en Teledetección**: 290-300 Valencia.
- Pastorelli, M.R. 1989. PEDITOR, un logiciel de Télédétection au scees. Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques. **Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Cahiers n° 3**. Paris.

