

## Estadísticas agrarias a partir de imágenes de satélite

J. ROMEU I RIPOLL, O. VIÑAS I FOLCH y R. ARBIOL I BERTRAN

### Resumen

En esta comunicación se presenta un plan plurianual de 5 años destinado a obtener las superficies ocupadas anualmente por cultivos herbáceos. Se expone a su vez, que la teledetección es una técnica decisiva para hacer operativo un sistema que en 5 años controlará el 90% de las superficies ocupadas por dichos cultivos, sin crear grandes infraestructuras y sin necesidad de utilizar recursos externos a los que ya posee la *Generalitat de Catalunya*.

### 1. Introducción

La necesidad de disponer de estadísticas sobre las superficies ocupadas por cultivos de ciclo anual, pasa por disponer de una información de campo muy exhaustiva, o por incorporar al estudio de campo información de tipo sinóptico.

La presente comunicación hace referencia a como el *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC) ha abordado el problema de recoger anualmente las estadísticas de los cultivos herbáceos, mediante integración de los resultados del trabajo estadístico tradicional y la teledetección.

Se analiza un proyecto de 5 años de duración financiado por la *Direcció General de Producció i Indústries Agroalimentàries* (DGPIA), que en definitiva és el usuario final de las estadísticas. Asimismo el proyecto presentado y aprobado, pretende, a medio plazo, ofrecer estimaciones de cosechas antes de la recolección de las mismas.

Finalmente se expone el resumen de los trabajos realizados durante 1987 sobre cinco comarcas de Lleida que representa el inicio del estudio plurianual.

### 2. Antecedentes

El ICC tiene una cierta experiencia en tratar imágenes digitales, sobre todo las captadas por satélites artificiales. Esta experiencia se ha traducido en un extenso conjunto de programas de tratamiento, y en un equipo informático con capacidad para desarrollar proyectos de envergadura como el presente.

Además de la infraestructura necesaria para iniciar el plan de cinco años, hay una serie de trabajos documentados sobre teledetección aplicada a la realización de estadísticas agrarias.

#### 2.1. "Simulació SPOT sobre l'Empordà. 1983"

En junio de 1983 se realizó un vuelo con un sensor multiespectral simulando la resolución espectral y espacial del satélite SPOT. Se discriminaron hasta 12 clases de cultivos diferentes, con una exactitud global del 82%. Con este estudio se demostró la posibilidad de analizar campos de 100 metros, muy normales en el parcelario de Catalunya, impensable de realizar con imágenes del sensor MSS. (ARBIOL 85).

#### 2.2. "Estudio infrarrojo color sobre Lleida. 1985"

Para poder determinar las mejores épocas de discriminación de los cultivos herbáceos, se estableció una serie de 4 vuelos mediante fotografía aérea en infrarrojo color, sobre 4 zonas de las comarcas de Lleida. Después de una foto-interpretación exhaustiva se determinaron las mejores fechas para repetir las ventanas de toma de imágenes por parte de los satélites de teledetección. Estas épocas quedaron centradas en el mes de mayo (cultivos de invierno) y entre finales de julio y principios de agosto (cultivos de verano). (ARBIOL 85).

#### 2.3. "Estadístiques agraries a partir de imatges SPOT-1. 1986"

Una vez puesto en órbita el satélites SPOT, era necesario comprobar si la calidad de las imágenes permitiría alcanzar las mismas cotas de precisión que se obtuvieron en los estudios piloto realizados en 1983 y 1985.

Realizamos un trabajo clásico de teledetección con imágenes multitemporales, es decir localización de parcelas de entrenamiento, de verificación, análisis de componentes principales, clasificación, matrices de confusión, y resultados finales expresados en áreas administrativas. (ARBIOL 86). A parte de poder confirmar la utilidad de las imágenes SPOT para localizar parcelas y diferenciar cultivos con la eficiencia prevista en los dos trabajos anteriores, se constató una serie de puntos que aumentarían la operatividad y la eficiencia del trabajo:

- Necesidad de trabajar estadísticamente, con tal de ofrecer resultados aunque no hubiesen imágenes de satélite.
- Trabajo de campo exhaustivo. Realización de estratos partiendo las áreas de estudio.

#### 2.4. "Estadístiques agraries 1987"

El último de estos trabajos lo podemos denominar simultáneo, mas que previo, puesto que se realizó al mismo tiempo en que se redactó el proyecto definitivo. En el apartado 4 habrá una descripción mas detallada, que sirve a modo de ejemplo del proyecto a 5 años que a continuación vamos a detallar. (ARBIOL 87).

### 3. Desarrollo del proyecto plurianual

En principio el estudio deberá realizarse con imágenes SPOT, pues su resolución espacial es mas adecuada al parcelamiento típico de Catalunya, aunque en su defecto podrán utilizarse las registradas por el sensor TM del satélite LANDSAT 5.

Dada la necesidad de cubrir todo el territorio de Catalunya, la DGPIA nos planteó la posibilidad de establecer un plan plurianual a 5 años (Lletjós 87), con tal de aumentar cada año la superficie a estudiar (*figura 1*), según el siguiente calendario:

- 1987 Urgell, Noguera, Garrigues, Segarra y Segrià.
- 1988 las anteriores + Conca de Barberà, Anoia y Bages.
- 1989 las de 1988 + Osona, Valles Oriental y Occidental.
- 1990 las de 1989 + Gironés, Alt y Baix Empordà.
- 1991 las de 1990 + Baix Ebre y Montsià.

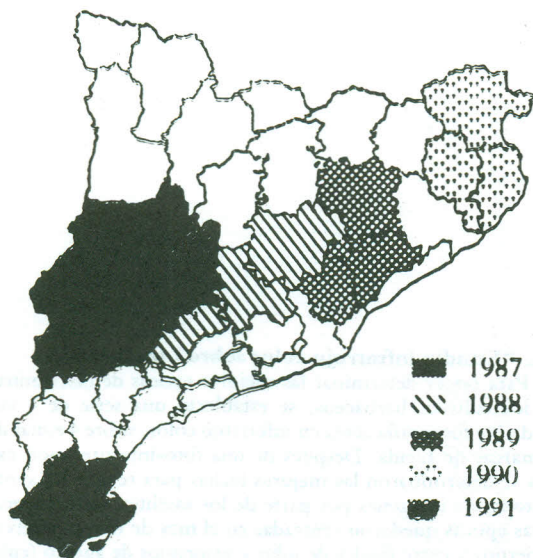


Figura 1: Mapa que recoge el plan plurianual y la evolución de las comarcas a estudiar cada año

La elección de estas comarcas se realizó en base a las producciones de cultivos herbáceos que presentan (AGRICULTURA 84). Aunque solo se trata de 16 comarcas sobre un total de 38 estas ocupan el:

- 87% de la superficie de cebada
- 73% de la superficie de forrajes
- 83% de la superficie de trigo
- 87% de la superficie de maíz
- 63% de la superficie de leguminosas

La metodología a emplear en años sucesivos será siempre la misma, y la podemos reducir a tres grandes apartados que corresponden de alguna manera a la obtención de resultados y a la entrega de los mismos:

- Estudio de campo sobre los cultivos de invierno.  
Primera aproximación de resultados. **15 de mayo.**
- Correlación con las primeras imágenes.  
Resultados para los cultivos de invierno. **15 de julio.**
- Estudio de campo sobre cultivos de verano.
- Correlación con las imágenes multitemporales.  
Resultados definitivos: **1 de octubre.**
- cultivos de invierno.
- cultivos de verano.

### 3.1. Estudio de campo

El estudio de campo, tiene dos fases claramente diferenciadas. La primera consiste en determinar en el gabinete las áreas a visitar según un programa de trabajo controlado y adaptado a las especificaciones estadísticas prefijadas. La segunda fase corresponde a la realización física de la encuesta de campo.

#### 3.1.1. Plan de encuesta

Los datos estadísticos que precisa el "Servei d'Agricultura" tienen un ámbito comarcal, esa será la unidad elemental de trabajo. Al trabajar a ese nivel, hay que tener presente un hecho importante: las comarcas contienen morfologías agrícolas muy diferen-

tes, y es necesario dividir las unidades mas o menos homogéneas con tal de mejorar la calidad de los resultados estadísticos; a estas unidades las denominaremos **estratos**.

La delimitación de dichos estratos, se realiza a partir de los mapas de imagen satelital a escala 1:100 000 (ICC), los de cultivos y aprovechamientos realizados por el MAPA, y del conocimiento del terreno fruto de trabajos anteriores. Hemos definido un máximo de 3 estratos por comarca con tal de evitar una fragmentación excesiva del territorio.

Para la realización del muestreo estadístico, y con la finalidad de obtener las parcelas de verdad terreno, se extraerá una muestra sistemática de 20 áreas que contendrán aproximadamente unas 50 parcelas (un cuadrado aproximado de 700 x 700 metros); estas áreas las denominaremos **segmentos**.

El soporte sobre el que se realizará la encuesta de campo son las ortofotos a escala 1:5 000 que se dispone en el ICC. En el caso de que no se disponga de dicho material, se substituirá por ampliaciones fotográficas a la misma escala. Sobre el soporte que sea de los citados anteriormente, se superpondrá un transparente sobre el que se realizará la encuesta.

#### 3.1.2. Realización de la encuesta de campo

Una vez definidos los segmentos objeto de investigación, se entregaran estos a los servicios comarcales de Extensión Agraria, que serán los encargados de realizar la encuesta, dado su conocimiento de la zona y su mayor facilidad operativa. Para facilitar la tarea se entrega normativa muy clara de como debe procederse para que la encuesta sea lo más uniforme y objetiva posible. Además de delimitar las parcelas sobre el transparente deben numerarse, y en la ficha adicional suministrada se anotan los cultivos observados en el campo.

Las fechas en que deben realizarse los recorridos de campo dependen en gran medida de la época en que sea más fácil diferenciar los cultivos de la zona; de todos modos la fecha límite de entrega es el 30 de abril para los cultivos de invierno y el 30 de junio para los de verano.

#### 3.1.3. Primera estimación de resultados

Antes de poder ofrecer una estimación de las superficies ocupadas por los diferentes cultivos, es necesario digitalizar las parcelas delimitadas e introducirlas a una base de datos comarcal.

La estimación de superficies se realiza por estratos y comarcas mediante la fórmula denominada "muestra estratificada de una población finita" (GONZÁLEZ 86, JRC 87) con la que se determina finalmente un número de Ha. por cada cultivo y una desviación tipo que en definitiva es el error cometido por cultivo y estrato.

En esta primera parte del estudio se ofrecerán resultados por comarcas de los cultivos de invierno, y puesto que sólo dependen de la encuesta de campo se pueden ofrecer a finales de mes de mayo.

### 3.2. Correlación entre segmentos e imágenes de Mayo

El proceso de clasificación de las imágenes de mayo se realiza siguiendo una metodología clásica. La única consideración que tenemos que destacar proviene del gran número de parcelas de campo controladas, que nos permiten supervisar todo el proceso de clasificación.

#### 3.2.1. Correcciones geométricas

Dado que la base de datos que contiene los límites de las parcelas de los estratos está definida en coordenadas UTM y que además tendremos que trabajar con imágenes multitemporales, se optó por corregir las coordenadas imagen a coordenadas UTM mediante la aplicación de polinomios de corrección.

#### 3.2.2. Búsqueda de firmas espectrales por segmento

Una vez corregidas geoméricamente las imágenes, es posible superponer las diferentes parcelas de cada segmento, y obtener un archivo de firmas espectrales asociadas a cada cultivo.

### 3.2.3. Reunión de firmas espectrales por estrato

A partir de los archivos de firmas espectrales obtenidos por segmento se construye un archivo global; dado el gran número de parcelas controladas y la uniformidad que de hecho suponemos al conjunto del estrato puede construirse este archivo utilizando sólo la mitad de los segmentos controlados en el campo.

### 3.2.4. Clasificación multispectral de cada segmento

Con el nuevo archivo de firmas obtenido se aplica un clasificador del tipo "máxima verosimilitud" para todos los segmentos controlados en el campo, creándose matrices de confusión para cada uno de ellos, que nos permite calcular los porcentajes de presencia de los cultivos de invierno presentes en el estrato.

### 3.2.5. Clasificación multispectral del estrato

Aplicando el mismo archivo de firmas que se ha utilizado para cada segmento, y utilizando el mismo clasificador, se clasifica ahora el conjunto del estrato.

### 3.2.6. Afectación por los coeficientes de regresión, resultados finales

Para mejorar los resultados de la clasificación se utilizan los coeficientes de regresión encontrados para cada cultivo. Aplicando dichos coeficientes al total del estrato se obtienen nuevos resultados más acordes a la superficie real de los cultivos de invierno.

Los resultados finales se expresan por la media y la variancia para cada uno de los estratos, uniéndose finalmente los estratos para expresar resultados por comarcas.

## 3.3. Correlación entre segmentos e imágenes multitemporales de Mayo y Agosto

La metodología de trabajo es fundamentalmente la misma que la que se utiliza para las imágenes de mayo con la excepción de que se procede a realizar un registro entre las imágenes multitemporales, y que posteriormente se reduce el número de variables por medio de la utilización de los componentes principales, ya que con SPOT son 6 canales, pero con TM llegamos a 12, y el volumen de información es excesivo. Así pues, se trabaja exclusivamente con los 4 primeros C.P.

Esta es la lista de cultivos final de la que obtenemos resultados:

- cebada
- trigo
- maíz
- forraje (alfalfa)
- arbolado de secano (almendro, olivar, viña)
- barbecho
- leguminosas
- huerta
- frutal
- girasol
- arroz
- otros cultivos.

## 4. 1987. Primeros resultados

El primero de los cinco años del proyecto corresponde a 1987, y el territorio a estudiar estaba compuesto por las comarcas del "Pla de Lleida" (Urgell, Noguera, Garrigues, Segarra, Segrià).

El trabajo de campo se realizó por parte del ICC, para poder poner a punto métodos y fichas de encuesta. Se realizó durante el mes de mayo y comprendió un total de 6 000 parcelas, parte sobre Ortofoto y parte sobre fotografía aérea.

Se solicitó una programación del satélite SPOT para obtener una cobertura multitemporal durante los meses de mayo y agosto; sin embargo, según Spot Image, fue imposible conseguir imágenes de dicha zona. Por tanto se recurrió a imágenes de la misma zona captadas por el LANDSAT 5 TM, que nos fueron enviadas rápidamente por el INTA.

Las imágenes adquiridas fueron registradas en fecha 16 de abril y el 7 de septiembre de 1987, completamente libres de nubes y de buena calidad.

Ver Foto color n.º 29 en página 372

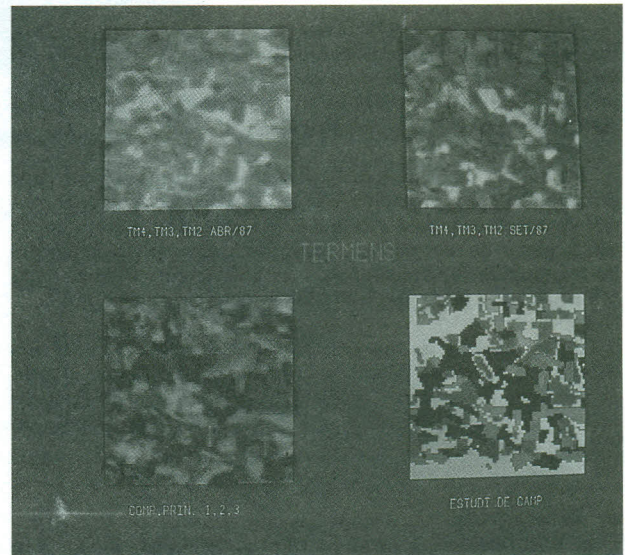


Figura 2: Ejemplo de segmento (Termens) tratado multitemporalmente, en la parte superior aparecen las imágenes originales y en la parte inferior los componentes principales y el estudio de campo

La sucesión de resultados obtenida en las diversas fases del estudio queda reflejado en la tabla 1 de forma que se pueden leer las tres entregas de resultados hechas por parte del ICC a la DGPIA. En primer lugar se indican los resultados de la encuesta de campo, una vez digitalizadas las parcelas. La segunda aproximación se refiere a los cultivos de cebada y trigo, habiendo sido obtenida tras correlación con las primeras imágenes, y la tercera y última entrega corresponde a los resultados finales, obtenidos por correlación con las imágenes multitemporales (figura 2); obsérvese la notable reducción de los errores cometidos, que de forma global se sitúa en un 50%.

	Encuesta de Campo		1ª Imagen		% Mejora	Ha. estim.
	Ha. estim.	Error (des. t.)	Error (des. t.)	Error (des. t.)		
Cebada	21820.7	2086.8	1506.7	1040.5	50.14	22230.4
Trigo	4755.8	893.0	394.1	340.1	61.92	4301.0
Maiz	2745.5	693.1		289.3	58.3	2346.5
Forrajes	1826.2	396.2		341.9	14.0	2033.3
Arb. Sec.	10453.0	1488.4		698.6	53.1	8551.2
Barbecho	1283.7	268.0		268.0	0.0	1315.1
Legumin.	361.1	129.7		80.7	47.8	279.4
Huerta	453.7	177.2		177.2	0.0	566.4
Frutales	4153.0	1378.3		598.8	56.6	4340.9
Girasol	20.1	16.1		16.1	0.0	32.1
<b>Total</b>						
<b>Cultivos</b>		7526.8		3850.2	<b>48.84%</b>	45993.0

Tabla 1: Ejemplo de los resultados obtenidos en 1987 sobre la comarca del Urgell, en ella se desglosan los tres resultados obtenidos, y el porcentaje de mejora en los errores que aporta la teledetección

## 5. Conclusiones

Los aportes de la teledetección al análisis estadístico de cultivos de alta movilidad territorial se centran en una serie de puntos que por una parte permiten economizar, y que por otra añaden información colateral muy interesante, casi sin esfuerzo adicional.

Al disponer de una visión sinóptica de todo el territorio a estudiar, se puede reducir el número de segmentos a estudiar en

el campo para tener una misma fiabilidad en los resultados. De hecho en las experiencias realizadas durante 1987 se han mejorado los resultados en un 50%.

Adicionalmente se obtiene una clasificación de todo el territorio, y no solo de las áreas estudiadas sobre el terreno (2% del total). Este estudio periódico del terreno nos permite extraer información relevante sobre las áreas de cambio, así como poder cartografiar migraciones de cultivos.

De alguna manera al analizar todo el territorio se consigue una primera aproximación a la segunda parte del trabajo, el control de cosechas previo a la fecha de recolección, puesto que la visión global de las imágenes analizadas se asemeja a las imágenes de los satélites meteorológicos y es posible correlacionar estas informaciones, junto con los indispensables datos de campo.

En el supuesto de que sea imposible disponer de imágenes debido a la cobertura de nubes, o cualquier otro tipo de contingencia, siempre estarían cubiertas las estadísticas mediante el método de campo, que no es más que la primera de las fases del trabajo.

## 6. Bibliografía

Dep. d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, 1984. "Agricultura a les comarques de Catalunya: Superfícies i produccions 1984". Institut Català del Crèdit Agrari.

ARBIOL, R., ROMEU, J., VIÑAS, O., 1985. "Identification des types d'utilisation du sol par traitement des données digitales d'une simulation SPOT (Empordà, Espagne)". Revista Photo-interpretation, no. 2-1985, fascículo 5.

ARBIOL, R., ROMEU, J., VIÑAS, O., 1985. "Informe final sobre el estudio de control de cosechas por satélite, mediante el uso de la fotografía aérea en infrarojo color". Documento interno. Institut Cartogràfic de Catalunya.

ARBIOL, R., ROMEU, J., VIÑAS, O., 1986. "Estadístiques agràries a partir del satèl·lit SPOT-1. 1986. 25 municipis del pla de Lleida". Documento interno. Institut Cartogràfic de Catalunya.

ARBIOL, R., ROMEU, J., VIÑAS, O., 1987. "Informe final 1987. Estadístiques agràries. Treball de camp + Imatges de satèl·lit TM". Documento interno. Institut Cartogràfic de Catalunya.

GDTA, SCEES. 1984. "Simulations SPOT. Lauragais, resultats 1981". Service Central des Enquêtes et Études Statistiques (Ministère de l'Agriculture). Francia.

GONZÁLEZ, F., CUEVAS, J.M., MORO, J., 1986. "Aplicación del sistema informático ERAFIS al reconocimiento y discriminación de los usos del suelo en la provincia de Toledo a partir de imágenes digitales MSS-LANDSAT 4". INIA, Sección de proceso de datos. Madrid.

JRC, ISPRA, 1987. "General conditions and detailed specifications. Agriculture project, Regional inventories". Commission of the European Communities. Ispra, Italia.

LLETJÓS, R., 1987. "Pla plurianual per a la realització d'estadístiques agràries". Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya.