

1977, Barcelona  
*Treb. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 8: 103-118

Josep M. CAMARASA  
*Departament de Botànica  
Facultat de Biologia  
Universitat de Barcelona*

# Sobre l'aplicació de la teledetecció multispectral a l'estudi del paisatge vegetal del delta de l'Ebre

**ON THE APPLICATION OF MULTISPECTRAL REMOTE SENSING  
IN THE STUDY OF THE VEGETATION LANDSCAPE  
OF THE DELTA OF THE EBRE**

## **ABSTRACT**

After briefly giving the characteristics of the data (multispectral) from the satellite LAND-SAT I and of the instruments that have obtained it, a few different interpretations of the sightings obtained by M. REBOLLO and L. F. ESCUDERO are given.

Firstly an image in false colour obtained through the visualization point by point of the combined data from three of the four canals received from the MSS of the satellite (5, 6 and 7).

Secondly a visualization of the results of a supervised classification of the four canals is interpreted. For this classification the DISMIP programme had been used (Discriminant Mixed Integer Programming Model).

Finally a visualization in detail of two zones of the delta obtained through the same system as the former are interpreted. The results are discussed and it is concluded that, for a complete exploitation of the possibilities of the multispectral teledetection in the question of vegetation study, it is necessary to find a more accurate method (MSS in planes and not satellites) and closer collaboration between botanists and information interpretation experts who may decipher given facts.



## 1. INTRODUCCIÓ

Bé que tardanament en relació amb l'inici dels treballs de cartografia del paisatge vegetal, hem pogut accedir —gràcies a contactes amb diferents centres amb possibilitats per a tractar-les— a les dades analògiques corresponents a algunes de les imatges (cf. 2) captades pel satèl·lit nord-americà LANDSAT-1 (abans ERTS-1). Per a ser ben precisos, hauriem de dir que al que hem tingut accés de debò ha estat a les visualitzacions d'aquestes dades per tal com no hem tingut cap mena d'intervenció directa en llur pre-tractament. Aquest text no vol ser sinó una constància de l'existència d'aquestes dades i que la informació que contenen no ens ha passat per alt, tot i que l'explotació que n'hem fet, mancats com estàvem de qualsevol experiència precedent, hagi estat molt limitada.

La manca d'experiència que acabem d'esmentar i, encara més, la impossibilitat de fer directament o de controlar de prop el pre-tractament i la visualització de la informació procedent dels sensors del satèl·lit ens han imposat una interpretació grollera d'unes visualitzacions que no eren especialment concebudes per a llur aplicació a l'estudi del paisatge vegetal. Hem de dir, en descàrrec nostre i dels qui ens van facilitar les visualitzacions, que la manca d'experiència en aquest camp és molt gran arreu del món per tal com la introducció dels sensors multispectrals i dels satèl·lits anomenats de recursos naturals és molt recent.

Així i tot, creiem que aquest text pot donar una idea força precisa del que es pot esperar en el futur d'una explotació més acurada i més exhaustiva de les possibilitats dels mètodes basats en l'explotació de la informació obtinguda mitjançant sensors situats sobre satèl·lits o altres plataformes, tant aeroportades com no.

## 2. LES DADES DEL SATÈL·LIT LANDSAT-1

El satèl·lit LANDSAT-1 fou llançat per la NASA, amb el nom d'ERTS-1 (*ERTS = Earth Resources Technology Satellite*), el dia 23 de juliol de 1972 i, tot i que la seva vida útil havia estat estimada en un any, la seva durada ha estat força més considerable; es manté encara en òrbita i, si més no fins a la

darrera del 1975, ha continuat transmetent informació (en els darrers temps de manera episòdica). Aquest satèl·lit disposa d'un sistema multispectral d'escombratge (*MSS* o *Multi Spectral Scanner*) que comporta quatre conjunts de sensors, cadascun dels quals mesura la intensitat de radiació dels punts de la superfície de la Terra sobre els quals passa per a una determinada banda de l'espectre electromagnètic, és a dir, la intensitat de les radiacions d'una determinada longitud d'ona (o d'una determinada classe de longituds d'ona) reflectides o emeses pel punt en qüestió.

Els quatre canals del LANDSAT-1 abracen una bona part del camp de les radiacions visibles i una part més petita del de les de l'infraroig pròxim. Concretament, el canal anomenat 4 mesura i enregistra les radiacions de longitud d'ona compresa entre 500 i 600 nm (és a dir, les corresponents al verd i al groc), el canal 5 les de longitud d'ona compresa entre 600 i 700 nm (és a dir, les corresponents al taronja i una part del vermell), el 6 les de longitud d'ona compresa entre 700 i 800 nm (és a dir, la resta del vermell i una petita part de l'infraroig més pròxim) i el 7 les de longitud d'ona compresa entre 800 i 1.100 nm. (situades de ple a l'infraroig pròxim).

Els sensors del LANDSAT-1 oscil·len en un angle total de  $15,56^\circ$  en un pla perpendicular, tant a l'òrbita del satèl·lit com a la superfície de la Terra, de tal manera que, en cada oscil·lació, escombren una amplada de 185 quilòmetres de la superfície de la Terra tot mesurant les intensitats de les radiacions procedents de cadascun dels 3.240 elements de resolució en què queda dividit aquest trajecte o rengle d'escombratge. Per a cadascun dels canals hi ha sis sensors que escombren paral·lelament sis d'aquests rengles (d'uns seixanta metres d'amplària a la superfície de la Terra) per a la banda de longituds d'ona corresponent. Cada conjunt de 2.340 rengles d'escombratge constitueix una unitat que, degudament tractada, pot generar una imatge que correspon a una superfície d'uns  $185 \times 198$  quilòmetres.

Són imatges d'aquesta mena, concretament, les corresponents als dies 18 i 19 d'agost del 1972, les que hem pogut estudiar i interpretar en allò que afecta el delta de l'Ebre. La imatge del dia 18 d'agost (n.º 1026-10084, d'acord amb la nomenclatura de la NASA) té el seu angle NW al triangle format pels pobles de Baells, Camporrells i Valldellou (Llitera), a l'oest de l'embassament de Santa Anna sobre la Noguera Ribagorçana; el seu angle NE entre Canet de Mar i Sant Pol de Mar (Maresme); el SW a les proximitats de Xert (Baix Maestrat) i el SE en un punt de la Mediterrània difícil de precisar. La imatge del dia 19 d'agost de 1972 té el seu angle NW a mitjan camí dels pobles aragonesos d'Agüero i Ardisa, a la divisòria d'aigües entre els rius Gállego i Arba, uns quants quilòmetres al NW de l'embassament de Biscarrues; l'angle NE se situa entre Tiurana i Bassella, al límit entre l'Alt Urgell i la Noguera; el SW en un indret difícil de precisar del Sistema Ibèric, no gaire allunyat de la vall del riu Jiloca, al S de Calamocho, i el SE en un punt de la mar Mediterrània no gaire allunyat (cap al SE) de l'extrem oriental del delta de l'Ebre.

Aquestes imatges, insistim-hi altra vegada, no són imatges en el sentit fotogràfic del mot, sinó el resultat de fer correspondre a una gamma de nivells de grisos o de colors arbitraris les classes d'intensitat de radiació de cadascun dels punts per als quals els sensors han mesurat aquesta. De fet, s'acostaria més a una imatge de televisió.

### 3. INTERPRETACIÓ DE LES IMATGES DEL DELTA DE L'EBRE

El precedent més remot d'aplicació d'imatges del delta de l'Ebre procedents del satèl·lit LANDSAT-1 el tenim als treballs de Klemas (1975), del College of Marine Studies de la Universitat de Delaware, qui, a partir de dades de la nostra cartografia del paisatge vegetal, preparà una classificació supervisada<sup>1</sup> de les possibles unitats en presència al sector oriental del delta. En aquests primers estudis l'equip del Departament de Botànica de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona, que ha realitzat la cartografia del paisatge vegetal del delta, actuà simplement com a fornidor d'informació (FOLCH, 1975), sense intervenir en la interpretació de les imatges.

Posteriorment (setembre 1975), M. REBOLLO i L. F. ESCUDERO, del centre UAM/IBM de la Universidad Autónoma de Madrid, obtingueren bones visualitzacions de la informació corresponent a la imatge del dia 19 d'agost de 1972 descrita precedentment mitjançant una cònsola interactiva que permet la visualització en una gamma de color molt àmplia. A partir de la interpretació d'aquestes imatges iniciàrem una col·laboració amb els esmentats investigadors del centre UAM/IBM, la qual ha passat per tres etapes diferents:

- 1) Interpretació de les visualitzacions obtingudes mitjançant superposició de les imatges procedents de diferents canals i classificació no supervisada<sup>2</sup> de les dades d'aquests.
- 2) Interpretació d'imatges obtingudes després d'una classificació supervisada, en la qual s'ha pres en consideració la totalitat del sector de la imatge en què és inclòs el delta.
- 3) Assaig d'interpretació detallada de sectors petits del delta per als quals s'havia fet prèviament una classificació supervisada d'un cert nombre d'unitats de petita superfície.

Cada una d'aquestes etapes, naturalment, té dos vessants clarament definits: l'obtenció de les imatges a partir de les dades del MSS i llur interpretació pròpiament dita. En aquest text ens referirem únicament al segon d'aquests vessants que és el que ha estat a càrrec de l'autor (pel que fa al pre-tractament i visualització de les imatges, cf. REBOLLO i ESCUDERO, 1975; REBOLLO i ESCUDERO, 1977).

#### 3.1 La interpretació de les primeres visualitzacions

Tal com ja hem dit, el centre UAM/IBM disposa d'un terminal interactiu

1 Anomenem classificació supervisada aquella en què intervé un element extern d'aprenentatge, generalment dades prèviament conegudes referents a zones de referència dins el camp total de la imatge.

2. Classificació no supervisada és aquella que es fa únicament a partir de les dades obtingudes pel MSS i de llurs propietats (freqüència de cada valor d'intensitat de radiació, veïnatge de valors pròxims, possibles contrastes entre elements de resolució veïns, etc.), és a dir, tot allò que podríem anomenar estructura «natural» de les dades (l'adjectiu «natural» és emprat aquí per oposició a les estructuracions de les dades que poden obtenir-se per manipulació d'aquestes).

susceptible de visualitzar en una gamma arbitrària de colors molt àmplia —que permet separar clarament les diferents classes d'intensitat de radiació— la informació captada per cada un dels canals d'un MSS tant per separat com conjuntament. Com que les possibilitats d'accedir directament a aquestes visualitzacions exigien desplaçaments freqüents a Madrid, que no han estat sempre possibles, hem hagut de treballar sobre transparències fotogràfiques de les visualitzacions obtingudes a la pantalla interactiva d'UAM/IBM. Es tracta sempre, doncs, de materials obtinguts i donats com a bons pels tècnics d'aquest centre, sense un coneixement directe de la «veritat-terreny» a què es referien les imatges.

Bàsicament hem disposat de les imatges resultants de dues combinacions de tres canals: 4, 5 i 7 en un cas i 5, 6 i 7 en un altre. Aquesta segona combinació (fig. 1) és la que dóna resultats més satisfactoris i més bon contrast entre unitats diferents de paisatge vegetal (o de paisatge sense qualificatius) i per això tots els comentaris que segueixen van referits a la imatge resultant d'aquesta combinació, fragment de la imatge abans descrita del dia 19 d'agost de 1972.

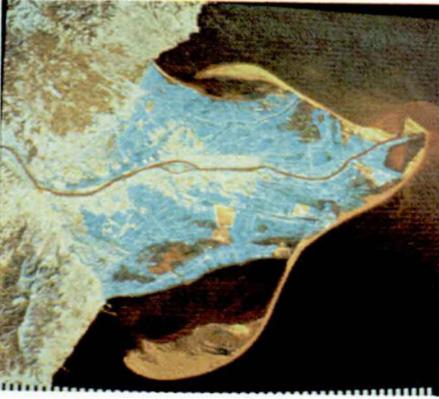
### 3.1.1. ELS LÍMITS DEL DELTA I LES AIGÜES INTERIORS

Ja hem indicat que la imatge resultant de la combinació dels canals 5, 6 i 7 recull molt bé els contrastos entre els diferents tipus de medis. Així, la separació entre el delta i la línia de costa anterior a la formació d'aquest resulta molt nítida, tot i la presència a banda i banda d'aquesta separació de conreus idèntics que tendeixen a difuminar-la. La línia de costa del delta es dibuixa també molt nítidament, tot i la presència de baixos al llarg de tota ella i molt especialment a l'interior de les badies i davant la desembocadura del riu i que són també perfectament recollits a la imatge.

També totes les superfícies d'aigües lliures interiors (riu, estanys) se separen molt clarament de les terres que les envolten. Una observació més acurada permet fins i tot identificar molt clarament el traç dels braços morts del riu i tots els claps de sòl inundats que es troben escampats per tot el delta i, molt particularment, els que envolten els estanys més grans (i que, de fet, sovint representen el testimoni dels límits d'aquests estanys en el passat). En aquests últims casos, més que la humitat del sòl, el que reflecteix la imatge és, tal com posarem en relleu més endavant, la presència d'una vegetació helofítica.

### 3.1.2 ELS CONREUS

És fàcil d'adonar-se, en observar la imatge, que hi predomina un conjunt de tons de blau que ocupen grans superfícies. Aquestes superfícies blaves corresponen fonamentalment als arrossars. Unes ratlles més clares —que corresponen en part a camins i en part a canals i desguassos secs en el moment de l'obtenció de la imatge— solquen aquest blau juntament amb altres de més fosques —que corresponen, en part, a braços morts del riu (s'observa molt bé, al nord del delta, l'anomenat el Riet i, al sud, el que desembocava a tocar de l'actual bassa de la Platjola, prop dels Muntells) i, en part, a canals i desguassos en funcionament (els més clarament manifestos són dos dels desguassos que surten de la part meridional de l'Encanyissada).



**Figura 1.** Imatge resultant de la combinació dels canals 5, 6 i 7 sense classificació supervisada.



**Figura 2.** Imatge resultant de la combinació dels quatre canals amb classificació supervisada.



**Figura 3.** Visualització de detall de l'illa de Buda i sectors pròxims. a) Classes definides a partir dels camps A, B, C, D, F, G i H; b) Classes definides a partir dels camps E, F, I, J, L i N.

<i>color</i>	<i>classe definida a partir del camp</i>
negre	A
blau fosc	B
verd	C
cian	D
vermell	H
magenta	F
groc	G

<i>color</i>	<i>classe definida a partir del camp</i>
negre	J
blau fosc	L
verd	I
cian	N
vermell	E
magenta	F

Els conreus d'horta i els fruiterars que ocupen actualment la part més important dels bons sòls francs del delta, apareixen a la imatge en forma de taques groguenques o blanquinoses no gaire fàcils de destriar dels conreus de secà de les terres més altes pròximes al delta. Molt probablement aquest escàs contrast té dues causes fonamentals: la primera, lligada a la realitat sobre el terreny, podria ser una situació estacional dels conreus de regadiu que fes llur resposta espectral més pròxima de la dels conreus de secà que de la dels arrossars (els quals, d'altra banda, han de resultar per llurs peculiars característiques força diferents de qualsevol altra mena de conreus). La segona, lligada al mètode de classificació automàtica dels elements de definició («picture units») de la imatge, podria ser el fet que, a causa de la importància relativa més petita de la superfície ocupada a la imatge tant pels conreus de regadiu com pels de secà enfront de la que ocupen tant els arrossars com les aigües marines, la divisió de l'histograma de freqüències de les diferents intensitats de radiació en què es basa l'atribució d'un color o d'un altre a cada intensitat s'hagi fet de tal manera que horta i secà pràcticament es fonguessin en una sola unitat de color.

En relació amb els conreus de regadiu val la pena d'assenyalar la presència a la imatge d'un cert nombre de taques anòmales de formes més o menys poligonals, els colors de les quals poden relacionar-se en part amb els dels conreus de regadiu o, si més no, contrasten vivament amb els de les àrees que els envolten; les més importants per llur extensió són tres de situades a la meitat sud del delta. La més extensa d'aquestes és situada a l'extrem nord-oriental de l'Encanyissada, en contacte per la seva part meridional amb els canyissars que envolten aquest estany i en delimiten l'antiga extensió, i voltada d'arrossars a la resta de la seva perifèria; la seva forma, allargassada de N a S, s'acosta a la de dos trapezis units per llurs bases menors. Només la forma geomètrica i el contrast amb les àrees que l'envolten justifiquen de tractar aquesta taca com una unitat, per tal com al seu interior és possible distingir zones més o menys diferents, de les quals només les més septentrionals (més pròximes, per tant, al curs actual del riu) poden relacionar-se realment amb els conreus de regadiu. La seva interpretació mitjançant el mapa de paisatge vegetal i les observacions de camp no és gens difícil, es tracta efectivament de terrenys dedicats als conreus hortícoles, però no de la mateixa mena que la majoria dels terrenys d'horta del delta sinó que són terres abans ocupades en part per canyissars i en part per arrossars i ara reblertes, replanades i condicionades per a dedicar-les al conreu intensiu de determinats productes hortícoles (a l'època en què fou feta la cartografia del paisatge vegetal d'aquesta zona —1974—, bàsicament enciams); l'heterogeneïtat de colors que remarcàvem abans reflecteix justament l'heterogeneïtat mateixa dels resultats obtinguts malgrat els esforços de condicionament dels propietaris d'aquestes terres —condicionament que inclou un sistema molt perfeccionat de drenatge i l'ús de rec per aspersió— deguda a la salinitat del nivell freàtic de la zona en qüestió.

Una segona taca poligonal, isolada enmig dels arrossars situats al NE dels Muntells, s'observa a l'oest de la bassa de la Platjola, entre aquesta i els Muntells. En aquest cas es tracta de terrenys que, en el moment del pas del satèl·lit, eren en curs de condicionament de cara a una explotació semblant a la que acabem de descriure. En la mateixa situació es devia trobar la tercera d'aquestes taques poligonals, la situada al sud de l'extrem occidental de l'illa de Buda, a l'anomenada partida del Marquès de Tamarit.

L'aspecte d'aquestes taques que corresponen a «sanejaments» parcials de terres confirma molt bé els resultats verificats sobre el terreny, si més no al primer dels descrits. La salinitat de la capa freàtica de gran part de les terres dedicades al conreu de l'arròs al delta es reflecteix a la superfície del sòl tan bon punt la pressió de l'aigua dolça que inunda els arrossars desapareix; alhora, l'escassa profunditat d'aquesta capa freàtica (determinada per la feble altitud sobre el nivell del mar de la totalitat del delta) fa poc efectius els sistemes de drenatge més sofisticats. La majoria dels pagesos del delta saben prou bé que sempre és possible intercalar una o dues collites d'hortalisses cada dues o tres d'arròs, però que després cal tornar a l'arròs per eliminar la salabror que ha «pujat».

### 3.1.3 LES SALINES

Bé que sigui una dada menor, per tal com llurs emplaçaments no poden ser més coneguts, remarcuem que les dues explotacions salineres del delta són molt ben recollides a la visualització de les dades del LANDSAT-1. Tant les salines de la Tancada, situades al SE d'aquest estany, com les de la Trinitat, situades al NE de la península dels Alfacs, destaquen clarament amb un aspecte no gaire diferent al de les explotacions hortícoles que acabem de descriure.

### 3.1.4 LA VEGETACIÓ HELOFÍTICA

La vegetació que ocupa els sòls molt humits o inundats (canyissars, bàsicament) apareix a la imatge amb un to fosc que contrasta vivament amb el blau dels arrossars amb què sovint estan en contacte i amb el rogenç dels estanys que de vegades envolten. La perifèria de l'Encanyissada, de la Tancada, del conjunt d'estanys del Canal Vell, dels Calaixos de Buda, de l'Aufacada, de la Platjola, són exemples que no necessiten més explicació que la comparació amb el mapa de paisatge vegetal (CAMARASA, FOLCH, MASALLES i VELASCO, 1977). La comparació amb el mapa de paisatge vegetal permet també identificar un cert nombre de taques més petites no lligades estrictament a cap estany però ocupades per vegetació helofítica. Particularment remarcable és la identificació del fil de canyissar que segueix la riba nord del port dels Alfacs.

### 3.1.5 LA VEGETACIÓ HALÒFILA

Els sòls salats no ocupats per arrossars són també identificables amb força precisió a la imatge que ens ocupa. Els sòls salats hi apareixen d'un color rosa ataronjat, que ocupa gran part de la línia de costa i gairebé tota la meitat meridional de la península dels Alfacs.

Al contrari del que passava amb els sòls inundats —on la resposta espectral era determinada sobretot per la vegetació que suportaven—, en el cas dels sòls salats és l'absència gairebé total de vegetació allò que caracteritza la resposta lluminosa d'aquestes superfícies.

Gairebé tota la meitat nord de la península dels Alfacs apareix d'un color més fosc, que correspon a les terres més baixes, gairebé constantment inundades i també salabroses, dels lluentos d'aquella zona i també als estanys de concentració de les salines de la Trinitat. En aquest conjunt d'aiguamolls poc profunds

i terres només temporàniament inundades es pot observar una sorprenent anomalia que, per ara, no ha tingut explicació satisfactòria. Es tracta d'una taca molt fosca, pràcticament negra, que ocupa una posició relativament central a la península dels Alfacs, a mitjan camí entre les salines de la Trinitat i el far de la Banya. Segons mostra la cartografia de camp, pot identificar-se amb l'entrant més profund dels lluenters que ocupen la pràctica totalitat de la meitat nord de la península dels Alfacs. Fora que es tracti d'un artefacte del mètode, tenim aquí un cas en què l'ús de la teledetecció ha permès descobrir una anomalia gens perceptible a l'observació directa. Caldrà en un futur comparar mostres d'aigua procedents d'aquesta zona amb mostres d'altres punts del delta per veure en què consisteix la diferència.

### 3.1.6 LA VEGETACIÓ PSAMÒFILA I ELS SORRALS SENSE VEGETACIÓ

Només les grans acumulacions de sorra (dunes) arriben a donar una resposta que permeti separar-les clarament dels sòls salats (ells mateixos molt sorrencs en general i, tal com hem comentat, amb un recobriment vegetal força migrat). Es distingeixen, però, molt bé els sorrals de la barra del Fangar i de la costa immediata, les grans dunes de la Illeta i els arrencaments de dunes del SW de la península dels Alfacs. Curiosament —o no tan curiosament— la urbanització situada a l'oest de la desembocadura actual del riu («Riomar»), presenta a la imatge un aspecte semblant al d'un sorrall. La freqüent invasió d'aquesta urbanització per sorres transportades pel vent que s'acumulen contra les tanques i les parets fins a formar veritables dunes fixades explica segurament aquest aspecte.

## 3.2 Les primeres visualitzacions supervisades

A partir de la nostra interpretació de les visualitzacions no supervisades i de l'atribució d'alguns camps de la imatge a unitats del nostre mapa de paisatge vegetal de manera inequívoca, M. REBOLLO i L. F. ESCUDERO obtingueren una visualització mitjançant una classificació supervisada de les classes d'intensitat de radiació. Per a la classificació supervisada utilitzaren el programa DISMIP (Discriminant Mixed Integer Programming Model) (REBOLLO i ESCUDERO, 1975).

A primera vista, la nova visualització aporta poques novetats, tal vegada perquè l'exploració feta de la primera havia donat ja la pràctica totalitat de la informació interpretable visualment. Tot seguint un ordre comparable al seguit a 3.1, cal dir que els límits terrestres del delta resulten menys precisos per tal com els conreus de regadiu i els de secà es confonen ara del tot (cal tenir present que no s'havia definit cap camp que correspongués als conreus de secà); els límits marins, per contra, apareixen amb un contrast sensiblement comparable amb el de la visualització no supervisada. Pel que fa a les aigües interiors, la situació és molt complexa per tal com s'aprecien diferències d'uns estanys a uns altres i en alguns, com el de l'Encanyissada, la separació entre les aigües i la vegetació helofítica resulta imprecisa, cosa a la qual acaba d'ajudar el fet que tampoc la vegetació helofítica no presenti un aspecte homogeni a la visualització.

Els arrossars són segurament la unitat de paisatge vegetal que és més ben

perfilada, cosa a la qual contribueix no poc la seva extensió considerable. Tanmateix, val la pena de remarcar la diferenciació, discreta però constant a tota l'extensió del delta, de dues variants d'arrossar; la manca d'observacions de camp contemporànies de la presa d'imatges ens impedeix explicar a què correspon aquesta diferenciació.

Pel que fa als conreus d'horta i als fruiterars, ja hem dit que no arriben a poder-se separar clarament dels secans exteriors al delta; el límit amb els arrossars, en canvi, no pot ser més precís i contrastat.

Pel que fa a la vegetació helòfítica, només es pot repetir que no apareix de cap manera com una unitat i que, a més, alguns dels colors amb els quals pot identificar-se s'identifiquen també amb unitats que no hi tenen gran cosa a veure. Tanmateix, la diversitat que remarquem correspon sens dubte a diferències reals no sempre apreciades en el treball de camp.

Finalment, la vegetació halòfila i psamòfila té un reflex ben anàleg a l'observat a la visualització no supervisada.

En el nostre cas concret no sembla, doncs, que la classificació supervisada presenti grans avantatges sobre la no supervisada. L'explicació pot residir en el fet que el nombre d'unitats de paisatge vegetal del delta de l'Ebre és petit i que, generalment, es tracta d'unitats molt contrastades entre elles, cosa que ja les feia posar en relleu força clarament a la visualització no supervisada. A la classificació supervisada només ha millorat el contrast de la unitat més homogènia i extensa (l'arrossar) i s'han posat de manifest les petites diferències locals dins algunes de les altres unitats. Això, tanmateix, ens posa també de manifest dues de les aplicacions més clares de la percepció remota multispectral: l'inventari o superficiació de grans unitats després d'establir un contrast prou accentuat amb les veïnes i la detecció de diferències dins conjunts visualment homogenis que poden ser confirmades *a posteriori* per estudis de detall.

### 3.3 Les visualitzacions supervisades de detall de sectors petits del delta

En les dues etapes precedents, el nostre paper com a usuaris de la informació s'havia limitat a la interpretació de visualitzacions que eren fruit estrictament del treball dels informàtics del centre UAM/IBM. En aquesta tercera etapa, intervinguérem més activament en el treball de selecció de camps directament damunt la pantalla interactiva, en col·laboració amb A. REBOLLO i J. ORTÍ i també en el plantejament teòric de l'experiència.

Preteníem, de fet, posar a prova la capacitat dels mètodes de visualització mitjançant la classificació supervisada per discernir unitats relativament poc homogènies i/o que ocupen superfícies petites. Triàrem per a aquesta experiència dos sectors ben caracteritzats: la península dels Alfacs i l'illa de Buda i els seus voltants. Dins aquests sectors, seleccionàrem un cert nombre de camps que consideràrem representatius de determinades unitats. A causa d'una avaria del sistema interactiu i de la impossibilitat de tornar a viatjar a Madrid, el nombre de camps escollits es limità a catorze (després a dotze, per tal com dos no resultaren utilitzables), xifra que, de tota manera, semblà suficient *a priori*, per tal com es tractava únicament de fer una prova de la capacitat del mètode. La situació dels diferents camps i llurs continguts suposats inicialment són expres-

sats a la taula 1. La tria d'aquests camps no es féu d'una manera sistemàtica, tot i que inicialment preteníem que totes les unitats destriables sobre el terreny estiguessin representades i, en alguns casos, fins i tot variants observades mitjançant les visualitzacions precedents; això no fou possible per mor de l'avaria indicada més amunt.

**Taula 1.** Situació i contingut dels camps definits per a la classificació supervisada de les imatges d'algunes zones del delta de l'Ebre.

<i>Camp</i>	<i>Zona</i>	<i>Situació</i>	<i>Contingut</i>
A	Península Alfacs	Anomalia observada al sud-oest de les salines i nord-est del far de la Banya.	Aigua (?).
B	Península Alfacs	Lluents del nord de la península dels Alfacs.	Aiguamolls poc profunds.
C	Península Alfacs	Estanys perifèrics de les salines de la Trinitat.	Aiguamolls poc profunds.
D	Península Alfacs	Illes i barres al nord de les salines.	Sòls salabrosos amb vegetació halòfila més aviat esclarissada.
E	Península Alfacs	Centre de la península dels Alfacs.	Complex de sòls salabrosos permanentment inundats i altres d'emergits amb vegetació halòfila.
F	Encanyissada	Centre de l'estany.	Aigua dolça.
G	Encanyissada	Perifèria de l'estany.	Vegetació helofítica.
H	Illa de Buda	Calaix de Dalt.	Aigua.
I	Illa de Buda	Calaix de Mar.	Aigua.
J	Illa de Buda	Illeta.	Sorra nua en terreny pla.
K	Illa de Buda	Costa SE.	Vegetació halòfila esclarissada.
L	Illa de Buda	Illeta.	Dunes.
M	Illa de Buda	Urbanització «Riomar».	Vegetació psamòfila.
N	Illa de Buda	Al SW de la Gola de Migjorn.	Vegetació halòfila densa.

El terminal interactiu ens permeté de calcular dins cada camp l'histograma de les radiàncies dels diferents elements de definició («picture units») que comprèn, la radiància mitjana del camp i la desviació estàndard respecte a aquesta per a cada un dels canals (taula 2), cosa que, ja de bon començament, permeté de rebutjar per poc homogenis dos dels camps seleccionats (cas dels camps designats amb les lletres K i N).

Establerta la relativa homogeneïtat dels camps seleccionats, aquests passen a ser considerats com a representatius d'una determinada classe de radiàncies,

**Taula 2.** Mitjanes i desviacions estàndard de les radiàncies de cadascun dels catorze camps delimitats per cada un dels quatre canals.

<i>Canal</i>	<i>Camp A</i>		<i>Camp B</i>		<i>Camp C</i>		<i>Camp D</i>		<i>Camp E</i>		<i>Camp F</i>		<i>Camp G</i>	
	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>
1	20,90	1,20	27,00	0,82	30,20	1,38	31,56	0,88	29,67	1,22	38,12	1,64	23,16	1,49
2	13,50	0,97	21,75	0,50	25,20	1,87	27,00	1,87	26,00	2,29	30,32	2,01	17,28	2,15
3	10,70	1,16	15,75	2,06	18,76	1,59	25,67	1,50	23,67	3,32	16,88	1,72	26,68	4,04
4	4,50	1,18	3,50	0,58	2,64	0,76	9,89	1,45	8,00	1,73	3,04	1,02	13,32	2,51

<i>Canal</i>	<i>Camp H</i>		<i>Camp I</i>		<i>Camp J</i>		<i>Camp K</i>		<i>Camp L</i>		<i>Camp M</i>		<i>Camp N</i>	
	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv. st.</i>
1	39,71	1,31	29,16	1,83	45,56	2,13	47,44	4,59	50,00	1,15	45,25	5,01	40,12	1,67
2	35,41	2,35	22,09	1,91	49,33	2,40	49,56	5,05	55,00	2,45	44,00	10,69	41,62	1,59
3	25,06	1,34	13,66	1,45	43,22	1,30	44,56	2,74	48,50	1,29	35,75	14,25	38,62	2,09
4	5,82	0,64	3,53	0,67	17,78	0,67	17,78	1,09	19,75	1,26	13,25	7,50	15,06	1,00

i tots els elements de definició la radiància dels quals és inclosa en aquesta classe passaran a ser visualitzats amb un determinat color. Els resultats, per al sector de l'illa de Buda, de la visualització de les dotze classes determinades pels dotze camps vàlids dels catorze seleccionats són reflectits a les figures 3-a i 3-b.

Resulta ben palès, a la vista d'aquestes figures, que els resultats són més aviat mediocres, si més no pel que fa a la definició precisa de les àrees ocupades per cada una de les unitats de paisatge vegetal (ben entès, considerant també com a unitats de paisatge vegetal les aigües interiors). Per contra, des d'altres punts de vista són manifestament reveladors. Els dos Calaixos de Buda, per exemple, són clarament diferenciats; el Calaix de Dalt (fig. 3-a) és inclòs a la classe definida a partir del camp H —cosa gens sorprenent, per tal com aquest camp havia estat definit com a representatiu de les aigües d'aquest estany— i també hi són les aigües somes de la banda esquerra de la desembocadura del riu; per contra, el Calaix de Mar (fig. 3-b) és clarament lligat a la mateixa classe que les aigües marines menys directament afectades per la descàrrega d'aigües del riu. L'explicació d'aquest fet no resulta totalment evident; les diferències entre tots dos Calaixos a la imatge poden venir determinades per diferències de profunditat, de terbolesa, de salinitat o de poblament. Sembla, tanmateix, que sigui lícit pensar primer de tot en diferències de salinitat (més salabros el Calaix de Mar) o de profunditat (més profund el Calaix de Dalt).<sup>3</sup> Això, és clar, sense comptar amb la possibilitat que l'analogia entre les aigües marines pròximes al delta i al Calaix de Mar sigui purament accidental i que llurs respectives intensitats de radiació siguin semblants però degudes a causes totalment diferents.

També la vegetació helofítica que envolta els Calaixos i l'estany de l'Aufacada hi és força ben recollida (el groc de la fig. 3-a). El camp seleccionat com a representatiu d'aquest tipus de vegetació ha resultat, doncs, prou homogeni i representatiu. Fins i tot, enmig del groc que representa la vegetació helofítica de la perifèria de l'Aufacada, hi apareixen alguns claps, corresponents generalment a jonqueres halòfiles, que ja havíem observat en el curs dels treballs de camp sense poder-los situar ben exactament.

Les classes definides a partir de la resta de camps triats, o bé són poc representades a la visualització de l'illa de Buda (cas dels camps A, B i D, fet i fet delimitats a la península dels Alfacs i —com indicarem més endavant— poc representatius), o bé apareixen barrejades de manera difícilment destriables (cas dels camps J, L i N). Analitzada més de prop, aquesta barreja no resulta tan indestriable, per tal com la classe definida a partir del camp N, representatiu dels salobrars densos, ocupa força uniformement una banda litoral situada al SW de la Gola de Migjorn (banda en la qual fou delimitat el camp N) i només es barreja amb la classe representativa de la sorra nua (la definida a partir del camp J) al litoral SE de l'illa de Buda, en una zona ocupada efectivament per poblaments esclarissats de plantes halòfiles; l'aparició esporàdica en aquest litoral d'algun element de definició corresponent a la classe establerta a partir

3. Redactat ja aquest text, les mesures preses per X. Ferrer confirmen que les diferències han de venir de la profunditat (1,5-2 m al Calaix de Dalt; 0,5-1 m al Calaix de Mar) i no de la salinitat, sensiblement idèntica a tots dos Calaixos.

del camp L (suposadament representatiu de les dunes) no tindria cap significació precisa, per tal com pot correspondre a alguna acumulació de sorra o, més senzillament, a un artefacte del mètode, per tal com la total representativitat del camp en qüestió pot ser posada en dubte a la vista de la imatge de la zona de la Illeta.

Les visualitzacions obtingudes de la península dels Alfacs seguint aquest mateix mètode han donat resultats molt menys satisfactoris. En general, totes les classes definides es barregen de manera molt difícilment interpretable, segurament a causa de llur nombre excessiu en relació amb el de les unitats realment presents i de les diferències molt petites que hi ha entre alguns i que els fan poc representatius. Tal vegada també hi hagi pesat el nostre coneixement previ de la «veritat-terreny», més precari en el cas dels Alfacs (el mapa de paisatge vegetal dels quals fou acabat després de feta l'experiència que acabem de descriure, mentre que el de l'illa de Buda era llest feia temps) que no en el de l'illa de Buda.

#### **4. VALORACIÓ DELS MÈTODES DE TELEDETECCIÓ MULTISPECTRAL A LA VISTA DELS RESULTATS OBTINGUTS**

No es tracta aquí de fer l'apologia ni la rebentada d'uns mètodes que tant a casa nostra com a fora estan a les beceroles. Cal, això sí, situar-los en el context de llurs possibilitats reals d'aplicació per evitar tant els optimismes exagerats com els escepticismes excessius que haguessin pogut generar els resultats, més aviat modestos i desiguals, que hem exposat.

Cal dir, primer de tot, que l'allunyament físic del centre de tractament de dades i la dificultat que això introduïa per a participar activament i seguir de prop aquesta etapa tan important de l'explotació de la informació captada pels sensors del MSS, ens ha obligat a limitar-nos a un treball que s'acostava més a una fotointerpretació clàssica que a cap altra cosa. Una fotointerpretació, això sí, que tenia com a punt de partida unes imatges ben diferents de les habituals (tot i que, fet i fet, tampoc no tan diferents de les imatges en fals color) i que era feta després, i no abans, de la realització del mapa de camp.

Les possibilitats d'explotació de les dades multispectrals va molt més enllà d'això. Tenir informació referent a la intensitat de radiació en diferents bandes de l'espectre fragmentada en elements de definició prou petits, manipulables i classificables de moltes maneres diferents mitjançant simplement l'aplicació dels algorismes adequats obre un camp d'aplicacions immens; cal només que els elements de definició siguin commensurats amb allò que es vol buscar i saber trobar en cada cas el tractament adequat. Cal també disposar d'ordenadors susceptibles de manejar l'allau d'informació que representa una imatge i de sortides d'ordenador que donin visualitzacions còmodament interpretables (no necessàriament en color).

Els elements de resolució de les imatges que facilita el satèl·lit LANDSAT-1 tenen unes dimensions (aproximadament  $60 \times 80$  m) que fan poc adequades aquestes imatges per a l'estudi de la vegetació. Només en llocs com el delta de l'Ebre, on les unitats són poc nombroses i llurs extensions —en general— són prou grans, poden resultar d'alguna utilitat. De fet, la imatge mateixa del

satèl·lit, un cop fetes les degudes correccions geomètriques i radiomètriques i interpretada, donaria un bon mapa de vegetació actual del delta a l'escala 1:100.000, però difícilment el donaria enlloc més. En altres camps, com l'estudi de les aigües superficials, tant continentals com marines, de les explotacions agrícoles o de la geomorfologia, les possibilitats de les imatges multispectrals obtingudes des de satèl·lit semblen molt més paleses.

Per a l'estudi de la vegetació tenen un interès molt més gran les imatges multispectrals obtingudes des d'un avió, per tal com els elements de resolució resulten més commensurats amb les dimensions dels elements del paisatge vegetal. Malauradament, els resultats d'un vol fet sobre el delta de l'Ebre el maig de 1976 no són encara disponibles en redactar aquest text (novembre 1976).

### BIBLIOGRAFIA

- CAMARASA, J. M.; FOLCH, R.; MASALLES, R. M., i VELASCO, E. 1977. «El paisatge vegetal del delta de l'Ebre». *Treb. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 8: 47-67. Barcelona.
- FOLCH, R. 1975. «La végétation du delta de l'Ebre». IXth. International Congress of Sedimentology. Nice, 1975. Field Guide to Trip 16: the Ebro Delta, pp. 66-67. Barcelona.
- KLEMAS, V. 1975. «ERTS - 1 observations of the Ebro Delta». IXth. International Congress of Sedimentology. Nice, 1975. Field Guide to Trip 16: the Ebro Delta, pp. 68-70. Barcelona.
- LACAZE, B. 1975. «Le traitement des données multispectrales acquises par télédétection. Applications à l'étude de la végétation». Thèse Dr. Ingénieur. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier.
- REBOLLO, M., and ESCUDERO, L. F. 1975. «Automatic Classification of Aircraft and Satellite Multispectral Images Using Mixed Integer Programming». Xth. International Symposium on Remote Sensing of the Environment, ERIM. Ann Arbor.
- REBOLLO, M., and ESCUDERO, L. F. 1977. «A mixed integer programming approach to Multi-Spectral Image Classification». *Pattern Recognition Journal*, 9 (1).