

## Usos del sòl i frontera agrària al sud-est de Nicaragua\*

Pere Pujol i Caussa  
Montserrat Pujadas i Tort

Universitat de Girona. Secció de Geografia.  
Plaça Ferrater Mora, 1. 17071 Girona. Spain

Data de recepció: març 1995  
Data d'acceptació: juliol 1995

### Resum

L'article exposa l'aplicació dels sistemes de posicionament global, els sistemes d'informació geogràfica i la teledetecció a l'estudi de la frontera agrària al sud-est de Nicaragua, a partir de l'elaboració del mapa d'usos de sòl de la zona. S'explica la metodologia de treball que s'ha seguit en l'elaboració del mapa d'usos del sòl a partir d'imatges TM del satèl·lit Landsat. També es fa una aproximació als fenòmens de la deforestació i la frontera agrària a Nicaragua, dins el context centreamericà.

**Paraules clau:** GIS, GPS, teledetecció, frontera agrícola, selva tropical, Nicaragua.

### Resumen. *Usos del suelo y frontera agraria en el sureste de Nicaragua*

El artículo expone la aplicación de los sistemas de posicionamiento global, los sistemas de información geográfica y la teledetección al estudio de la frontera agraria al sudeste de Nicaragua, a partir de la elaboración del mapa de usos de suelo de la zona. Se explica la metodología de trabajo que se ha utilizado en la elaboración del mapa de usos del suelo a partir de imágenes TM del satélite Landstad. También se hace una aproximación a los fenómenos de la deforestación y la frontera agraria en Nicaragua, dentro del contexto centroamericano.

**Palabras clave:** GIS, GPS, teledetección, frontera agrícola, selva tropical, Nicaragua.

### Resumé. *Usages du sol et frontière agricole au sud-est du Nicaragua*

Cet article présente l'application des systèmes de positionnement global, des systèmes d'information géographique, et de la télédétection, à l'étude de la frontière agricole au sud-est de Nicaragua, sur la base de l'élaboration de la carte des usages du sol de la zone. On expose la méthodologie d'élaboration de la carte des usages du sol basée sur des images TM du

\* Agraïm l'ajuda de Joan Lluís Alegret (Secció d'Història, Universitat de Girona) i de Luï Ventura García i Adela Moreno de l'Institut de Recursos Naturals i Agrobiologia de Sevilla (del CSIC) pel seu ajut en el tractament digital de les imatges de satèl·lit d'aquest estudi. Som conscients que habitualment s'utilitza el terme *frontera agrícola*, però ens sembla més precís parlar de frontera agrària, ja que, en el cas estudiat, la pèrdua de bosc primari és deguda, principalment, a l'agricultura itinerant i a la ramaderia extensiva.

satellite Landsat. On a réfléchi aussi sur les processus de déforestation de la frontière agricole à Nicaragua, dans le contexte centre-américain.

**Mots-clés:** GIS, GPS, télédétection, frontière agricole, forêt tropicale, Nicaragua.

**Abstract.** *Land use and the agricultural frontier in Southeastern Nicaragua*

This article focuses on the application of Global Positioning Systems (GPS); Geographical Information Systems (GIS), and Remote Sensing to the study of the agricultural frontier of Southeastern Nicaragua in the elaboration of a land use map of this area. The methodology of map elaboration, based on LANDSAT satellite images, is explained. A report on deforestation processes and the agrarian frontier in Nicaragua within the context of Central America is also included.

**Key words:** GIS, GPS, remote sensing, agricultural frontier, tropical rain forest, Nicaragua.

### Sumari

- |                          |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| 1. Introducció           | 4. Contextualització de l'estudi |
| 2. Metodologia           | 5. Conclusió                     |
| 3. Resultats de l'estudi | Bibliografia                     |

## 1. Introducció

Aquest article és fruit del Conveni per a la Delimitació de la frontera agrícola al sud-est de Nicaragua signat entre l'Asociación para la Cooperación con el Sur (ACSUR-Las Segovias) i la Universitat de Girona (UdG). Va ser realitzat entre el febrer de 1994 i el maig de 1995.

L'origen d'aquest projecte és en la demanda que l'Asociación de Municipios de Río San Juan (AMURS) de Nicaragua va realitzar als autors el juliol de 1993, i que consistia en la realització d'un estudi del límit actual de la frontera agrícola al Departament de Río San Juan a partir d'imatges de satèl·lit. L'objectiu de l'estudi era el d'elaborar un mapa que servís per fer l'ordenació del territori d'aquesta zona del país: planificació de les actuacions dels diferents organismes públics i privats nicaragüencs i estrangers dirigides al desenvolupament sostenible, la gestió dels recursos naturals i la protecció del medi ambient. Aquest mapa ha de permetre el coneixement qualitatiu i quantitatiu dels usos del sòl a l'àrea, com també la delimitació de la frontera agrària i dels fronts de penetració a la selva tropical del sud-est de Nicaragua.

Les característiques especials de la zona han determinat en gran mesura la metodologia de treball. El clima és de caràcter tropical plujós, sense època seca als grans boscos del sud-est de l'àrea d'estudi. L'índex de precipitacions oscil·la entre 1.400 mm al nord-oest i 6.300 mm a San Juan del Norte al sud-est —un dels registres més alts del món— (Teran, 1964, p. 140), on els agrada dir que plou tretze mesos l'any. Això ha condicionat el treball de camp i ha dificultat trobar imatges de satèl·lit sense núvols o amb pocs núvols. A més a més,

Nicaragua no disposa de cartografia de referència ni de fotografia aèria actualitzada de la zona d'estudi. Són freqüents els talls en el subministrament elèctric que varen dificultar el funcionament correcte de l'estació de referència del Sistema de Posicionament Global utilitzat. La inexistència d'una bona xarxa de comunicacions dificulta la mobilitat i l'accessibilitat a l'hora de realitzar el treball de camp. A més a més, certes àrees d'aquest territori són d'accés desaconsellable, a causa dels robatoris efectuats per grups armats que han quedat de la guerra de baixa intensitat dels Estats Units contra el règim sandinista —des de l'any 1981 fins al 1991.

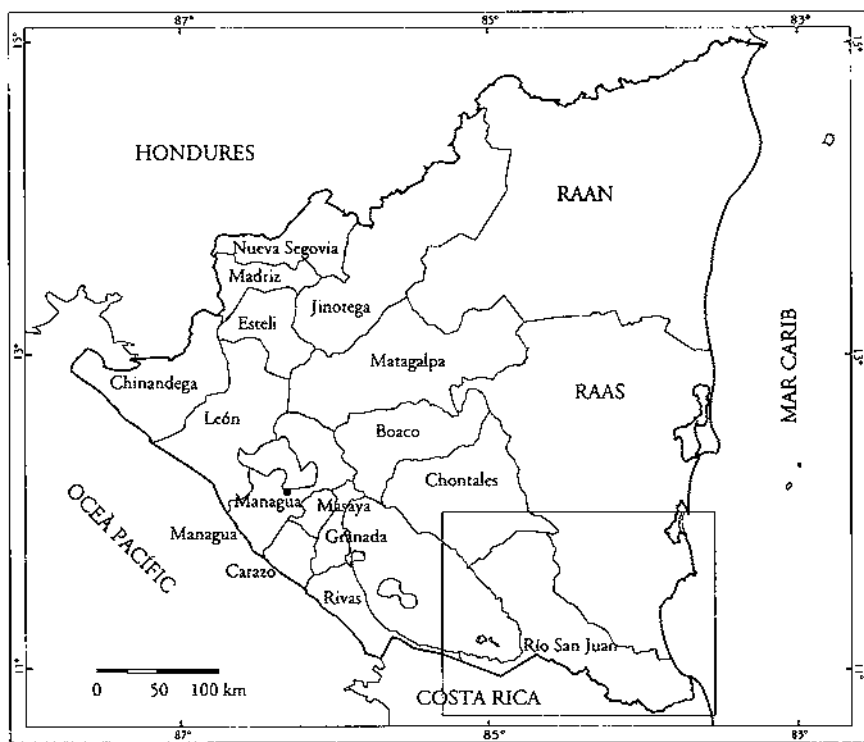
En els països tropicals, i a causa d'un cúmul de factors, la pressió sobre el medi ambient és cada vegada més gran i les conseqüències més greus. La sobrecàrrega del deute extern i el creixement demogràfic indueixen a una forta pressió sobre el medi ambient amb la sobreexplotació dels recursos naturals per augmentar les àrees de conreu i de pastures i l'extracció de fusta i llenya, ja sigui per al consum intern o per a l'exportació, la qual cosa provoca la dràstica reducció de les àrees naturals, principalment de selva tropical, afecta greument la flora i la fauna —en definitiva la biodiversitat— i hipoteca la renovació dels recursos naturals per a les generacions futures. Com a conseqüència, és urgent l'establiment d'una estratègia per al desenvolupament sostenible i la implantació d'un sistema d'àrees protegides.

## 2. Metodologia

La metodologia seguida és una adaptació de les metodologies exposades per Chuvieco (1990), Le Men (1990) i Thomas (1987), i és un exemple de la integració dels sistemes de posicionament global, la teledetecció i els sistemes d'informació geogràfica i, com es pot observar en el gràfic 1, consta de quatre fases principals i de tretze passos.

La primera fase és de preparació de l'estudi i és on es defineixen els objectius que, com ja s'ha comentat, són: l'elaboració d'un mapa d'usos del sòl que permeti l'anàlisi qualitativa i quantitativa d'aquests sòls, la delimitació de la frontera agrària<sup>1</sup> i dels fronts de penetració a la selva tropical. També s'ha d'escollir l'escala principal de presentació, que serà a 1:250.000, i l'àmbit territorial de l'estudi, que està situat al sud-est de Nicaragua (vegeu mapa 1). És una àrea de 191 km de nord a sud, de 146 km d'est a oest i una superfície de 27.914 km<sup>2</sup> —comptant les masses d'aigua—, que comprèn el Departament de Río San Juan i el sud de la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS), i limita al nord-oest amb el Departament de Chontales, al nord amb la resta de la RAAS i la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN), al sud amb Costa Rica, a l'est amb el mar Carib i a l'oest amb el llac de Nicaragua (vegeu mapa 2).

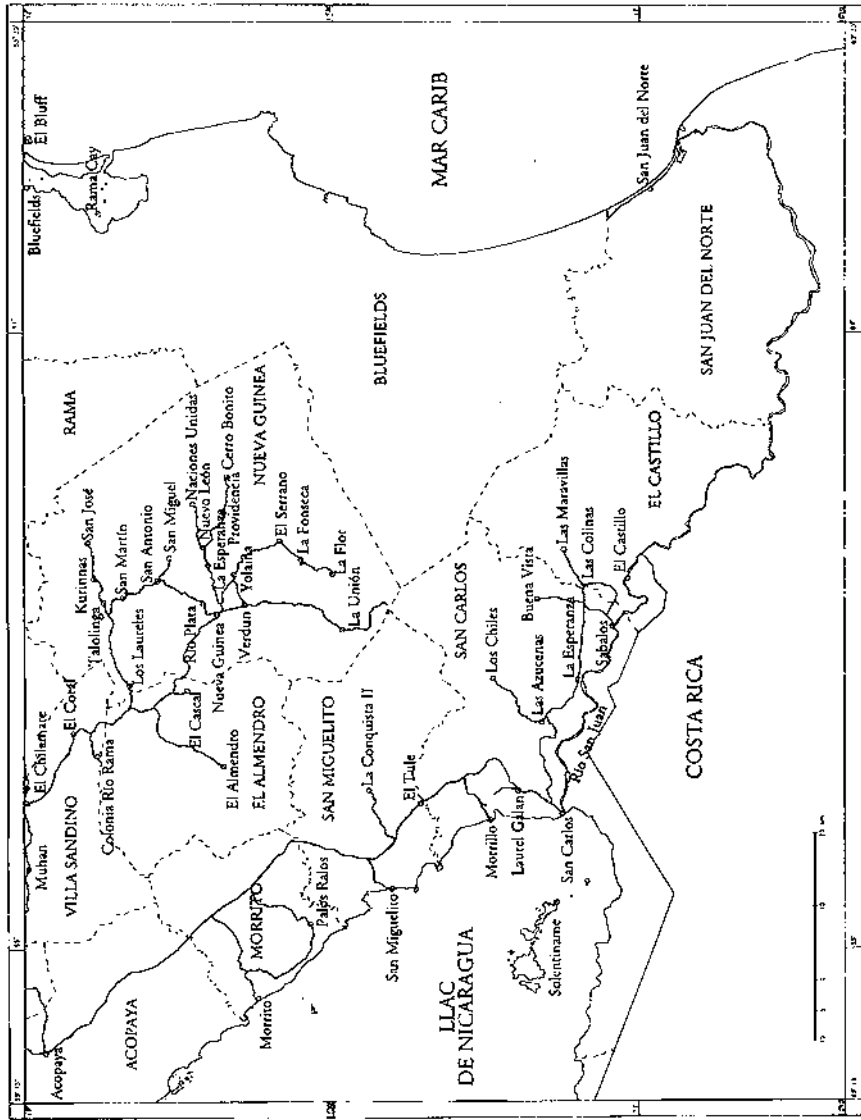
1. Per frontera agrària s'entén el límit entre el bosc primari —no alterat per la intervenció humana— i les àrees antropitzades, com per exemple: pastures, conreus, camps en guaret, boscos esclarissats, poblacions, etc.



Mapa 1.

Seguidament s'han de seleccionar el satèl·lit, el sensor i les imatges. S'ha escollit el sensor TM del satèl·lit Landsat per la seva resolució espacial —la grandària de l'àrea més petita sobre la superfície de la Terra de la qual el satèl·lit captarà informació— que és de 30 x 30 m; per la seva resolució espectral, que indica el nombre de canals de l'espectre electromagnètic que pot diferenciar un sensor i la seva amplitud, i que és de 7. I, també, per la manca d'imatges del sensor MSS de la zona i les mateixes dates.

Per cobrir l'àrea de treball es necessiten dues escenes Landsat-TM: la 15-52 i la 16-52. I les imatges escollides són del 3 d'abril de 1992 i del 13 de juny de 1992, respectivament. No és possible disposar d'imatges del mateix mes, per la cobertura de núvols. Hi ha un desfasament de dos anys entre l'enregistrament de les imatges i la realització del treball de camp —març i abril de 1994—, però, com ja s'ha comentat anteriorment, aquesta és una zona amb un registre de pluviositat molt elevat, i és per això que la totalitat de les imatges captades pel satèl·lit entre juliol de 1992 i juny de 1994 tenen una cobertura de núvols superior al 50% a la nostra àrea d'estudi. Tor i així, les dues imatges utilitzades tenen un cobriment de núvols del 17% i del 19% respectivament, cosa que implicarà cercar la informació de les àrees cobertes per



Mapa 2. Sud-est de Nicaragua.

tiva —que possibilita la classificació de tota la superfície d'estudi— i si es poden discriminar més o menys categories en el procés de classificació de les imatges, havent d'ampliar-la o reduir-la.

Una de les tasques més importants de tot l'estudi és la discriminació a les imatges de satèl·lit de les diferents cobertes del sòl, cosa que es realitza a partir de la identificació de la resposta espectral de cada una, és a dir, identificar quins valors numèrics —nivells digitals— tenen. Això es fa, normalment, delimitant unes àrees sobre ortofotomapes o fotografies aèries de la zona d'estudi, de les quals es coneix el tipus de coberta del sòl que les ocupa. Aquestes àrees, anomenades de mostreig, es georeferencien —per exemple, es delimiten sobre mapes topogràfics i després es digitalitzen amb una taula digitalitzadora— per poder-les sobreposar a la imatge de satèl·lit i poder discriminar les classes de la llegenda. Però com que en el nostre cas no es disposava de fotografia aèria actual ni d'ortofotomapes, es va optar per obtenir-les amb la realització de treball de camp, georeferenciant aquestes àrees directament sobre el terreny amb un sistema de posicionament global (SPG), que proporciona informació en format digital, que haurà de ser tractada posteriorment per poder-la sobreposar a les imatges corregides geomètricament. Aquest és un sistema implementat pel Departament de Defensa dels Estats Units d'Amèrica, que permet el posicionament de qualsevol punt sobre la superfície de la Terra, el mar o l'aire i la navegació marítima, aèria o terrestre, utilitzant un conjunt de 24 satèl·lits Navstar<sup>2</sup>.

La georeferenciació de les àrees d'entrenament es va realitzar amb dos aparells de sistemes de posicionament global, un de «mòbil» i un de «fix» anomenat també *estació de referència*. Els equips utilitzats són dos aparells Path Finder Basic Plus de Trimble Navigation. L'estació de referència resta fixa en un lloc de coordenades conegudes<sup>3</sup> —en el nostre cas va ser instal·lada a l'Ajuntament de la ciutat de San Carlos, al Departament de Río San Juan—, i amb l'aparell mòbil es van delimitant les àrees de mostreig per tot el territori d'estudi. L'ús de dos aparells augmenta la precisió de les posicions un cop realitzat el procés anomenat correcció diferencial, que consisteix en la comparació de la informació captada en el mateix moment per cada un. La correcció diferencial en postprocessament —la tècnica aplicada en aquest estudi— és una tècnica de gran precisió, ja que, en la majoria dels casos i amb els nostres aparells, l'error de posicionament està entre 2 i 5 metres —bastant inferior a la grandària d'un píxel del Landsat-TM—, mentre que si només es treballa amb un sol aparell aquest error pot arribar fins als 100 m. Per la delimitació de les àrees de mostreig es tracta de desplaçar-se fins als vèrtexs que definiran l'àrea d'ús del sòl o polígon que es vol definir i enregistrar amb l'aparell d'SPG les

2. Navigation Satellite Timing and Ranging (satèl·lit de navegació, cronometria i distànciometria).
3. Les coordenades de l'estació de referència es varen calcular a partir de les posicions que aquesta mateixa va estar enregistraant durant el mes i mig del treball de camp, en total 1.354.879.

coordenades de cada vèrtex, al mateix temps que l'estació de referència enregistra l'error de cada satèl·lit en un arxiu digital. Posteriorment, en un ordinador i amb un programa informàtic, es comparen els dos arxius generats al mateix temps i es corregeix una bona part de l'error provocat per la transmissió del senyal dels satèl·lits fins als receptors i per la degradació de la precisió per a ús civil que efectua l'esmentat Departament nord-americà. Per obtenir la precisió de 2-5 m és necessari que els dos aparells treballin sempre a menys de 500 km l'un de l'altre.

Un cop enregistrades i corregides totes les posicions de les àrees de mostreig, es verifiquen els resultats comprovant la coherència de la distribució dels punts que formen cada polígon. Una vegada verificada la informació s'ha d'exportar al programa de tractament d'imatges per poder sobreposar aquests polígons a les imatges geomètricament corregides i possibilitar així la discriminació dels diferents usos del sòl de l'àrea d'estudi. Normalment, del total d'àrees de mostreig una part es destina a la classificació supervisada de les imatges i l'altra a la verificació dels resultats. El primer grup s'anomena *àrees d'entrenament*, mentre que el segon s'anomena *àrees de test*.

El mostreig espacial ha de servir per seleccionar una mostra de l'àrea d'estudi que sigui suficientment representativa, és per això que cal que les àrees de mostreig estiguin homogèniament distribuïdes per tot el territori d'estudi i que formin un conjunt representatiu de totes les cobertes que es volen discriminar a la imatge i dels diferents estats possibles de cada coberta —per exemple, a l'obaga i a solell.

Per al mostreig s'ha utilitzat el mètode sistemàtic no alineat, que consisteix a dividir l'àrea d'estudi en una malla regular de quadrats —per exemple, la quadrícula UTM de 10 x 10 km o 20 x 20 km—. A les zones més antropitzades i, per tant, amb més variabilitat de cobertes del sòl, es va utilitzar la quadrícula de 10 x 10 km, deixant la de 20 x 20 km per a les zones menys poblades i amb menys accessibilitat i variabilitat.

La tercera fase se centrarà en la teledetecció, utilitzant el programa de tractament d'imatges per estació de treball Image Station Imager-2 d'Intergraph. La primera operació que s'haurà de realitzar amb les imatges és la reducció d'informació, per agilitar els processos de càlcul i reduir el volum de dades que caldrà emmagatzemar. Això es farà retallant de les imatges TM originals l'àrea de treball, que tindrà 6.359 columnes i 4.877 línies, amb un total de 31.012.843 píxels.

El sensor TM del Landsat capta en 7 canals o bandes la radiació electromagnètica que les cobertes de la superfície de la Terra reflecteixen i/o emeten. Per als nostres objectius no seran necessaris tants canals i, per tant, el pas següent en la reducció d'informació serà la selecció dels canals més adequats per discriminar els sòls sense vegetació de les zones amb vegetació i ressaltar les diferents intensitats de cobertura de vegetació. Això serà possible gràcies al comportament espectral característic de la vegetació, que experimenta una alta radiància en la zona de l'infraroig proper —banda 4— i una gran absorció en la zona del visible, sobretot en la del color vermell —banda 3—. Això és degut

a què en el visible els pigments de la fulla absorbeixen la major part de la llum que reben per poder realitzar la funció clorofil·lica, mentre que en l'infraroig proper les fulles reflectiran quasi tota l'energia rebuda, produint així un gran contrast entre aquestes dues bandes; mentre que els sòls sense vegetació i/o amb vegetació malalta o amb poca activitat clorofil·lica produiran un menor contrast. Aquest comportament radiomètric permetrà que l'anàlisi de la vegetació es pugui concentrar en aquestes zones de l'espectre electromagnètic realitzant unes transformacions lineals amb els canals escollits, el 3 i el 4, tal com aconsellen diversos autors, com Baret (1991, p. 104), Chuvieco (1990, p. 307), Hill (1991, p. 156) i Jensen (1986, p. 160). Amb aquests canals escollits es realitza un índex de vegetació de diferència normalitzada (IVDN)  $\frac{B4 - B3}{B4 + B3}$  amb la qual

cosa s'aconsegueix reduir l'efecte de les ombres, provocades pels pendents i per l'orientació, i ressaltar la presència de vegetació fotosintèticament activa. A més a més de l'IVDN s'utilitzarà la banda 4 perquè respon bé a la vegetació i a la humitat, i la banda 7 per diferenciar graus d'humitat; per exemple, diferenciar pastures seques de pastures humides, àrees inundades i sòls secs i erosionats.

Les imatges preses des d'avions o satèl·lits presenten unes deformacions geomètriques que impossibiliten la seva sobreposició a mapes —topogràfics o temàtics— o la unió amb altres imatges de satèl·lit, com també el càlcul de distàncies i de superfícies, i el càlcul de les coordenades d'elements geogràfics amb tota precisió. Hi ha dos tipus de deformacions geomètriques: les sistemàtiques i les no sistemàtiques. Les primeres són provocades per l'esfericitat de la Terra i la seva rotació mentre el satèl·lit capta una imatge, per l'augment de grandària dels píxels a mesura que s'allunyen del centre de la imatge, per les diferències de velocitat en el gir del mirall del sensor. En canvi, les segones són provocades per moviments del satèl·lit —en qualsevol dels tres eixos— o a canvis de velocitat i altitud d'aquest. Les sistemàtiques són solucionades en els centres de distribució d'imatges i les no sistemàtiques es corregiran a partir d'un mètode manual que consisteix en l'establiment d'un conjunt de punts de control, identificables en les imatges de satèl·lit i en els mapes topogràfics, on es calcularan les seves coordenades. Els mapes s'utilitzaran, doncs, com a sistema de referència per georeferenciar les imatges. Els punts de control, que han d'estar distribuïts més o menys homogèniament per tota la imatge, seran elements geogràfics fàcilment identificables, com per exemple, accidents de la costa, cruïlles de carreteres, límits urbans —tenint en compte el creixement urbà—, etc.

Seguidament es passarà a interpretar digitalment la imatge fent-ne una classificació multispectral mitjançant el classificador de paral·lelepípedes, exposat per diversos autors com Chuvieco (1990), Jensen (1986) i Thomas (1990). Consisteix a esbrinar la resposta espectral o el valor numèric que cada classe de la llegenda pren en les imatges. Es fa sobreposant les àrees de mostreig —de les quals es coneix el tipus d'ús del sòl, ja que s'ha verificat sobre el terreny— a la imatge i fent que el programa classifiqui automàticament tots els píxels. Amb aquesta operació es coneixerà el valor numèric de cada classe. Si, per



exemple, les pastures prenen valors entre 46 i 74, el programa de tractament d'imatges classificarà tots els píxels de la imatge que tinguin un valor entre aquests dos números com a pastures. I així successivament amb cada una de les classes.

En tot treball de teledetecció s'utilitzen les àrees de test, que són una part de les àrees definides en el treball de camp, per verificar el resultat de la classificació de la imatge. Aquestes àrees de test han de ser representatives de les diferents classes de la llegenda i estan homogèniament distribuïdes per tot el territori d'estudi. El procés consisteix a sobreposar aquests polígons georeferenciats amb l'SPG a la imatge classificada per comprovar si el resultat és correcte, és a dir, si s'ajusta a l'observat durant el treball de camp amb la imatge classificada. En el nostre cas només tindran un paper orientatiu, ja que s'ha de tenir en compte el desfasament de dos anys entre la captació de les imatges i la realització del treball de camp. Així doncs, s'han utilitzat per verificar qualitativament i no quantitativament la coherència dels resultats. En algunes zones no hi ha dubte, quan, per exemple, el 1994 hi ha bosc dens —ho sabem pel treball de camp— i el 1992 també n'hi havia. Si el 1992 hi ha bosc dens i el 1994 hi ha bosc esclarissat implicarà que aquesta zona ha estat deforestada. El que seria incorrecte seria que el 1992 hi hagués pastures i el 94 bosc dens. De totes maneres, el resultat final ha estat contrastat amb treball de camp —en les zones conflictives— i amb tècnics nicaragüencs.

Tot seguit s'aplica un filtre modal de 3 x 3 per forçar la reclasseficació dels píxels aïllats i no classificats, com també per suavitzar el seu aspecte picat, i plegat de píxels aïllats dins d'àrees de cobertes més homogènies.

La informació de les àrees que queden sota dels núvols més intensos haurà de ser obtinguda a partir d'informació complementària i digitalitzada en la fase següent.

La quarta i última fase consisteix en la integració de la informació procedent de la classificació en un sistema d'informació geogràfica, per afegir-li la informació complementària —carreteres, rius, nuclis de població, límits administratius, àrees protegides—, per completar la informació d'usos del sòl que quedava amagada sota els núvols i preparar i editar el mapa. Aquest procés s'ha realitzat amb el programa ArcInfo v. 7.2 per a estació de treball, d'ESRI.

La definició de l'estructura de la base de dades és un dels passos més importants dins d'un projecte de SIG, ja que gran part de la qualitat de l'anàlisi i, per tant, dels resultats finals depenen d'això. Cada tipus d'element geogràfic serà emmagatzemat en una capa diferent i representat amb un tipus d'element geomètric —punts, línies o polígons—. Així doncs, les vies de comunicació i la xarxa hidrogràfica seran representades per línies, mentre que la resta —límits administratius departamentals i municipals, nuclis de població i les àrees protegides— per polígons.

Un cop s'ha definit l'estructura de la base de dades es transformarà la informació d'usos del sòl en format *raster* —procedent de la tercera fase de l'estudi— a format vectorial i es completarà mitjançant la digitalització. Un cop realitzada la digitalització, la informació de cada capa s'integra a la base de

dades del SIG construint la topologia i editant, si és el cas, l'arxiu per corregir els possibles errors de nodes i/o etiquetes.

Finalment, se seleccionarà la informació necessària de la base de dades i es prepararà per elaborar el mapa. Tal com proposen Chuvieco i altres (citats a Chuvieco, 1990, p. 133), la unitat mínima de superfície que es cartografiarà serà de 0,06 cm<sup>2</sup> sobre el mapa (2,5 x 2,5 mm), que a escala 1:250.000 representaran 0,39 km<sup>2</sup> de territori (625 x 625 m). Així doncs, la informació s'haurà de generalitzar mitjançant l'eliminació dels polígons de menys de 0,06 cm<sup>2</sup>.

### 3. Resultats de l'estudi

Com es pot observar tant a la taula 1 com en el mapa 3, el 52,37% del sòl de l'àrea d'estudi està ocupat per bosc planifoli dens, en aquest cas, selva tropical humida, sobretot a l'est i al sud-est. Mentre que el 15,09% està cobert per bosc planifoli esclarissat, i que és bosc dens intervingut o conreus en guaret (tacotal) en els quals s'està regenerant el bosc.

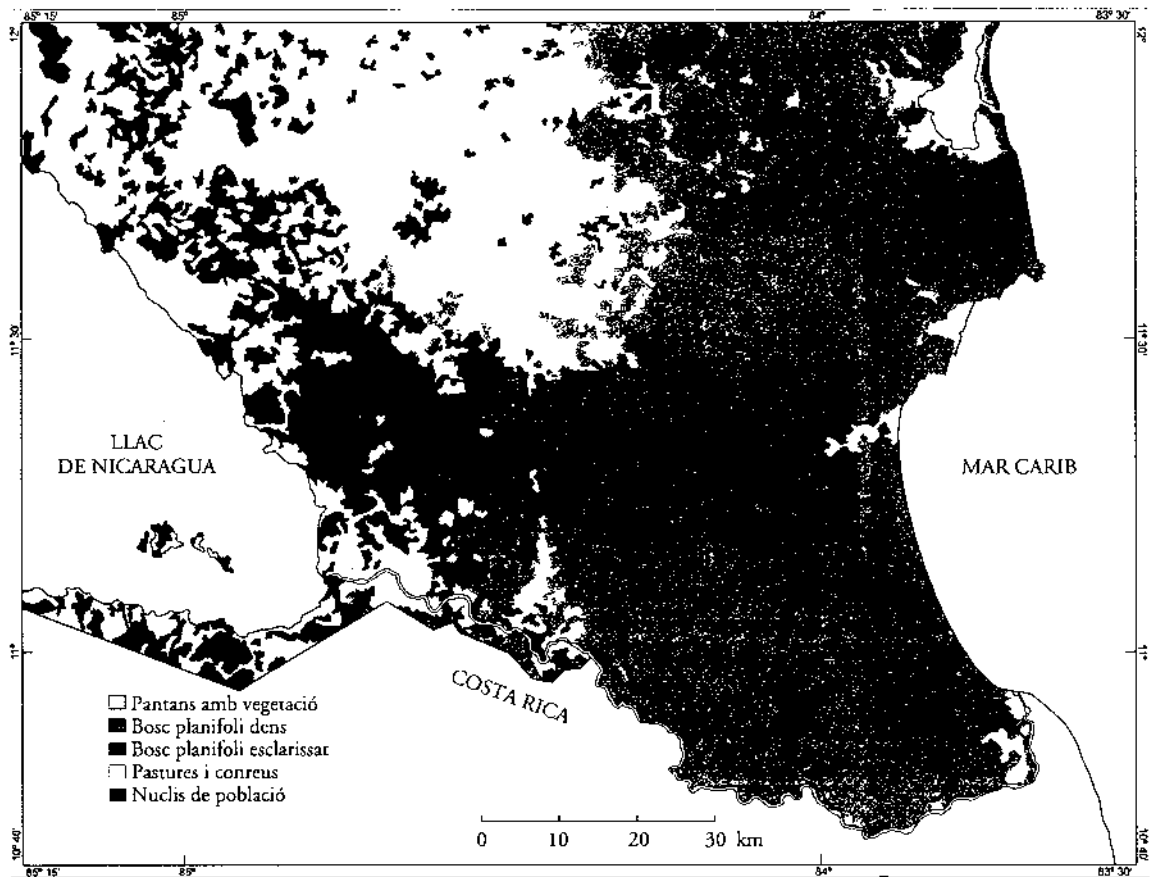
El sòl urbanitzat només representa 25,79 km<sup>2</sup>, cal pensar que és una zona de poblament feble i dispers. Com que en el mapa 3 la informació ha estat generalitzada per raons cartogràfiques —anteriorment esmentades— només hi apareixen quatre nuclis de població dels de la zona —vegeu mapa 2—.

Dels conreus de cicle curt, com ja era de suposar, només se n'ha pogut delimitar l'arròs d'inundació, ja que ocupa una àrea ben definida prop de la població de Palos Ralos, amb 36,26 km<sup>2</sup>. La resta d'àrees de conreu de cicle curt, en tenir una ubicació espacial molt dispersa, altament imbricada amb altres usos del sòl, de grandària relativament petita i per estar sotmeses periòdicament a canvis, no s'han discriminat, i queden incloses en les classes de pastures i de bosc esclarissat, segons el grau de vegetació i la pròpia estructura.

Dels conreus de cicle llarg se n'han discriminat les pastures, amb 4.888 km<sup>2</sup> i un 29,28% —donen idea del fort procés d'intervenció que està patint la zona— i els cocoters, amb 11,87 km<sup>2</sup>, localitzats a les platges del Carib.

Taula 1. Usos del sòl del sud-est de Nicaragua.

	km <sup>2</sup>	%
Bosc planifoli dens	8.742,87	52,37
Bosc planifoli esclarissat	2.519,34	15,09
Pastures	4.888,11	29,28
Arròs	36,26	0,22
Cocoters	11,87	0,07
Vegetació herbàcia de pantà	206,28	1,24
Yolillo (palma)	263,07	1,58
Platja	1,48	0,01
Nuclis de població	25,79	0,15
<b>Total</b>	<b>16.695,07</b>	<b>100,00</b>



Mapa 3. Usos del sòl al sud-est de Nicaragua.

La vegetació herbàcia de pantà i el *yolillo* —tipus de palma— indiquen les zones que permanentment o estacionalment estan inundades. I tenen més presència a Los Guatuzos i a la costa del Carib.

La classe aigua que no apareix a la taula 1 representa el riu San Juan, que connecta el llac de Nicaragua i el mar Carib, i a partir d'El Castillo i fins a la seva desembocadura fa de frontera amb Costa Rica.

Encara que a la taula 1 només hi hagi constància d'1,48 km<sup>2</sup> de platges, s'ha de tenir en compte la costa del Carib de la zona estudiada que està ocupada principalment per bosc planifoli, mangles i *yolillo*, i que la major part de platja està ocupada per cocoters.

En resum, el 55,19% de la zona no ha estat alterada o ho ha estat moderadament —bosc planifoli dens més *yolillo* i pantans amb vegetació herbàcia— i representa la meitat est de l'àrea d'estudi i Los Guatuzos —l'estreta franja al sud del llac de Nicaragua—. Es pot observar com al centre de la part occidental queda un reducte de bosc dens, però que va sent esmicolat.

Es pot observar en el mateix mapa com en el front pioner —el més recent de l'ocupació— la major part de la superfície està coberta per bosc esclarissat, que donarà pas a les pastures, mentre que a la reraguarda —zona d'ocupació més antiga— el bosc esclarissat va prenent força, a causa de l'abandó de les terres per la manca de fertilitat, i on lentament es va regenerant el bosc.

Comparant els mapes 2 i 3 es constata que la penetració a la selva es realitza primerament a partir de les vies naturals i les obertes en el bosc tropical, és a dir, els rius navegables i les pistes d'explotació forestal. Aquestes vies possibilitaran el desplaçament i el transport de les pertinències dels nousvinguts i facilitaran també la comercialització dels excedents agrícoles i forestals —lletya i carbó—. Juntament amb aquestes hi ha els camins transitables només a peu o a cavall.

A la zona d'El Castillo i Boca de Sábalo es pot observar un perfecte front de penetració en forma de punta de llança, que va cap a Nueva Guinea —al nord— passant per Las Colinas i Buena Vista. S'hi observa com el front va penetrant en el bosc dens, seguint el riu Sábalo.

En el mapa 3 podem apreciar el límit de la frontera agrària i els fronts de penetració que van, a la zona septentrional, cap a l'est; a la zona central, cap al sud-est, i a la zona meridional, d'oest a est, i de sud a nord a partir del riu San Juan.

S'hi pot apreciar com la gran massa de bosc dens es va desintegrant en petites illes de bosc que, si continua l'avanç de la frontera agrària com fins ara, desapareixeran en pocs decennis. Aquest procés anirà acompanyat de forts processos de desertització, com ja està succeint als departaments de Chontales i Boaco, just al nord-oest de la zona d'estudi.

#### 4. Contextualització de l'estudi

Per tenir una idea més global del fenomen, farem una descripció ecològica breu de la selva tropical humida —principal ecosistema natural de l'àrea d'estudi—, com també d'alguns fenòmens que hi estan estretament lligats: la defo-

restació i la frontera agrària. Ho farem pel cas específic de Nicaragua dins del marc general centreamericà.

El bosc tropical humit és característic de les zones de clima equatorial i tropical amb precipitacions superiors a 2.200 mm anuals, regularment distribuïdes durant pràcticament tot l'any. Està constituït per arbres de fulla perenne, amb una vegetació densa —arbòria, de lianes i d'epífits— d'una alçada de 30 a 50 metres, la qual cosa crea una mena de microclima al seu interior, amb temperatures elevades i molt constants al llarg de tot l'any —entre 26 i 28° C— i amb una humitat atmosfèrica elevada —normalment superior al 80%—, perquè entre el 20% i el 25% de l'aigua de pluja s'evapora.

Aquest és un bosc amb una gran diversitat biològica, en 1 km<sup>2</sup> pot haver-hi més de 1.000 espècies diferents d'arbres (Strahler, 1989, p. 456; Regòs, 1989, p. 45; Whitmore, 1991, p. 31). L'ecosistema és ric però els sòls són pobres, tenen una escassa fertilitat perquè la major part dels nutrients —minerals i sals— estan retinguts a la matèria viva, i també perquè tenen un elevat grau de meteorització química i de mineralització que provoquen les abundants pluges i les elevades temperatures. Aquestes pluges ocasionen un rentat de nutrients i de cations bàsics, els sòls —pH entre 4,6 i 5,2.

Un dels processos més importants que afecten el medi ambient en els països tropicals és la intensa deforestació. A l'Amèrica Central abans de 1950 la selva tropical estava quasi intacta i cobria el 75% del territori (Heckadon, 1993, p. 31). A principi dels anys seixanta havia estat reduïda al 80% i a final dels vuitanta al 40% del bosc original (Adams, 1994, p. 280), cobrint el 30% del territori.

El cas de Costa Rica és paradigmàtic a principi de la dècada dels vuitanta aquest país tenia un dels índexs de deforestació més alts del món, amb una pèrdua anual del 4% de superfície forestal. De 1970 a 1980 varen ser talats 7.000 km<sup>2</sup> de boscos, que representen el 13,7% de la superfície del país (Goodman, 1991, p. 188-189). En quaranta anys (1950-93) el 50% de la superfície del país ha deixat d'estar coberta per boscos, amb una pèrdua neta de 26.000 km<sup>2</sup>.

El procés de deforestació a Nicaragua és alarmant. El 1952 la FAO va estimar que Nicaragua tenia 63.000 km<sup>2</sup> de bosc planifoli, mentre que el 1993 només en quedaven 21.270 km<sup>2</sup> (FACS-CEPAD, 1993, p. 11). És a dir, que la taxa de deforestació en aquest període va ser del 66,2%, la qual cosa representa una pèrdua neta de 41.730 km<sup>2</sup>. L'Instituto de Recursos Naturales y Medio Ambiente (IRENA) de Nicaragua estima que la superfície deforestada durant els anys vuitanta ha estat a l'entorn dels 1.000 km<sup>2</sup> anuals, encara que durant els anys de guerra contrarevolucionària s'hauria reduït a 400 km<sup>2</sup>, mentre que el 1990, amb la fi del conflicte armat, el ritme s'hauria incrementat fins a 1.500 km<sup>2</sup> anuals.

Aquesta deforestació és provocada per una llarga sèrie de factors, un dels més importants és l'avanç de la frontera agrària per augmentar les terres de pastures i de conreu. En els últims vint anys més del 50% dels boscos d'Amèrica Central han estat transformats en pastures —per produir carn que servirà per fer hamburgueses—, per posar-ne un exemple, el 45% del territori de Costa Rica

està dedicat a aquesta activitat (Valerio, 1991, p. 140). A Nicaragua la tala de bosc planifoli per a l'ús agrari —agricultura itinerant i ramaderia extensiva— és la causa principal de deforestació (FACS-CEPAD, 1993, p. 12). Segons la FAO (1982, p. 23), aquest sistema d'agricultura era el responsable del 35% de la deforestació d'Amèrica Central a principi dels anys vuitanta. La segona causa és el consum de llenya per obtenció d'energia —per a ús domèstic o industrial, de petites i mitjanes empreses rurals—. El 75% de la població centreamericana utilitza la llenya com a font d'energia i més del 50% de l'energia consumida a la regió prové de la llenya (Heckadon, 1993, p. 33), mentre que a Nicaragua és del 85%, amb un volum de 3,7 milions de m<sup>3</sup> de fusta anuals, aquest és dotze vegades més gran que el consum de fusta amb finalitat industrial (FACS-CEPAD, 1993, p. 12).

Important també és l'extracció de fusta per a l'exportació i per a la construcció de cases i tanques per al bestiar, i per crear monocultius o plantacions de productes d'exportació com ara els plàtans, el margalló, la pinya, el cacau i el cafè.

La dinàmica actual de la frontera agrària al sud-est de Nicaragua és marcada per l'agricultura itinerant. Els camperols més pobres talen i cremen el bosc primari. Moltes vegades, per poder-ho fer i per viure fins a les primeres collites, han de demanar crèdits a interessos molt elevats. Les cendres fertilitzaran mínimament els conreus dels tres o quatre anys següents. Llavors se sembra arròs de secà, fesols i blat de moro, la major part de les vegades no s'ha llaurat la terra i es fa a ruix. Per augmentar la productivitat es realitza la rotació de conreus, fins que el terra es torna improductiu, llavors es deixarà en guaret alguns anys o serà utilitzat perquè hi pasturi el bestiar. Amb la productivitat decreixent d'aquestes terres, molts camperols no podran pagar els deutes i al cap de pocs anys les hauran de malvendre parcialment o totalment a camperols que es troben en una situació més bona o a ramaders que, a poc a poc, aniran concentrant grans extensions de terra. Així doncs, els camperols més pobres hauran de tornar al límit del bosc una altra vegada. En els darrers anys, el catalitzador principal de l'avanç de la frontera agrària és l'extracció de fusta, ja que per les pistes forestals obertes per aquest tipus d'explotació entraran d'una manera més fàcil més colons, que s'haniran establert als marges d'aquestes pistes.

L'increment de la pressió sobre les terres causat per l'escassetat creixent de terres disponibles i per l'augment de la població fa que el temps de guaret —que permet la regeneració natural de la fertilitat del sòl— sigui cada vegada més curt, provocant una degradació més gran del sòl, amb la pèrdua de fertilitat, l'erosió, l'empobriment de la vegetació i el desenvolupament de forts processos de desertització.

El procés de colonització de la frontera agrària al sud-est de Nicaragua va iniciar-se principalment a mitjan segle XX. Històricament aquesta zona de Nicaragua va ser oblidada —marginada— de la resta del país, i encara actualment presenta un alt grau de desintegració territorial. El comerç, el subministrament d'energia, els serveis, els mitjans de comunicació, les infraestructures viàries i productives són deficientes i problemàtiques.

Entre 1950 i 1960 es va estructurar el model agroexportador, amb l'espectacular creixement de la producció agrària per a l'exportació en els sectors del cotó, la carn, el sucre, el tabac i el cafè. Per poder-ho dur a terme es va procedir a la concentració de terres per a la formació de latifundis, amb l'apropiació de les terres comunals i de petits camperols, que varen ser expulsats cap a les ciutats o les zones de nova colonització (CIERA, 1983 i 1987), sobretot al sud-est del país. Entre 1949-1950 varen ser plantades 36.714 hectàrees de cotó a les terres més fèrtils del país —a la plana costanera del Pacífic—, a les regions de León i Chinandega (Ruiz, 1989). Aquest model agroexportador també es va aplicar a la ramaderia. L'any 1961 Nicaragua comptava amb 17.100 km<sup>2</sup> de pastures, mentre que el 1978 eren ja 28.200 km<sup>2</sup>. El nombre de caps de bestiar es va duplicar en aquest mateix període passant a ser de 3 milions el 1978. Tant l'augment de pastures —d'11.100 km<sup>2</sup> en 17 anys—, com el nombre de caps de bestiar van ser els més alts d'Amèrica Central (Ruiz, 1989, p. 210).

A partir d'aleshores milers de famílies sense terra han emigrat cap a les zones de nova colonització en el límit de la selva procedents de les àrees densament poblades, econòmicament deprimides i més degradades ambientalment i socialment. Aquesta gent no disposa dels recursos econòmics suficients i els tècnics no són adequats.

Fins al 1979 Nicaragua va tenir un paper d'importador de capitals i exportador de productes primaris. El territori nicaragüenc es repartí, històricament, entre les diferents fraccions del capital nacional, estretament lligades al capital financer internacional, i certes companyies internacionals. Les unitats productives principals eren de tipus enclavament —plantacions, enclavaments miners— cobrint el territori i produint una situació de desintegració espacial. Així doncs, l'economia nicaragüenca era controlada per l'oligarquia ramadera, la burgesia cafetera i cotonera i les companyies multinacionals explotadores dels recursos naturals (Klein, 1987, p. 6).

La situació va canviar el 1979 quan l'FSLN, amb el triomf revolucionari, va dur a terme la nacionalització dels recursos naturals i una important reforma agrària per proporcionar terres en propietat als camperols, per reduir el latifundisme i per augmentar la producció i la productivitat. El 50% de les terres conreables estaven en mans de 2.000 propietaris —amb propietats de més de 140 hectàrees—, mentre que el 70% dels camperols en posseïa el 2% —amb propietats de menys de 14 hectàrees— (Wheelock, 1986). Amb aquesta reforma agrària, des de 1981 fins al 1990, es varen entregar 1.050.000 hectàrees de terra a 60.000 famílies, en propietat individual o cooperatives (Ruiz, 1989, p. 217).

La guerra de baixa intensitat dels EUA contra Nicaragua (1981-1990) va frenar l'avanç de la frontera agrària. El sabotatge sistemàtic que la Contra va realitzar a les explotacions agràries i forestals de la zona, va provocar el reassentament d'una part de la població en zones més poblades i menys conflictives, la fugida de 20.000 persones que es varen refugiar a Hondures i Costa Rica, i l'abandó consegüent de la producció de les explotacions agràries i forestals.

Les polítiques d'ajustament econòmic que l'actual govern de Nicaragua està duent a terme des de 1990 sota la tutela del Fons Monetari Internacional, per fer front a la forta crisi que està passant el país, han tingut un notable impacte en el sistema productiu de la zona. La manca de crèdit s'ha sumat als problemes tecnològics i de comercialització, a la privatització d'empreses estatals de producció agropecuària i al desmantellament progressiu de la Reforma Agrària Sandinista.

## 5. Conclusió

Amb aquest estudi i el mapa resultant, s'ha aconseguit conèixer la distribució dels usos del sòl i la delimitació de la frontera agrària al sud-est de Nicaragua l'any 1992, tenint en compte que l'últim mapa d'usos del sòl que ho permetia va ser editat el 1983 per INETER.

Comparant visualment aquests dos mapes, s'observa el gran avanç que ha experimentat la frontera agrària a la zona estudiada. Malgrat això que s'ha de tenir en compte que durant els anys vuitanta va ser una zona fortament castigada per la guerra, amb el desplaçament consegüent de persones i l'abandó de finques agropecuàries, fet que va frenar el procés d'avanç progressiu de la frontera agrària iniciat als anys cinquanta. Segons tècnics d'organismes oficials i ONG, amb el retorn dels refugiats de Costa Rica, Hondures i altres llocs del país, aquest avanç s'ha incrementat considerablement i és per això que seria molt interessant la realització d'un seguiment sistemàtic de l'evolució del fenomen, per comprovar l'efectivitat de les accions de planificació i protecció que estan duent a terme diferents administracions i organitzacions, en l'intent d'estabilitzar la frontera agrícola del sud-est de Nicaragua.

Deixem per a futurs treballs l'anàlisi de les causes i els efectes de l'avanç de la frontera agrària, com també l'estudi de la seva evolució i les possibles actuacions per aconseguir la seva estabilització, temes importants per entendre el fenomen en la seva globalitat.

Amb aquest estudi s'ha comprovat que l'ús de tècniques com els sistemes d'informació geogràfica, els sistemes de posicionament global i la teledetecció són de gran utilitat per fer l'estudi del canvi d'usos del sòl i l'avanç de la frontera agrària.

## Bibliografia

- AA.VV. (1994). *Biosfera: Selves tropicals*. Vol. 2. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- ADAMS, J.; GARRIGA, A.; MARCER, A. (1994). «L'empremta dels humans a la selva plujosa». *Biosfera: Selves tropicals*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, p. 276-281.
- ALEGRET, Joan Lluís (1985). «El Estado y el desarrollo de la Costa Atlántica de Nicaragua». Ponència presentada al seminari *El Estado y el desarrollo de Centroamérica*, La Ceiba (Hondures).
- ASPAR, G. (ed.) (1989). *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Nova York: John Wiley & Sons.



- BARET, F. (1991). «Vegetation canopy reflectance: factors of variation and application for agriculture». Dins BELWARD, A.S.; VALENZUELA, C.R. (eds.). *Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*, p. 145-167.
- BELWARD, Alan S.; VALENZUELA, Carlos R. (eds.) (1991). *Remote sensing and Geographical Information Systems for resource management in developing countries*. Dordrecht (Països Baixos): Kluwer Academic Publishers.
- CIERA (1983). *Lunes socio-económico de Barricada*. Managua: Centro de Investigaciones y Estudios de la Reforma Agraria.
- CIERA (1987). *Historia Económica de Río San Juan*. Managua: Centro de Investigaciones y Estudios de la Reforma Agraria.
- CHUVIECO, Emilio (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Rialp.
- COMAS, David; RUIZ, Ernest (1994). *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Barcelona: Ariel.
- DRURY, S.A. (1990). *A Guide to Remote Sensing: Interpreting Images of the Earth*. Nova York: Oxford University Press.
- FACS-CEPAD (1993). *Estudio sobre experiencias de los ONGs en proyectos de medio ambiente y desarrollo*. Managua: Fundación Augusto Cesar Sandino-Consejo de Iglesias Evangélicas.
- FAO (1982). *Los recursos forestales tropicales*. Roma: FAO.
- GILS, Hein VAN; HUIZING, Herman; KANNEGIETER, Anton; ZEE, Dick VAN DER (1991). «The evolution of the ITC system of rural land use and land cover classification (LUCC)». *ITC Journal*, 3, p. 163-167.
- GOODMAN, David; REDCLIFT, Michael (eds.) (1991). *Environment and development in Latin America. The politics of sustainability*. Manchester: Manchester University Press.
- HECKADON, Stanley, i altres (1993). *Hacia una Centroamérica verde: seis casos de conservación integrada*. San José: Departamento Ecuménico de Investigaciones.
- HEDSTRÖM, Ingemar (ed.) (1989). *La situación ambiental en Centroamérica y el Caribe*. San José: Departamento Ecuménico de Investigaciones.
- HEYMANN, Yves (1985). *CORINE Land Cover Project*. Brussel·les: European Environment Agency.
- HILL, J. (1991). «A quantitative approach to remote sensing: sensor calibration and comparison». Dins BELWARD, A.L.; VALENZUELA, C. R. (eds.). *Remote sensing and Geographical Information Systems for resource management in developing countries*. Dordrecht (Països Baixos): Kluwer Academic Publishers, p. 97-110.
- JENSEN, J.R. (1986). *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- KLEIN, Juan Luis (1987). «Enclavaments i integració espacial a Nicaragua. Notes sobre una investigació». *Revista Catalana de Geografia*, núm. 5 (juliol), p. 5-15.
- LE MEN, H.; POUYLLAU, M. (1990). «Mise à jour d'une carte d'occupation du sol: problèmes méthodologiques». Dins POUYLLAU, M. (direct.). *Téledétection et Tiers Monde*. Bordeaux: Centre d'Études de Géographie Tropicale-CNRS, p. 327-340.
- LO, C.P. (1986). *Applied Remote Sensing*. Essex: Longman.
- MEZA, Tobías; BONILLA, Alexander (1983). *Áreas naturales protegidas de Costa Rica*. Cartago (Costa Rica): Edit. Tecnológica.
- NITLAPLAN (1992). *Tendencias actuales de la frontera agrícola*. Managua: NITLAPLAN (UCA).
- NÚÑEZ, Alfonso; VALBUENA, José Luis; VELASCO, Jesús (1992). *G.P.S. La nueva era de la Topografía*. Madrid: Ed. de las Ciencias Sociales.

- POUYLLAU, Michel (1990). *Téledétection et Tiers Monde. Méthodologies, pratiques, nouveaux champs et nouveaux enjeux*. Bordeaux: Centre d'Etudes de Géographie Tropicale-CNRS.
- REGÖS, János (1989). *Introducción a la ecología tropical*. Managua: Escuela de Ecología, UCA.
- RUIZ, Gustavo Adolfo (1989). «Nicaragua: ¿Un nuevo horizonte?». Dins HEDSTRÖM, I. (ed.). *La situación ambiental en Centroamérica y el Caribe*. San José: Centro Ecueménico de Investigaciones, p. 195-228.
- SCHOWENGERDT, R.A. (1983). *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*. Nova York: Academic Press.
- TERAN, Francisco; INCER BARQUERO, Jaime (1964). *Geografía de Nicaragua*. Managua: Banco Central de Nicaragua.
- THOMAS, I.L.; BENNING, V.M.; CHING, N.P. (1987). *Classification of Remotely Sensed Images*. Bristol: Adam Hilger.
- VALERIO, Carlos E. (1991). *La Diversidad Biológica de Costa Rica*. San José: Fundación Neotrópica.
- VANDERMEER, J.; CERDA, I. G. DE LA; ZAMORA, N.; MALLONA, M. A. i altres (1994). *Notas sobre la Flora de la Región Autónoma del Atlántico Sur de Nicaragua*. Managua: Centro de Informaciones y Documentación de la Costa Atlántica.
- WHEELOCK ROMAN, Jaime (1986). *Entre la crisis y la agresión. La Reforma Agraria Sandinista*. Managua: Nueva Nicaragua.
- WHITMORE, T.C. (1991). *An Introduction to Tropical Rain Forests*. Oxford: Oxford University Press.