

USO DEL SUELO Y FRONTERA AGRICOLA EN EL SUDESTE DE NICARAGUA. EJEMPLO DE INTEGRACION DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL, LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y LA TELEDETECCION

Pere Pujol Causa¹
Montserrat Pujadas Tort¹

RESUMEN

Este artículo tal como reza en su título, reúne la aplicación de tres tecnologías diferentes en la geografía actual: Sistemas de Posicionamiento Global (SPG), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección, lo cual es importante para los investigadores de estos temas y para el lector común científico o no. Pero la principal finalidad del trabajo es que sus contenidos rigurosos, metodológica y teóricamente, tratan del análisis histórico del uso de los recursos naturales y la evolución ecológica, en uno de los países más devastados por todo tipo de calamidad: los desastres naturales, los desastres sociales —guerra— y las enfermedades. Lo anterior lo califica como uno de los países más pobres de Centroamérica y del mundo.

El sudeste de Nicaragua es la «muestra» de nuestros países expoliados, exportadores de materia prima, endeudados con los entes financieros y con todo tipo de

1. Sección de Geografía. Universitat de Girona. Plaza Ferrater Mora, 1. 17071 Girona. España. Fax: 34-72-418230. E-MAIL: PUJOL@SKYWALKER.UDG.ES y PUJADAS@SKYWALKER.UDG.ES

debilidad interna: desempleo, bajos salarios, desigualdad en la repartición de la tierra, dominio empresarial de una «oligarquía», agricultura de subsistencia, factores ambientales negativos. Como se señalará más adelante, «a los habitantes les gusta decir que llueve trece meses al año».

Este último factor, constituye una dificultad metodológica porque la cantidad de nubosidad impide realizar trabajos «óptimos». No obstante, el trabajo deja ver las consecuencias de la deforestación para el pastoreo y algunos cultivos (monocultivos y productos para el mercado externo).

En conclusión, el estudio lleva a la consecución de la distribución del uso del suelo, la delimitación de la frontera agrícola y la elaboración del mapa respectivo para 1992, elementos que permiten comparar el gran avance de la frontera agrícola observando un mapa del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) de 1983.

ABSTRACT

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.

1. INTRODUCCION

Agradecemos la ayuda de Joan Lluís Alegret (Sección de Historia. Universitat de Girona) y Luis Ventura García y Adela Moreno del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (del CSIC), por su colaboración en el tratamiento digital de las imágenes de satélite de este estudio.

Este artículo es fruto del Convenio Delimitación de la Frontera Agrícola en el Sudeste de Nicaragua, firmado entre la Asociación para la Cooperación con el Sur (AC SUR-Las Segovias) y la Universitat de Girona (UdG).

El origen de este proyecto está en la demanda que la Asociación de Municipios de Río San Juan (AMURS) de Nicaragua hizo a los autores en julio de 1993, y que consistía en la realización de un estudio del límite actual de la frontera agrícola en el departamento de Río San Juan a partir de imágenes de satélite. El objetivo del trabajo era el de elaborar un mapa que sirviera para la ordenación del territorio de esta zona del país: planificación de las actuaciones de los diferentes organismos públicos y privados nicaragüenses y extranjeros dirigidas al desarrollo sostenible, la gestión de

los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Este ha de permitir el conocimiento cualitativo y cuantitativo del uso del suelo en la zona, así como la delimitación de la frontera agrícola y de los frentes de penetración en la selva tropical del sudeste de Nicaragua.

Las características especiales de la zona han determinado en gran medida la metodología de trabajo. El clima es de carácter tropical lluvioso, sin época seca en los grandes bosques del sudeste del área de estudio. El índice de precipitaciones oscila entre 1.400 mm en el noroeste y 6.300 mm —uno de los registros más altos del mundo— en el sureste, en San Juan del Norte (Terán, 1964, p. 140), donde les gusta decir que llueve trece meses al año. Esto ha condicionado el trabajo de campo y ha dificultado encontrar imágenes de satélite sin o con pocas nubes.

En los países tropicales y, debido a un cúmulo de factores, la presión sobre el medio ambiente es cada vez mayor y las consecuencias más graves. La sobrecarga de la deuda exterior y el crecimiento demográfico inducen una fuerte presión sobre este medio con una sobreexplotación de los recursos naturales. Esta presión toma diferentes formas: agricultura de subsistencia, ganadería extensiva, monocultivos de exportación, explotaciones forestales y mineras. Todo esto provoca una drástica reducción de las zonas naturales —en este caso bosque tropical húmedo—, por el avance de la frontera agrícola, afectando gravemente a la flora y fauna —en definitiva a la biodiversidad— e hipotecando la renovación de los recursos naturales para las generaciones futuras. Por tanto, es urgente la implementación de una estrategia para el desarrollo sostenible y la implantación de un sistema de áreas protegidas que frene el avance de la frontera agrícola.

2. METODOLOGIA

La metodología seguida es una adaptación de las metodologías expuestas por Chuvieco (1990), Le Men y Pouyllau (1990) y Thomas et al. (1987), y es un ejemplo de la integración de los Sistemas de Posicionamiento Global, la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica y, como se puede observar en el gráfico 1, consta de 4 fases principales y de 13 pasos.

La primera fase es de preparación del estudio y donde se definen los objetivos que, como ya se ha comentado, son: la elaboración de un mapa de uso del suelo que permita el análisis cualitativo y cuantitativo de éstos, la delimitación de la frontera agrícola² y de los frentes de penetración en la selva tropical. También se han de escoger la escala principal de presentación, que será 1:250.000 y el ámbito territorial del estudio, que está situado en el sudeste de Nicaragua (ver mapa 1). Es un área de

2. Por frontera agrícola se entiende el límite entre el bosque primario —no alterado por la intervención humana— y las áreas antropizadas, como por ejemplo: pastos, cultivos, campos en barbecho, bosque ralo, núcleos de población, etc.

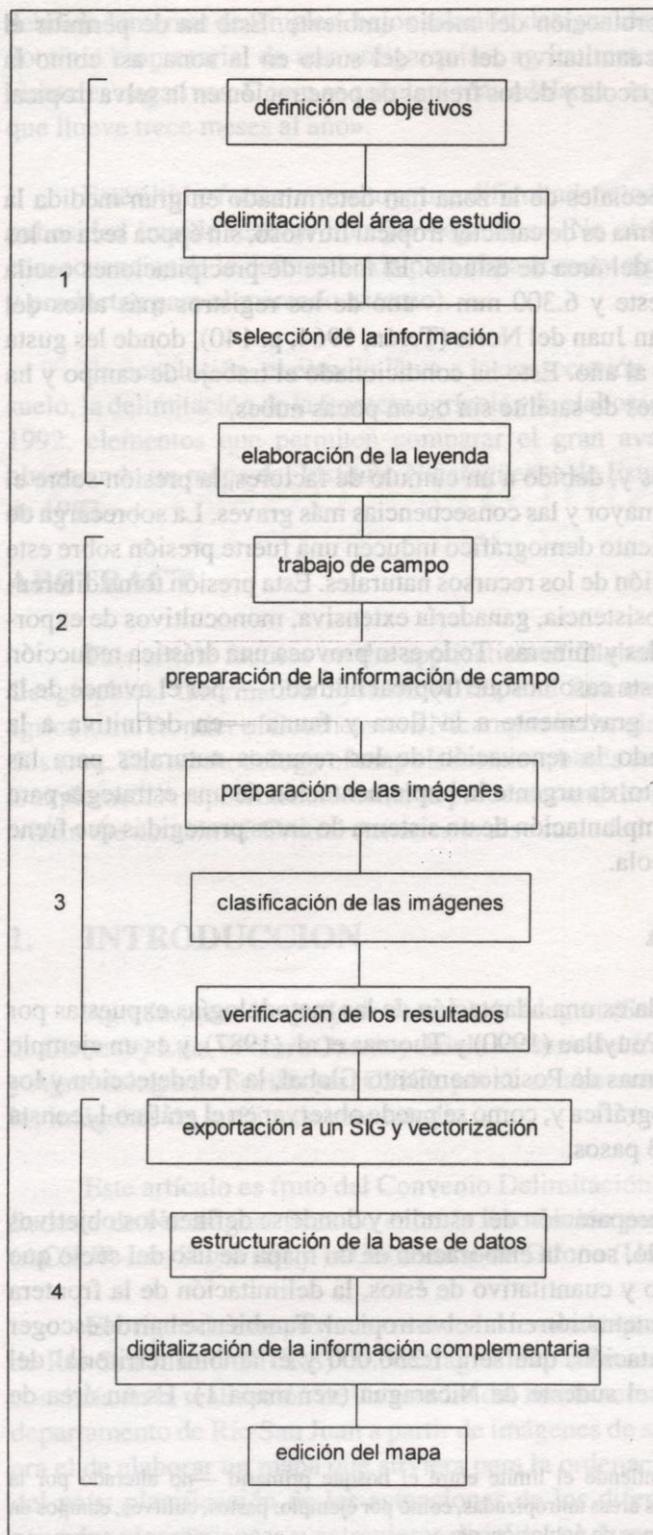
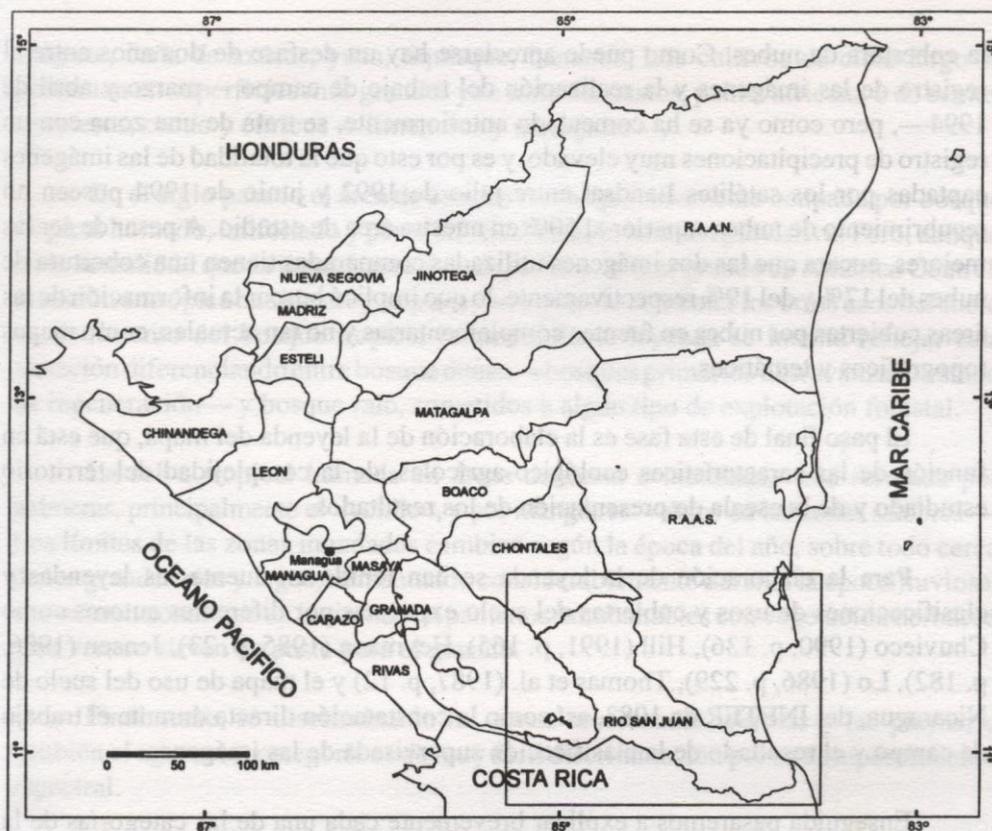


Gráfico 1. Metodología de trabajo.



Mapa 1. Territorio del estudio.

191 km de norte a sur y de 146 km de este a oeste y una superficie de 27.914 km² —contando las masas de agua—, que comprende el departamento de Río San Juan y el sur de la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS); limita al norte con el departamento de Chontales y el resto de la RAAS, al sur con Costa Rica, al este con el mar Caribe y al oeste con el lago de Nicaragua.

Seguidamente se han de seleccionar el satélite, el sensor y las imágenes. En éste se ha escogido el sensor TM del programa Landsat por su resolución espacial —el tamaño del área más pequeña sobre la superficie de la Tierra de la que el satélite captará información—, que es de 30 x 30 m; por su resolución espectral, que indica el número de canales del espectro electromagnético que puede diferenciar un sensor y su amplitud, y que es de 7. Y también, por la falta de imágenes del sensor MSS de la zona y las mismas fechas.

Para cubrir el área de trabajo se necesitan dos escenas Landsat-TM: la 15-52 y la 16-52; y las imágenes escogidas son del 3 de abril de 1992 y del 13 de junio de 1992, respectivamente, no habiendo sido posible disponer de imágenes del mismo mes, por

la cobertura de nubes. Como puede apreciarse hay un desfase de dos años entre el registro de las imágenes y la realización del trabajo de campo —marzo y abril de 1994—, pero como ya se ha comentado anteriormente, se trata de una zona con un registro de precipitaciones muy elevado, y es por esto que la totalidad de las imágenes captadas por los satélites Landsat entre julio de 1992 y junio de 1994 poseen un recubrimiento de nubes superior al 50% en nuestra área de estudio. A pesar de ser las mejores, encara que las dos imágenes utilizadas comparadas tienen una cobertura de nubes del 17% y del 19% respectivamente, lo que implicó buscar la información de las áreas cubiertas por nubes en fuentes complementarias y no tan actuales, como mapas topográficos y temáticos.

El paso final de esta fase es la elaboración de la leyenda del mapa, que está en función de las características ecológico-agrícolas, de la complejidad del territorio estudiado y de la escala de presentación de los resultados.

Para la elaboración de la leyenda se han tenido en cuenta las leyendas y clasificaciones de usos y cubiertas del suelo expuestas por diferentes autores como Chuvieco (1990, p. 136), Hill (1991, p. 165), Heymann (1985, p. 23), Jensen (1986, p. 182), Lo (1986, p. 229), Thomas et al. (1987, p. 12) y el mapa de uso del suelo de Nicaragua, del INETER de 1983, así como la constatación directa durante el trabajo de campo y el resultado de la clasificación supervisada de las imágenes.

Enseguida pasaremos a explicar brevemente cada una de las categorías de la leyenda escogida, donde el uso actual del suelo está representado por cinco grandes categorías de uso, las cuales se subdividen en unidades de uso o subcategorías.

- I. Suelo urbanizado
- II. Cultivos
 1. Cultivos de ciclo corto
 2. Cultivos de ciclo largo
- III. Bosques
 1. Bosque latifoliado denso
 2. Bosque latifoliado ralo
 3. Yolillo
 4. Manglares
- IV. Zonas erosionadas, yermas y playas
- V. Agua

Los cultivos de ciclo corto tienen una ubicación espacial muy dispersa en el área de estudio y están constituidos por: maíz, frijol, arroz de secano y de inundación,

chayote, caña de azúcar, yuca, tiquisque, bananos. Los cultivos de ciclo largo se presentan en superficies más grandes y se trata de: pastos, palma africana o de aceite, cocoteros, cacao y cítricos —limoneros y naranjales—.

En el siglo pasado el área de estudio estaba prácticamente ocupada por bosque tropical húmedo, latifoliado y perennifolio, llamado también pluvisilva. Pero, aunque en la actualidad queda todavía una gran superficie, la más grande de América Central, la acción antrópica ha sido muy importante, haciendo aumentar los otros usos del suelo en detrimento del bosque tropical húmedo. En la leyenda se intenta reflejar esta situación diferenciando entre bosque denso —bosques primarios o en avanzado estado de regeneración— y bosque ralo, sometidos a algún tipo de explotación forestal.

La selva tropical húmeda en áreas de costa o inundadas está formada por palmeras, principalmente el «yolillo», y por manglares —éstos en las zonas salobres—. Los límites de las zonas inundadas cambian según la época del año, sobre todo cerca de los grandes ríos y lagos, aumentando considerablemente durante la época lluviosa. Así existen zonas que en invierno son pantanos intransitables con vegetación herbácea y en verano sirven de pasto para el ganado.

Finalmente, se discriminarán las zonas erosionadas, yermas y las playas, y también el agua, esta categoría es de muy fácil discriminación por su comportamiento espectral.

Durante el trabajo de campo se nos planteó la dificultad de discriminar y delimitar los cultivos de ciclo corto de otras cubiertas, debido al alto grado de imbricación entre pequeñas parcelas de cultivos, pastos, campos en barbecho y áreas de bosque ralo alrededor o cerca de las áreas habitadas.

Hay que tener en cuenta que esta leyenda es orientativa, y que tendrá que ser contrastada con la información multiespectral de las imágenes TM, ya que se ha de comprobar primero, si es exhaustiva —que posibilitaría la clasificación de toda la superficie de estudio—, y segundo, si se pueden discriminar más o menos categorías en el proceso de clasificación de las imágenes, teniendo que ampliarla o reducirla.

Una de las tareas más importantes de todo el estudio es la discriminación en las imágenes de satélite de las diferentes cubiertas del suelo, lo que se realiza a partir de la identificación de la respuesta espectral de cada una de ellas, es decir, identificar qué valores numéricos —niveles digitales— tienen. Esto se efectúa, normalmente, delimitando unas áreas sobre ortofotomapas o fotografías aéreas de la zona de estudio, de las que se conoce el tipo de cubierta del suelo que las ocupa. Estas áreas, llamadas de muestreo se georreferencian —por ejemplo, se delimitan sobre mapas topográficos y después se digitalizan con una tableta digitalizadora— para poderlas sobreponer a la imagen de satélite y poder discriminar las clases de la leyenda. Pero como en nuestro caso no se disponía de fotografía aérea actual ni de ortofotomapas, se optó por

obtenerlas con la realización del trabajo de campo, georreferenciando estas áreas directamente sobre el terreno con un SPG, que proporciona información en formato digital, que tendrá que ser tratada luego para poderla sobreponer a las imágenes corregidas geoméricamente. Este es un sistema implementado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, que permite el posicionamiento de cualquier punto sobre la superficie de la Tierra, el mar o el aire, así como la navegación marítima, aérea o terrestre, utilizando un conjunto de 24 satélites NAVSTAR³.

La georreferenciación de las áreas de entrenamiento se va a realizar con dos aparatos de los SPG, uno «móvil» y otro «fijo», llamado también estación de referencia. Los equipos utilizados son dos aparatos Path Finder Basic Plus de Trimble Navigation.

La estación de referencia queda fija en un lugar de coordenadas conocidas⁴ —en nuestro caso se instaló en el Ayuntamiento de la ciudad de San Carlos, en el departamento de Río San Juan—, y con el aparato móvil se van delimitando las áreas de muestreo por todo el territorio de estudio. El uso de dos aparatos aumenta la precisión de las posiciones una vez realizado el proceso de corrección diferencial, que consiste en la comparación de la información captada en el mismo momento por cada uno de ellos. La corrección diferencial en posprocesamiento —la técnica aplicada en este estudio— es una técnica de gran precisión, ya que en la mayoría de los casos, y con los equipos empleados, el error de posicionamiento está entre 2 y 5 metros, bastante inferior al tamaño de un pixel del Landsat TM, mientras que si sólo se trabaja con un único aparato este error puede alcanzar los 100 m. Para delimitar las áreas de muestreo debemos desplazarnos hasta los vértices que definirán el área de uso del suelo o polígono que se quiere definir y registrar con el aparato del SPG las coordenadas de cada vértice, al mismo tiempo que la estación de referencia registra el error de cada satélite en un archivo digital. Posteriormente, en un ordenador y con un programa informático se comparan los dos archivos generados a la vez y se corrige una buena parte del error provocado por la transmisión de la señal de los satélites hasta los receptores y por la degradación de la precisión para uso civil, que efectúa el mencionado departamento norteamericano. Para obtener una precisión de 2-5 m es necesario que los dos aparatos trabajen siempre a menos de 500 km el uno del otro.

Una vez registradas y corregidas todas las posiciones de las áreas de muestreo se verifican los resultados, comprobando la coherencia de la distribución de los puntos que forman cada polígono. Cuando esté verificada la información se exportará al programa de tratamiento de imágenes, para poder sobreponer estos polígonos a las imágenes geoméricamente corregidas y posibilitar, de esta manera, la discriminación

3. Navigation Satellite Timing and Ranging (satélite de navegación, cronometría y distanciometría).

4. Las coordenadas de la estación de referencia se calcularon a partir de las posiciones que esta misma registró durante el mes y medio de trabajo de campo, en total 1.354.879.

de los diferentes usos del suelo del área de estudio. Normalmente, del total de áreas de muestreo, una parte se destina a la clasificación supervisada de las imágenes y la otra a la verificación de los resultados. El primer grupo recibe el nombre de áreas de entrenamiento y el segundo, áreas test.

El muestreo espacial servirá para seleccionar una muestra del área de estudio que sea suficientemente representativa, por esto es necesario que las áreas de muestreo estén homogéneamente distribuidas por todo el territorio de estudio. También formará un conjunto representativo de todas las cubiertas que se quiere discriminar en la imagen y de los diferentes estados posibles de cada cubierta —por ejemplo, de umbría y de solana—.

Para el muestreo se ha utilizado el método sistemático no alineado, que consiste en dividir el área de estudio en una malla regular de cuadrados —por ejemplo la cuadrícula UTM de 10 x 10 ó 20 x 20 km—. En las zonas más antropizadas y, por tanto, con una mayor variabilidad de cubiertas del suelo, se utilizó la cuadrícula de 10 x 10 km, dejando la de 20 x 20 km para las zonas menos pobladas y con menor accesibilidad y variabilidad.

La tercera fase se centrará en la teledetección, utilizando el programa de tratamiento de imágenes para estación de trabajo Image Station Imager-2 de Intergraph. La primera operación que se realizará con las imágenes es la reducción de información, para agilizar los procesos de cálculo y reducir el volumen de datos a almacenar. Esto se hace recortando de las imágenes TM originales el área de trabajo, que tendrá 6.359 columnas y 4.877 líneas, con un total de 31.012.843 píxeles.

El sensor TM del Landsat capta en 7 canales o bandas la radiación electromagnética que las cubiertas de la superficie de la Tierra reflejan y/o emiten. Para nuestros objetivos no serán necesarios tantos canales y, por tanto, el siguiente paso en la reducción de información será la selección de los canales más adecuados para discriminar los suelos sin vegetación de las zonas con vegetación, y resaltar las diferentes intensidades de cobertura de vegetación. Lo anterior será posible gracias al comportamiento espectral característico de la vegetación, que experimenta una alta radiancia en la zona del infrarrojo cercano —banda 4— y una gran absorción en la zona del visible, sobre todo en la del color rojo —banda 3—. Esto es debido a que en el visible los pigmentos de las hojas absorben la mayor parte de la luz que reciben para poder efectuar la función clorofílica, mientras que en el infrarrojo cercano las hojas reflejarán casi toda la energía recibida, produciendo un gran contraste entre estas dos bandas. Entretanto los suelos sin vegetación y/o con vegetación enferma o con poca actividad clorofílica producirán un menor contraste. Este comportamiento radiométrico permitirá que el análisis de la vegetación se pueda concentrar en estas zonas del espectro electromagnético, haciendo unas transformaciones lineales con los canales escogidos, el 3 y el 4, tal como aconsejan varios autores como Baret (1991, p. 104), Chuvieco (1990, p. 307), Hill (1991, p. 156) y Jensen (1986, p. 160). Con estos canales

escogidos se realiza un índice de vegetación de diferencia normalizada (I.V.D.N.)

$$\frac{B4 - B3}{B4 + B3}$$

con el que se consigue reducir el efecto de las sombras, provocadas por las pendientes y por la orientación, y resaltar la presencia de vegetación fotosintéticamente activa. Además del I.V.D.N. se utilizarán la banda 4, porque responde bien a la vegetación y a la humedad, y la banda 7 para distinguir grados de humedad, por ejemplo, diferenciar pastos secos de pastos húmedos, áreas inundadas y suelos secos y erosionados.

Las imágenes tomadas desde aviones o satélites presentan unas deformaciones geométricas que imposibilitan su sobreposición a mapas —topográficos o temáticos— o la unión con otras imágenes de satélite, tampoco permiten el cálculo de distancias y de superficies, y el cálculo de las coordenadas de elementos geográficos con toda precisión. Existen dos tipos de deformaciones geométricas: las sistemáticas y las no sistemáticas. Las primeras son provocadas por la esfericidad de la Tierra y su rotación mientras el satélite capta una imagen, por el aumento del tamaño de los píxeles a medida que se alejan del centro de la imagen, por las diferencias de velocidad en el giro del espejo del sensor. En cambio, las segundas son provocadas por movimientos del satélite —en cualquiera de los tres ejes— o por cambios de velocidad y altitud de éste. Las sistemáticas son solucionadas en los centros de distribución de imágenes y las no sistemáticas se corregirán a partir de un método manual que consiste en establecer un conjunto de puntos de control, identificables en las imágenes de satélite y en los mapas topográficos, donde se calcularán sus coordenadas. Así, pues, los mapas se utilizan como sistema de referencia para georreferenciar las imágenes. Los puntos de control, se distribuirán más o menos homogéneamente por toda la imagen, serán elementos geográficos fáciles de identificar, como por ejemplo, accidentes de la costa, cruces de carreteras, límites urbanos —teniendo en cuenta el crecimiento urbano—.

Enseguida se pasará a interpretar digitalmente la imagen, realizando una clasificación multiespectral de ella, mediante el clasificador de paralelepípedos, expuesto por varios autores como Chuvieco (1990), Jensen (1986) y Thomas et al. (1990). Esto consiste en descubrir la respuesta espectral o valor numérico que cada clase de la leyenda toma en las imágenes, lo que se lleva a cabo sobreponiendo las áreas de muestreo —de las cuales se conoce el tipo de uso del suelo, ya que se ha verificado sobre el terreno— a la imagen y haciendo que el programa clasifique automáticamente todos los píxeles. Con esta operación se conocerá el valor numérico de cada clase. Si, por ejemplo, los pastos toman valores entre 46 y 74, el programa de tratamiento de imágenes clasificará como pastos todos los píxeles de la imagen que tengan un valor entre estos dos números. Y así sucesivamente con cada una de las clases.

En todo trabajo de teledetección se utilizan las áreas test, que son una parte de las áreas definidas en el trabajo de campo, para verificar el resultado de la clasificación de la imagen. Estas áreas test tienen que ser representativas de las diferentes clases de

la leyenda y estar homogéneamente distribuidas por todo el territorio de estudio. El proceso consiste en sobreponer estos polígonos georreferenciados con el SPG a la imagen clasificada, para comprobar si el resultado es correcto, es decir, si se ajusta a lo observado durante el trabajo de campo y con la imagen clasificada. En nuestro caso sólo tendrán un papel orientativo, ya que se considerará el desfase de dos años entre la captación de las imágenes y la realización del trabajo de campo, esto es, éstas se utilizarán para verificar cualitativamente y de una manera no exhaustiva la coherencia de los resultados. En algunas zonas no hay duda, cuando por ejemplo, en 1994, hay bosque denso —se sabe por el trabajo de campo— y en 1992 también lo hay. Si en 1992 hay bosque denso y en 1994 bosque ralo implicará que esta zona ha sido despalada. Lo que sería incorrecto es que en 1992 hubiera pastos y en 1994 bosque denso. De todas maneras el resultado final ha sido contrastado con trabajo de campo y con técnicos nicaragüenses.

A continuación se aplica un filtro modal de 3 x 3 para forzar la reclasificación de los píxeles aislados y no clasificados, así como para suavizar su aspecto picado, y lleno de píxeles aislados dentro de áreas de cubiertas más homogéneas.

La información de las áreas que queden cubiertas por las nubes más intensas tendrá que ser obtenida a partir de información complementaria y digitalizada en la fase siguiente.

La cuarta y última fase consiste en la integración de la información procedente de la clasificación en un SIG, para añadirle la información complementaria —carreteras, ríos, núcleos de población, límites administrativos, áreas protegidas—, completar la información de usos del suelo que quedaba escondida bajo las nubes y, preparar y editar el mapa. Este proceso ha sido realizado con el programa Arc/Info v. 7 para estación de trabajo, de ESRI.

La definición de la estructura de la base de datos es uno de los pasos más importantes dentro de un proyecto del SIG, ya que gran parte de la calidad del análisis y, por lo tanto, de los resultados finales dependen de ello. Cada tipo de elemento geográfico será guardado en una capa diferente y representado con un tipo de elemento geométrico —puntos, líneas o polígonos—. De este modo, las vías de comunicación y la red hidrográfica serán representadas por líneas, mientras que el resto lo harán por polígonos —los límites administrativos departamentales y municipales, núcleos de población y las áreas protegidas—.

Una vez definida la estructura de la base de datos se transformará la información de usos del suelo, procedente de la tercera fase del estudio y en formato raster, a formato vectorial digital y se completará mediante la digitalización. Después de ésta la información de cada capa será integrada a la base de datos del SIG construyendo la topología y editando, si es el caso, el archivo para corregir los posibles errores de nodos y/o etiquetas.

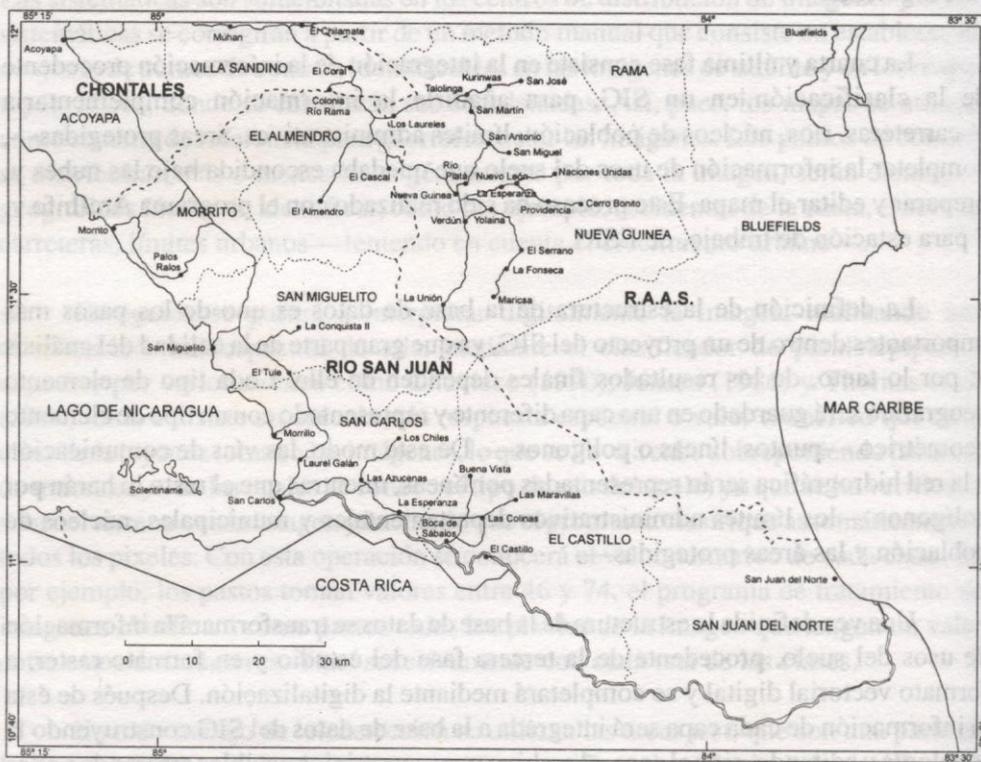
Finalmente, se seleccionará la información necesaria de la base de datos y se preparará para elaborar el mapa. Tal como proponen Chuvieco y otros (citados por Chuvieco, 1990, p. 133) la unidad mínima de superficie que se cartografiará será de 0,06 cm² sobre el mapa (2,5 x 2,5 mm), que a escala 1:250.000 representarán 0,39 km² de territorio (625 x 625 m). Así, pues, la información será generalizada mediante la eliminación de los polígonos de menos de 0,06 cm².

3. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Descripción del mapa, estadísticas de usos del suelo

Como se puede observar tanto en la tabla 1 como en el mapa 2, el 52,37% del suelo del área de estudio está ocupado por bosque latifoliado denso, en este caso, selva tropical húmeda, principalmente al este y al sudeste. Mientras que el 15,09% está cubierto por bosque latifoliado ralo, que es bosque denso intervenido o cultivos en barbecho, en los que se está regenerando el bosque.

El suelo urbanizado sólo representa 25,79 km², hay que pensar que es una zona de población débil y dispersa. Como en el mapa 2 la información ha sido generalizada



Mapa 2. Sudeste de Nicaragua.

Tabla 1

Uso del Suelo en el Sureste de Nicaragua

	<i>Km²</i>	<i>%</i>
Bosque latifoliado denso	8.742,87	52,37
Bosque latifoliado ralo	2.519,34	15,09
Pastos	4.888,11	29,28
Arroz	36,26	0,22
Cocoteros	11,87	0,07
Vegetación herbácea de pantano	206,28	1,24
Yolillo (palma)	263,07	1,58
Playa	1,48	0,01
Núcleos de población	25,79	0,15
Total	16.695,07	100,00

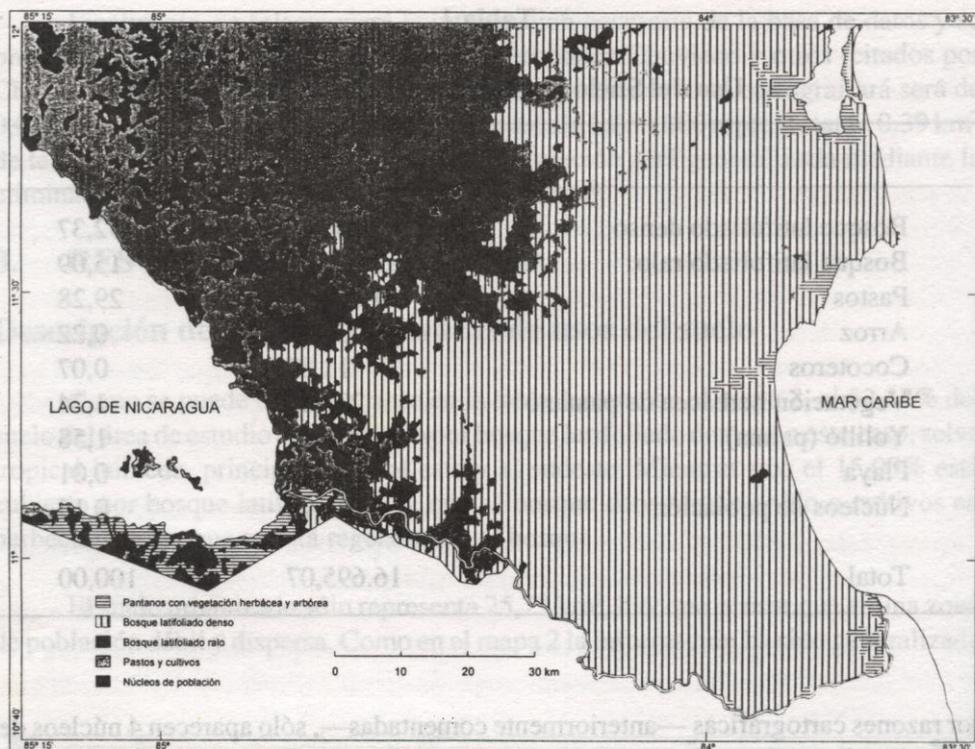
por razones cartográficas —anteriormente comentadas—, sólo aparecen 4 núcleos de población de los de la zona.

De los cultivos de ciclo corto, como era de suponer, sólo se ha podido delimitar el arroz de inundación, ya que ocupa un área bien definida cerca de la población de Palos Ralos, con 36,26 km². El resto de las áreas de cultivo de ciclo corto, al tener una ubicación espacial muy dispersa, bastante imbricada con otros usos del suelo, de tamaño relativamente pequeño y por estar sometidas en forma periódica a cambios, no se han discriminado, quedando incluidas en las clases de pastos y de bosque ralo, según el grado de vegetación y la propia estructura.

De los cultivos de ciclo largo se han discriminado los pastos, con 4.888 km² y un 29,28% —dan idea del fuerte proceso de intervención que está sufriendo la zona— y los cocoteros con 11,87 km², localizados en las playas del Caribe.

La vegetación herbácea de pantano y el yolillo —tipo de palma— indican las zonas que permanente o estacionalmente están inundadas. Y tienen mayor presencia en Los Guatuzos —la estrecha franja al sur del lago de Nicaragua— y en la costa del Caribe.

La clase agua que no aparece en la tabla 1, representa el río San Juan, que conecta el lago de Nicaragua y el mar Caribe, y a partir de El Castillo y hasta la desembocadura hace de frontera con Costa Rica.



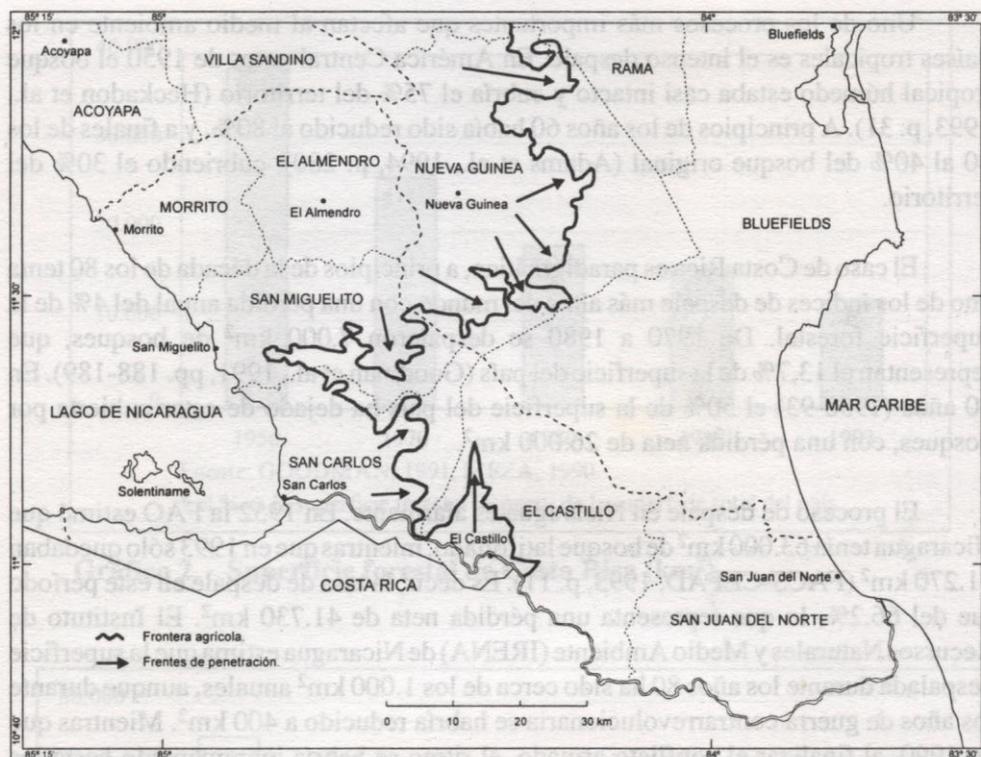
Mapa 3. Uso del suelo en el sudeste de Nicaragua.

Aunque en la tabla 1 sólo haya constancia de 1,48 km² de playas, debe tenerse en cuenta que la costa del Caribe de la zona estudiada está ocupada principalmente por bosque latifoliado, manglares y yolillo, y que la mayor parte de playa está compuesta por cocoteros.

En resumen, el 55,19% de la zona no ha sido alterada o lo ha sido moderadamente y representa más de la mitad este del área de estudio, esto es, bosque latifoliado denso, zonas de yolillo y pantanos con vegetación herbácea.

Se puede observar que en el centro de la parte occidental queda un reducto de bosque denso, que está siendo desmenuzado. También se puede observar que en el frente pionero —la ocupación más reciente— la mayor parte de la superficie está cubierta por bosque ralo, que dará paso a los pastos, mientras que en la retaguardia —zona de ocupación más antigua— el bosque ralo está tomando fuerza, debido al abandono de las tierras por la falta de fertilidad, y donde lentamente el bosque se está regenerando.

Se ha constatado que la penetración en la selva se realiza primero siguiendo las vías naturales y las abiertas en el bosque tropical, es decir, los ríos navegables y las



Mapa 4. Frontera agrícola.

trochas de explotación forestal. Estas vías posibilitarán el desplazamiento y el transporte de las pertenencias de los recién llegados, y facilitarán asimismo la comercialización de los excedentes agrícolas y forestales—leña y carbón—. En menor medida se utilizan también los caminos transitables sólo a pie o a caballo. Un buen ejemplo de lo anterior se observa en el río San Juan y hacia el norte, donde el frente está penetrando en el bosque denso, siguiendo el río Sábalo.

Se puede apreciar que la gran masa de bosque denso se está desintegrando en pequeñas islas de bosque que, de seguir el avance de la frontera agrícola como hasta ahora, desaparecerán en pocos decenios. Este proceso irá acompañado de fuertes procesos de desertización, como ya está sucediendo en los departamentos de Chontales y Boaco, justo al noroeste de la zona de estudio.

4. CONTEXTUALIZACION DEL ESTUDIO

Para tener una idea más global del fenómeno haremos una breve descripción de los procesos de despale y de frontera agrícola que afectan específicamente a Nicaragua dentro del marco general centroamericano.

Uno de los procesos más importantes que afectan al medio ambiente en los países tropicales es el intenso despale. En América Central antes de 1950 el bosque tropical húmedo estaba casi intacto y cubría el 75% del territorio (Heckadon et al., 1993, p. 31). A principios de los años 60 había sido reducido al 80%, y a finales de los 80 al 40% del bosque original (Adams et al., 1994, p. 280), cubriendo el 30% del territorio.

El caso de Costa Rica es paradigmático, a principios de la década de los 80 tenía uno de los índices de despale más altos del mundo con una pérdida anual del 4% de la superficie forestal. De 1970 a 1980 se despalaron 7.000 km² de bosques, que representan el 13,7% de la superficie del país (Goodman et al., 1991, pp. 188-189). En 40 años (1950-93) el 50% de la superficie del país ha dejado de estar cubierta por bosques, con una pérdida neta de 26.000 km².

El proceso de despale en Nicaragua es alarmante. En 1952 la FAO estimó que Nicaragua tenía 63.000 km² de bosque latifoliado, mientras que en 1993 sólo quedaban 21.270 km² (FACS-CEPAD, 1993, p. 11). Es decir, la tasa de despale en este período fue del 66,2%, lo que representa una pérdida neta de 41.730 km². El Instituto de Recursos Naturales y Medio Ambiente (IRENA) de Nicaragua estima que la superficie despaldada durante los años 80 ha sido cerca de los 1.000 km² anuales, aunque durante los años de guerra contrarrevolucionaria se habría reducido a 400 km². Mientras que en 1990, al finalizar el conflicto armado, el ritmo se habría incrementado hasta los 1.500 km² anuales.

Este despale es provocado por una larga serie de factores, siendo uno de los más importantes el avance de la frontera agrícola para aumentar las tierras de pastos y de cultivos. En los últimos 20 años más del 50% de los bosques de América Central han sido transformados en pastos —para producir carne para hamburguesas—, por poner un ejemplo, el 45% del territorio de Costa Rica está dedicado a ello (Valerio, 1991, p. 140). En Nicaragua el despale de bosque latifoliado para uso agrario —agricultura itinerante y ganadería extensiva— es la principal causa de deforestación (FACS-CEPAD, 1993, p. 12). Según la FAO (1982, p. 23) este sistema de agricultura era el responsable del 35% de la deforestación de América Central a principios de los años 80. La segunda causa es el consumo de leña para obtención de energía —para uso doméstico o industrial, de pequeñas y medianas empresas rurales—. El 75% de la población centroamericana utiliza la leña como fuente de energía y más del 50% de la energía consumida en la región proviene de la leña (Heckadon et al., 1993, p. 33). Mientras que en Nicaragua es del 85%, con un volumen de 3,7 millones de m³ de madera anuales, siendo éste 12 veces más grande que el consumo de madera con finalidad industrial (FACS-CEPAD, 1993, p. 12).

También es importante la extracción de madera para la exportación, construcción de casas, cercas para ganado, y para crear monocultivos o plantaciones de productos de exportación como café, banano, palmito, piña y cacao.

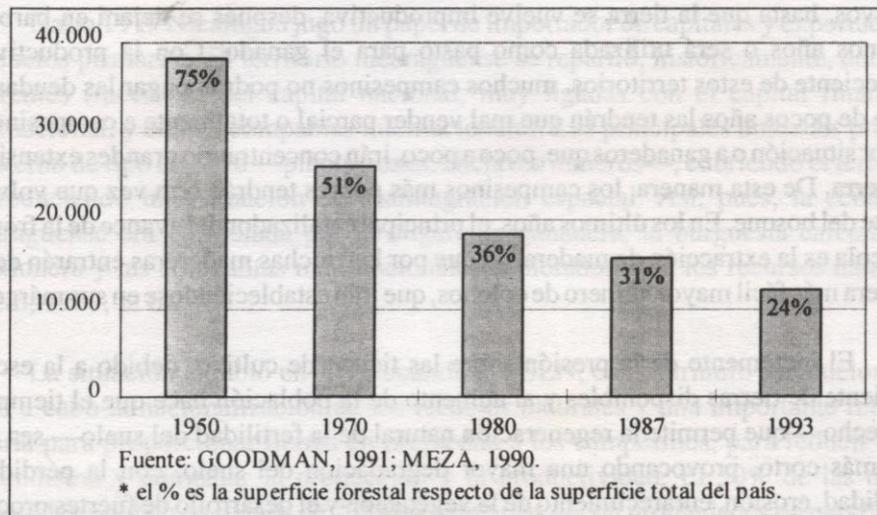


Gráfico 2. Superficie forestal de Costa Rica (km²).

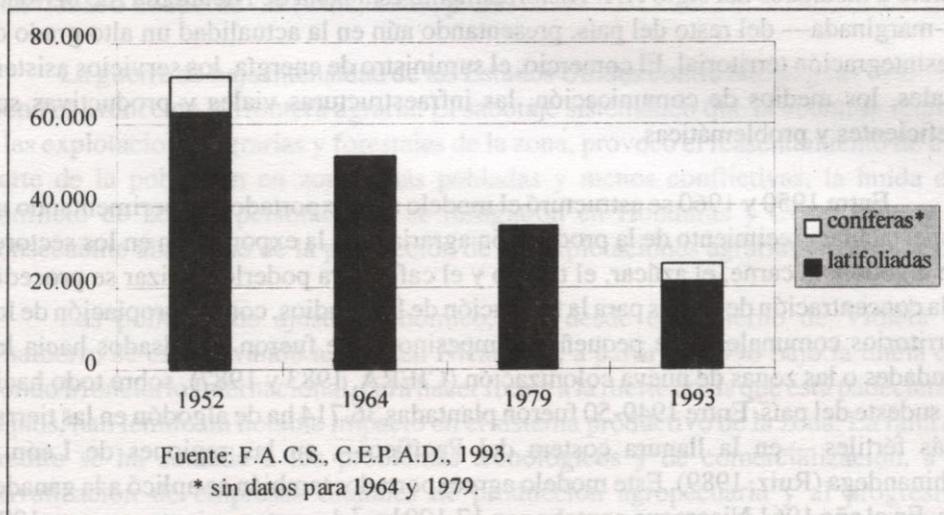


Gráfico 3. Superficie forestal de Nicaragua (km²).

La dinámica actual de la frontera agrícola en el sudeste de Nicaragua está marcada por la agricultura itinerante. Los campesinos más pobres despalan y queman el bosque primario. Muchas veces, para poderlo hacer y para sobrevivir hasta la primera cosecha, tienen que pedir créditos a intereses muy elevados. Las cenizas fertilizarán mínimamente los cultivos de los tres o cuatro años siguientes. Luego se siembra arroz de secano, frijoles y maíz, la mayor parte de las veces no se ha labrado la tierra y se realiza «voleo». Para aumentar la productividad se efectúa la rotación de

cultivos, hasta que la tierra se vuelve improductiva, después se dejará en barbecho algunos años o será utilizada como pasto para el ganado. Con la productividad decreciente de estos territorios, muchos campesinos no podrán pagar las deudas y al cabo de pocos años las tendrán que mal vender parcial o totalmente a campesinos en mejor situación o a ganaderos que, poco a poco, irán concentrando grandes extensiones de tierra. De esta manera, los campesinos más pobres tendrán otra vez que volver al límite del bosque. En los últimos años, el principal catalizador del avance de la frontera agrícola es la extracción de madera, ya que por las trochas madereras entrarán de una manera más fácil mayor número de colonos, que irán estableciéndose en sus márgenes.

El incremento de la presión sobre las tierras de cultivo, debido a la escasez creciente de tierras disponibles y al aumento de la población hace que el tiempo de barbecho —que permite la regeneración natural de la fertilidad del suelo— sea cada vez más corto, provocando una mayor degradación del suelo, con la pérdida de fertilidad, erosión, enrarecimiento de la vegetación y el desarrollo de fuertes procesos de desertización y sabanización.

El proceso de colonización de la frontera agrícola en el sudeste de Nicaragua se inició a mediados del siglo XX. Históricamente esta zona de Nicaragua fue olvidada —marginada— del resto del país, presentando aún en la actualidad un alto grado de desintegración territorial. El comercio, el suministro de energía, los servicios asistenciales, los medios de comunicación, las infraestructuras viales y productivas son deficientes y problemáticas.

Entre 1950 y 1960 se estructuró el modelo agroexportador, experimentando un espectacular crecimiento de la producción agraria para la exportación en los sectores de algodón, la carne, el azúcar, el tabaco y el café. Para poderlo realizar se procedió a la concentración de tierras para la formación de latifundios, con la apropiación de los territorios comunales y de pequeños campesinos, que fueron expulsados hacia las ciudades o las zonas de nueva colonización (CIERA, 1983 y 1987), sobre todo hacia el sudeste del país. Entre 1949-50 fueron plantadas 36.714 ha de algodón en las tierras más fértiles —en la llanura costera del Pacífico—, en las regiones de León y Chinandega (Ruiz, 1989). Este modelo agroexportador también se aplicó a la ganadería. En el año 1961 Nicaragua contaba con 17.100 km² de pastos, mientras que en 1978 eran ya 28.200 km². El número de cabezas de ganado se duplicó en este mismo período, pasando a ser de 3 millones en 1978. Tanto el aumento de pastos —de 11.100 km² en 17 años—, como el del número de cabezas de ganado fueron los más altos de América Central (Ruiz, 1989, p. 210).

A partir de ese momento, miles de familias sin tierra emigraron hacia las zonas de nueva colonización en el límite de la selva, procedentes de las áreas más pobladas, económicamente deprimidas y más degradadas ambiental y socialmente. No disponiendo, esta gente, de recursos económicos suficientes y los técnicos no son adecuados.

Hasta 1979 Nicaragua jugó un papel de importador de capitales y exportador de productos primarios. El territorio nicaragüense se repartió, históricamente, entre las diferentes fracciones del capital nacional, muy ligadas con el capital financiero internacional, y ciertas compañías internacionales. Las principales unidades productivas eran de tipo enclave —plantaciones, enclaves mineros—, cubriendo el territorio y produciendo una situación de desintegración espacial. Así, pues, la economía nicaragüense era controlada por la oligarquía ganadera, la burguesía cafetalera y algodонера y las compañías multinacionales explotadoras de los recursos naturales (Klein, 1987, p. 6).

La situación cambió en 1979 cuando el FSLN, con el triunfo revolucionario, llevó a cabo la nacionalización de los recursos naturales y una importante reforma agraria para proporcionar tierras en propiedad a los campesinos, para reducir así el latifundismo y aumentar la producción y la productividad. El 50% de las tierras cultivables estaban en manos de 2.000 propietarios —con propiedades de más de 140 ha—, mientras que el 70% de los campesinos poseía el 2% —con propiedades de menos de 14 ha— (Wheelock, 1986). Con esta reforma agraria, desde 1981 hasta finales de 1990, se entregaron 1.050.000 ha de tierra a 60.000 familias, en propiedad individual o cooperativas (Ruiz, 1989, p. 217).

La guerra de baja intensidad de los Estados Unidos contra Nicaragua (1981-90) frenó el avance de la frontera agraria. El sabotaje sistemático que la «contra» realizó a las explotaciones agrarias y forestales de la zona, provocó el reasentamiento de una parte de la población en zonas más pobladas y menos conflictivas, la huida del conflicto de 20.000 personas que se refugiaron en Honduras y Costa Rica, y el consecuente abandono de la producción de las explotaciones agrarias y forestales.

Las políticas de ajuste económico, que desde el gobierno de Violeta de Chamorro se está llevando a cabo en Nicaragua, a partir de 1990 bajo la tutela del Fondo Monetario Internacional, para hacer frente a la fuerte crisis que está padeciendo el país, han tenido un notable impacto en el sistema productivo de la zona. La falta de crédito se ha sumado a los problemas tecnológicos y de comercialización, a la privatización de empresas estatales de producción agropecuaria y al progresivo desmantelamiento de los logros de la Reforma Agraria Sandinista.

5. CONCLUSION

Con este estudio, y el mapa resultante, se ha conseguido conocer la distribución de uso del suelo y la delimitación de la frontera agrícola en el sudeste de Nicaragua en 1992, teniendo en cuenta que el último mapa de uso del suelo que lo permitía fue editado en 1983 por el INETER.

Comparando visualmente estos dos mapas, se observa el gran avance que ha experimentado la frontera agrícola en la zona estudiada. Teniendo en cuenta que

durante los años 80 fue fuertemente castigada por la guerra, con el consiguiente desplazamiento de personas y el abandono de fincas agropecuarias, hecho que frenó el proceso de progresivo avance de la frontera agrícola iniciado en los años 50. Según técnicos de organismos oficiales y ONGs con el retorno en 1992 de los refugiados de otros lugares del país, de Costa Rica y de Honduras, este avance se ha incrementado considerablemente, y es por esto que sería muy interesante la realización de un seguimiento sistemático —monitoreo— de la evolución del fenómeno, para comprobar la efectividad de las acciones de planificación y protección que están llevando a cabo diferentes administraciones y organizaciones, en el intento de estabilizar la frontera agrícola del sudeste de Nicaragua.

Dejamos para futuros trabajos el análisis de las causas y los efectos del avance de la frontera agrícola, así como el estudio de su evolución y las posibles actuaciones para conseguir su estabilización, temas importantes para comprender el fenómeno en su globalidad.

Con este estudio se ha comprobado que el uso de técnicas como los SIGs, los SPG y la Teledetección son de gran utilidad para el estudio del cambio de uso del suelo y el avance de la frontera agrícola.

6. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 1994. *Biosfera: Selves tropicals*, vol. 2. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- ADAMS, J.; GARRIGA, A. and MARCER, A. 1994. «L'empremta dels humans a la selva plujosa». *Biosfera: Selves tropicals*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, pp. 276-281.
- ALEGRET, JOAN LLUIS. 1985. «El Estado y el desarrollo de la Costa Atlántica de Nicaragua», ponencia presentada en el Seminario El Estado y el desarrollo de Centroamérica, La Ceiba, Honduras.
- ASPAR, G. (ed.). 1989. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- BARET, F. 1991. «Vegetation canopy reflectance: factors of variation and application for agriculture». In *Remote Sensing and Geographical Information Systems for resource management in developing countries*. BELWARD, A.S., VALENZUELA, C.R. (eds.), pp. 145-167.
- BELWARD, ALLAN S. and VALENZUELA, CARLOS R. (eds.). 1991. *Remote Sensing and Geographical Information Systems for resource management in developing countries*. Dordrecht (Países Bajos): Kluwer Academic Publishers.
- CIERA. 1983. *Lunes socioeconómico 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.
- DICK, VAN DER. 1991. «The evolution of the ITC system of rural land use and land cover classification (LUCC)». *ITC Journal*, 3, pp. 163-167.
- DRURY, S.A. 1990. *A Guide to Remote Sensing: Interpreting Images of the Earth*. New York: Oxford University Press.
- FACS, CEPAD. 1993. Estudio sobre experiencias de los ONGs en proyectos de medio ambiente y desarrollo. Managua: Fundación Augusto César Sandino-Consejo de Iglesias Evangélicas.
- FAO. 1982. Los recursos forestales tropicales. Roma: FAO. GILS, Hein van; HUIZING, Herman; KANNEGIETER, Anton; ZEE.
- GOODMAN, DAVID and REDCLIFT, MICHAEL (eds.). 1991. *Environment and development in Latin America. The politics of sustainability*. Manchester: Manchester University Press.
- HECKADON, STANLEY ET AL. 1993. *Hacia una Centroamérica verde: seis casos de conservación integrada*. San José: Departamento Ecueménico de Investigaciones.
- HEDSTRÖM, INGEMAR (ed.). 1989. *La situación ambiental en Centroamérica y el Caribe*. San José: Departamento Ecueménico de Investigaciones.
- HEYMANN, YVES. 1985. *CORINE Land Cover Project*. Bruselas: European Environment Agency.
- HILL, J. 1991. «A quantitative approach to remote sensing: sensor calibration and comparison». In *Remote Sensing and Geographical Information Systems for resource management in developing countries*. BELWARD, A.S. and VALENZUELA, C.R. (eds.). Dordrecht Países Bajos: Kluwer Academic Publishers, pp. 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 julio, pp. 5-15.
- LE MEN, H. and POUYLLAU, M. 1990. «Mise à jour d'une carte d'occupation du sol: problèmes méthodologiques». En *Téledétection et Tiers Monde*. POUYLLAU, M. (direct.). Bordeaux (Francia): Centre d'Études de Géographie Tropicale-CNRS, pp. 327-340.
- LO, C.P. 1986. *Applied Remote Sensing*. Essex: Longman.
- MEZA, TOBIAS and BONILLA, ALEXANDER. 1983. *Areas naturales protegidas de Costa Rica*. Cartago: Edit. Tecnológica.
- NITLAPLAN. 1992. *Tendencias actuales de la frontera agrícola*. Managua: NITLAPLAN (UCA).
- NUÑEZ, ALFONSO; VALBUENA, JOSE LUIS and VELASCO, JESUS. 1992. *GPS. 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 (Francia): Centre d'Etudes de Géographie Tropicale-CNRS.

- REGÖS, JANOS. 1989. Introducción a la ecología tropical. Managua: Escuela de Ecología, UCA.
- RUIZ, GUSTAVO ADOLFO. 1989. «Nicaragua: ¿Un nuevo horizonte?». En La situación ambiental en Centroamérica y el Caribe. HEDSTRÖM, I. (ed.). San José: Centro Ecuménico de Investigaciones, pp. 195-228.
- SCHOWENGERDT, R.A. 1983. Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing. New York: Academic Press.
- TERAN, FRANCISCO and INCER BARQUERO, JAIME. 1964. Geografía de Nicaragua. Managua: Banco Central de Nicaragua.
- THOMAS, I.L.; BENNING, V.M. and CHING, N.P. 1990. Classification of Remotely Sensed Images. Bristol: Adam Hilger.
- VALERIO, CARLOS E. 1991. La Diversidad Biológica de Costa Rica. San José: Fundación Neotrópica.
- VANDERMEER, J. ET AL. 1994. Notas sobre la Flora de la Región Autónoma del Atlántico Sur de Nicaragua. Managua: Centro de Informaciones y Documentación de la Costa Atlántica.
- WHELOCK 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.