

**Instituto Interamericano
de Cooperación para la Agricultura**



Cuaderno Técnico N°13

**El desarrollo sostenible
de la agricultura:
el potencial de la era di-
gital**

**Sergio Romero
Sergio Sepúlveda
CODES**

Junio 1999

Tabla de Contenidos

Introducción.....	3
Los Sensores Remotos y la Teledetección	1
Agricultura y Medio Rural	3
¿DÓNDE SEMBRAR Y CÓMO MONITOREAR LOS CULTIVOS?	3
¿SE PUEDE MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA REGIÓN DESDE EL ESPACIO?.....	5
¿DÓNDE SE ESTÁ TALANDO Y EN QUÉ MAGNITUD?	6
BIODIVERSIDAD Y MONITOREO AMBIENTAL	6
¿DÓNDE HAY PELIGRO Y POR QUÉ? ¿DÓNDE PODRÍA SER EL PRÓXIMO DESASTRE?.....	7
EL CASO DEL HURACÁN MITCH	9
Ordenamiento Territorial: ¿quién es el dueño? ¿Paga sus impuestos?	
¿Qué impacto tendría un proyecto de riego sobre su entorno?.....	9
Empleo institucional de los Sensores Remotos	10
Conclusión.....	12
Bibliografía.....	13

Presentación

EL presente folleto es parte de una serie de publicaciones sobre trabajos relacionados con las temáticas del Desarrollo Sostenible de la Agricultura y el Medio Rural, la Planificación Espacial y los Sistemas de Información Geográfica. Con ello, se busca instrumentar acciones que contribuyan a lograr un manejo adecuado de la base de recursos naturales y a mejorar la calidad de vida de la población rural.

El propósito específico de este folleto es presentar la tecnología de los Sensores Remotos (SR). Para ello, se hace hincapié en sus productos y en las aplicaciones que pueden tener en el campo de la agricultura y el manejo integrado de los recursos naturales. Nuestro propósito general, es mostrar los beneficios que se pueden obtener de la tecnología moderna.

El Desarrollo Sostenible (DS) se concibe como “el proceso capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas” (Naciones Unidas, 1987). Lo anterior busca, entonces, el uso racional de los Recursos Naturales (RN), pero, manteniendo, al mismo tiempo, una óptima calidad de vida para la sociedad. De ahí que, “...el manejo racional de los recursos naturales y de la biodiversidad que en ellos se sustenta, son factores clave para asegurar la competitividad de numerosas regiones” (Sepúlveda et al, 1998).

Para comprender mejor el Desarrollo Sostenible, es preciso visualizar las cuatro dimensiones que lo conforman: la ecológica, la económica, la social y la político-institucional. A su vez, estos lineamientos teóricos requieren de instrumentos metodológicos prácticos, que permitan su análisis y estudio; es decir, que permitan ahondar en cada una de las dimensiones mencionadas.

Todas las acciones del ser humano se llevan a cabo sobre un espacio geográfico. Esto significa que su quehacer va a repercutir, con variable intensidad, sobre la base de recursos naturales. Por lo tanto, dentro de un marco que busca el desarrollo sostenible, es necesario establecer métodos para analizar y darle seguimiento a tales repercusiones. De esa forma, podremos evitar que los impactos causados por el hombre lleguen a agotar la capacidad de renovación de los recursos naturales.

En ese sentido, la tecnología se presenta como un eslabón que facilita el análisis del espacio intervenido por el ser humano, y que vincula la toma de decisiones en el plano técnico y político, con información veraz y objetiva. El avance tecnológico logrado en los últimos 30 años les ha permitido a muchas naciones tener acceso a herramientas de alta tecnología, como los Sensores Remotos (SR), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), a un costo mínimo.

En los gobiernos de América Latina y el Caribe, debido a la ausencia de integración de los SIG institucionales, lo que a su vez es el resultado de una deficiente planificación de la problemática agraria, el potencial de esta tecnología no se está aprovechando al máximo.

Por otra parte, el proceso de globalización ha creado conciencia en la sociedad, como un todo, de que los impactos de las actividades económicas sobre la base biofísica de RN trascienden las fronteras políticas. Al igual que ha ocurrido con los procesos de integración económica regional, en la actualidad es evidente la necesidad de abordar el estudio y monitoreo ambiental desde unidades territoriales mayores.

A la luz de la rápida evolución de la tecnología al servicio del desarrollo sostenible de la agricultura y los espacios rurales, y de la transformación que esta ha generado en las demandas por cooperación técnica, el IICA se ha comprometido a elaborar, y utilizar, instrumentos que les den viabilidad a las propuestas metodológicas relacionadas con la resolución de problemas de naturaleza espacial. En última instancia, las soluciones que se planteen deben tener como fin primordial mejorar las condiciones de vida del medio rural.

En tal sentido, se desea enfatizar que la simplicidad de esta tecnología, así como su bajo costo y la existencia de una gran cantidad de información al respecto, hace de ella un instrumento de fácil acceso tanto para los pequeños productores agrícolas como para los gobiernos municipales. Ahora bien, si la capacidad técnica o financiera es limitada, se podría recurrir a algún tipo de arreglo institucional; es decir, al establecimiento de alianzas estratégicas entre usuarios que forman parte de un mismo entorno geográfico (por ejemplo, productores o municipios con entidades educativas, como universidades, centro de investigación y colegios técnicos, entre otros). El establecimiento de sistemas de información geográfica en centros de enseñanza podría permitir la formación de recursos humanos para alimentar la demanda por mano de obra especializada.

Es imprescindible dejar claro que la implementación y desarrollo de esta tecnología debe ir de la mano de una transformación en los ámbitos político, tecnológico y organizativo. En otras palabras, si se quieren potenciar los múltiples usos que esta tecnología puede brindar, es necesario prestarle más atención al recurso humano.

1. Introducción

LAS imágenes de satélite representan el más innovador instrumento de manejo interactivo para el análisis espacial. La gran cantidad de información disponible, unida a su bajo costo, hacen de los sensores remotos la herramienta idónea para crear y actualizar bases de datos relacionadas con grandes extensiones territoriales.

Su bajo costo —en función de su cantidad y calidad— hace que el material generado sea accesible a los gobiernos de América Latina y el Caribe. Esta situación, a su vez, posibilita a los actores involucrados para tomar parte activa, como sujetos del desarrollo, en la planificación de las decisiones concernientes a su territorio.

La tecnología de los sensores remotos se emplea, cada vez más, tanto para analizar el espacio con fines productivos, como para comprender la dinámica de los desastres naturales. Permite, entre otros, valorar el estado de los recursos naturales, su extensión y calidad, como también la degradación que sobre ellos ha generado la sociedad a través de décadas de uso intensivo. Al mismo tiempo, permite definir zonificaciones agroecológicas; es decir, gracias a las múltiples variables que toma en cuenta, permite establecer áreas prioritarias de acción, según sea su fragilidad ambiental o el uso al que se le pueda destinar.

2. Los Sensores Remotos y la Teledetección

LOS satélites para el estudio de los recursos naturales están equipados con sistemas de observación cada vez más eficientes y capaces de cubrir, sistemática y regularmente, amplios territorios, en tanto que a la vez producen imágenes de alta calidad y resolución.

El término sensor remoto hace alusión a aquella tecnología que le permite al usuario observar, con cierto nivel de detalle, un espacio geográfico sin estar en contacto directo con él. En tal sentido, se asiste a una clasificación general de sensor remoto: fotografía aérea, imagen de satélite e imagen de radar.

La *fotografía aérea* (FA), como su nombre lo indica, es tomada desde una plataforma aérea, montada sobre un avión especialmente equipado para la toma de imágenes. (Figura 1). Este tipo de sensor se emplea cuando se desea observar en detalle un área, con el fin de demarcar el tamaño de las unidades de interés (parcelas, zonas cultivadas, formaciones vegetales, áreas urbanas, etc.), emplazamiento de infraestructura, etc.

Las imágenes de satélite se toman desde el espacio, sea desde un satélite puesto en órbita (Figura 2) o desde un transbordador. Las de radar,



Figura 1. Fotografía Aérea (blanco y negro) de la región de Hidalgo, México. Se muestra claramente el tamaño de las propiedades (para el levantamiento del catastro) (USGS. 1999).

pueden capturarse desde una plataforma aérea o desde una espacial.

La información obtenida a través de una imagen de satélite o una fotografía aérea puede integrarse en un Sistema de Información Geográfica (SIG), redibujando en el sistema cada elemento de interés (por ejemplo, zonas agroecológicas, carreteras, poblados), o utilizando directamente la imagen. El sistema le otorga un valor numérico a cada uno de los elementos presentes, con lo que posibilita la clasificación de áreas homogéneas en forma automática (bosques, cuerpos de agua, zonas urbanas, tipos de cultivo, etc).

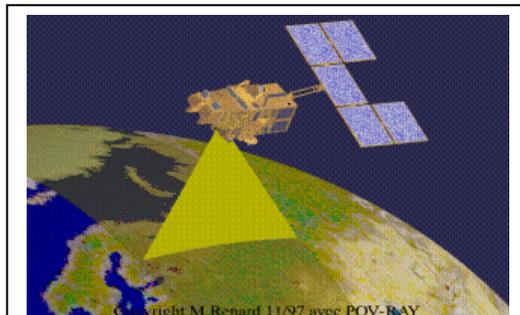


Figura 2. Forma de operación de un satélite rastreando la radiación electromagnética procedente de los objetos de interés sobre la superficie de la Tierra (Fuente: SPOTIMAGCF 1000)

El término SIG, se aplica a los sistemas computarizados de almacenamiento, elaboración, análisis, modelaje y recuperación de datos, que cuentan con equipos y programas específicamente diseñados para manejar información *georeferenciada* y los datos cualitativos que se obtengan de ésta. El SIG se utiliza para detectar las relaciones espaciales que existen entre diferentes objetos cartografiados.

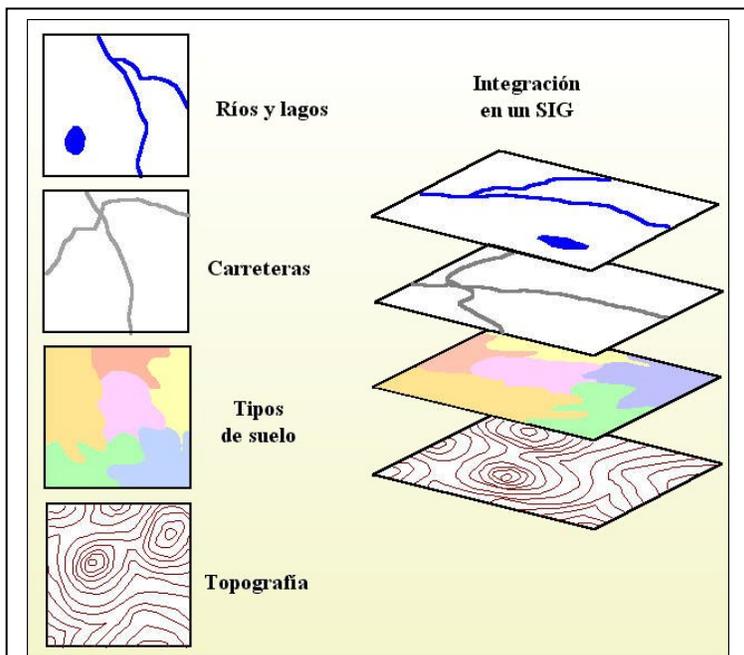


Figura 3. Integración de información espacial, dentro de un SIG, a manera de coberturas o capas (Adaptado de: Idrisi for Windows, 1997).

En general, la información espacial se representa en forma de capas, donde cada capa describe un elemento característico, como la topografía, la disponibilidad de agua, los tipos de suelo, las formaciones vegetales, el clima, la geología, la ubicación de poblados, la propiedad de la tierra, los límites administrativos y la infraestructura, entre otros (Figura 3). Esta información se combina con bases de datos alfanuméricas y una vez hecha la integración, es posible mapearla a partir de la base cartográfica anteriormente introducida.

3. Agricultura y Medio Rural

LOS productos de la percepción remota, así como el SIG, constituyen la herramienta, por excelencia, del proceso de planificación territorial, dado que permiten incorporar tanto las variables que interactúan en el espacio geográfico, como aquellas de orden cualitativo. De esa forma, se consideran instrumentos de consulta obligatoria, ágiles y útiles para la toma de decisiones en el campo del manejo integrado de recursos naturales.

Recientemente, los avances tecnológicos han cambiado la forma en que se llevan a cabo los análisis geográficos. Cada día más, las computadoras son empleadas para automatizar rutinas de la cartografía y los sensores remotos, generando datos que son fáciles de integrar a un SIG.¹

La tecnología de los sensores remotos permite tomar en cuenta una determinada unidad espacial y las múltiples interacciones que se dan en ella, partiendo de la definición de un territorio, de su delimitación espacial natural y de las transformaciones que la población ha llevado a cabo en su base de recursos naturales.

El análisis de las condiciones de los recursos bióticos y abióticos, integrando la valoración del estado del agua, el suelo, la cobertura vegetal, la geología y la topografía, así como la ubicación y características de los asentamientos humanos y las actividades socioproductivas (agrícolas e industriales), se conceptualiza a través de la gestión de la cuenca hidrográfica por medio del manejo integrado de recursos naturales.

Los mapas realizados a partir de imágenes de satélite se han convertido en la principal fuente para la elaboración de cartografía a mediana y pequeña escala. El secreto de la exactitud y riqueza de la información provista por una imagen de satélite radica en que en vez de tomar una simple fotografía, los dispositivos de video transmiten intensidades de luz procedentes de la superficie. Estas diferentes intensidades son procesadas por la computadora, que las identifica y clasifica los objetos, de acuerdo, precisamente, a esa intensidad (conocida también como *respuesta espectral*).

De esta manera se logra la generación de mapas temáticos, los cuales proveen grandes volúmenes de información sobre una base de carácter regional.

¹ Esto incluye el uso de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sistema que consta de 24 satélites en órbita a cargo del Departamento de Defensa de los EE.UU., los cuales permiten, por medio de un receptor, localizar la posición exacta de cualquier punto sobre la superficie del planeta (latitud, longitud y altitud).

3.1. ¿DÓNDE SEMBRAR Y CÓMO MONITOREAR LOS CULTIVOS?

La agricultura es uno de los campos que más se puede beneficiar de este desarrollo tecnológico, pues, la generación de información biogeográfica y agroecológica, posibilita un tratamiento más eficiente de la producción agrícola y, por lo tanto, una mayor competitividad en los mercados. Entre otras cosas, este instrumento permite realizar lo siguiente:

- **DEFINIR UNA ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA.** Esta se logra a partir de la combinación de datos climáticos, edáficos, topográficos, exigencias de cada cultivo (niveles de hierro, nitrógeno, acidez, alcalinidad, etc.), tipo de formaciones vegetales, y otros, a los que, además, se les puede agregar información socioeconómica (infraestructura, ubicación de mercados, volúmenes de oferta y demanda, etc.) (Figura 4).

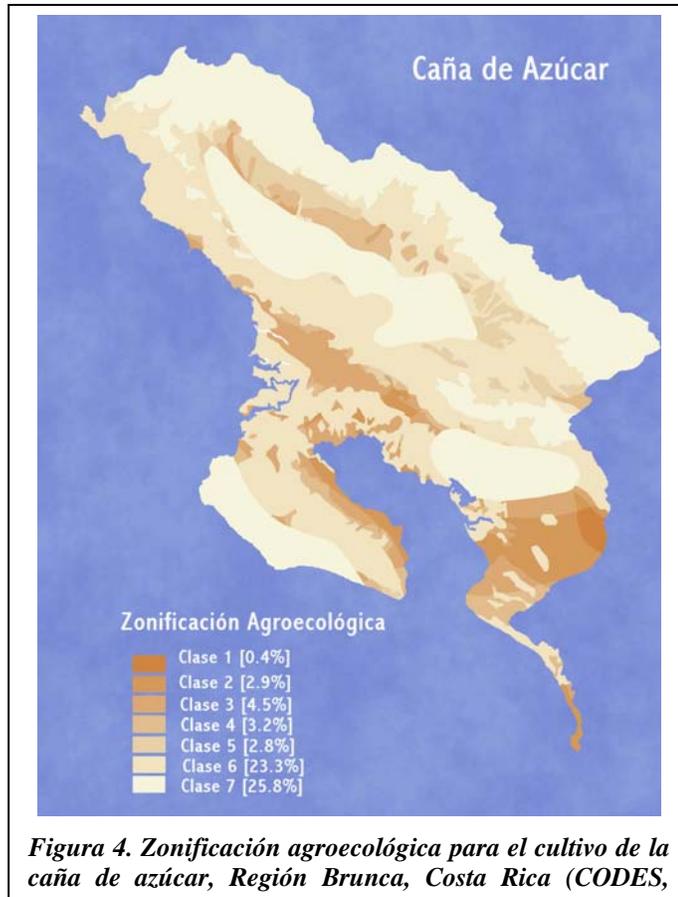
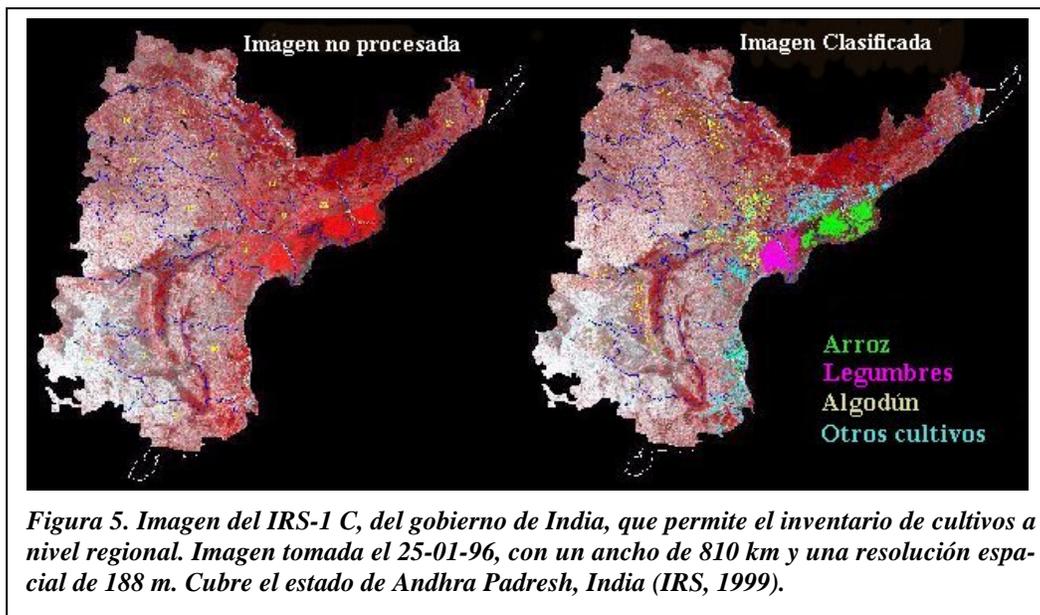


Figura 4. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar, Región Brunca, Costa Rica (CODES,

- **CUANTIFICAR ÁREAS CULTIVADAS.** La identificación del tipo de cultivo (Figura 5) y la localización de las áreas agrícolas productivas en relación con los mercados intermedios y finales, permite conocer la distancia entre las áreas productoras y los mercados. De esa forma, es posible, no sólo identificar el aporte de cada región a la productividad total, sino que se facilita la toma de decisiones en torno a la importancia de una región como productora de un bien de consumo. La Comunidad Europea, por ejemplo, brinda incentivos a determinados productos agrícolas, pero, para verificar si el área de cultivos reportada coincide con la información real, emplea imágenes obtenidas mediante sensores remotos (National Remote Centre, 1998).
- **AGRICULTURA DE PRECISIÓN.** Se trata de una nueva tendencia que interpola los datos de producción obtenidos a través de imágenes de satélite con los datos obtenidos en el campo. Su objetivo es generar un pronóstico preciso del volumen de producción, y esto

se puede hacer, mediante métodos estadísticos, de cuatro a seis semanas antes de las cosechas (Earth Satellite Corporation, 1999).



- **DETERMINACIÓN DE LA SALUD DEL CULTIVO.** Incluso antes de que los agricultores se percaten del problema, estos instrumentos permiten identificar el grado de estrés de los cultivos, producido, por ejemplo, por una deficiencia de humedad en el suelo o por alguna enfermedad). Precisamente, uno de los usos más importantes de los sensores remotos es determinar el estado de salud de los cultivos y esto se logra dándole seguimiento a las hojas (tamaño y forma), pues en muchas ocasiones es ahí donde se observan los primeros síntomas de una posible plaga (las hojas pueden mostrar, por ejemplo, niveles anómalos de reflectancia).

3.2. ¿SE PUEDE MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA REGIÓN DESDE EL ESPACIO?

LOS factores espaciales (suelo, clima, topografía, infraestructura, etc.) intervienen, sin la menor duda, en la competitividad de una finca, una empresa o una cadena agroalimentaria, puesto que sustentan la base de recursos sobre la cual se desarrollan las actividades agrícolas. La conjunción de tales factores le brinda un mayor valor agregado a una región, y esto, a su vez, la vuelve más o menos atractiva para la producción. El empleo de SR para monitorear la agricultura y los recursos naturales de una región se torna, entonces, trascendental, pues el conocimiento de su estado y calidad incidirá en el proceso de toma de decisiones:

- **ANÁLISIS DEL USO DEL SUELO.** A través de imágenes de satélite se puede analizar la evolución en los patrones de uso del suelo; además, se pueden delimitar y cuantificar las áreas que han cambiado su uso. De la misma forma, es posible determinar el uso actual y los conflictos de uso, lo cual permite tomar medidas para reordenar el territorio y lograr una producción sostenible.

- **PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS FRÁGILES** y escasos, identificando la localización de las tierras con mayor aptitud agrícola (en función de las condiciones geológicas, el contenido de humedad, la presencia de ciertos minerales, el grado de compactación y el color del suelo, pendiente, etc.). Ello permite determinar el potencial y las necesidades del riego para optimizar terrenos para la agricultura en áreas prioritarias.

3.3. ¿DÓNDE SE ESTÁ TALANDO Y EN QUÉ MAGNITUD?

Al observar los recursos forestales, los sensores remotos permiten determinar, con precisión, las áreas que han sido deforestadas. Dichos cambios en el patrón de uso de la tierra se dan, ya sea para dedicar una zona a actividades agrícolas o pecuarias, o, para extraer madera (Figura 6). Una vez talado el bosque, el suelo queda totalmente desprotegido y se hacen evidentes las consecuencias ambientales: erosión laminar y en masa, eutrofización de cuerpos de agua, sedimentación de embalses hidroeléctricos y acumulación de sedimentos en ríos, golfos y estuarios (con las consiguientes repercusiones en la pesca).

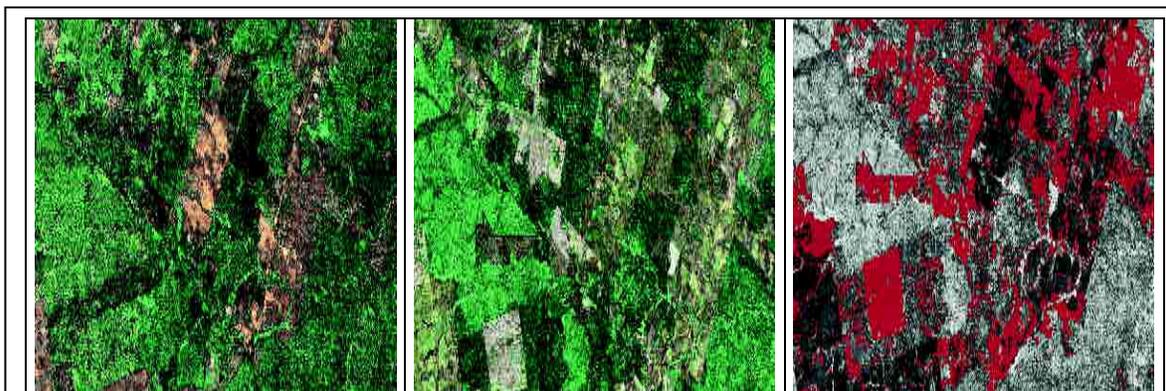


Figura 6. Imágenes del satélite SPOT que permiten evaluar el cambio de patrón en el uso de la tierra a partir de la deforestación. Las imágenes corresponden a un sector del estado de Pará (amazonia brasileña). Las primeras dos imágenes, de 1896 y 1989, muestran cambios por la tala de madera. La imagen de la derecha muestra el área total que cambió de uso (19.854 ha) en color rojo. (Fuente: SpotImage, Publications De L'ecole Moderne Francaise, 1998).

Por otra parte, es posible localizar las áreas que sufren un incendio forestal, ya sea detectando el humo o por el calor que emiten (para ello se emplea la banda del infrarrojo térmico). De esta forma es posible tener un mayor control en aquellas áreas que protegen recursos forestales pero que se encuentran poco pobladas. A su vez, estos instrumentos, permiten hacer una evaluación de las consecuencias de los incendios, cuantificando la biomasa perdida.

Un ejemplo de lo anterior se encuentra en Brass (1998), quien utilizó imágenes y datos obtenidos de satélites, para detectar incendios y estimar las emisiones atmosféricas resultantes, en El Cerrado, Brasil. Los resultados obtenidos indicaron que las áreas afectadas correspondían a espacios protegidos (donde predominaban arbustos y pastos), así como a áreas dedicadas a la ganadería extensiva (pastizales).

3.4. BIODIVERSIDAD Y MONITOREO AMBIENTAL

Las variaciones en la respuesta espectral de la vegetación permiten detectar, en forma precisa, la cobertura vegetal que se encuentra sobre la superficie de la Tierra y, en algunas ocasiones, dentro de los océanos y cuerpos de agua (Figura 7). Los cambios en los bosques, praderas y sabanas, así como en los cultivos y en el plancton marino pueden registrarse en términos cuantitativos, como también los sedimentos que se encuentran en suspensión en el agua (lagos, ríos y en el océano).

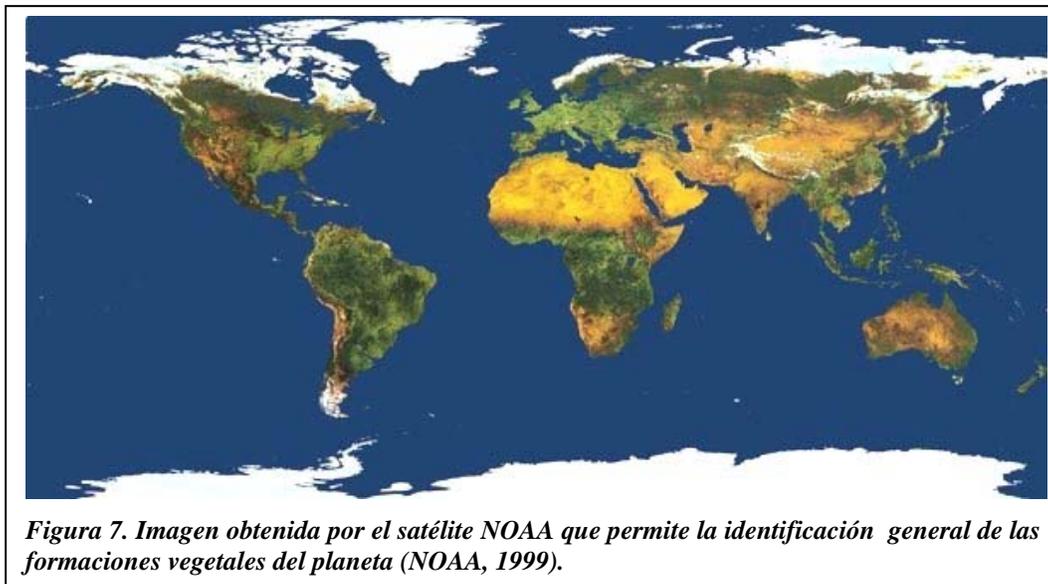


Figura 7. Imagen obtenida por el satélite NOAA que permite la identificación general de las formaciones vegetales del planeta (NOAA, 1999).

Debido a que las sustancias orgánicas vegetales son componentes dominantes en la mayoría de los ecosistemas, la información relacionada con la caracterización y el manejo de estos sistemas es, en la actualidad, llevada a cabo por los sensores remotos. Gracias a ellas es posible:

- apoyar los estudios de impacto ambiental: a través de la interpolación de impactos, es posible definir las zonas vulnerables y susceptibles de sufrir daños al verse expuestas a ciertas actividades socioeconómicas.
- delimitar hábitats potenciales para la vida silvestre: esto se logra gracias al conocimiento de que algunas especies se ubican en áreas con un cierto tipo de cobertura, a determinada altitud y distancia de centros poblados y carreteras, así como en áreas delimitadas por obstáculos (naturales y humanos), como ríos, carreteras, etc.
- manejo de áreas sensibles a la presión humana: la información permite determinar el impacto que pueden generar los elementos tóxicos emanados por industrias, incendios, y actividades industriales (como la minería y otras), sobre las formaciones vegetales, la calidad del agua y la calidad del aire. Tal es el caso de los humedales, entre los que destacan los manglares, ecosistemas costeros sumamente frágiles a la intervención del ser humano.

3.5. ¿DÓNDE HAY PELIGRO Y POR QUÉ? ¿DÓNDE PODRÍA SER EL PRÓXIMO DESASTRE?

LOS sensores remotos cobran particular interés en el seguimiento ambiental, dirigido a la prevención, mitigación y evaluación de desastres naturales, pues identifica las áreas vulnerables y le da seguimiento a eventos naturales que han desencadenado (o podrían desencadenar) algún desastre.

Por otro lado, dentro de las principales aplicaciones relacionadas con la gestión de las cuencas hidrográficas en el manejo de este tipo de eventos, está la ubicación de las áreas cultivadas, de los centros poblados y la localización de personas durante eventos de desastre.

El empleo de este recurso ha sido de gran utilidad en estudios como:

- **ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.** A través del análisis de series multitemporales de imágenes relativas a la temperatura ambiental, es posible detectar variaciones cíclicas. Esto ha dado origen al desarrollo de teorías sobre el calentamiento global, vinculadas con el impacto de las emisiones de gases nocivos tanto para el ser humano como para el ambiente. Un ejemplo de lo anterior lo constituyen las emisiones de clorofluorocarbonos (CFC), gases que están impactando seriamente la concentración del ozono en las capas altas de la atmósfera. Recordemos que el ozono se encarga de absorber los rayos ultravioleta, componentes de la radiación solar, los cuales son perjudiciales para la vida del planeta.
- **SEGUIMIENTO DE LOS FENÓMENOS DEL NIÑO Y LA NIÑA.**
- **IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES.** Esta identificación se hace en función de las actividades productivas y los emplazamientos humanos, y permite prevenir desastres, en caso de que se detecte una propensión a dichos eventos. También, se puede emplear la simulación para determinar la vulnerabilidad. Por ejemplo, la comparación de un modelo de elevación digital o de una imagen de satélite, con información relativa a las áreas con probabilidad de inundarse, permite valorar los daños potenciales (Figura 11)
- **ELABORACIÓN DE PLANES DE EMERGENCIA.** Se toman en cuenta aspectos como los caminos (número de carriles, material que los constituye, resistencia a los sismos); y, la ubicación de servicios de asistencia, tales como estaciones de bomberos, cruz roja y policía (se calculan los tiempos de respuesta de los vehículos, considerando la distancia de las estaciones y la velocidad a que pueden desplazarse



Figura 8. Imagen del SPOT que muestra cambios en el río Jamuna, brazo del Bramaputra, en Bangladesh, entre marzo de 1987 (azul oscuro) y marzo de 1989 (azul claro). El monitoreo del cambio en el comportamiento hidrológico del río permite modelar su curso y conducta, permitiendo llevar a cabo estudios preliminares para el control de inundaciones (SPOT. 1998).

las unidades según el tipo de camino, etc.).

- **CUANTIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR CONCEPTO DE AGRICULTURA, INFRAESTRUCTURA Y BIODIVERSIDAD.**

EL CASO DEL HURACÁN MITCH

De particular interés resulta destacar el empleo de los sensores remotos para enfrentar ciertas catástrofes naturales, tales como el huracán Mitch, que afectó la región del Caribe y Centroamérica. Observando las imágenes “antes” y “después” del paso del Huracán Mitch, es posible cuantificar la magnitud del desastre sobre la base biofísica, productiva y de infraestructura. Allí se evidencia claramente el desbordamiento de los ríos y los procesos de remoción en masa (deslizamientos y avalanchas) que tuvieron lugar, como consecuencia de la altísima precipitación que azotó la región.

ORDENAMIENTO TERRITORIAL: ¿QUIÉN ES EL DUEÑO? ¿PAGA SUS IMPUESTOS? ¿QUÉ IMPACTO TENDRÍA UN PROYECTO DE RIEGO SOBRE SU ENTORNO?

LA tecnología mencionada permite analizar las condiciones imperantes en un territorio, en relación con la distribución de los recursos naturales y el uso a que están sometidos. Tanto los Sensores Remotos como los Sistemas de Información Geográfica son herramientas de primera mano en los procesos de ordenación del espacio, pues, al integrar todos los elementos que entran en juego en las actividades que la sociedad lleva a cabo, otorgan una visión de conjunto. A continuación se mencionan algunas de las entidades que podrían sacar provecho de estas herramientas y algunos de los usos que se les podrían dar:

- **GOBIERNOS LOCALES:** Los gobiernos locales podrían lograr una gestión más eficiente si utilizaran un SIG apropiado para sus necesidades básicas. Recordemos que la municipalidad es un sistema interdependiente de personas, instituciones, servicios, etc., conectados geográficamente. El SIG ofrece la posibilidad de mejorar la calidad y la precisión de la información utilizada por el gobierno local, y además facilita el acceso a ella, lo cual le confiere más agilidad al sistema. Entre los múltiples usos del SIG se encuentran: seguimiento y evaluación del impacto económico, social y ecológico de proyectos y otras actividades realizadas en un espacio determinado; control de la recolección de impuestos (territorial, patentes, etc.); catastro de la propiedad; diseño, control y seguimiento del estado de las vías de comunicación; localización y reubicación de servicios en función de la demanda; localización de áreas que demandan atención integral en forma prioritaria (control y seguimiento de sectores marginales); localización de áreas adecuadas para rellenos sanitarios, etc.
- **ORDENAMIENTO TERRITORIAL.** El desarrollo de catastros municipales permite identificar el propietario de la parcela, la extensión de esta, la infraestructura ahí contenida, el tipo y número de servicios con que cuenta, el tipo de impuestos a que está sujeta y los gravámenes que sobre ella penden. De igual forma, en caso de que sean establecimientos comerciales, permite evaluar si cuentan con los permisos básicos, las fechas en que estos fueron expedidos y las fechas en que deben renovarse. Si se cuenta con estadísti-

cas censales, entonces en la base de datos se podría incluir información demográfica como número de habitantes, sexo, edad, condición laboral, etc.

- **SIMULACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA.** Simulaciones de este tipo (como carreteras, edificios, líneas de distribución eléctrica, oleoductos, etc.) en un paisaje dado, permiten evaluar el impacto que estas obras podrían tener, antes de ser implementadas.
- **ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD.** El empleo de esta tecnología puede satisfacer demandas relacionadas con el movimiento de objetos a lo largo de una red lineal. Esta característica de los SIG permite calcular distancias, tiempos y costos entre dos puntos, tales como: duración del viaje de un vehículo saliendo de la finca hasta el mercado (y los costos que ese viaje puede implicar de acuerdo con el tipo y estado de la ruta que esté tomando), el tiempo que dura la avenida de un río en alcanzar un poblado localizado en su cuenca baja, la cantidad de energía perdida por unidad de distancia de una línea de transmisión eléctrica, etc.
- **RECONOCIMIENTO Y ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ESPACIALES ENTRE DISTINTAS CONDICIONES.** La capacidad de discriminar objetos por parte de un SIG permite llevar a cabo diferentes análisis basados en el tipo de relación geográfica que entre ellos hay: *de vecindad*, determinando qué está al lado de qué (por ejemplo, identificar los dueños de las propiedades que circundan un área protegida); *de proximidad*, qué tan cerca está un objeto respecto a otro (como distancias entre el mercado, centros de acopio y las áreas cultivadas); y *de contención*, qué está contenido por qué (por ejemplo, determinar las fincas contenidas en zonas productivas prioritarias, con fines crediticios).
- **SERVICIOS GERENCIALES Y SELECCIÓN DE SITIOS ADECUADOS PARA PROYECTOS.** Los sistemas de información geográfica permiten monitorear, en forma continua, el estado de los proyectos que desarrolla una institución. Permite, además, el seguimiento de proyectos agrícolas, plantaciones forestales, áreas de riego, plantas hidroeléctricas, industrias, urbanizaciones, puentes, plantas de tratamiento de desechos, rellenos sanitarios, etc., o la selección de su posible ubicación, de acuerdo a la combinación de una serie de elementos naturales y antrópicos (Figura 9).
- **CUANTIFICAR LOS COSTOS AMBIENTALES DURANTE LAS FASES DE PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD DE LOS PROYECTOS.** Este es otro de los usos que se le pueden dar al SIG. Además, como pueden emplearse para simular el impacto de las obras pú-



Figura 9. Imagen SPOT (Dic. 1993), reflejando el estado de la construcción del embalse Yacyretá, sobre el río Paraná (Argentina) determinando así el área a afectar, los tipos de uso que se alteran, etc. (Fuente: SPOT Image, 1998).

blicas en el ambiente, le confieren una mayor efectividad a los estudios de impacto ambiental. Los planificadores pueden observar una nueva carretera, un embalse hidroeléctrico o una nueva línea de ferrocarril como si ya estuviera presente en el espacio (incluso se puede simular el llenado del embalse, con las observaciones subsecuentes que esto permite).

Empleo institucional de los Sensores Remotos

TODOS aquellos proyectos que, en forma directa o indirecta, tengan un componente espacial, pueden hacer uso de los sensores remotos y del SIG. Como se ha demostrado, son instrumentos muy versátiles, que proveen gran cantidad de información, que permiten establecer nuevas relaciones y que generan horizontes que trascienden, en mucho, las barreras hasta hoy existentes.

Entre las instituciones que hacen uso de los Sensores Remotos y de la tecnología asociada, aplicándola a proyectos de gestión espacial, destacan el Banco Mundial y el IICA. En el caso del IICA, algunos de los proyectos que hacen uso del SIG son “Technology generation and validation and soil conservation in the Morant and Yallahs Watersheds” (Jamaica), “Apoyo administrativo para continuar con el proceso de dotación, capacitación y actualización en tecnologías SIG Digital en los Deptos. que forman parte del proyecto ‘Aplicación de los Sistemas de Información Geográfico Digital en Planificación Nacional Regional’ ” (Colombia), así como “Cooperación técnica para el proyecto de desarrollo rural de la cuenca alta del río Cañar” (Ecuador).

En el mercado se pueden encontrar muchos SIG que se ajustan a las más diversas necesidades. La clave para seleccionar un SIG reside no en la potencialidad del programa sino en las necesidades que se quieren resolver. Las opciones son muchas y los costos diversos: Idrisi for Windows (\$695), ArcInfo (para PC \$3600 y para WorkStation NT \$10600), Arc View (\$1800) MapInfo (\$1245) y Microstation (\$1800), entre otros.

Se sabe que los países de América Latina y el Caribe cuentan con unidades especializadas en el manejo de esta tecnología (tales como Institutos Geográficos Nacionales, Ministerios de Agricultura, universidades, etc.), pero estas unidades se concentran en esfuerzos individuales, desarticulados del contexto, lo que hace que se pierda la visión de conjunto. Esto ha llevado al desarrollo de sistemas incompatibles entre sí, con el agravante de que, producto de los diferentes formatos de los sistemas, mucha de la información levantada no puede ser intercambiada entre instituciones. La consecuencia inmediata ha sido la duplicación innecesaria de esfuerzos y recursos.

Conclusión

LA tecnología de los Sensores Remotos y de los Sistemas de Información Geográfica es una herramienta esencial para facilitar el proceso de toma de decisiones en el ámbito territorial. Es claro que su uso se ha extendido en los últimos diez años, sobre todo en los países industrializados. Esta tecnología, sin embargo, existe en los países de América Latina y el Caribe, aunque en la mayoría de los casos su desarrollo e implementación no ha sido planificado; es decir, se ha carecido de una visión planificadora.

De esa forma, son muchas las instituciones que han desarrollado su propio SIG, pero sin considerar la posibilidad de integrar información con otras entidades. Estamos, entonces, en presencia de un conjunto de programas no compatibles entre sí, lo que evita el intercambio de información, y obliga a la duplicación innecesaria de esfuerzos y al desperdicio de recursos como tiempo y dinero.

La agricultura juega un papel muy importante en la vida diaria de la población mundial. El manejo efectivo de la agricultura es imperativo si se desea satisfacer la demanda impuesta por una población creciente y en una época de globalización. Es indudable que cada día son mayores las exigencias y los controles en cuanto a la calidad de los productos.

El uso de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica ha mostrado ser de gran utilidad en el manejo integrado de recursos naturales, la producción agrícola, la planificación territorial, y la prevención, monitoreo y evaluación de los desastres naturales. Más aún, a esta tecnología se le considera una herramienta práctica para instrumentar el desarrollo sostenible de la agricultura y los espacios rurales en las instituciones vinculadas a la toma de decisiones en los niveles local, regional y nacional.

Por otra parte, el empleo de esta tecnología en las etapas tempranas del crecimiento de los productos agrícolas permite detectar a tiempo, e incluso antes de que sea observado por los propios agricultores, las condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades. Este potencial, desde el punto de vista fitosanitario, se traduce en un constante monitoreo que evitará que se pierdan millones de dólares por el desarrollo de enfermedades en los cultivos. Recordemos que estas pérdidas suelen afectar tanto la capacidad de los agricultores para recuperar la inversión realizada (y encarar a las entidades financieras), como la capacidad de los gobiernos para satisfacer el consumo interno y las cuotas de exportación a terceros mercados.

El reto tecnológico de la era digital debe ser abordado por las naciones latinoamericanas a fin de no quedar rezagadas en la presente etapa de globalización. Muchas instituciones, como parte de las condiciones para préstamos financieros, favorecen el empleo de esta tecnología, conectoras de que son medios ágiles y objetivos para la obtención de la información, brindando, al mismo tiempo, la capacidad instalada en muchas entidades gubernamentales, para permitir el continuo desarrollo de información digital.

La revolución que estos instrumentos ha generado en el campo de la agricultura se traduce en nuevas alternativas y nuevas ópticas desde las cuales abordar los problemas fitosanita-

rios y los impactos que sobre esta actividad causan los desastres naturales. Ahora es posible integrar, en forma directa, la evaluación de la dinámica espacial en los procesos de gestión de las políticas agrarias.

Desde el punto de vista institucional es preciso abordar el empleo de esta tecnología en forma integradora; es decir, implementando sistemas compatibles entre sí, por medio de una entidad rectora, que defina qué información existe para evitar la duplicación de esfuerzos. Ello permitirá que las instituciones se centren en el manejo de políticas tendientes al desarrollo sostenible de los espacios rurales con una serie de herramientas que facilitarán la toma de decisiones.

El IICA, como entidad orientadora de estrategias y políticas en el sector agrícola, debe incluir en sus propuestas de modernización institucional la utilización de la tecnología de los SR, con el objetivo de fortalecer el empleo de estas herramientas en la toma de decisiones a nivel gerencial. A su vez, se recomienda desarrollar una Red Hemisférica de información georeferenciada de instituciones involucradas en el desarrollo sostenible de la agricultura y el medio rural que empleen los productos del SIG y los SR con el objetivo de establecer un proceso de retroalimentación continuo, que permita la asistencia en la implementación de esta tecnología y el intercambio de experiencias.

Bibliografía

European Space Agency (ESA). 1999. El Niño: ATSR monthly average Sea Surface Temperature over the world. <http://earth1.esrin.esa.it/eeo/rgt/ee04.20108>

GAF, 1999. Remote sensing and agriculture. <http://www.gaf.de/agricul/agricul.htm>

NASA, 1999. The Landsat Satellites: unique national assets. http://pao.gsfc.nasa.gov/gsfsc/service/gallery/fact_sheets/earthsci/landsat/landsat7.htm

OEA, 1991. Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas para reducir los daños. Washington, D.C.

S.a. Las secuelas del Huracán Mitch. En: Actualidad Económica En Línea. Artículos. Vol. 13 #192-193. 1998.

Sepúlveda, S. 1999. Manejo Integrado de Recursos Naturales. IICA, Coronado.

Sepúlveda, Sergio et al. 1996. Desarrollo Sostenible: Metodología para el Diagnóstico Microregional. IICA. Area de Concentración IV. Desarrollo Rural Sostenible. Coronado.

SPOT, 1998. SPOT Programme. http://www.belspo.be/telsat/spot/sppg_001.htm

USGS, 1998. Center for Integration of Natural Disaster Information (CINDI). <http://cindi.usgs.gov/events/index.html> y <http://mapping.usgs.gov/mac/isb/pubs/factsheets/fs16698.html>

USGS. 1999. Geographic Information System. <http://www.usgs.gov/research/gis/title.html>