

PROTOTIPO DE UN SISTEMA INTEGRADO DIGITAL PARA LA CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS Y USOS DE LA TIERRA A NIVEL DE FINCA BANANERA

Darío Antonio Castañeda Sánchez¹; Ruth Yesenia Montoya Gutiérrez² y Carlos Alberto Escobar Chalarca³

RESUMEN

Se desarrolló un prototipo de un sistema integral para la clasificación de coberturas y usos de la tierra, aplicable a los sistemas bananeros. Este se basó en dos criterios, el de la participación comunitaria y el del sensoramiento remoto. El primero se fundamenta en la incorporación del conocimiento que tiene la comunidad de su entorno mediante talleres y cartografía social, el segundo propone el empleo de herramientas tecnológicas de bajo costo para el levantamiento de las coberturas y uso de la tierra, como la adquisición de fotografías aéreas de baja altitud usando un sistema conformado por una cometa o globo, un equipo para la adquisición de las imágenes y un equipo de control en tierra. La propuesta fue aplicada mediante un estudio de caso en una finca bananera ubicada en la región de Urabá (Colombia). El análisis de imágenes permitió la agrupación de las coberturas en clases o grupos y con el aporte de la participación comunitaria se describieron los usos para cada cobertura. Finalmente se hizo un análisis de las normas ambientales relacionadas con la distribución espacial de las coberturas, hallándose por ejemplo áreas de retiro del cultivo respecto a recursos o zonas vulnerables así como su cumplimiento o no de la normatividad.

Palabras claves: Sistema integral, sensoriamiento remoto, cartografía, cobertura, distribución espacial.

¹ Coordinador. Línea de Agricultura de Precisión. Cenibanano – Augura. Conjunto Residencial Los Almendros. Carepa, Colombia. <dacastanedas@gmail.com>

² Ingeniera Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 0237. Palmira, Colombia. <yesenia_montoya5@yahoo.es>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 0237. Palmira, Colombia. <caescha@yahoo.es>

Recibido: Junio 13 de 2005; aceptado: Octubre 10 de 2005.

ABSTRACT

DIGITAL INTEGRATED SYSTEM FOR THE CLASSIFICATION OF LAND COVER AND USE TO BANANA FARM LEVEL

An integrated system was developed for the classification of land cover and use that is applicable to banana systems. It was based on two criteria; community participation and remote sensing. The former is based upon incorporation of the knowledge that the community has regarding its surroundings through workshops and social cartography; the latter proposes the use of low cost technological tools for establishing land covers and uses, such as acquiring low altitude aerial photographs using a system comprised of a kite or balloon, equipment for image acquisition, and ground based control equipment. The proposal was applied through a case study in a banana plantation located in the Urabá region (Colombia). Image analysis permitted aggregating the land covers into classes or groups and with the aide of community participation, the uses of each land cover was described. Finally, an analysis of environmental regulations was conducted related to the spatial distribution of the land covers, establishing for example areas for withdrawing from cultivation with respect to resources or vulnerable areas, as well as the compliance or non compliance with regulations.

Key words: Integrated system, remote sensing, cartography, land covers, spatial distribution.

El estudio de la cobertura y uso de la tierra contribuye al conocimiento de las formas de apropiación y construcción territorial, a la explicación de la interrelación entre los sistemas natural y social, a la indagación sobre las dinámicas de los procesos de asentamientos y de los sistemas territoriales y al análisis sintético de la realidad territorial manifestada espacialmente (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) 1997). La cobertura terrestre comprende los atributos de la tierra: cuerpos de agua, vegetación, los diferentes tipos de construcciones, cuerpos rocosos, cuerpos con nieve y superficies húmedas, algunos de estos naturales y

otros afectados y/o productos de las necesidades del hombre (Forero 1981).

Los atributos de la tierra pueden ser directamente observados en fotografías aéreas e imágenes de satélite. En su estudio, es necesario la extracción de la información de los diferentes tipos de cobertura contenida en las imágenes; esto es el ordenamiento o arreglo de los objetos observados dentro de grupos o conjuntos sobre la base de sus propiedades. La clasificación debe considerar un propósito específico, determinar la escala de trabajo, generar categorías de clasificación, y generar

cartografía con información compilada y relevante para diferentes estudios; por ejemplo, cuantificar los recursos existentes en una región, determinar los remanentes de vegetación o de diversidad en un área, ordenamiento territorial y ambiental e incluso iniciar procesos en el campo agrícola con la agricultura de precisión (IGAC 2000, 2002).

Si bien, en la región de Urabá se cuenta en los POT de sus municipios con una clasificación de coberturas para cuantificar todas las áreas, ésta no tiene una metodología precisa, pues se encuentran variaciones en áreas de una fuente a otra. En el caso específico del cultivo de banano, no se cuenta con un sistema de clasificación de cobertura y usos de la tierra a nivel de finca, que permita en un momento dado relacionar las dinámicas biofísicas y socioeconómicas para el análisis-síntesis del paisaje en la unidad agrícola (Departamento Administrativo de Planeación 2000). Del mismo modo, las exigencias actuales en la normatividad ambiental, como las franjas de retiro que deben ser establecidas entre el cultivo y recursos vulnerables como los cuerpos de agua, asentamientos humanos y vías troncales; han representado un empeño constante para su regulación; sin embargo, es indispensable contar con herramientas que faciliten seguir en el tiempo el cumplimiento normativo (Falla 2000, Departamento Administrativo de Planeación 2000).

En tal sentido, este trabajo consistió en desarrollar un prototipo, de un sistema integrado y digital para clasificar las coberturas y los usos de la tierra existentes, a escala de finca bananera (70 ha), empleando fotografías aéreas de baja altitud. La propuesta incorpora la participación comunitaria y la normatividad ambiental, de tal forma que permanentemente se puede evaluar el avance o retroceso por los cambios en los usos que el hombre le da a estas coberturas en un momento determinado.

Conceptualización del sistema. Se requiere ponerse inicialmente de acuerdo con los conceptos mínimos usados para comprender los atributos de la biosfera. **Tierra** se entenderá como, una entidad formada por la mutua interacción de la naturaleza viviente y no viviente en una porción de la superficie terrestre (IGAC 1997). Se hará referencia a **suelo** como, un área delimitable de la superficie terrestre que abarca todos los atributos de la biosfera inmediatamente encima o debajo de esta, incluyendo el clima cercano, las formas del suelo y de la tierra, la superficie de la hidrología, poblaciones de plantas y animales, los patrones de arreglos y los resultados físicos de actividades humanas pasadas y presentes (FAO 2003).

Cobertura, se relaciona con los atributos de la tierra (cuerpos de agua, vegetación, vías, otros tipos de construcciones, cuerpos rocosos, cuerpos de nieve y superficies húme-

das), algunos de estos naturales y otros afectados y/o producto de las necesidades del hombre (Forero 1981). Estos atributos, son los rasgos que pueden ser directamente observados en las fotografías aéreas y frecuentemente en las imágenes de satélite (IGAC 1997). Una **unidad de cobertura** es entonces el conjunto de elementos con características propias y diferenciables de conjuntos aledaños, que se pueden delimitar y que además se repiten en otros espacios (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) 1999). El **uso de la tierra** es caracterizado por los arreglos, las actividades y las entradas realizadas por el hombre en un tipo particular de cobertura del suelo para producir, cambiarla o mantenerla (FAO 2003). El uso de la tierra, relaciona la utilización y las actividades de manejo del suelo llevadas a cabo por el hombre para obtener productos y/o beneficios. Los productos son los materiales o salidas tangibles, mientras que los beneficios son inmateriales o intangibles (Van Wijngaarden 1994). El **paisaje** es una síntesis de la realidad territorial que expresa las interacciones existentes entre la naturaleza y la sociedad, y debe entenderse como una expresión espacial de las formas socioeconómicas y no solo como la superestructura que fundamenta y sustenta las interacciones orgánicas e inorgánicas (IGAG, 1997). El paisaje está constituido por dos partes, una visible que corresponde a su estructura y composición, denominada fenosistema y una no visible o crip-

tosistema. Cuando un paisaje va a ser identificado, delimitado o caracterizado, la manera de analizarlo es a través de los aspectos relacionados con el fenosistema, el cual a su vez representa una expresión sintética de los procesos ecosistémicos del paisaje (Etter 1994). El fenosistema se compone de dos partes básicas que son, la morfología de la superficie terrestre o del terreno llamada geoforma y los elementos que la recubren, conocido como cobertura. La **cobertura** y la **geoforma** se comportan como indicadores de síntesis del paisaje por ser el resultado de la interacción espacio-temporal de los factores sistémicos; así, los cambios en el tiempo y en el espacio del paisaje se pueden percibir con el estudio de estos dos componentes (Vargas 1992).

La **clasificación de las coberturas y uso de la tierra** es definido como el ordenamiento o arreglo de los objetos dentro de grupos o conjuntos sobre la base de sus relaciones; describe un armazón sistemático con los nombres de las clases y los criterios usados para distinguirlos entre ellos, así como las relaciones entre las clases. La clasificación necesariamente requiere de la definición precisa y clara en lo posible cuantitativa y sobre el criterio de un objetivo único, de los límites de las clases (Di Gregorio y Jansen 1998). La **cobertura vegetal** como una clase de las coberturas comprende todo el manto vegetal de un territorio dado. Es de importancia por su capacidad

asimilatoria de energía solar, por ser productor primario de casi todos los ecosistemas, y por la relación con los otros componentes del subsistema biofísico (estabilización de pendientes, control de erosión, control hídrico, definición de microclimas locales y hábitat de especies) (IGAC 1997).

Objetivos, participación, normatividad, metodologías, fuentes de información y tecnologías integradas en el prototipo del sistema digital de clasificación de coberturas y usos de la tierra

Objetivos: Inicialmente deben definirse claramente las razones que justifican el análisis de las coberturas. Se plantean los siguientes objetivos:

- Cuantificar y espacializar los diferentes tipos de cobertura y usos de la tierra existentes en una finca bananera; simultáneamente, podría tenerse también interés en evaluar su estado.
- Analizar el cumplimiento de las normas ambientales relacionadas con las coberturas y usos actuales.
- Evaluar el cambio temporal y espacial que sufren las coberturas por el uso que el hombre les da, así como por efecto de las condiciones naturales.
- Plantear usos ambiental y agronómico acordes a los tipos de cobertura existentes. En fincas

cuyos usos ya están implementados, puede ser recomendable el cambio de uso sobre ciertas áreas de coberturas, bien sea para protección y/o cumplimiento de las normas.

Participación. Es de gran importancia, la socialización del programa de clasificación de coberturas entre los actores del uso de la tierra, pues son éstos quienes más conocen la distribución, el estado, el impacto que sus actividades tienen sobre las coberturas. Además, son los que en última instancia deben tomar la decisión del cambio de uso para un tipo particular de cobertura en un momento determinado. La participación se recomienda incorporarla a través de talleres y reuniones, recorridos de campo, implementando siempre los conceptos de la cartografía social (Escobar *et al.* 2003). Es indispensable su participación en la estructuración y establecimiento de clases, leyendas, características cartográficas, niveles jerárquicos, numerales descritos mas adelante.

Normatividad. Todo lo relacionado con normas ambientales en el sector bananero, es regulado en el ámbito internacional, a través de los programas de certificación (puesto que es un producto agropecuario principalmente de exportación); nacional, por el régimen legal del medio ambiente; regional, a través de las políticas, acuerdos y decretos territoriales establecidos en los planes de ordenamiento territorial (POTs); y local, a

través de la guía de aspectos legales en la gestión ambiental del sector bananero.

El principal objetivo de estas normas es la protección y conservación de los recursos naturales, con un especial énfasis en las coberturas vegetales y los cuerpos de agua superficiales. La realidad territorial evidencia poca eficacia de la normatividad; sin embargo, es significativo el mejoramiento en los últimos años a partir de los requerimientos y exigencias internacionales, (Anexo 1).|

Metodologías de clasificación de coberturas y uso de la tierra.

La clasificación de las coberturas y usos de la tierra requiere de un propósito claro y específico, una escala de trabajo, las categorías de clasificación, el enfoque y los criterios para la caracterización y agrupación de los atributos de la tierra como: características fisionómicas, estructurales, florísticas, fisiográficas, ecológicas. Muchas de estas características pueden ser capturadas por sensores remotos, dependiendo de la resolución espacial y espectral de estos (Vargas 1992 y Etter 1994).

Diversos métodos de clasificación a nivel nacional y mundial han sido propuestos para la clasificación de coberturas y uso de la tierra. Estos se diferencian principalmente en el enfoque, parámetros y criterios para la determinación de las clases. La mayoría de los sistemas han tomado

como base el estudio de la Unión Geográfica Internacional, entre ellos se encuentra el Sistema UNESCO 1973, para la clasificación de cobertura vegetal a nivel mundial (Aguiló *et al.* 2000). En 1976 Anderson y otros ajustaron la clasificación de la UNESCO de manera que pudiese ser hecha mediante interpretación de imágenes de satélite, a partir de este año se ha avanzado a nivel tecnológico, requiriéndose siempre de imágenes satelitales o fotografías aéreas para realizar estudios de coberturas (Forero 1981 y Vargas 1992) (Anexo 2).

Estructuración de clases.

El sistema se basa fundamentalmente en la extracción de la mayoría de la información básica primaria a partir de imágenes aéreas de alta resolución, capturadas de la finca bananera. La información es organizada por niveles jerárquicos de acuerdo con las coberturas existentes y los usos dados por el hombre a cada uno de estos tipos de cobertura. Cada nivel está descrito por una serie de características y criterios cuyo propósito es agrupar las coberturas y usos comunes. En este sentido se proponen cinco niveles categóricos, tres de ellos tienen que ver con la cobertura y el cuarto y quinto con los usos de la tierra. La estructura considera las características específicas de las coberturas y los usos de la tierra a nivel de predio (Tabla 1).

Tabla 1. Estructura de las clases para el prototipo de clasificación de coberturas y usos de la tierra a nivel de finca bananera.

Cobertura			Uso	
Primer nivel categórico	Segundo nivel categórico	Tercer nivel categórico	Cuarto nivel categórico	Quinto nivel categórico
Gran clase	Clase	Subclase	Uso predominante	Uso específico
Nivel más general y hace referencia a los atributos de la tierra, elementos bióticos y abióticos visibles sobre la superficie de la tierra. Fácilmente delimitable en los productos de sensores remotos	Diferencia de manera general los aspectos de mayor expresión dentro de cada gran clase	Las características más específicas que permiten la separación de cada clase	El uso que tiene mayor influencia en la zona de estudio	El uso concreto de las actividades llevadas a cabo en cada subclase

Leyendas y características cartográficas. Consiste básicamente en hacer corresponder de manera directa una clase de un nivel categórico con cada unidad cartográfica. Esta tarea es llevada a cabo durante el proceso de clasificación, el cual se describe posteriormente.

Niveles jerárquicos. Los criterios generales de la FAO 2000 para la determinación de una clasificación establecen que esta debe ser integral, válida científicamente, y orientada a la práctica; además, apro-

piada para diversas necesidades de los usuarios y que a mayor nivel de detalle se pueda usar solamente subcategorías determinadas. De acuerdo con lo anterior se propone un sistema que contiene los elementos generales de la clasificación nacional del IGAC y del IDEAM complementándose con las subcategorías del nivel de finca bananera, Tabla 2. Esto indica que en un momento determinado los niveles podrían ser empleados en cualquier otro subsector agrícola ajustándola a sus características y necesidades.

Tabla 2. Leyenda de clasificación de cobertura y uso de la tierra para una finca bananera.

COBERTURA Y USO DE LA TIERRA					
Cobertura			Uso de la Tierra		
Gran clase	Clase	Sub-clase	Tipo	Uso predominante	Uso específico
Vegetal natural y semi-natural	Bosques	Bosques naturales	Bosque basal (0 a 1000 msnm)	Reserva forestal	Conservación, protección de los suelos para el control de la erosión, extracción
			Bosque ribereño	Protección de cuerpos de agua	Conservación del recurso hídrico, estabilización de cauces, protección de los suelos para el control de la erosión, corredores biológicos, albergue de fauna
		Bosques naturales fragmentados	Bosque basal fragmentado	Extracción selectiva de fauna y flora	Cultivos, pastos en transición a potreros, extracción
			Bosque ribereño fragmentado	Extracción selectiva de las franjas de protección	Cultivos, pastos en transición a potreros Extracción
	Matorrales	Arbustos naturales y/o inducidos	Vegetación arbustiva y herbácea	Sucesión natural	Ausencia de prácticas de cultivos o pastos, terrenos improductivos por condiciones socioeconómicas o degradación de suelos
	Franjas de retiro	Vegetaciones mixtas	Arbustos Arbórea herbácea	Protección de cuerpos de agua	Conservación del recurso hídrico, estabilización de cauces, protección de los suelos para el control de la erosión. Corredores biológicos, albergue de fauna
Vegetal cultural	Cultivos	Semi-permanentes	Banano	Exportación	Agricultura tecnificada Labores del cultivo Tecnologías usada
	Bosque	Bosques plantados	Teca, otro	Protector productor	Conservación, protección de los suelos para el control de la erosión Extracción Comercialización
	Otros tipos de vegetación	Jardín	Ornamentación	Alrededores del cultivo	Para áreas de la empacadora y de las orillas de las vías internas
Cuerpos de agua	Lénticos	Artificial Natural	Lago, laguna, pequeños embalses	Regulación recurso hídrico o practicas de riego	Labores agrícolas
	Lóticos		Ríos, Quebradas	Abastecimiento para uso industrial y vertimientos	Lavado de fruta, Disposición final de aguas servidas tratadas o no tratadas
Suelo desnudo	Suelo sin vegetación	Suelos degradados	Madre vieja	Drenaje Agrícola	Colector de agua drenada
			Degradación física, química y biológica	Suelo sin uso	Suelos improductivos
Infraestructura	Construcciones	Rurales	Empacadora vías, canales	Agroindustrial	Comercialización y exportación

Tecnología implementadas

Prototipo del sistema de adquisición de imágenes. El prototipo del sistema de adquisición de imágenes esta conformado de tres partes: una para la captura, otra de control en tierra, y una plataforma. La parte de captura de imágenes se compone a su vez de una cámara digital marca Olympus D40Z acoplada a un soporte fabricado en aluminio.

El soporte posee cuatro servomotores, tres se usan en la orientación y uno en el accionamiento de la cámara durante la captura de la imagen. La cámara digital tiene adaptado un transmisor de video enviando continuamente imágenes a un receptor en tierra. Todo el componente de captura de imágenes es suspendido sobre el cultivo a través de un globo de helio o una cometa, usados como plataforma. El control en tierra, es básicamente un control remoto marca Tower Hobbies, que permite al operador guiar el componente de captura, cuando este está en el aire. Al control remoto se adaptó un receptor de video y un televisor los cuales permiten recibir y visualizar las imágenes enviadas por el transmisor y orientan la selección de tomas adecuadas sobre el cultivo (Figura 1).

Parámetros del sensor. El dispositivo de captura de imágenes, permite el acople de una cámara digital visible, marca Olympus c5050 o de una cámara digital infrarroja, marca Tetracam. Es recomendable obtener

imágenes con los dos tipos de cámaras, por la información complementaria obtenida. Los parámetros a los cuales debe ser ajustada la cámara visible son los siguientes: 2048 por 1536 píxeles de resolución, 200 de ISO, 8 de apertura, 36 mm de longitud focal y 1/650 s de exposición. Se trabaja a 250 m de altura promedio sobre el nivel del terreno con una resolución espectral RGB y espacial 5 x 5 cm. La cámara infrarroja se ajusta a los siguiente parámetros: 1280 x 1024 píxeles de resolución espacial y 0,0014 s de tiempo de exposición.

Análisis de imágenes. El análisis de imágenes consiste de la extracción de la información de interés, que en este caso esta relacionada con los diferentes tipos de coberturas presentes en la imagen. La interpretación e identificación de las características de interés puede ser realizada de forma, manual o visual por un interpretador humano, empleando un formato tipo fotográfico o pictórico, en otras palabras formato análogo. Las imágenes también pueden ser representadas en un computador como arreglos de píxeles, en donde cada uno corresponde con un nivel de intensidad, de acuerdo con la escena representada y su análisis puede ser realizado, manualmente, semi-autónomo o autónomamente, según la participación o no de un interpretador humano. La escala, se define como la magnitud o nivel de abstracción a la cual un objeto puede ser descrito. Esta determina la ocurrencia o no de cierta clase de objetos, así como

su apariencia, adicionalmente la imagen debe ser georreferenciada, con el objeto de contextualizar la clasificación de coberturas y usos del suelo en el ámbito global y así como en el local. La semántica, es un aspecto importante en el contexto de la información. En el contexto global, se describe la situación de la imagen,

básicamente, el sensor, tiempo y localización. En el contexto local, se describen las relaciones o el significado mutuo de las regiones en una imagen. También en el contexto de la información consciente o inconscientemente la percepción humana contribuye a mejorar las posibilidades de éxito.

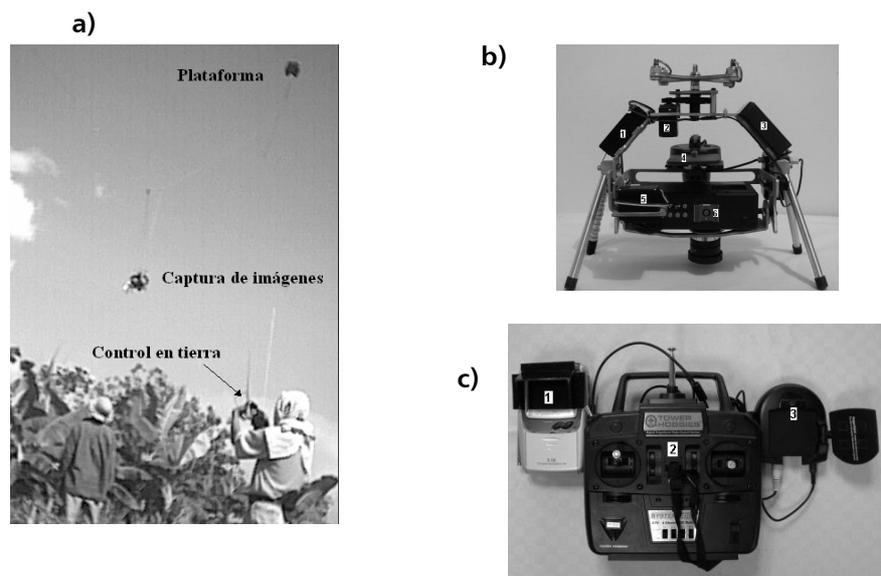


Figura 1. Sistema de adquisición de imágenes conformado por la plataforma, dispositivo de captura y control en tierra. a) Muestra el sistema durante el ascenso del dispositivo de captura. b) Partes del dispositivo de captura, (1) receptor del control remoto, (2) motor de giro, (3) baterías, (4) cámara de video, (5) motor que acciona el obturador de la cámara, (6) cámara digital, todas estas acopladas en un soporte de aluminio. c) Partes del control en tierra, (1) elevisor, (2) control remoto para el accionamiento de motores, (3) receptor de video.¹

¹ Este sistema fue construido con base en el prototipo implementado por el programa Uso de la Tierra, ubicado en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia.

El **procesamiento**, consiste en el mejoramiento de la imagen con el propósito de incrementar la probabilidad de éxito en los pasos del análisis, los cuales generalmente son realizados de manera semi – automática, con el objetivo de asistir y complementar a un experto humano. El procesamiento se propone hacerlo en dos etapas una de segmentación y otra de clasificación. La **segmentación**, se entenderá como el proceso que permite la extracción de la información subyacente, en la imagen. Pajares 2002, dice que la segmentación esta basada en dos principios fundamentales, discontinuidad o segmentación orientada a bordes y similitud o segmentación orientada a regiones. Una **región**, es un área de la imagen en la que sus píxeles poseen propiedades similares de intensidad, color, forma, entre otras características, mientras que un **borde** es una línea que separa dos regiones, con diferentes propiedades (discontinuidad) (Pajares y De la Cruz 2002). Ambos principios implican una manipulación de la información contenida en los píxeles de la imagen, mediante ciertas funciones de transformación u operadores. En el caso de la detección de bordes, operadores muy utilizados, son los de primera y segunda derivada, así como los morfológicos. En la detección de regiones se emplean algunas técnicas como: la binarización basada en el uso de umbrales, crecimiento de regiones mediante la adición de píxeles, división de regiones, similitud de textura, color, o niveles de gris.

Estas se basan en el hecho de la similitud de ciertas áreas o zonas constituidas por agrupaciones de píxeles conectados entre si, pero además, dichos píxeles presentan propiedades o características comunes. Un nuevo principio en el análisis de imágenes, se fundamenta en la, orientación a objetos o segmentos y no en píxeles individuales, para el análisis de esta. El hecho esta motivado, en que el resultado esperado es la extracción de objetos con propiedades y características espectrales, de forma, textura, entre otras, similares a los presentados en el mundo real.

El trabajo en red con los objetos se conecta directamente con la representación de la información de la imagen por medio de sus objetos. Esto es, mientras las relaciones topológicas de píxeles individuales adyacentes están dadas implícitamente por el raster, la asociación de objetos adyacentes, debe explícitamente establecerse por fuera, en orden a determinar los objetos vecinos. En consecuencia la relación topológica del trabajo en red con objetos, tiene la gran ventaja de permitir la propagación eficiente de muchas clases de información relacional. En este sentido es muy importante que la resolución promedio de los objetos de la imagen, permita su representación a diferentes escalas de acuerdo con el tamaño de los objetos y del interés. Las relaciones de los objetos dentro y entre varias capas de una misma imagen a diferentes escalas, facilita el

análisis y contribuye a la extracción de información adicional, como la existencia de estructuras, un aspecto de la geometría y topología de fractales en la naturaleza y por tanto en las imágenes.

El método propone la extracción de la información basada en el análisis de imágenes orientado a objetos. El procedimiento consiste en la **segmentación** total de la imagen en regiones separadas y se basa en el método patentado de **segmentación multiresolución**, utilizado por eCognition®. Este emplea la técnica de fusión de regiones de menos a más, iniciando con objetos de un solo píxel, que en numerosos pasos, genera objetos de mayor tamaño. El procedimiento de optimización local empleado, minimiza la heterogeneidad ponderada nh de los objetos resultantes; donde: n es el tamaño del objeto y h es una definición arbitraria de heterogeneidad. El valor de h , se constituye en un umbral y determina, si dos objetos se fusionan o no. Para lograr objetos adyacentes de tamaño similar comparables, el procedimiento simula idéntica y simultáneamente, el crecimiento de los segmentos sobre la escena en cada paso y así hasta obtener el resultado final. Los criterios de heterogeneidad considerados por el método de segmentación son, la **heterogeneidad espectral**, que se calcula a partir de la sumatoria del producto de las desviaciones estándar por los valores espectrales ponderados de cada capa Wc .

$$h = \sum_c w_c \cdot \sigma_c \quad (1)$$

y la **heterogeneidad espacial**, criterio que reduce la desviación de acuerdo a la forma, específicamente por la optimización de la compactación y la suavización de los objetos resultantes. La **heterogeneidad por compactación**, se describe por la relación entre el perímetro l y la raíz cuadrada del número n de píxeles que forman el objeto.

$$h = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

La **heterogeneidad por suavización**, se describe por la relación entre el perímetro l del objeto y el perímetro b del cuadrado que circunscribe el objeto.

$$h = \frac{1}{b} \quad (3)$$

Los criterios de heterogeneidad son aplicados de manera conjunta. La función global f que integra tanto los parámetros espectrales como los de forma es:

$$f = wh_{color} + (1-w)h_{forma} \quad (4)$$

donde w es el **peso** definido por el usuario inicialmente para color y luego para forma entre 0 y 1.

El criterio espectral. Evalúa la variación en la heterogeneidad, para dos objetos fusionados, respecto a cuando

no lo están, debido al cambio de las desviaciones estándar de los valores espectrales respecto a sus ponderaciones.

$$h_{color} = \sum w_c (n_{fusión} \sigma_c^{fusión} - (n_{obj1} \sigma_c^{obj1} + n_{obj2} \sigma_c^{obj2})) \quad (5)$$

El criterio de forma. Es entonces un valor que evalúa el acondicionamiento de esta respecto a dos

modelos diferentes, compactación y suavización, describiendo una forma ideal.

$$h_{forma} = w_{compact} h_{compact} + (1 - w_{compact}) h_{suav} \quad (6)$$

Como en el caso espectral, la heterogeneidad de forma tanto para **compactación** como para **suavización**, causa-

da, por la fusión, se evalúa calculando la diferencia entre la situación después y antes de esta, de la siguiente manera:

$$H_{suav} = n_{fusión} \frac{l_{fusión}}{b_{fusión}} - (n_{obj1} \frac{l_{obj1}}{b_{obj1}} + n_{obj2} \frac{l_{obj2}}{b_{obj2}}) \quad (7)$$

$$h_{COMPT} = n_{fusión} \frac{l_{fusión}}{(n_{fusión})^{1/2}} - (n_{obj1} \frac{l_{obj1}}{(n_{fusión})^{1/2}} + n_{obj2} \frac{l_{obj2}}{(n_{fusión})^{1/2}}) \quad (8)$$

donde:

n: tamaño del objeto,

l: perímetro de la caja que lo circunscribe.

Las técnicas de segmentación en eCognition®, permiten la construcción

jerárquica de objetos pudiendo representar la información de la imagen a diferentes resoluciones espaciales simultáneamente. Cada objeto una vez terminado el proceso de segmentación queda caracterizado, tanto por atributos espectrales, como de forma (Figura 2).



Figura 2. Imagen tomada sobre el lote de banano después del proceso de segmentación usando un parámetro de escala de 10, ponderaciones usadas para la heterogeneidad espectral de 0,8 y forma de 0,2; empleando el software eCognition®.

La **clasificación**, consiste en la asignación de un número de objetos a una clase de acuerdo a su descripción, que no es más que el establecimiento de las propiedades o condiciones típicas a cumplir para la clase deseada. Los objetos quedan entonces clasificados o asignados, de acuerdo al cumplimiento o no de estos criterios. Entre los tipos de clasificadores se tienen: **Clasificadores duros**, utilizados en sensorio remoto, como los de máxima probabilidad, mínima distancia o del paralelepípedo, operan bajo una relación de pertenencia binaria; esto es 0 ó 1, para expresar si un objeto pertenece o no a una determinada clase. **Los clasificadores suaves**, como los sistemas difusos y/o los bayesianos, utilizan un grado o probabilidad de pertenencia entre 0 y 1, para ex-

presar la asignación a la clase. Este hecho permite la pertenencia de un objeto a más de una clase, en diferentes grados. Los clasificadores suaves, permiten entonces expresar el conocimiento ambiguo humano, acerca del mundo. Estos métodos a su vez, según la intervención o no del usuario pueden ser diferenciados como **supervisados** o no. Los métodos supervisados preguntan al usuario por las clases que desea ver y son entrenados por este, mientras que los no supervisados son independientes del usuario. Además estos pueden considerarse como métodos de agrupamiento estadístico o de ordenación por propiedades de los objetos.

En este caso los objetos generados por el proceso de segmentación, se

propone clasificarlos usando el método de **clasificación difusa**, el cual transforma los valores de la característica de rango arbitrario en valores difusos entre 0 y 1 indicando el grado o probabilidad de pertenencia a una **clase** determinada.

Cada clase se describió con un conjunto de características evaluadas a través de expresiones difusas. Al final del proceso cada objeto es asignado exactamente a una clase, en donde cada clase corresponde con

un tipo de cobertura. Para llegar al nivel de uso y con la participación comunitaria y de forma manual debe asignarse para los niveles 4 y 5 los tipos de usos que están siendo dados a cada tipo de cobertura. De esta forma al final del proceso de clasificación, se obtendrá una imagen que podrá ser desplegada en sus diferentes tipos de niveles jerárquicos, dependiendo del interés del programa por el cual se está realizando la clasificación de cobertura y usos (Figura 3).

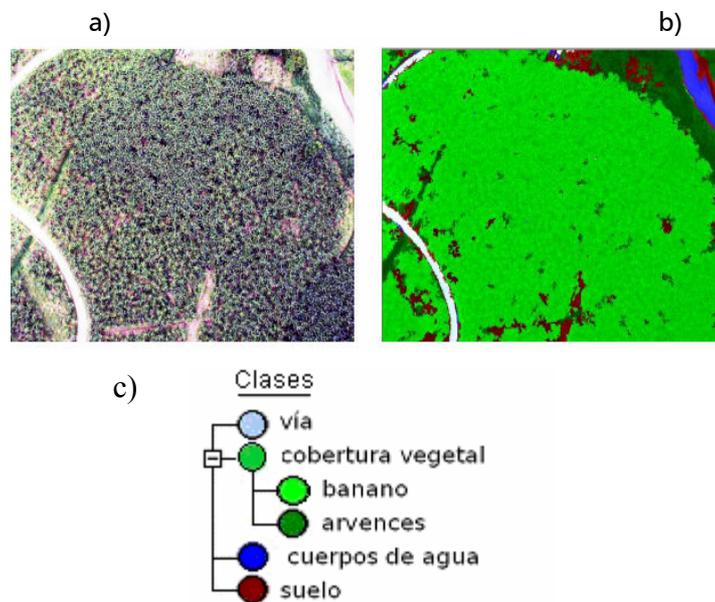


Figura 3. Clasificación supervisada de los diferentes tipos de cobertura diferenciados en una imagen aérea tomada sobre una finca bananera; usando como filtros para las clases el algoritmo del vecino más cercano y un índice de vegetación respecto al verde. (a) Imagen aérea tomada a una sección de una finca bananera. (b) Imagen clasificada, las clases generadas son: vías, cobertura banano, cobertura arvenses, cuerpos de agua, y suelo desnudo y (c) jerarquía de clases.

Estudio de caso. La metodología se basó en la propuesta desarrollada del prototipo de sistema integrado digital para la clasificación de coberturas y usos de la tierra a nivel de finca bananera, teniendo en cuenta los aspectos de la participación comunitaria, con el objetivo de verificar su viabilidad para ser aplicado al sector bananero.

Localización. La finca de estudio se localizó en la zona bananera de Urabá la cual está conformada por los municipios de Apartadó, Turbo, Carepa y Chigorodó. Los municipios bananeros están localizados al nor-occidente del departamento de Antioquia con una extensión de 11.664 km². Estos se

encuentran hacia el flanco occidental de la serranía del Abibe. Su cartografía corresponde a las cartas topográficas 79, 80, 90, 91 a escala 1: 100.000 del IGAC, extendiéndose de sur a norte entre las coordenadas 07°24' y 08°10' y de este a oeste entre las coordenadas 76°44' y 76°51'. El rango altitudinal oscila entre los 40 msnm en su parte más baja y los 400 msnm en la más alta. La zona comprende las cuencas hidrográficas de los ríos Chigorodó, Carepa, Vijagual, Zungo, Apartadó, Riogrande y Currulao. Las aguas se dirigen de occidente a oriente para encontrarse con el río León que las conduce hacia el Golfo de Urabá, (Figura 4).

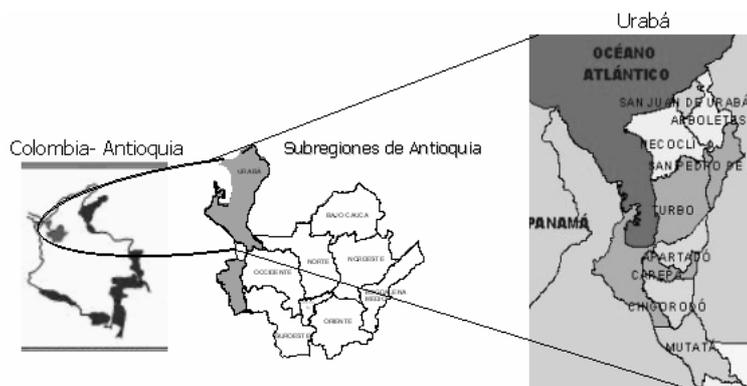


Figura 4. Ubicación geográfica de la región de Urabá con sus municipios bananeros, respecto a Antioquia y Colombia.

Características de la zona. Las características climáticas de la zona se resumen a través de los

promedios anuales de cada una de las variables mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3. Características climáticas presentadas por los municipios bananeros de Urabá y expresadas como promedios anuales.

Clima del eje bananero de Urabá	
Altitud	Elevación entre 10 y 40 m.s.n.m. entre los municipios de Turbo y Chigorodó
Temperatura	Media anual 27 °C
Precipitación	Promedia anual de 2650 mm
Humedad relativa	Promedio anual 87%
Brillo solar	Cerca de 5 horas diarias (1700 horas/año)
Vientos	Fluctúan entre 3,5 y 16,2 km/h. vientos fuertes casuales que derriban las plantaciones
Requerimientos hídricos	Utilización de red densa de drenajes (época lluviosa), riego ocasional (época seca)

Selección finca. El cultivo del banano, además de ser intensivo se cataloga como monocultivo, por lo que la diversidad de coberturas esperada no es alta. Teniendo en cuenta lo anterior e información previa, recopilada por la línea de biodiversidad y reforestación del programa Banatura de Augura, se preseleccionaron 6 fincas con buena diversidad de coberturas (cuerpos de agua, diferentes tipos de vegetación, y construcciones). De estas fincas se seleccionó una, teniendo en cuenta que tuvo mayor valoración en tres aspectos, los cuales fueron: diversidad de coberturas, área de la finca y aceptación de los propietarios para la evaluación del prototipo. A partir de esto se diseñó un proceso metodológico para la ejecución del estudio de caso (Figura 5).

Participación: Saber local. El acercamiento y concertación inicial se efectuó mediante la convocatoria a reuniones, encuentros, discusiones y propuestas para la identificación y

análisis de coberturas, del personal directivo, administrativo, trabajadores y empleados de la unidad agrícola, con el objeto de lograr un intercambio de saberes e intereses. La construcción de los conceptos, mapa, escala, territorio con enfoque de sistema, cartografía social, coberturas, uso de la tierra y normas ambientales, se realizó mediante un taller y recorridos de campo con la participación de los integrantes de la finca. La información generada en el taller se usó para el proceso de identificación de coberturas y uso de la tierra en la finca, mediante la herramienta de cartografía social, fundamentada en la construcción colectiva de mapas (Figura 6 y Tabla 4)). En los recorridos de campo se observaron los tipos de cobertura, su distribución y estado actual, los recorridos permitieron identificar a priori y detalladamente las coberturas existentes en la finca, es decir: Ribera del río, reserva o bosque, límite con la troncal al mar y construcciones.

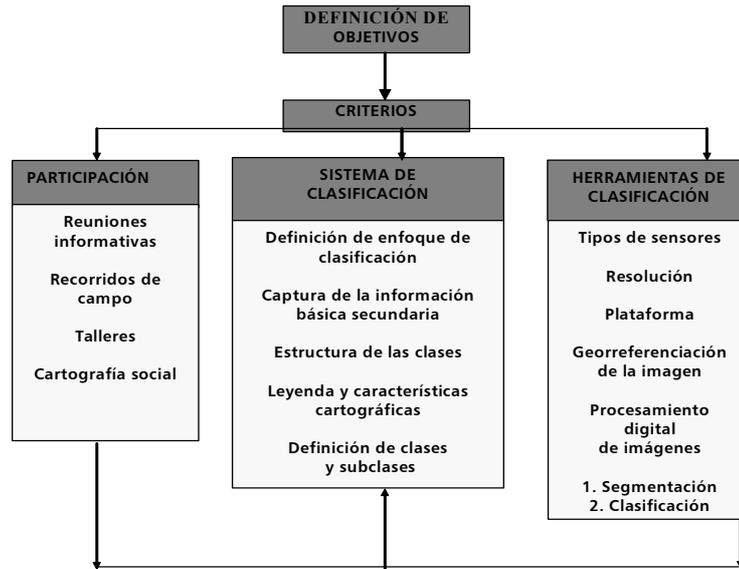


Figura 5. Esquema metodológico seguido en el estudio de caso, en el que se tuvieron en cuenta diferentes criterios para la selección de la finca, el conocimiento local, así como el uso de herramientas tecnológicas descritas en la propuesta de sistema integrado digital para la clasificación de coberturas y usos de la tierra a nivel de finca bananera.

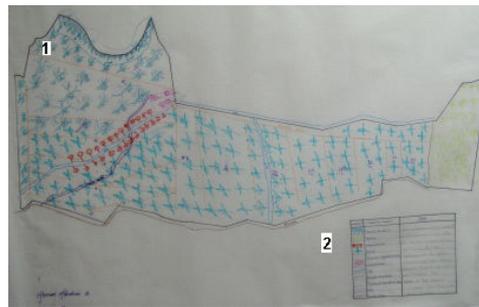


Figura 6. Distribución espacial de las coberturas mediante proceso de cartografía social. (1), Mapa generado según conceptualización de las personas relacionadas con la finca; (2) La leyenda en donde identificaron las clases de coberturas y los usos de la tierra, de manera preliminar. Zona bananera de Urabá, Colombia.

Tabla 4. Coberturas de la tierra establecidas de manera participativa, a nivel de finca bananera.

Coberturas vegetales	Coberturas de infraestructura	Coberturas de cuerpos de agua
- Franjas de retiro - Ornamentación - Reserva - Cultivo (variedades por lote)	- Edificaciones - Vías - Drenajes primarios	- Río - Madre vieja

Captura de imágenes. Se usó el sistema de adquisición de imágenes descrito anteriormente y se acoplo la cámara digital visible c5050, el sistema se levanto sobre el terreno a una altura de 250 m. El número de imágenes a capturar en toda la finca se estimó usando un mapa escala 1:2500 digitalizado, el cual se cuadrículó adecuadamente; esto es, cada cuadro trazado sobre el mapa correspondió con el área cubierta por cada imagen, ajustando la cámara según los parámetros mencionados. Empleando este método se estimó un total de 28

imágenes, para cubrir toda la finca, con un traslape del 10 % entre las imágenes. Interpolando sobre el mapa se obtuvieron las coordenadas (Latitud; Longitud) de los puntos centrales de cada cuadro en el mapa. Estas coordenadas se introdujeron en un GPS marca Garmin, el cual se usó para ubicar los puntos reales en la finca. En cada punto sobre el terreno, se colocó una marca blanca reflectante de 40 x 40 cm, la cual se usó para la identificación y orientación de la cámara, así como en la georeferenciación de las imágenes (Figura 7).

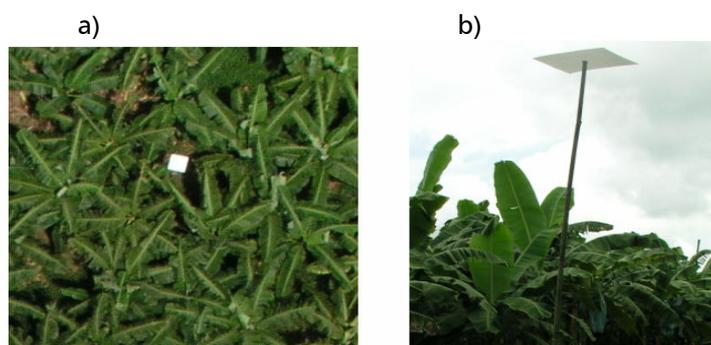


Figura 7. Marca reflectante usada para la identificación de los puntos centrales de captura de las imágenes y referenciación de las imágenes. (a) Segmento de imagen aérea, en el cual se diferencia la marca reflectante; (b) vista lateral marca reflectante. Zona bananera de Urabá, Colombia.

Georeferenciación de imágenes. Cada una de las imágenes adquiridas, fue referenciada usando el módulo geometric correction implementado por el programa Erdas®.

Como referencia se usó, tanto un mapa de la finca digitalizado, como las coordenadas de las marcas reflectantes, distribuidas en toda ésta (Figura 8).

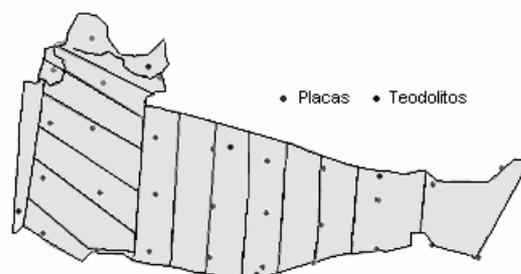


Figura 8. Distribución de las posiciones de las marcas reflectantes y de los teodolitos sobre la finca. Zona bananera de Urabá, Colombia.

Análisis de imágenes. Segmentación: Las imágenes fueron segmentadas usando un parámetro de escala u homogeneidad de 30 que permitió agrupar objetos de la imagen con mayor detalle. Este parámetro se compuso de dos criterios: uno de color al cual se le asignó una importancia de 0,9 que permitió diferenciar tonalidades y otro de forma con valor de 0,1. A su vez, el criterio de forma se subdividió en suavidad y compactación, asignándoles una importancia de 0,5 para cada uno.

Clasificación de coberturas. En el proceso anterior de segmentación se subdividió la imagen en una serie de objetos, cuyo número dependió del nivel de heterogeneidad dado. Posteriormente estos objetos fueron

asignados a su correspondiente clase de cobertura según cumplieran o no los requerimientos establecidos para cada clase. Las clases de coberturas de la tierra que se pudieron diferenciar en las imágenes fueron: cobertura vegetal y dentro de esta, las plantas de banano, árboles y arbustos ubicados en las zonas de retiro establecidas para los cuerpos de agua, suelo desnudo es decir sin cobertura de ningún tipo; también se diferenció la infraestructura y dentro de estas las vías internas y externas a la finca, la empacadora y finalmente la cobertura correspondiente a cuerpos de agua. Los canales de drenaje no pudieron ser separados en una clase a pesar de que son claramente diferenciables en las imágenes debido a que estos presentaban una

combinación en la finca de áreas cubiertas de arvenses y otras con suelo desnudo, además dentro de la plantación se presentó igual comportamiento, dificultando la separación de los canales de drenaje, de suelo desnudo y suelo cubierto con arvenses.

Las características usadas para la asignación de los objetos a cada una de las anteriores clases se detallan en la Tabla 5. Los objetos según pertenecían a un tipo de cobertura, presentaron un comportamiento particular, lo cual permitió su asignación a la respectiva clase de cobertura.

Tabla 5. Características usadas para la asignación de los objetos a cada clase.

Característica	Cobertura diferenciada
Valor promedio de las bandas R, B	Vías, suelo, cuerpos de agua, construcciones
Brillo	Árboles y arbustos
Máxima diferencia	Vías, cuerpos de agua
Desviación estándar de las bandas G y B	Plantas de banano, cobertura vegetal
Relación de la banda R	Plantas de banano, cobertura vegetal

La clasificación de un sector de la finca en el cual se aprecian cuatro tipos de coberturas a nivel de clase con su respectiva leyenda se presenta en la Figura 9 y en la Figura 10, se

muestran las subclases de la cobertura vegetal de árboles y arbustos (cobertura ribereña), y banano; de infraestructura: carretera y empacadora.

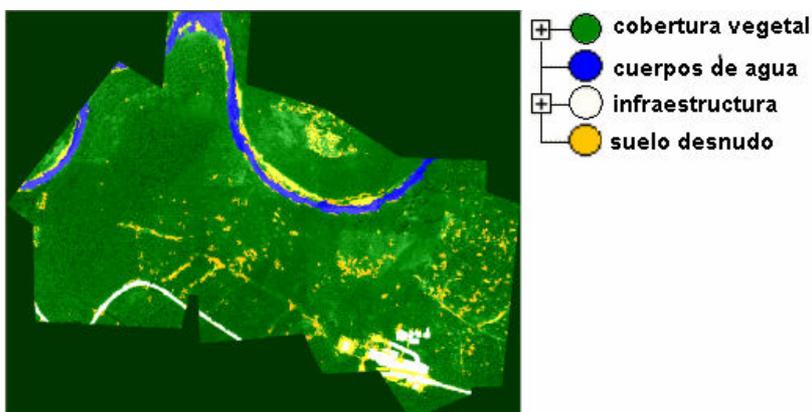


Figura 9. Clasificación de las coberturas en una sección de la finca La Llave a nivel de clase. Zona bananera de Urabá, Colombia.

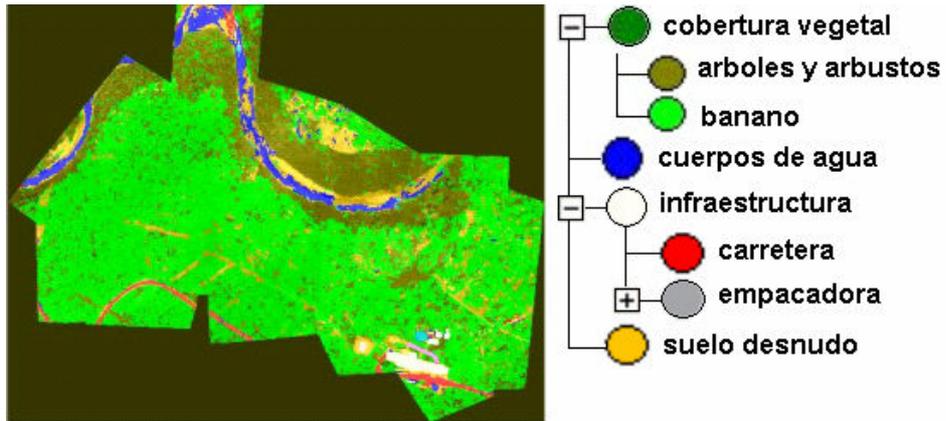


Figura 10. Clasificación de las coberturas en una sección de la finca La Llave a nivel de subclase. Zona bananera de Urabá, Colombia.

En la Figura 11 se muestra una clasificación detallada a nivel de uso específico de la subclase empacadora,

en la que se diferencian el uso particular asignado a cada sección de ésta.

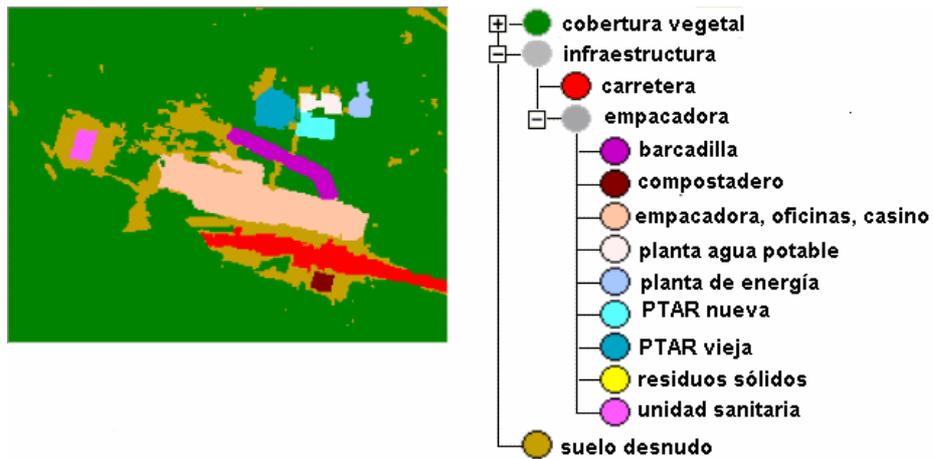


Figura 11. Clasificación de los usos específicos de la cobertura de infraestructura en la finca La Llave, uso predominante empacadora. Zona bananera de Urabá, Colombia.

La imagen clasificada tiene la ventaja de ser mas simple y según el interés del investigador puede ser estudiada en su conjunto para establecer por ejemplo áreas en cada cobertura o puede ser usada como máscara para separar cualquiera de los tipos de cobertura, eliminar ruido – esto es eliminar las coberturas que no interesan- y concentrar el esfuerzo en el análisis de la cobertura de interés. Por ejemplo, dentro de la cobertura de banano, variaciones en la reflectancia presentada en cada una de las bandas podría estar indicando desórdenes fisiológicos en algunos sectores de la finca.

Relacionando la cobertura correspondiente a banano y suelo desnudo se observa la clara diferencia que presentan ciertos sectores. En este caso pueden tomarse medidas de manejo como el repoblamiento o tratamiento en el sitio específico.

Cumplimiento de normatividad

Análisis del cumplimiento de la normatividad. El análisis se enfocó en las normas relacionadas con aquellas coberturas que sobresalen a nivel físico espacial, fácilmente observables en una fotografía aérea y de mayor importancia para el sector bananero. Cobertura ribereña, en esta se verificó si la finca cumple con las distancias de retiros establecidas en las normas ambientales nacionales (Decreto 2811 de 1974 Código Nacional de Recursos naturales, decreto 1449 de 1977; decreto número 085

del municipio de Apartadó; decreto 1843 de 1991 sobre uso de plaguicidas y el POT) y en las normas internacionales, que aplican al cultivo de banano (Eurep Gap, normas genéricas para el cultivo de banano). Bosque, esta cobertura es analizada debido a la existencia de fragmentos de bosque, en muchas fincas de la zona y a las exigencias normativas que promueven su protección. Para este análisis se tuvieron en cuenta el decreto 1449 de 1977, el decreto 1791 de 1996, el acuerdo 084 del municipio de Apartadó, las normas genéricas para el cultivo de banano y Eurep Gap. Cuerpos de Agua, las normas comparadas para esta cobertura fueron los decretos, 2811 de 1974, 1449 de 1977 sobre protección de cuerpos de agua, decreto 1541 de 1978 éste reglamenta el tema del agua, decreto 1594 de 1974 de vertimientos, ley 373 de 1997 de ahorro y uso eficiente del agua; Eurep Gap y las normas completas para la certificación del banano. Infraestructura, se analizó únicamente las vías con las dimensiones que establece la ley y las distancias de retiros entre la vía troncal y el cultivo, se siguió el decreto 2770 de 1953 y el acuerdo No. 085 del municipio de Apartadó.

Áreas de retiro a cuerpos de agua.

La finca limita con un tramo del río grande en una longitud de 625 m. La franja de cobertura vegetal diferente a banano dejada por la finca para la protección del lecho del río es irregular y comprende un área 1,3 ha

(Figura 10 a). Por normatividad debería dejarse una franja paralela al río de 30 metros, en la que en ciertos tramos se supera el cumplimiento, mientras que en otros este es mucho menor al establecido, (Figura 12 a y b).

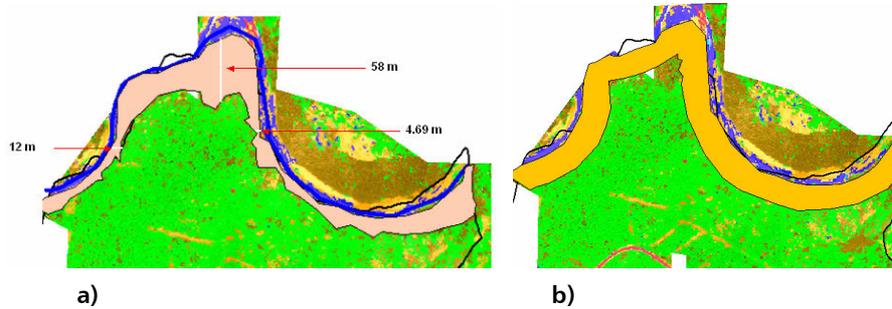


Figura 12. Clasificación de las coberturas del tramo de la finca que limita con el río Grande. (a) franja implementada por la finca; (b) franja a establecer según normatividad. Zona bananera de Urabá, Colombia.

Área de retiro respecto a la vía troncal. El lado occidental de la finca limita con un tramo de la carretera troncal, comúnmente denominada vía al mar. En la Figura 11, se resalta en color rosa la franja dejada por la finca contigua a la carretera. La finca cumple con los 15 metros de retiro del cultivo paralelos al eje central de la vía, establecidos en el decreto 2770 de 1953. Sin embargo el POT del municipio de Apartadó en el decreto 085 del 2002, establece que se deben dejar 11,85 m a cada lado de la carretera como zona libre; más 15 m reforestados con cobertura boscosa, los cuales no se han comenzado a establecer, incluso en la mayoría de la región (Figura 13).



Figura 13. Franja de retiro contigua a la carretera y resaltada en color rosado. Zona bananera de Urabá, Colombia.

Finalmente se hace un ejemplo en un cuadro que relaciona las coberturas y usos de la tierra con la normatividad ambiental, este cuadro puede ser complementado con las normas que regulan el uso de las coberturas de tal manera que permita evaluar el estado del sector bananero en este tema (Tabla 6).

Tabla 6. Cumplimiento de la normatividad relacionadas con las coberturas y usos de la tierra en la finca La Llave. Zona bananera de Urabá, Colombia.

Tipo	Área (ha)	%	Descripción del uso	Normatividad	Cumplimiento
Ribereña	1,9	2,5	También llamada vegetación de galería o de cañada, está ubicada en zonas aledañas a cuerpos de agua.	D 2811/74	70 %
				D 1449/77	70 %
				D 084/2000	70 %
				D 1843/91	95 %
Bosque	6,43	8,5	Unidades de vegetación natural con diferentes grados de intervención	D 1449/77	100 %
				1791/96	100 %
				Eurep Gap	100 %
Río Grande	0,625	0,8	Límite parte norte finca La Llave	D 2811/74	70 %
				D 1449/77	70 %
				D 084/2000	70 %
				D 1843/91	95 %
Vías	0,72	1,0	Limite de vía troncal	D2770/53	100 %
				D085/2002	50 %
				D 1594/84	80 %
Empacadora	0,27	0,3	Procesamiento de fruta	D 373/97	80 %
				Eurep Gap	80 %

En términos generales la finca presenta un buen porcentaje de cumplimiento de la normatividad ambiental, cabe anotar que este cuadro solo relaciona las normas asociadas con las coberturas fácilmente diferenciables en una imagen aérea y no se tuvo en cuenta la normatividad asociada con los usos de éstas (Eje, vertimientos, consumos de agua, salud ocupacional, entre otros).

Se logró desarrollar una propuesta metodológica de un prototipo para la clasificación de las coberturas y usos de la tierra, aplicable a cualquier finca

del sector bananero, teniendo en cuenta tanto la normatividad como las metodologías de clasificación nacionales e internacionales; integrando el conocimiento local y el técnico. La leyenda jerarquizada construida permite incluir tanto las coberturas como asociar los usos a estas para cualquier unidad agrícola. Finalmente se demuestra que el prototipo funciona mediante el estudio de caso, siendo factible y funcional el uso de herramientas de bajo costo así como su integración con el conocimiento local que tienen el recurso humano que labora en el sistema banano.

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta investigación fue posible gracias al apoyo financiero dado por COLCIENCIAS – SENA.

BIBLIOGRAFÍA

Antioquia. Departamento Administrativo de Planeación. 2000. Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Apartadó 2000-2006. Medellín: Planeación. 173 p.

Aguiló A., Miguel *et al.* 1991. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenidos y metodologías. 3 ed. Madrid, España: Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 572 p.

Di Gregorio, A., and Jansen, L. J. M. 1998. Land cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual for software version 1.0. Rome: FAO. 179 p.

Escobar, G., Usma, H., Correa, J. y Oberthur, T. 2003. Mapeo participativo tridimensional: metodología y oportunidades para el manejo comunitario de recursos naturales en ambientes de laderas. Cali: CIAT. 8 p. (Informe presentado del programa Uso de la tierra CIAT).

Etter, Andrés. 1994. Consideraciones generales para el análisis de la cobertura vegetal. 152 p. En: I Taller de Cobertura Vegetal (1994: Bogotá, Colombia). Memorias. Santafé de

Bogotá: IGAC (Proyecto SIG PAFC-Universidad Javeriana).

Falla G., M. R. 2000. Guía sobre aspectos legales en la gestión ambiental del sector bananero. Medellín: Augura. 56 p.

Forero, M. C. 1981. Levantamiento de cobertura terrestre y uso de la tierra. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretación, Unidad de Suelos y Agricultura. 54 p.

Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 1999. Guía para determinar unidades de cobertura y uso de la tierra. Villavicencio: GTZ. 197 p. (Proyecto Río Guatiquía-PGR).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2002. Cobertura y uso actual de las tierras de Colombia. Santafé de Bogotá: IGAC. CD rom

_____. 2000. El uso de mapas y fotografías aéreas. Santafé de Bogotá: IGAC, Subdirección de Geografía. CD rom

_____. 1997. Bases conceptuales y guía metodológica para la formulación del plan de ordenamiento territorial departamental. Santafé de Bogotá: IGAC. Subdirección de Geografía. 350 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2003. Agricultural land use: definition of land use. Disponible en Internet <http://www.fao.org/land->

anwater/agll/agll/landuse/landusede
f.stm. [Consultada: 19 Ago. 2005].

Pajares, M., Gonzálo y De La Cruz G.,
Jesús M. 2002. Visión por compu-
tador, imágenes digitales y aplica-
ciones. Madrid: Ra-Ma. 764 p.

Van Wijngaarden, Willem. 1994.
Elaboración de mapas y clasificación.

p. 9-22. En: I Taller de Cobertura
Vegetal (1994: Bogotá, Colombia).
Memorias. Santafé de Bogotá: IGAC.
(Proyecto SIG PAFC-Universidad
Javeriana).

Vargas, E. 1992. Análisis y clasifi-
cación del uso y cobertura de la tierra
con interpretación de imágenes de
satélite. Bogotá: IGAC-CIAF. p. 8-45.

Anexo 1. Normatividad ambiental asociada con las coberturas y uso de la tierra.

Cobertura de interés	Norma	Año	Entidad que la expide	Artículo	Propósito
Vegetal ribereña	Decreto 2811	1974	Ministerio de Agricultura	43	Fajas de retiro: faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de 30 metros de ancho.
	Decreto 1449	1977	Ministerio de Agricultura	3	Mantener en cobertura boscosa dentro del predio las áreas forestales protectoras, esta es: una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua.
	Decreto 1541	1978	Ministerio de Agricultura		Afianzar la conservación y recarga del agua, protección especial para los cauces o lechos de los ríos
				12	Política ambiental: establecimiento de cobertura boscosa en las áreas de retiro de los ríos, quebradas, lagos y arroyos.
				206	Delimitación de los suelos de protección y conservación ambiental. Son suelos de protección: las áreas de retiro de ríos, quebradas, caños y lagunas
	Acuerdo 084	2000	Concejo-Municipio de Apartadó	213	Tipos de áreas de protección: áreas de regeneración y mejoramiento: hace referencia a espacios que han sufrido degradación ya sea por causas naturales y/o humanas y que deben ser recuperados o rehabilitados, evitando procesos de mayor impacto o contaminación visual por degradación del paisaje.
				231	Áreas de preservación estricta de nacimientos y cuerpos de agua. Son franjas de suelo ubicadas en la periferia de los nacimientos y cuerpos de agua; su protección durante la vigencia del presente acuerdo no será inferior a 30 metros.
				233	Área protectora de regeneración y mejoramiento de retiros de ríos y drenajes naturales.
				234	Acciones de recuperación
	Normas genéricas para la certificación del cultivo de banano	1999	EUREP-GAP		
Normas completas para la certificación de banano	2002	Red de Agricultura Conservacionista	1.2.2		Se debe reforestar y conservar la vegetación existente en las riberas de los ríos, quebradas de agua y otras áreas que así lo ameriten.
Vegetal: cultivo	Ley 101	1993			Ley general de desarrollo agropecuario y pesquero
	Decreto 1840	1994			Sobre el control técnico de los insumos agropecuarios, acciones y disposiciones para la prevención, el control, supervisión, la erradicación, o el manejo de enfermedades, plagas, malezas o cualquier otro organismo dañino, que afecten las plantas.

Prototipo de un sistema....

Continuación Anexo 1....

Cobertura de interés	Norma	Año	Entidad que la expide	Artículo	Propósito
	Resolución 3079	1996	ICA		Por medio de la cual se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal acuícola, las sociedades agrarias de transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones
	Ley 811	2003			
	Acuerdo 084	2000	Consejo- Municipio de Apartadó	248	Area de influencia de la troncal Urabá.
251				Especificaciones técnicas de las vías rurales.	
12				Políticas territoriales para la protección del medio ambiente, la conservación de los recursos naturales, la defensa del paisaje	
	Normas completas para la certificación de banano		Red de Agricultura Conservacionista	1.2.3	Las orillas de los caminos públicos o internos que atraviesan o circundan la unidad de producción deben de reforestarse.
	Decreto 085	2002	Municipio de Apartadó		Franjas de retiro para vías
Infraestructura	Decreto 1843	1991	Ministerio de Salud	87	Uso y manejo de plaguicidas: la aplicación de plaguicidas en zonas rurales no podrá efectuarse a menos de 10 metros en forma terrestre y de 100 metros para la aérea como franja de seguridad, con relación a cuerpos o cursos de agua, carreteras troncales, núcleos de población humana y animal, o cualquiera otra área que requiera protección especial.
	Suelo	2000	Concejo- Municipio de Apartadó	6	Política para la protección del suelo. Pretende aportar a la búsqueda de la sostenibilidad al largo plazo como premisa para garantizar la utilización de las generaciones presentes y futuras.

Anexo 2. Sistemas de clasificación de coberturas y usos de la tierra

2.1. Sistema de clasificación del Servicio Geológico de los Estados Unidos

2.2. Clasificación de la UNESCO (1972)

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1. Tierra urbana o edificada	1.1 Residencial	1.1.1 Unifamiliares
	1.2 Servicios comerciales	1.1.2 Multifamiliares
	1.3 Industrial	1.1.3 Hoteles
	1.4 Transporte, comunicación y servicios públicos	
	1.5 Complejos industriales y comerciales	
	1.6 Mixta	
	1.7 Otros	
2. Tierras agrícolas	2.1 Cultivos y pastos	2.2.1 Cultivos
	2.2 Huertos, frutales, arbustivos, viñedos, invernaderos, áreas hortícolas y ornamentales	2.1.2 Pastos
	2.3 Operaciones confinadas	
	2.4 Otros	
3. Tierras de pastizales	3.1 Pastizales herbáceos	
	3.2 Pastizales arbustivos y leñosos	
	3.3 Pastizales mixtos	
4. Tierra de bosque	4.1 Deciduo	
	4.2 Siempre verde	
	4.3 Mixto	
5. Agua	5.1 Corrientes y canales	
	5.2 Lagos	
	5.3 Reservorios	
	5.4 Bahías y estuarios	
6. Tierras húmedas	6.1 Con bosque	
	6.2 Sin bosque	
7. Tierras eriales	7.1 Planicies salinas y secas	
	7.2 Playas	
	7.3 Áreas arenosas diferentes a playas	
	7.4 Roca desnuda expuesta	
	7.5 Minas – canteras	
	7.6 Áreas transicionales	
	7.7 Áreas mixtas	
8. Tundra	8.1 Arbustiva	
	8.2 Herbácea	
	8.3 Desnuda	
	8.4 Húmeda	
	8.5 Mixta	
9. Nieve o hielo perpetuo	9.1 Campos de nieve	
	9.1 Glaciares	

2.2 Clasificación de la UNESCO (1972)

2.2.1 Niveles jerárquicos.

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV	Nivel V	Nivel VI
Clases de formación	Subclases de formación	Grupos de formación	Formación		
Se caracteriza por formas biológicas básicas de acuerdo con parámetros estructurales de altura y densidad, de la siguiente forma: I Bosque denso II Bosque claro III Matorral IV Matorral enano V Vegetación herbácea	Diferencia características fisonómicas derivadas de condiciones ecológicas y manifiestas en las hojas: (A) siempre verde (B) decíduo (C) xeromórfico, etc.	Diferencia característica s del macro-clima: 1 tropical 2 subtropical 3 temperado	Corresponde a formas de la tierra y pisos altitudinales como son las denominaciones de bosque de pantano, bosque turboso, bosque aluvial, bosque de baja altitud, etc	No se encontró información de los niveles V y VI	

2.2.2 Información a usar según el nivel categórico

Niveles Categóricos	Tipo de sensor
I	Datos provenientes de Landsat
II	Datos provenientes de sensores de gran altitud (12.400 m, escala menor de 1:80.000)
III	Datos provenientes de sensores de media altitud (3.100 y 12.400 m, escalas de 1:20.000 a 1:80.000)
IV	Datos provenientes de sensores de baja altitud (menor de 3.100 m, escalas mayores de 1:20.000)

Fuente Forero, M. C; 1981.

Anexo 2.3. Clasificación de la Unión Geográfica Internacional (1930)

Clase No.	Nombre de la clase
1	Centro poblados y tierras no agrícolas
2	Tierras hortícolas
3	Árboles frutales y otros cultivos perennes
4	Tierras de cultivos
5	Pastos permanentes mejorados
6	Praderas no mejoradas
7	Tierras de bosques
8	Pantanos y ciénagas
9	Tierras improductivas

2.4 Sistema de clasificación de coberturas y usos de la tierra propuesta por ITC

2.4.1 Clasificación de la cobertura de la tierra.

Código	Formas de cobertura (1)	Relación uso de la tierra por formas de cobertura
I	Construcciones	1
II	Plantaciones / parcelas	2c, 2a, 2b, (6)
III	Vegetación natural abierta	3, 4, 5, 6, 7
IV	Bosques	2c, 4,3, 5, 6
V	Cuerpos de agua	5, 6 7, (1b) (1d) (2) (3) (1c)
VI	Tierras eriales	7 (5)
(1)	Establecidas por fotointerpretación	

2.4.2 Clasificación de uso de la tierra.

Código	Uso de la tierra (2)	Relación de formas de cobertura
1	Asentamientos e infraestructura	I, V
	a. Residencial	
	b. Industrial, minería, canteras	
	c. Transporte y comunicación	
	d. Recreacional	
e. Otros		
2	Agricultura	II
	a. Cultivos anuales	
	b. Cultivos perennes	
	c. Cultivos de forraje	
d. Cultivos arbóreos		
3	Pastoreo	III, (IV)
	a. Intensivo	
	b. Extensivo	
c. Pastoralismo		
4	Forestal	II, IV, (III)
	a. Madera	
	b. Pulpa	
	c. Leña, carbón, postes	
d. Corteza, resinas, corcho, etc		
5	Conservación	III, IV, V
	a. Reserva natural	
	b. Recreación	
	c. Manejo de Cuencas	
	d. Estabilización dunas, taludes	
e. Otros		
6	Caza y pesca	III, IV, VI, (II)

(2) Tipos inferidos a partir fotointerpretación y trabajo de campo

2.5 Clasificación cobertura de la tierra IDEAM

Nombre de la clase		
1. Vegetal	1.1 Boscosa	1.1.1 Bosques en estado natural 1.1.2 Bosques fragmentados 1.1.3 Agroecosistemas
	1.2 No Boscosa	1.2.1 Xerofitia 1.2.2 Sabanas arboladas 1.2.3 Sabanas arbustivas 1.2.4 Sabanas herbáceas 1.2.5 Páramo 1.2.6 Rupícola
2. Hídricas		
3. Asentamientos humanos		

2.6 Clasificación IGAC (2002)

Esta metodología de clasificación realizó una revisión de diferentes recursos, tales como: las categorías empleadas en el mapa de Cobertura y Uso Actual elaborado por IGAC y el ICA en 1987, información del Ministerio del Medio Ambiente, Corporaciones Regionales y guías metodológicas para el Ordenamiento Territorial Municipal y Departamental (IGAC, 1996). Una vez analizada esta información y también con la interpretación de las imágenes satelitales se diseñó la leyenda la cual contempla la información más actualizada de la Subdirección de Agrología (1996) y en general del país sobre cobertura y uso de la tierra. En especial se destacan conceptos sobre fisonomía, estructura y diferentes tipos biológicos de las coberturas vegetales, además de la inclusión de unidades de mapeo como la Asociación, lo cual facilita la cartografía del territorio nacional de una manera más precisa, a la escala del estudio.

El primer nivel, clase de cobertura, hace referencia a las categorías mayores relacionadas con el origen y la composición (vegetal y no vegetal) de las diferentes coberturas. La subclase de cobertura explica cobertura y Uso Actual de las Tierras de Colombia, el tipo biológico de las coberturas vegetales naturales y las características de diferenciación en las no vegetales. El tercer nivel, correspondiente al tipo de cobertura, indica de acuerdo con la subclase, la permanencia sobre los suelos y la densidad de las mismas, como también otras características importantes de las coberturas no vegetales. Para el Uso Actual se indica el predominante que califica cada subdivisión de la cobertura terrestre.