

ESTIMACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN POR CULTIVOS ILÍCITOS EN LA ZONA DE RESERVA FORESTAL DEL RÍO MAGDALENA¹

Palabras clave: Deforestación, Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena, cultivos ilícitos, procesamiento digital de imágenes, Colombia.

Key words: Deforestation, Zone of Forest Reserve of Magdalena river, illicit crops, digital processing of images, Colombia.

Miguel Andrés Cárdenas-Torres²

RESUMEN

El Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos, SIMCI, se inició en 1999. Hoy es financiado por Naciones Unidas y su ejecución está en cabeza del Gobierno de Colombia. SIMCI produce el censo anual de cultivos de coca en el país y genera información que permite conocer el entorno en el que se desarrollan los cultivos ilícitos y su incidencia en los componentes ambiental y social. En 2003 se firmó el convenio interinstitucional AD/COL/03/H45 entre Naciones Unidas y el Gobierno de Colombia, permitiendo la integración de organismos del Estado³. El IDEAM⁴, en desarrollo del trabajo de Zonificación Ambiental de la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena, ZRFRM (declarada mediante Ley 2 de 1959), requirió conocer el estado de los recursos existentes en el área, por lo cual nació la propuesta para desarrollar un trabajo de investigación que permitiera valorar las superficies deforestadas por cultivos ilícitos. De esta manera la Dirección General del IDEAM

comisionó a un profesional de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental para desarrollar la investigación, mientras que el Proyecto SIMCI proporcionó el espacio de trabajo, software, hardware e insumos, así como el apoyo de profesionales especializados en procesamiento digital de imágenes y edición. Entre los resultados del trabajo se encontró que la reserva contaba con una cobertura inicial de bosque de 1.144.815 hectáreas en el 2000, de las cuales 11.384 ha fueron deforestadas para el establecimiento de cultivos ilícitos entre 2001 y 2004, que equivalen al 1% de la superficie boscosa. De 52 municipios con jurisdicción en la Reserva, 27 presentaron procesos de deforestación por cultivos ilícitos, de los cuales San Pablo, Cantagallo y Santa Rosa del Sur reportaron los mayores índices de deforestación con 1.877,11 ha, 1.362,91 ha y 1.073,66 ha, respectivamente. El último registró la mayor superficie de bosque secundario transformada en coca: 1.053,07 hectáreas.

- 1 Resumen de resultados de la investigación Valoración de superficies deforestadas por cultivos ilícitos en la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena, desarrollada en 2005 en el marco del convenio interinstitucional AD/COL/03/H45 entre Naciones Unidas y el Gobierno de Colombia. El autor fue comisionado por el IDEAM ante el Proyecto SIMCI en calidad de profesional universitario.
- 2 Ingeniero Forestal, Master en Gestión y Conservación de la Biodiversidad en los Trópicos, coordinador técnico de Consultores de Proyectos Especiales, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, CONIF miguelcardenas@cablenet.net.co ; miguelcardenas@conif.org.co
- 3 Cárdenas Torres, Miguel Andrés, 2005. Valoración de superficies deforestadas por cultivos ilícitos en la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena. Convenio AD/COL/03/H45 Naciones Unidas-Gobierno de Colombia.
- 4 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

ABSTRACT

The Project: Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos – SIMCI initiated in 1999. Today it's financed by United Nations and its execution is in control of the Government of Colombia. SIMCI produces the annual census of culture of coca in the country. Besides it generates information that allows to know the environment in which the illicit cultures and his effect develop in the components environmental and social. In 2003 the interinstitutional agreement "AD/COL/03/H45" between United Nations and the Government of Colombia is signed, allowing the integration of organisms from the State. The IDEAM, in development of the work of Environmental Zoning of the Zone of Forest Reserve of Magdalena river (decided by Law 2 of 1959), needed to know the condition of the existing resources in the area, for which the offer to develop a work of investigation that was allowing to value the deforested surfaces for illicit cultures is born. Hereby the Headquarter of IDEAM commissioned a professional of the Sub bureau of Ecosystems and Environmental Information in order to develop the investigation, while the Project SIMCI provided the working space, software, hardware and inputs, as well as the support of professional specializing in digital processing of images and edition. With the results of the work there was found that the reservation had an initial coverage of forest of 1.144.815 hectares in the year 2000, of which 11.384 ha were deforested for the establishment of illicit cultures in the period understood between 2001 and 2004, which are equivalent to 1% of the wooded surface. 27 of 52 municipalities presented processes of deforestation for illicit cultures, from which San Pablo, Cantagallo and Santa Rosa del Sur brought the major indexes of deforestation with 1.877,11 ha,

1.362,91ha, and 1.073,66 ha, respectively. The latter registers the major surface of secondary forest transformed to coca with a whole of 1.053,07 hectares.

INTRODUCCIÓN

En el informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia (2004), el IDEAM reporta que para 2001 cerca de 55.613.000 ha (48,78% de su superficie) se encontraban cubiertas por bosques naturales, lo cual evidencia la vocación forestal del país. Frente a la creciente intervención de los ecosistemas forestales en Colombia, y especialmente por la afectación que los cultivos ilícitos ejercen sobre ellos, nace el Proyecto SIMCI, el cual inició labores en diciembre de 1999. Actualmente es ejecutado con recursos de cooperación de las Naciones Unidas y del Gobierno de Colombia. Su realización está en cabeza de la Dirección Nacional de Estufas-facientes con la participación de la Dirección Antinarcóticos de la Policía Nacional, DIRAN y la Agencia Colombiana de Cooperación Internacional, ACCI.

El objetivo del proyecto SIMCI es determinar la superficie sembrada anualmente con cultivos ilícitos, basado en la interpretación de imágenes de satélite y reconocimientos en campo. Produce espaciomapas de cobertura vegetal en las áreas de coca y realiza análisis multitemporales. SIMCI establece la localización y la extensión de cultivos ilícitos, lleva un registro continuo de la dinámica de este flagelo, apoya las tareas de erradicación y sustitución, y aporta parámetros para la evaluación de las acciones de control de drogas⁵. Durante la ejecución del proyecto SIMCI se han obtenido importantes resultados sobre el conocimiento de los prin-

5 Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos, SIMCI II, Gobierno de Colombia, 2005. Colombia, Censo de cultivos de coca, Naciones Unidas, Oficina contra la Droga y el Delito, UNODC, Bogotá D.C.

cipales núcleos y regiones donde se practica la siembra de cultivos ilícitos en el país. De igual manera, la metodología empleada para la captura y análisis de información permite contar con registros sobre aspectos de cobertura, uso del suelo, áreas protegidas y características socioeconómicas de las áreas de influencia⁶, que resultan de interés y aplicabilidad para el análisis, seguimiento y monitoreo de los bosques en Colombia. La presente investigación fue ejecutada gracias al apoyo técnico y logístico del Proyecto SIMCI en el marco del Convenio Interinstitucional AD/COL/03/H45 entre Naciones Unidas y el Gobierno de Colombia⁷.

OBJETIVO GENERAL

Valorar las superficies deforestadas por cultivos ilícitos en la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Formular criterios para la definición de áreas deforestadas.
- Determinar las áreas deforestadas por cultivos ilícitos en la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena (Ley 2 de 1959) con el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y programas de procesamiento digital de imágenes.

METODOLOGÍA

Con el fin de integrar datos de deforestación en el área de estudio, fue necesario contar con información espacial reciente que facilitó la determinación de unidades en el terreno. Para dicho propósito se trabajó con los insumos su-

ministrados por el Proyecto SIMCI a escala 1:100.000. Un primer producto de la investigación consistió en el ajuste al límite de la Reserva con base en la fuente cartográfica SIMCI, la cual se fundamenta en mosaicos de imágenes georreferenciadas a través del modelo geoidal DMA⁸. Este procedimiento se realizó con el uso de imágenes Landsat y Aster con fechas de captura entre diciembre de 2004 y enero de 2005. Se calculó la superficie de la Reserva cubierta por el núcleo Antioquia-Sur de Bolívar que desarrolla SIMCI, encontrando la necesidad de realizar la interpretación de algunos segmentos de las imágenes Landsat 7 TM 954 y 855 de 2001 que permitiera un cubrimiento total del área de estudio.

Para el procesamiento digital de imágenes se empleó el programa ERDAS Imagine 8.5 y se realizó una clasificación supervisada de coberturas. Se extrajeron las coberturas de coca obtenidas de los censos del 2001 al 2004 y se realizó un mosaico con dichas capas. Se diseñó un modelo condicional para analizar la información generada por el mosaico de coca en relación a la capa de coberturas del 2000 (el análisis se realizó únicamente sobre las coberturas de Bosque Primario y Bosque Secundario según leyenda SIMCI), y determinar de esta manera las superficies deforestadas por cultivos ilícitos. Finalmente se realizó un análisis departamental y municipal de afectación por cultivos ilícitos en la Reserva. Lo relacionado con el proceso general, necesario para el manejo de la información espacial y obtención de los productos, se desglosa en la **Figura 1**. A continuación se hace referencia a algunas precisiones metodológicas.

- 6 Dirección Nacional de Estupefacientes, 2005. El fenómeno de los cultivos ilícitos en Colombia, Ministerio del Interior y de Justicia, Subdirección de Asuntos Regionales y Erradicación, SARE, Bogotá D.C.
- 7 Es necesario reparar en que los datos arrojados por la presente investigación corresponden a los cruces cartográficos entre diferentes fuentes de información (IGAC y SIMCI), por lo cual deben ser tenidos en cuenta para efectos de análisis regional del territorio y como productos de una propuesta metodológica, no significando que carezcan de validez técnica.
- 8 Defense Mapping Agency, actualmente NGA, National Geospatial Intelligence Agency

DESARROLLO METODOLÓGICO

Adquisición de imágenes de satélite

El Proyecto SIMCI emplea tecnología satelital obtenida de diferentes sensores remotos, es decir, utiliza imágenes de satélite actualizadas y con características espaciales, espectrales y radiométricas diferentes (**Tabla 1**). Ello ha permitido contar con un banco de imágenes registradas desde 1999, con las cuales se han realizado los censos de coca en Colombia desde 2000, así como los análisis multitemporales de cobertura.

Según el nivel de detalle que se requiera para el estudio de cultivos ilícitos en una superficie determinada, se emplean imágenes del sensor más adecuado. Igualmente, dependiendo de la calidad de la información registrada por un sensor en una imagen (imágenes con presencia de “gap’s”, sombras, nubes, bruma, etc.), se realiza una selección de las mejores con el fin de cubrir aquellas zonas carentes de información, por medio de un trabajo de procesamiento digital. El resultado es un mosaico de imágenes clasificadas según la calidad de información, donde se presentan las mejores o segmentos de estas.

Tabla 1. Principales características de las imágenes de satélite según sensor

Sensor	Área imagen km ²	Vabr comercial US\$	Vabr por km ²	Resolución espectral (bandas)	Resolución espacial (metros)	Operación	Página Web (www)	Propietario
Landsat	34 225	250	0.007	7	30	Continua	edocsns17.cr.usgs.gov/Earth Explorer	USGS
Aster	3 600	55	0.015	14	15	Por pedido	edcinswww.cr.usgs.gov	USGS
Spot4	3 600	2 470	0.69	4	20	Continua	Sirius.spotimage.fr	SPOT
		3 510	0.97	4	20	Por pedido		MAGE
Spot5	3 600	3 510	0.97	4	10	Continua	Sirius.spotimage.fr	SPOT
		4 550	1.26	4	10	Por pedido		MAGE
Ikonos	100	1 800	18	4	4 me	Por pedido	SpaceImaging.com	SPOT
					1 pc			MAGING
Quick Bid	64	1 280	20	4	2.44 me	Por pedido	DigitalGlobe.com	DIGITAL
					0.61 pc			GLOBE

me = multispectral; pc = pancromática

Fuente: SIMCI, 2005

En consecuencia, con base en el convenio interinstitucional celebrado entre las Naciones Unidas y el Gobierno de Colombia (del cual el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT hace parte), se brinda el espacio para aprovechar esta información en desarrollo de proyectos de las entidades del Estado colombiano. El Proyecto SIMCI suministró la información base y los insumos

con los cuales fue posible el desarrollo de la investigación, principalmente imágenes de satélite (georreferenciadas y ortorrectificadas) y modelos digitales del terreno, así como el software, el hardware y las locaciones para la realización de los procesos. En la **Tabla 2** se presenta un listado de las imágenes de satélite y fuentes de información para el desarrollo del presente trabajo.

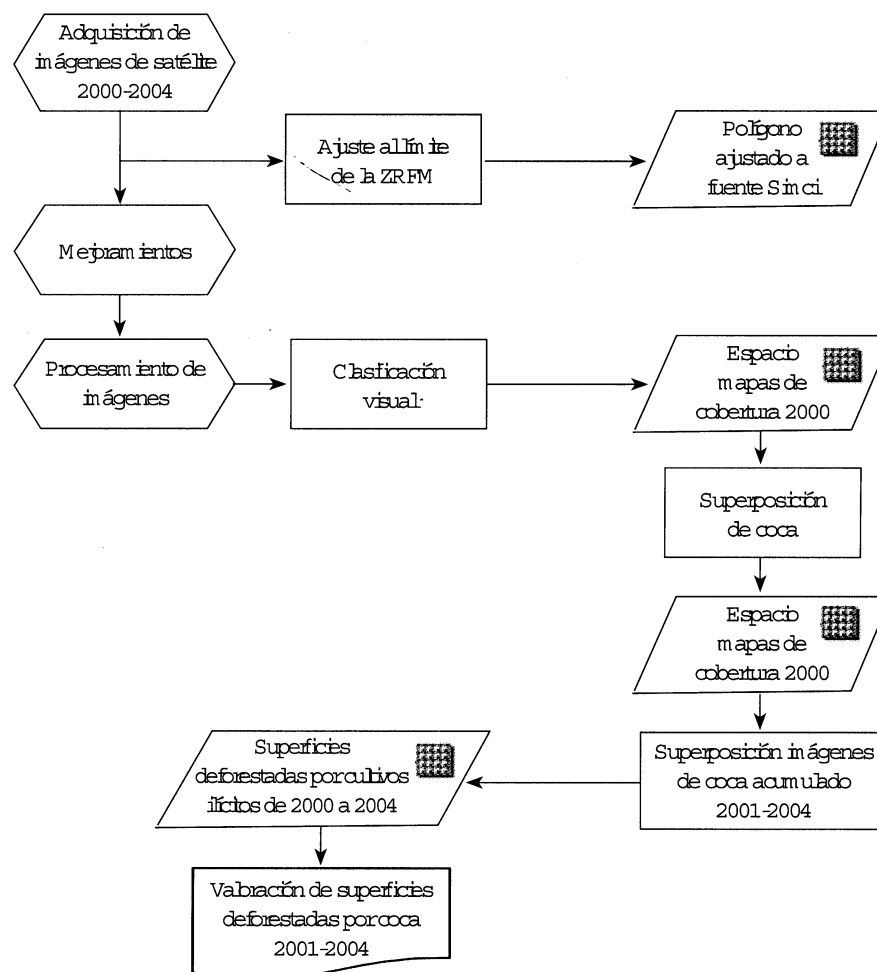


Figura 1. Diagrama de flujo metodológico

Tabla 2. Imágenes de satélite empleadas en el proyecto

Sensor	Imagen	Fecha
Landsat 7 ETM	854	27 de junio de 2000
Landsat 7 ETM	855	14 de agosto de 2000
Landsat 7 ETM	856	29 de mayo de 2001
Landsat 7 ETM	954	12 de enero de 2001
Landsat 7 ETM	955	21 de agosto de 2000
Landsat 7 TM	854	31 de diciembre de 2004
Landsat 7 TM	855	31 de diciembre de 2004
Landsat 7 TM	856	31 de diciembre de 2004
Landsat 7 TM	954	23 de enero de 2005
Landsat 7 TM	955	23 de enero de 2005
Spot	646332	27 de enero de 2005
Aster	8_64_74_14	29 de noviembre de 2004

Ajuste al límite de la Reserva

El manejo digital de imágenes, necesario para el adecuado desarrollo del proyecto, requirió un trabajo de edición a través del cual se ajustó el límite de la ZRFRM a la cartografía e imágenes

de satélite empleadas para la investigación, es decir, a la base SIMCI. La necesidad de realizar dicho ajuste fue motivada principalmente por la diferencia entre la escala de la fuente con respecto a la escala de trabajo y por la temporalidad en la captura de la información.

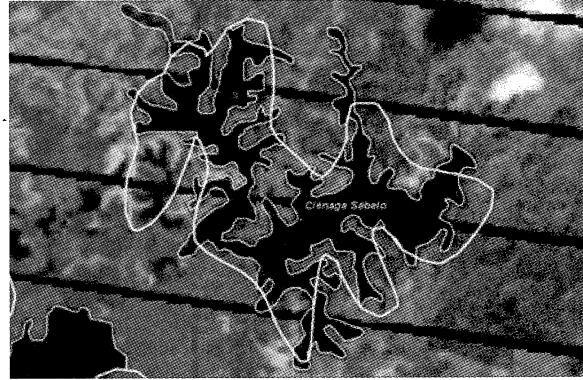
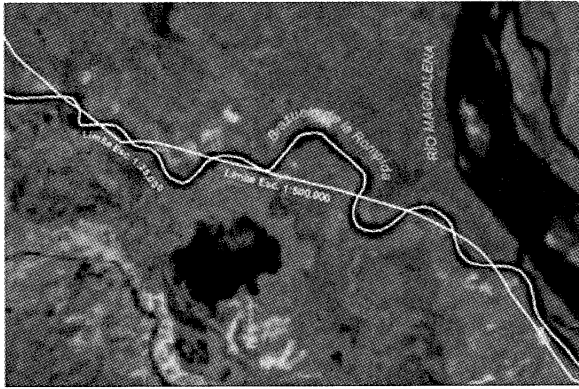


Figura 2. Ajuste al límite de la ZRF Río Magdalena por diferencia de escala

En la **Figura 2** (izquierda) se presenta un ejemplo del ajuste realizado al límite de la Reserva (derecha), donde se evidencia la precisión de la escala de trabajo, que para efectos de la delimitación es de 1:25.000. En el ejemplo, el límite arcifinio de la Reserva se encuentra establecido por el Brazuelo de la Rompida, localizado en el municipio de Yondó, departamento de Antioquia, el cual hace parte del sistema de desborde del río Magdalena. La figura corresponde al trabajo de edición realizado sobre la imagen Landsat número 855 del 31 de diciembre de 2004.

Allí el problema surgió por la escala en que se delimitó el polígono (1:500.000), que en su momento fue la más apropiada por la magnitud del trabajo⁹. Esta situación se evidencia en la generalización de las líneas trazadas mediante los límites arcifinios que se pueden distinguir en el terreno. Sin embargo, no solo la escala de

trabajo generó la necesidad de editar el límite del área, sino también la época de captura de información que se emplea como fuente para la construcción de la cartografía, situación que se aprecia en la **Figura 2** (derecha). Fue necesario realizar un nuevo límite de la ciénaga Sábalo (localizada en el municipio de Barrancabermeja) conforme a lo registrado por la imagen Landsat 855 de diciembre de 2004, por cuestiones de temporalidad en la captura de la información (Cárdenas, 2005).

Coberturas

Para el desarrollo del trabajo de clasificación de coberturas fue necesario contar con la información adelantada por el Proyecto SIMCI, la cual corresponde principalmente a las capas de cobertura del núcleo Antioquia-Sur de Bolívar pertenecientes a 2000. A través de esta información temática se identificaron las coberturas

9 En este sentido, es necesario hacer claridad en que la fuente cartográfica para el desarrollo del presente trabajo fue la suministrada por el Proyecto Zonas de Reserva Forestal de Ley 2 de 1959, el cual trabajó a una escala 1:500.000, adecuada para el caso, porque abarcó información de más del 50% del país, involucrando las siete Reservas declaradas a lo largo y ancho del territorio nacional.

boscosas presentes en la Reserva para dicha fecha, empleándolas como línea base o punto de referencia para los análisis de deforestación. Se requirió interpretar dos segmentos de la imagen, con base en la leyenda SIMCI, para que no se presentaran discrepancias en unidades de clasificación a la hora de empalmar el conjunto de coberturas. La interpretación de éstas se desarrolló por medio de clasificación supervisada en formato raster, empleando software especializado (programa ERDAS IMAGE 8.5).

Se procedió a realizar la clasificación supervisada de tres unidades: Bosque Primario, Bosque Secundario y Nubes. En este proceso se empleó el método de toma de muestras de las diferentes coberturas a clasificar por medio de la definición de polígonos en formato AOI¹⁰, como entrenamiento del software para cada una de las unidades de cobertura. Estas muestras no necesariamente agrupan o delimitan las unidades como finalmente quedarán en la clasificación, ya que corresponden a superficies que reúnen píxeles con características generales que representan una cobertura particular (Figura 3).

En la Figura 3 se presenta un segmento de la imagen Landsat 954 de 2001 correspondiente al área de estudio donde fueron definidos polígonos AOI para realizar el trabajo. Es de resaltar que dicha clasificación es preliminar, ya que el software no logra diferenciar entre nubes y suelo desnudo, o entre cuerpos de agua, sombras y bosque primario, por citar algunos ejemplos. Por ello, es preciso realizar una clasificación supervisada agrupando los píxeles que responden a las coberturas definidas en la leyenda a través de polígonos AOI.

En la Figura 4 se observan tres ejemplos de clasificación de nubes y sombras. Para el caso específico de las nubes en la imagen Landsat 954 del 12 de enero de 2001, se requirió una clasificación no supervisada intermedia de 20 clases con el fin de agrupar de forma general los píxeles de esta cobertura y delinear más eficientemente las áreas de interés a través de “semilleo”. Esta clasificación se realizó empleando herramientas de regionalización (*Region Growing*) desplegadas en Erdas, obteniendo mayor representatividad al momento de variar el número euclidiano y el área de toma de muestra. El mismo procedimiento se llevó a cabo para la definición de cuerpos de agua (Figura 5).

Para el caso de otras coberturas como pastos, cultivos y zonas inundadas, fue necesario construir polígonos AOI manualmente, debido a la complejidad de dichas unidades y la heterogeneidad de la respuesta de píxeles. Posterior a la recodificación de unidades de cobertura, basada en polígonos y líneas AOI, se realizó un proceso de filtrado para mejorar la calidad del producto (Figura 6).

Mosaico de imágenes

En la Figura 7 se presentan las coberturas interpretadas conforme a los requerimientos del desarrollo del proyecto (izquierda) y el total de imágenes (3), listas para realizar el mosaico (derecha)

El mosaico de imágenes se realizó con el uso de ERDAS Imagine 8.5, mediante la herramienta *DataPrep-Mosaic Images*. Posteriormente se realizó un corte de la imagen para obtener las coberturas definitivas del área de

10 AOI (Area of interest por sus siglas en inglés). Es un punto, línea o polígono seleccionado como ejemplo de entrenamiento del software o como una imagen del área para ser usada en una operación. Tomado de: ERDAS INC., 1999. ERDAS Field Guide, Fifth Edition, Revised and Expanded. Atlanta, Georgia, United States of America.

estudio, archivo se denominó mosaico_2000.img (Figura 8).

Para efectos del análisis de las coberturas que se encontraron en la Reserva, fueron desagregados cuatro núcleos:

1. **Núcleo norte.** Localizado en el sector nororiente del área de estudio con una superficie de 166.770 hectáreas, reúne parte de 13 municipios del Cesar y Norte de Santander.
2. **Núcleo centro.** Se localiza en la zona central de la Reserva y reúne la totalidad de la Serranía de San Lucas, con una superficie de 1.524.030 ha, en jurisdicción de 21 municipios de los departamentos de Bolívar y Antioquia.
3. **Núcleo sur.** Se definió en la parte sur de la Reserva con una extensión de 457.585 hectáreas. Reúne territorios de 17 municipios correspondientes a los departamentos de Antioquia, Santander y una pequeña superficie en el departamento de Cundinamarca.

4. **Agregados.** Corresponde a las demás áreas dispersas a lo largo y ancho de la Reserva, las cuales no fueron objeto de sustracción y que a su vez quedaron disgregadas en los sistemas de humedales y ciénagas del río Magdalena. Reúnen un total de 17.428 ha en 7 municipios de los departamentos de Cesar, Antioquia y Santander.

RESULTADOS

SUPERFICIES EN LA RESERVA

El área delimitada como Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena mediante la Ley 2 de 1959 comprendió una superficie inicial aproximada de 5.823.469 ha¹¹, reuniendo territorios de 98 municipios en los departamentos de Cesar, Bolívar, Antioquia, Santander, Boyacá, Cundinamarca y Caldas. Los departamentos de Cesar, Santander y Antioquia contaban con la mayor superficie dentro de la reserva con 1.739.29, 556.999 y 725.782 hectáreas, respectivamente (Figura 9).

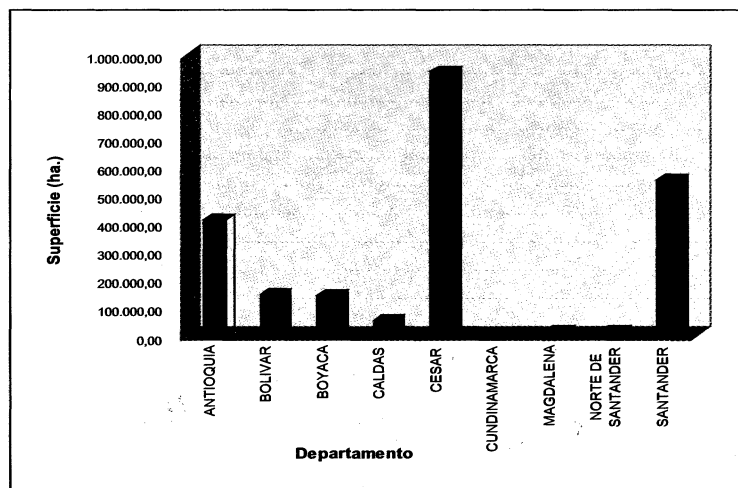


Figura 9. Superficie inicial en la reserva por departamento

11 República de Colombia, Congreso Nacional, 1959. Ley segunda de 1959. Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables, Bogotá, Colombia.

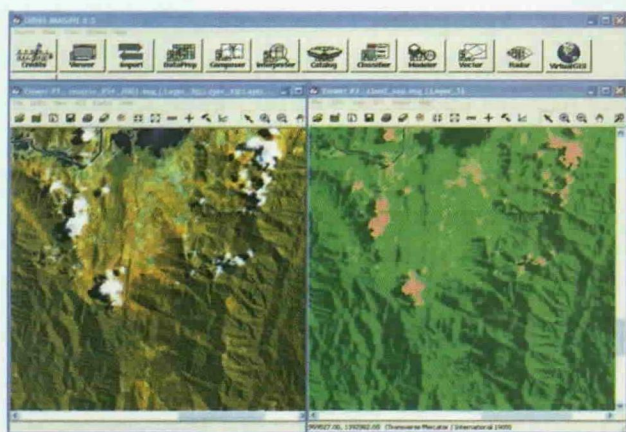


Figura 3. Clasificación supervisada con toma de muestras.

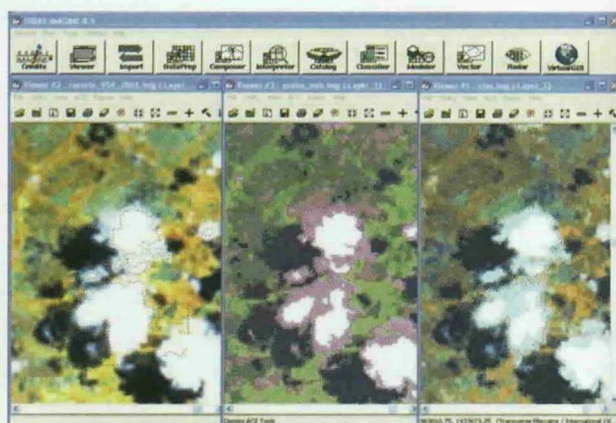


Figura 4. Clasificación supervisada de nubes y sombras.

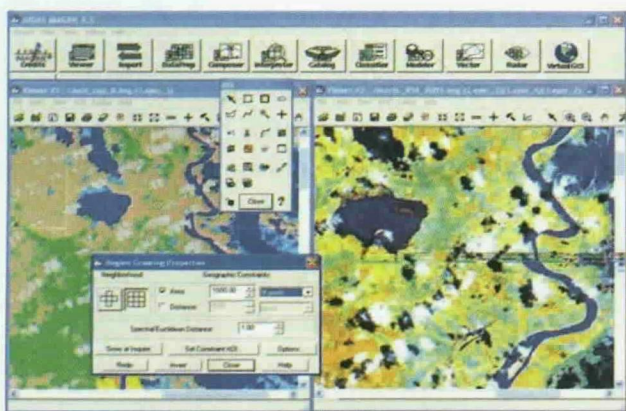


Figura 5. Clasificación supervisada de cuerpos de agua.

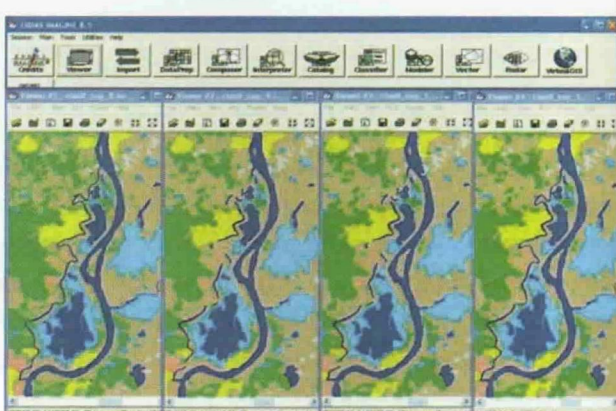


Figura 6. Mejoramiento por filtrado.

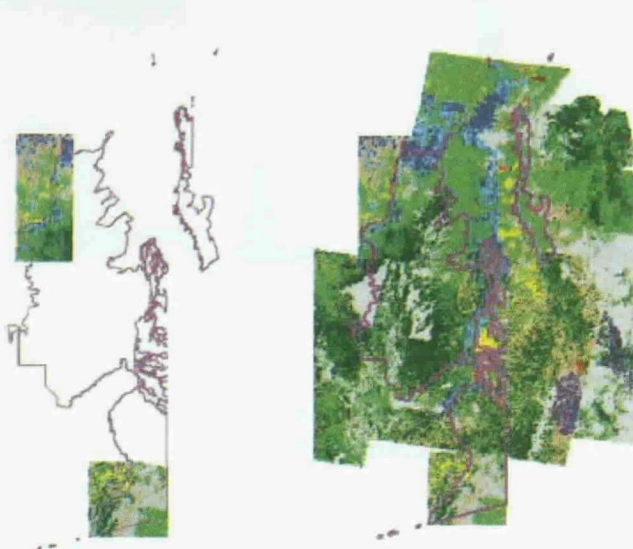


Figura 7. Imágenes de cobertura interpretada.

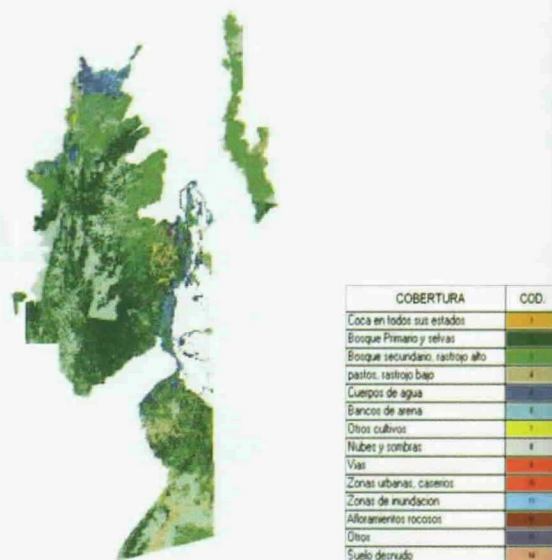


Figura 8. Capa de coberturas de la ZRFRM.

Actualmente el área comprende una superficie aproximada de 2.170.000 hectáreas, distribuidas en jurisdicción de 55 municipios de

7 departamentos: Antioquia, Bolívar, Boyacá, Cesar, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander (**Tabla 3**).

Tabla 3. Municipios con jurisdicción en la actual ZRFRM

Departamento	Municipio	Área total (ha)	Área en reserva (ha)	Porcentaje (%)
ANTIOQUIA	NECHÍ	95 196,24	11 807,94	12,40
	YONDÓ	195 274,69	27 342,31	14,00
	ZARAGOZA	107 366,97	22 397,56	20,86
	REMEDIOS	203 149,49	95 216,59	46,87
	ELBAGRE	158 676,02	104 452,58	65,83
	SEGOVIA	118 707,27	86 175,69	72,60
Subtotal		878 371	347 393	
BOLÍVAR	BARRANCO DE LOBA	43 918,62	2 683,57	6,11
	RDVEJO	128 647,94	37 668,30	29,28
	PNILLOS	74 686,75	22 205,40	29,73
	MORALES	136 776,68	45 180,18	33,03
	ARENAL	43 935,75	23 022,55	52,40
	ALTOS DEL ROSARIO	27 628,41	15 621,26	56,54
	SAN JACINTO DEL CAUCA	55 884,36	33 142,78	59,31
	ACHÍ	98 536,17	69 011,77	70,04
	SMITÍ	141 718,90	100 901,07	71,20
	TQUBO (Puerto Rico)	75 588,45	70 670,64	93,49
	SANTA ROSA DEL SUR	236 143,35	225 332,64	95,42
	CANTAGALLO	87 753,46	87 722,77	99,97
	MONTECRISTO	211 169,51	211 169,51	100,00
	SAN PABLO	197 212,95	197 212,95	100,00
Subtotal		1 559 601	1 141 545	
BOYACÁ	OTANCHE	49 143,74	1 474,86	3,00
Subtotal		49 144	1 475	
CESAR	LA JAGUA DE BRIO	75 880,56	365,09	0,48
	SAN ALBERTO	59 780,68	1 994,28	3,34
	CURUMANÍ	97 690,36	4 416,30	4,52
	CHMICHAGUA	140 124,42	7 133,49	5,09
	SAN MARTÍN	96 134,55	17 878,80	18,60
	PELAYA	35 328,37	8 841,64	25,03
	LA GLORIA	82 403,82	20 979,36	25,46
	AGUACHICA	87 283,54	28 040,85	32,13
	PALMAS	47 898,01	19 189,23	40,06
	RÍO DE ORO	51 400,36	31 093,65	60,49
	GONZÁLEZ	6 998,83	6 998,77	100,00
Subtotal		780 923	146 931	

Tabla 3. Continuación. Municipios con jurisdicción en la actual ZRFRM

Departamento	Municipio	Área total (ha)	Área en reserva (ha)	Porcentaje (%)
CUNDINAMARCA	YACOPÍ	94.538,45	87,36	0,09
	PUERTO SALGAR	51.114,35	540,41	1,06
Subtotal		145.653	628	
NORTE DE SANTANDER	ÁBREGO	145.689,26	7.223,19	4,96
	OCAÑA	40.905,04	12.251,50	29,95
Subtotal		186.594	19.475	
SANTANDER	SANTA ELENA DE LO PÓN	35.660,18	85,89	0,24
	R.DNEGRO	128.783,78	2.776,89	2,16
	CHIPATÁ	7.270,89	181,65	2,50
	GUAVATÁ	7.521,44	302,01	4,02
	SAN VICENTE DE CHUCURÍ	109.293,42	5.042,77	4,61
	SABANA DE TORRES	144.645,84	7.148,23	4,94
	LA PAZ	24.915,13	1.924,08	7,72
	EL CARMEN	92.961,73	10.808,38	11,63
	CIMARRA	319.357,20	52.538,75	16,45
	BARRANCABERMEJA	128.883,51	25.108,46	19,48
	PUERTO WILCHES	152.636,63	38.783,99	25,41
	BOLÍVAR	112.645,89	50.800,30	45,10
	LA BELLEZA	27.355,36	12.732,06	46,54
	VÉLEZ	39.832,04	25.750,68	64,65
	SMACOTÁ	95.115,38	65.630,44	69,00
	SUCRE	47.229,20	37.057,22	78,46
	LANDÁZURI	60.757,40	57.280,42	94,28
	EL PEÑÓN	42.154,98	40.903,58	97,03
	PUERTO PARRA	75.752,39	75.413,33	99,55
Subtotal		1.652.772	510.269	
TOTAL		5.253.058	2.167.716	

Los municipios de Montecristo y San Pablo en el Sur de Bolívar, así como el municipio de González en el departamento del Cesar, son los únicos cuya superficie se encuentra en su totalidad dentro de la actual reserva. Sin embargo, es preciso mencionar que otros municipios como Puerto Parra y El Peñón, en Santander, Cantagallo y Santa Rosa del Sur, en Bolívar, comprenden una superficie en la reserva que supera el 95 % de sus territorios.

El departamento con mayor superficie en la actual ZRFRM es Bolívar, seguido por el departamento de Santander con 1.141.545 y 510.269 ha, respectivamente (**Figura 10**).

COBERTURAS DE LA RESERVA

La cobertura más representativa en la Reserva para 2000 corresponde a la de Bosque primario, con 709.126 ha que representan el 32,64%.

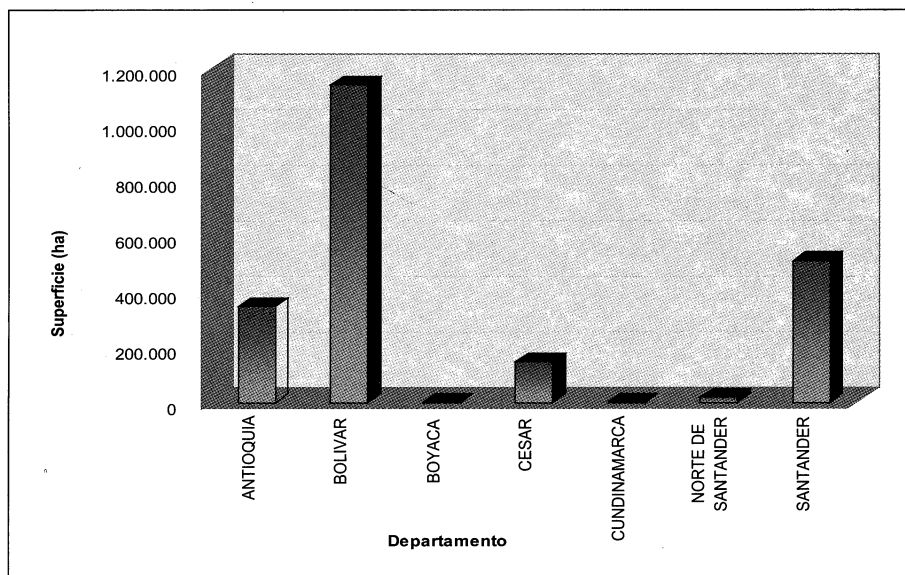


Figura 10. Superficie por departamento en la reserva

Los bosques secundarios presentan una importante participación con un 20%, equivalentes a 435.688 ha (**Figura 11**). Cabe destacar que

aunque los cultivos de coca en 2000 solo llegaban al 0,29% del total de la Reserva, ya constituían un serio problema para la región.

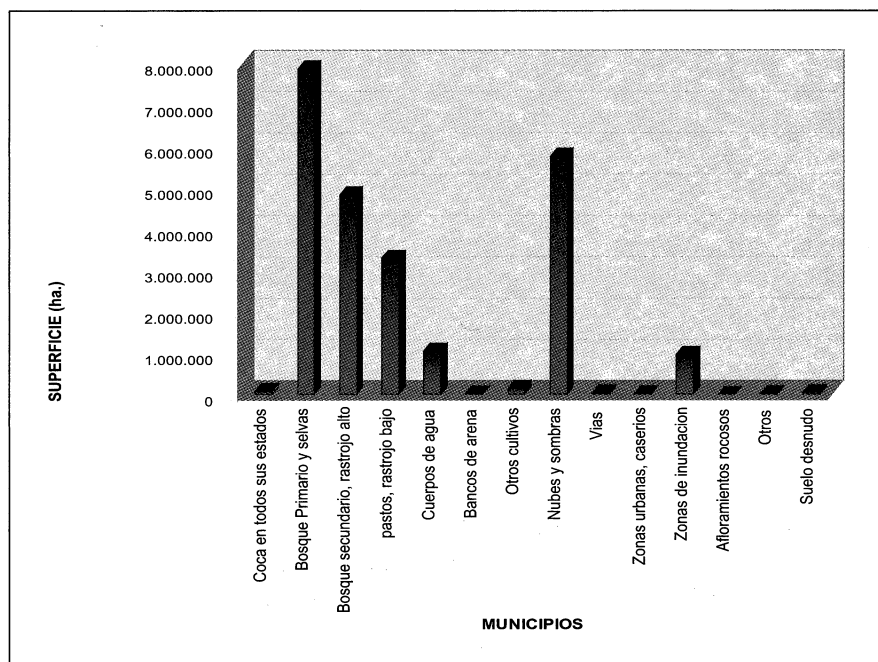


Figura 11. Representatividad de coberturas – 2000

Coberturas por municipios

Partiendo de la información generada en el proceso de clasificación de coberturas y el empalme (mosaico) realizado con las capas generadas por SIMCI para 2000, se elaboró un análisis municipal¹², lo cual proporcionó un producto agregado al trabajo.

Para 2000 el municipio de San Pablo contaba con la mayor superficie en cobertura de Bosque Primario con un total de 121.679 hectáreas, seguido por Montecristo con 98.560 ha y Santa Rosa del Sur con 73.850 ha, mientras que el municipio de Barranco de Loba tan solo contaba con 414 ha (teniendo en cuenta que este municipio representa el 6,11% del total de la Reserva).

Criterios para la definición de áreas deforestadas por cultivos ilícitos

En esta investigación, el tema de estimación de superficies deforestadas por cultivos ilícitos se

desarrolló teniendo en cuenta la información existente sobre lotes de coca interpretados por el Proyecto SIMCI, así como las coberturas generadas para la zona de estudio. Con estos insumos, el análisis consistió en la identificación de los lotes de coca (acumulados) que fueron superpuestos en las coberturas de 2000 (**Figura 12**). Se buscó contar con una metodología sencilla y práctica para la estimación de la deforestación en la Reserva, de manera que fuese aplicable a otras áreas en el país. Además, se buscó desarrollar una línea base de información de coberturas boscosas en una escena determinada (2000) para calcular los cambios “sin discrepancias ni cambios de clases de otra índole” (nubes, gaps, bruma, etc.), brindando confiabilidad en los resultados.

Con estos insumos, se consideró como referente la información de coberturas para 2000 conforme a la leyenda SIMCI. Es de resaltar que esta leyenda contempla, dentro de su clasificación, la categorización de Bosque primario

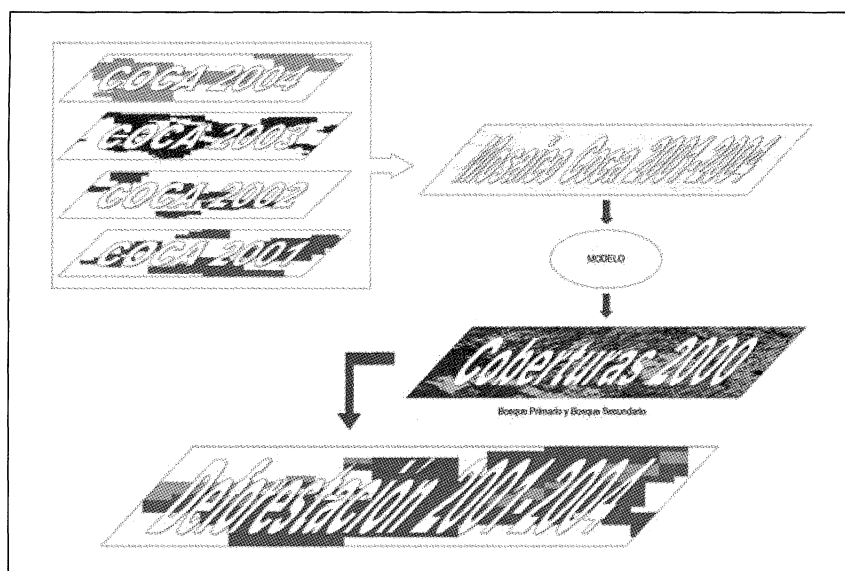


Figura 12. Esquema general del proceso

¹² Para efectos del presente análisis de coberturas no se incluyen territorios de 3 municipios (La Jagua de Ibirico, Yacopí y Puerto Salgar), debido a que corresponden a superficies residuales producto de cruces de información cartográfica de las sustracciones realizadas a la Reserva y que, igualmente, se encuentran fraccionadas en el municipio. Además no cuentan con representatividad en coberturas.

y Bosque secundario, coberturas que resultan pertinentes para los fines del proyecto, y a su vez sirven como criterio para la medición de deforestación en el área.

Un segundo insumo correspondió a los lotes de coca interpretados por el Proyecto SIMCI en los años 2000 a 2004, producto de los censos de cultivos ilícitos que anualmente publica. Estos fueron objeto de una recodificación de píxeles en las coberturas de cada año para extraer tan solo los lotes de coca.

Posteriormente se integró la información espacial para generar una sola cobertura (imagen en formato *.img de Erdas). Dicha integración significa que cada una de las imágenes obtenidas año a año por SIMCI (2001, 2002, 2003 y 2004) fueron sumadas en una única imagen denominada “mosaico_coca_2001_2004.img”. Este proceso se realizó con el uso del programa ERDAS IMAGINE 8.5 a través de la herramienta “DataPrep – Mosaic Images”. Así se obtuvo una sola imagen de cultivos ilícitos

establecidos entre 2001 y 2004 para trabajar con información simplificada.

En la **Figura 13** se presentan los lotes de coca de los censos de 2001 a 2004 (en color amarillo), superpuestos a la imagen de satélite Landsat 7 TM 855 de 2003. A la derecha: río Magdalena. Es importante hacer claridad en que las áreas de cultivos ilícitos que presentan persistencia durante el periodo 2001 a 2004 se encuentran incluidas en las superficies ilustradas y que, para efectos de la investigación, fueron agregados a una sola imagen buscando la integración de aquellas áreas de bosque transformadas para establecimiento de ilícitos.

Finalmente, se determinaron las coberturas de Bosque primario y Bosque secundario de 2000, sustituidas por cultivos ilícitos entre 2001 y 2004, a través de un modelo condicional diseñado para análisis multitemporal de coca (**Figura 14**). El producto corresponde a las superficies deforestadas por cultivos ilícitos (**Figura 15**).

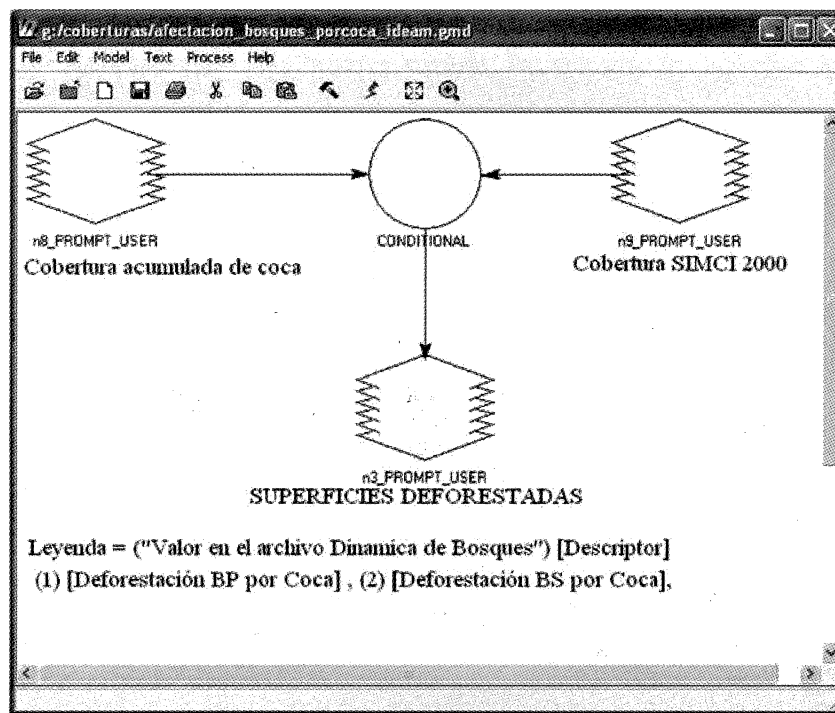


Figura 14. Modelo condicional



Figura 13. Imagen obtenida de los censos de coca 2000-2004.

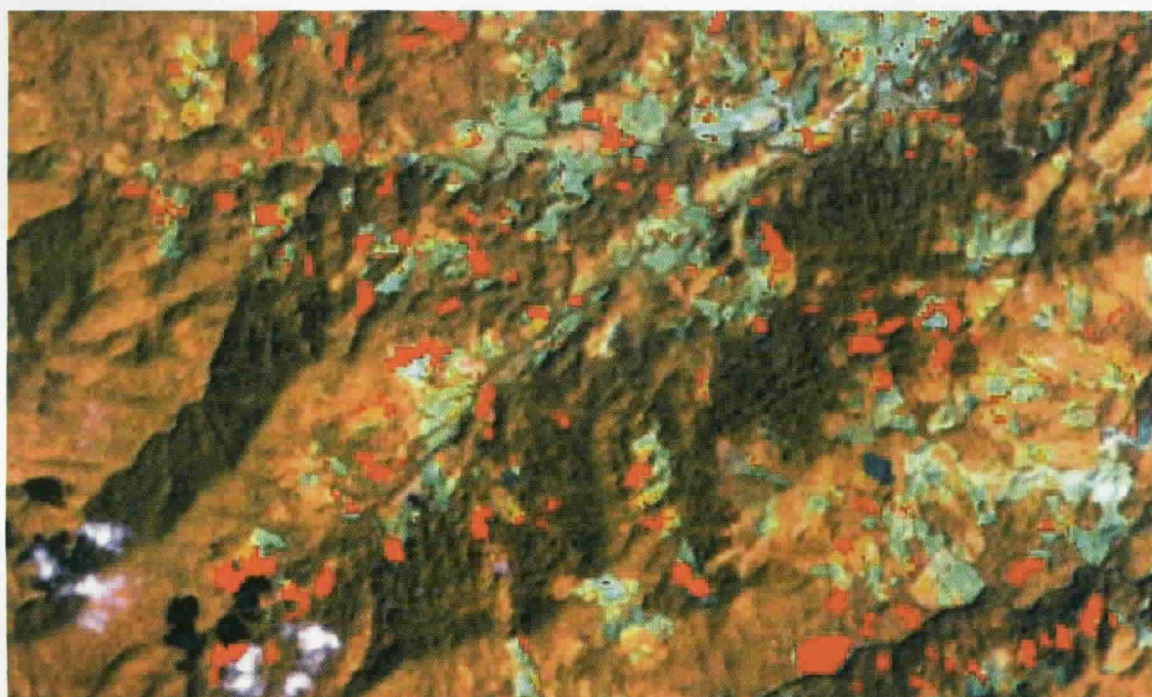


Figura 15. Superficies deforestadas por cultivos ilícitos sobre imagen Landsat 855 de 2001

En la **Figura 15** se presenta un ejemplo de algunas superficies deforestadas por cultivos ilícitos en el periodo entre 2001 y 2004, discriminando en rojo lo que cambió de Bosque primario en coca, y en naranja de Bosque secundario en coca. Por medio del análisis de la información generada en este nivel, se logró identificar los municipios que presentaron procesos de deforestación durante el período de tiempo de estudio.

ESTADÍSTICAS DE DEFORESTACIÓN POR CULTIVOS ILÍCITOS

Se encontró que de los 52 municipios analizados que cuentan con representatividad en la reserva, 27 de ellos presentaron procesos de deforestación por cultivos ilícitos entre 2001 y 2004, alcanzando un 52% del total. En ellos, 7.284 ha pasaron de bosque primario a coca y 4.100 ha de bosque secundario a coca, en el periodo mencionado, sumando un total de 11.384 ha deforestadas (**Figura 16**).

Los municipios de San Pablo, Cantagallo y Santa Rosa del Sur presentaron los mayores ín-

dices de deforestación con pérdidas de bosque primario que alcanzan 1.877,11 ha, 1.362,91 ha y 1.073,66 ha, respectivamente. Además, el municipio de Santa Rosa del Sur reporta la mayor superficie de bosque secundario cultivada en coca con un total de 1.053,07 hectáreas.

El comportamiento de los registros de deforestación por cultivos ilícitos ha presentado una relación directamente proporcional a la cobertura boscosa en cada municipio, es decir, que a mayor superficie en bosques, mayor la deforestación. En la **Figura 17** se relacionan los datos de coberturas boscosas para 2000.

En 2000 la cobertura de bosque en la Reserva alcanzaba 1.144.815 ha, mientras que la deforestación entre 2001 y 2004 llegó a 11.384,07 ha, es decir, cerca de 0.99% de áreas boscosas convertidas en cultivos de coca. En el nivel municipal, el cambio de cobertura boscosa a cultivo de coca se encuentra en un promedio del 1,05%, del cual 0,89% corresponde al porcentaje de cambio en bosque primario y 1,21% a bosque secundario (**Figura 18**).

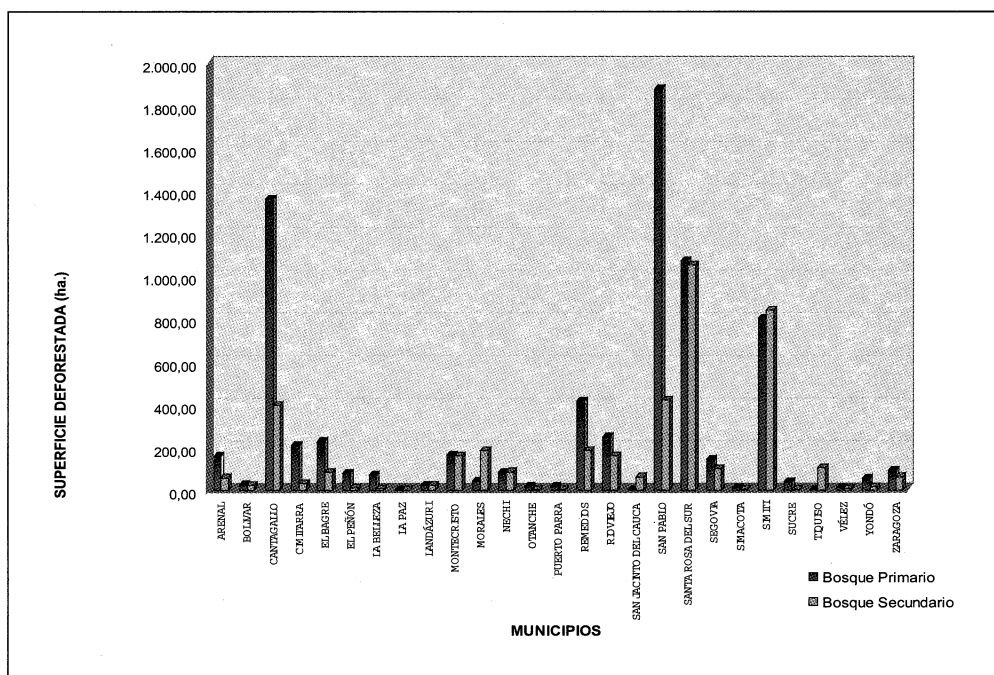


Figura 16. Deforestación por tipo de bosque y por municipio entre 2001 y 2004

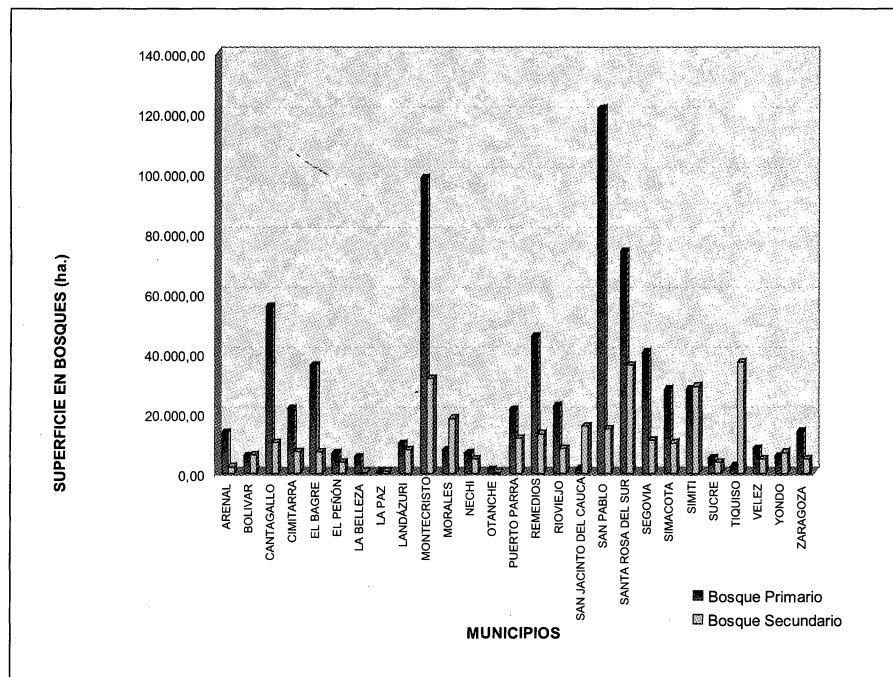


Figura 17. Coberturas de bosque por municipio, 2000

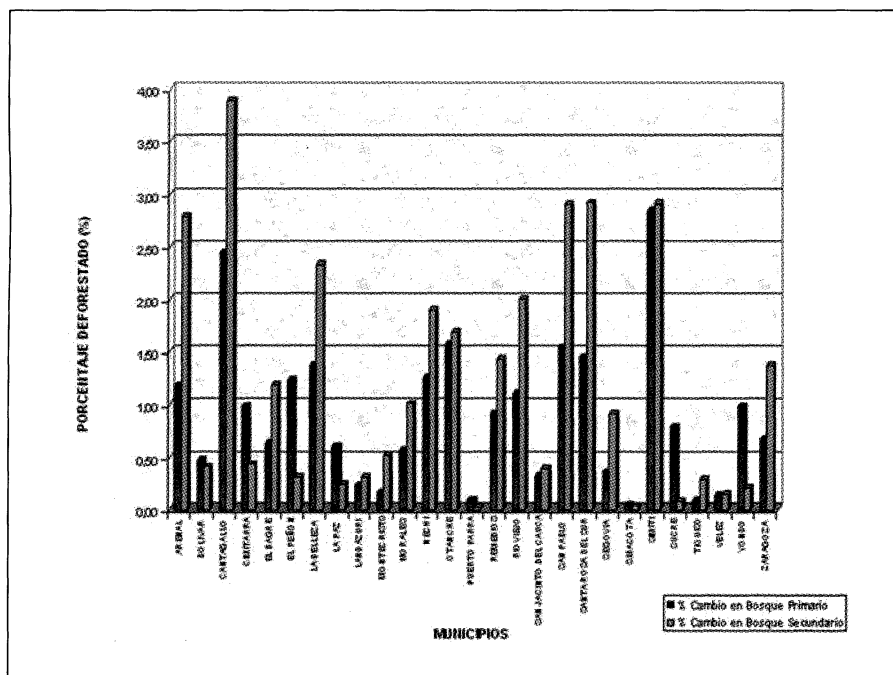


Figura 18. Porcentajes de deforestación de Bosque primario y Bosque secundario por municipio en la ZRFRM, 2000-2004

CONCLUSIONES

Este proyecto se constituye en un insumo práctico para adelantar la caracterización y monitoreo de la deforestación en Zonas de Reserva Forestal y otras áreas de interés en el país, particularmente aquella relacionada con el establecimiento de cultivos ilícitos. Brinda a su vez información confiable sobre la problemática de la deforestación en un área determinada.

Con los productos de esta investigación, se ofrecen instrumentos técnicos para la toma de decisiones por parte de las entidades encargadas de la administración y gestión de los recursos naturales al nivel nacional, regional y local, así como para aquellos actores involucrados en las dinámicas socioeconómicas que se generan en el área objeto de estudio.

Los recursos y virtudes ambientales existentes en la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena se encuentran afrontando una seria problemática, que riñe con los procesos sociales fuertemente marcados en esta región del país, y que a su vez, se reflejan en la pérdida de bosque que originalmente caracterizaba al área. Lo anterior considerando que el 52% de los municipios con territorios en la Reserva presentan procesos de deforestación.

La deforestación, como actividad enmarcada dentro del contexto de la economía de la coca en la región, se ha venido convirtiendo progresivamente en una seria amenaza que atenta contra los intereses de conservación del patrimonio natural, así como también, disminuye significativamente la calidad del medio ambiente y la posibilidad de planificar el territorio en términos de aprovechamiento sostenible del potencial forestal.

Este fue un ejercicio que puede ser de fácil aplicación en diferentes áreas declaradas dentro de alguna categoría de manejo de área pro-

tegida del orden nacional o regional, dada su simplicidad metodológica para obtener resultados concretos. El presente trabajo constituyó un importante insumo para la redelimitación y zonificación de la Reserva.

RECOMENDACIONES

El Gobierno Nacional, a través de sus entidades, debe valorar la posibilidad otorgar un uso eficiente de la información generada por el Proyecto SIMCI, así como de la capacidad instalada (software y hardware), el banco de imágenes, el sistema de información y el amplio bagaje de los expertos en procesamiento digital de imágenes y edición. Del mismo modo, tiene la responsabilidad de participar más activamente en los adelantos tecnológicos y procesos interinstitucionales que se llevan a cabo en el marco del proyecto mencionado.

El trabajo para valorar las superficies deforestadas por el establecimiento de cultivos ilícitos en la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena resultó ser el producto de un riguroso análisis cartográfico y eficiente empleo de herramientas de manejo de información espacial que, sin detrimento de sus resultados, requiere actividades de comprobación en campo y un análisis más profundo del desarrollo metodológico planteado.

Es necesario considerar otros procesos relacionados con el cultivo de coca que también agravan el problema de deforestación, dado que quien desarrolla dicha actividad genera una demanda permanente de recursos del suelo; por ejemplo, la necesidad alimentaria. Por tanto, es obvia la utilización de los recursos naturales como medio de subsistencia y base para el sostenimiento de numerosas familias. En este sentido, es preciso recomendar el desarrollo de un trabajo más exhaustivo que permita cuantificar la afectación socioeconómica del medio ambiente por este tipo de actividades.

Se recomienda llevar a cabo una segunda fase del estudio que incluya un análisis multitemporal de coberturas en la Reserva para conocer en más al detalle las dinámicas de transformación del territorio para su futura planificación, seguimiento y monitoreo; emprender acciones y realizar procesos sociales que permitan incentivar el uso del territorio en actividades que se encuentren dentro del marco de la legalidad y que fomenten un desarrollo adecuado de las comunidades establecidas en el área; e iniciar procesos tendientes a la declaración de áreas naturales protegidas, especialmente en la región de la Serranía de San Lucas, para garantizar la protección de los valores ambientales y biológicos con que cuenta la Reserva.

AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta sus agradecimientos al personal del Proyecto SIMCI, especialmente al doctor Rodolfo Llinás por sus importantes precisiones en el desarrollo de la investigación; al ingeniero Juan Carlos Parra por su permanente asesoría en los procesos metodológicos, conceptuales y de programación por la capacitación y por compartir su experiencia y conocimientos; a la ingeniera María Isabel Velandia y a la ingeniera Zully Sossa por brindar apoyo continuo en el proceso de investigación, por el aprestamiento de información y por la capacitación; y en general, a todo el personal del Proyecto SIMCI que amablemente colaboró en el desarrollo del trabajo. A la Dirección de Antinarcóticos de la Policía Nacional, DIRAN, principalmente al suboficial Jorge Ramírez Sanabria, ingeniero de sistemas, quien respaldó constantemente el desarrollo del trabajo. Al IDEAM por valorar la importancia de realizar esta investigación en el marco del convenio con las Naciones Unidas y por aprobar la comisión de un profesional para el cumplimiento de sus funciones en el Proyecto SIMCI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cárdenas Torres, M. A. 2005.** Valoración de superficies deforestadas por cultivos ilícitos en la Zona de Reserva Forestal del Río Magdalena. Proyecto adelantado en el marco del convenio AD/COL/03/H45 Naciones Unidas-Gobierno de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos, SIMCI II, Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Publicado en: http://www.unodc.org/colombia/es/simci_project.html
- Dirección Nacional de Estupefacientes, 2005.** El fenómeno de los cultivos ilícitos en Colombia, Ministerio del Interior y de Justicia, Subdirección de Asuntos Regionales y Erradicación – SARE, Bogotá D.C.
- ERDAS INC. 1999.** ERDAS Field Guide, Fifth Edition, Revised and Expanded. Atlanta, Georgia, United States of America.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, et al. 2004.** Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia, Bogotá D.C., Colombia
- Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos - SIMCI II, Gobierno de Colombia. 2005.** Colombia, Censo de cultivos de coca, Naciones Unidas, Oficina contra la droga y el delito, UNODC, Bogotá D.C.
- República de Colombia, Congreso Nacional, 1959.** Ley segunda de 1959, Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables, Bogotá, Colombia.