

Ministerio de Educación Superior  
Universidad de la Habana  
Facultad de Geografía

Tesis en opción al título de Master en  
"Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial"

Mención: Desarrollo Regional

“Análisis de los cambios de uso de la tierra en las cuencas  
hidrográficas Itabo y Guanabo durante el período 1985 – 2005  
a partir del procesamiento de imágenes de satélite”

**Autora: Lic. Danai Fernández Pérez**

**Tutores: Dr. Ricardo Remond Noa**

**MsC. Ramiro Reyes González**

**Consultante: Dra. Carmen Mosquera Lorenzo**

La Habana

2007

## **RESUMEN**

El cambio de uso de la tierra en las cuencas hidrográficas Guanabo e Itabo localizadas al Noreste de la Ciudad de la Habana, es un fenómeno vigente que ha venido incrementándose desde 1985. En la presente investigación mediante el procesamiento digital de imágenes de satélite y la aplicación de diferentes técnicas de detección de cambios, es posible llevar a cabo un estudio detallado de estas transformaciones, identificando los principales procesos que han intervenido en estos cambios, lo cual constituye un resultado muy valioso para las autoridades encargadas del manejo y protección de estas dos cuencas y es una tarea en la que las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección encuentran una gran aplicación.

Teniendo en cuenta que el incremento de matorrales secundarios de marabú y aroma constituye el cambio más significativo identificado, se realiza un análisis de la expansión que han experimentado dichos matorrales y se cartografía la superficie ocupada por estas plantas, además se determinan las zonas más afectadas en las cuencas y se estudia como han influido variables naturales, el uso y la tenencia de la tierra en el incremento de estas especies en el período 1985 – 2005.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS</b>	<b>9</b>
I.1 El marabú ( <i>Dychrostachys cinera</i> ) y el aroma ( <i>Acacia farnesiana</i> ).	9
I.2 Aportaciones de la Teledetección y los SIG a los estudios de cambio de uso de la tierra	15
I.2.1 Procesamiento digital de Imágenes. Técnicas del procesamiento digital de Imágenes	17
I.2.2. La representación y análisis de los cambios mediante los SIG	20
I.2.3. Detección de cambios mediante el procesamiento digital de imágenes	21
I.3 Procedimientos metodológicos	23
<b>CAPÍTULO II. GENERACIÓN DE LOS MAPAS DE USO DE LA TIERRA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS ITABO Y GUANABO Y ANÁLISIS DE SUS CAMBIOS</b>	<b>26</b>
II. 2 Generación de los mapas de uso de la tierra para los años 1985, 2001 y 2005	30
II.2.1 Resultados de las clasificaciones de los mapas de uso de la tierra	33
II.2.1.1 Resultados de la clasificación del mapa de uso de la tierra para el año 1985	33
II.2.1.2 Resultados de la clasificación del mapa de uso de la tierra para el año 2001	34
II.2.1.3 Resultados de la clasificación del mapa de uso de la tierra para el año 2005	35
II.2.2 Comprobación de los resultados obtenidos en la elaboración de los mapas de uso de la tierra	36
II. 3 Análisis del cambio de uso de la tierra en las Cuencas Itabo y Guanabo	37
II. 3.1 Análisis del período 1985- 2005	43
<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN DE LOS MATORRALES SECUNDARIOS DE MARABÚ (<i>DYCHROSTACHYS CINERA</i>) Y AROMA (<i>ACACIA FARNESIANA</i>) EN LAS CUENCAS GUANABO E ITABO</b>	<b>47</b>
III.1 Análisis de la expansión de los matorrales de marabú y aroma	47
III.1.1. Generación de los mapas de marabú a partir de los mapas de uso de la	

tierra-----	47
III.2 Análisis de la posible Influencia de los componentes naturales y antrópicos en la Distribución y crecimiento de las zonas de marabú y aroma en el período 1985 – 2005 -----	50
III.3 Análisis de la relación entre la Tenencia de la tierra - Uso de la tierra -----	59
III.3.1 Tenencia de la tierra -----	59
<b>CONCLUSIONES -----</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES -----</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA-----</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS-----</b>	<b>69</b>

## INTRODUCCIÓN

Alrededor del 30% de la superficie del planeta es tierra, y no toda ella puede ser utilizada por los humanos, motivo por el cual constituye un recurso natural valioso que se encuentra sometido en muchas partes del mundo, a una notable presión. En consecuencia, es importante tener una visión correcta del uso que se le está dando a un espacio concreto y de si éste es el más apropiado. En los últimos años el estudio de las causas, los procesos y las consecuencias del cambio del uso y cobertura de la tierra es uno de los principales temas de investigación, cuando se abordan problemas relacionados con el cambio ambiental global.

El cambio es la principal manifestación del transcurrir del tiempo, que se manifiesta en todos los aspectos de la realidad, sin embargo la faceta que abordaremos en esta investigación es el *cambio de uso*, entendiendo este como fruto de la evolución natural de un territorio o producido por una serie de procesos antrópicos inducidos por causas de tipo político, económico, social, demográfico, etc

La cartografía de los usos del suelo es una de las aplicaciones clásicas de la Teledetección. Desde el lanzamiento del primer satélite de la serie Landsat en 1972, primer proyecto destinado a la observación terrestre, se han desarrollado varios métodos para obtener mapas temáticos de este tipo.

Mediante el análisis de imágenes de distintas fechas y utilizando disímiles herramientas, como la implementación de técnicas para la detección de cambios, es posible establecer lo que ha variado en ellas y consecuentemente, poder realizar una representación cartográfica de este cambio del uso acaecido en el territorio objeto de estudio. (Chuvieco, 1990)

A partir de la realización de estos tipos de análisis multitemporales se pueden establecer para un territorio dado, labores de predicción, prevención, determinación de escenarios futuros, monitorización de ciertos elementos del medio natural así, como la estimación del cambio producido en las diferentes clases de uso u ocupación del territorio.

En las cuencas hidrográficas Guanabo e Itabo se han producido a lo largo de los últimos 20 años importantes cambios del uso de la tierra. El crecimiento de zonas urbanas y la expansión de los matorrales de marabú (*Dyckrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*) son dos de los principales procesos que han afectado a estas

cuencas durante este período (Otero, 2006).

En esta investigación se presenta el estudio de los principales cambios de uso de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo así como la cartografía de los mismos en un período de 20 años (1985-2005).

### **Hipótesis**

Como punto de partida de la investigación se formula la siguiente Hipótesis:

El estudio y cartografía de los cambios del uso de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo a partir de técnicas de detección de cambios sobre imágenes de satélites, permitirá identificar y cartografiar los procesos relacionados con el cambio de uso en este territorio, durante el período 1985-2005.

### **Objetivo general**

- Analizar los cambios de uso de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo en el período 1985 – 2005 a partir de la aplicación de diversas técnicas de detección de cambios sobre las imágenes de satélites de los sensores Landsat 7 TM y Quickbird.

### **Objetivos específicos**

- Generar los mapas de uso de la tierra del período estudiado a partir del procesamiento digital de imágenes de satélite de los sensores Landsat 7 TM y Quickbird.
- Analizar y cartografiar la expansión de los matorrales secundarios de marabú y aroma como principal proceso relacionado con el cambio de uso de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo
- Estudiar la influencia de los componentes naturales, el uso y la tenencia de la tierra en la distribución y crecimiento de las zonas de marabú y aroma.

### **Tareas**

1. Búsqueda y consulta bibliográfica sobre el tema.
2. Selección de los sitios de entrenamientos correspondientes a las categorías de uso

para el procesamiento digital de las imágenes.

3. Elaboración de los mapas de uso de la tierra para los años 1985, 2001 y 2005 a partir del procesamiento digital de imágenes de satélite seleccionadas.
4. Comprobación de los resultados de la clasificación a en el área de estudio.
5. Selección y aplicación de las técnicas de detección de cambio para la representación y análisis de los principales procesos relacionados con el cambio de uso de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo (expansión de los matorrales secundarios de Marabú (*Dychrostachys cinerea*) y Aroma (*Acacia farnesiana*)).
6. Análisis espacial y estadístico de los datos en los Sistema de Información Geográfica (SIG) para determinar como han influido los componentes naturales, el uso y la tenencia de la tierra en el crecimiento de los matorrales de marabú y aroma.
7. Redacción del informe final y elaboración de los mapas

### **Métodos, Materiales y Herramientas utilizados**

Para el logro de los objetivos planteados se utilizarán diferentes métodos y procedimientos de trabajo, entre ellos: técnicas de procesamiento digital de imágenes, análisis espacial, estadístico, trabajo de campo y entrevistas. Los principales resultados se expresan mediante mapas y gráficos, con el empleo de los SIG.

Los materiales fundamentales empleados en la presente investigación fueron:

- Mapas topográficos a escala 1: 10 000 elaborados por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC), 1990.
- Imágenes de satélite Landsat 7 TM de los años 1985 y 2001.
- Imagen de satélite Quickbird año 2005

Los Sistemas de Información Geográfica utilizados fueron:

- IDRISI.32 (versión 3.2) y Los Andes
- ENVI (versión 4.3)
- ArcView (versión 3.2).
- ArcGis (versión 9.2)

Como apoyo al levantamiento de la información en el terreno se utilizó una cámara digital Kodak con una resolución de 1024\*768, un receptor GPS Etrex y 5 estaciones

meteorológicas automáticas WahsDog.

### **Antecedentes de la investigación**

Existen varios trabajos a nivel nacional que de una manera u otra constituyen antecedentes de esta investigación al abordar el tema tratado o ser resultados de estudios que se han realizado en el área seleccionada. Entre los mismos podemos citar:

- Reyes, R *et al* (2006) “Diagnóstico ambiental de las cuencas hidrográficas de los ríos Tarará, Itabo y Guanabo”. Instituto de Geografía Tropical, CITMA, 109 pp. (inédito).
- Méndez, I. (2005): “El marabú ¿plaga o recurso natural? <http://cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia27/HTML/articulo03.htm>
- Hernández, E. (2002): “Cambios de uso del suelo en la cuenca alta del río Chama, Estado de Mérida, Venezuela, período 1970-1996. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Geográficas, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, 121 pp. (inédito).
- Otero, M (2006): “Estudio de la expansión de los matorrales secundarios de marabú (*Dyckrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*) en las cuencas Guanabo e Itabo de Ciudad de La Habana, Cuba, en el período 1985-2001” Tesis de Licenciatura, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, 46 pp. (inédito).

A nivel internacional existen un mayor número de trabajos y artículos que se relacionan con el tema tratado. Los trabajos más afines consultados, cuyo objetivo principal consistió en generar los mapas de uso de la tierra a partir de imágenes de satélite y el empleo de las técnicas de detección de cambios, fueron:

- Calderón, V (2003): “Análisis Multitemporal del Cambio de Uso de la tierra en base a Imágenes Satelitales y su Relación con las Patentes de Desmonte en el Área de los Municipios de Concepción y San Javier en los períodos 1996 – 1998 y 1998 – 2000.” Bolivia, 65 pp.



<http://www.museonoelkempff.org/modules.php>

- Massa, N (2002) “Estudio del cambio en el uso del suelo en el ecosistema de las yungas y su impacto en la absorción de dióxido de carbono (Dpto de San Martín - Provincia. de Salta)” Argentina, 12 pp.  
<http://www.monografias.com/trabajos6/elsu/elsu.shtml>
- Henríquez, C (2006) “Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile” Revista de Geografía Norte Grande, 2006, N° 36, p. 61-74  
<http://www.scielo.cl/scielo.php>
- Vázquez, A (2002) “Análisis del cambio de uso del suelo” Instituto de Geografía, UNAM. México, 98 pp. <http://www.ine.gob.mx/dgoece/xid/dgoece>

Los resultados de esta investigación tributarán a los siguientes proyectos:

- “Análisis de los contrastes espacio-temporales que influyen en los problemas ambientales del ecosistema frágil de la zona costera- acumulativa Tarará-Rincón de Guanabo.” Instituto de Geografía Tropical.
- “Valoración económico ambiental de los recursos seleccionados en la cuenca del río Guanabo. Instituto de Geografía Tropical.
- “Evaluación ambiental en la cuenca de Guanabo, Cuba. Diagnóstico de los recursos hídricos y sus repercusiones socioeconómicas”. Proyecto de colaboración con la Universidad de Málaga, España (aprobado por la Junta de Andalucía para el período 2006-2008) Facultad de Geografía, Universidad de la Habana

### **Actualidad e importancia del tema**

La modelación estadístico-espacial del cambio en el uso de la tierra, se deriva de la combinación y uso de técnicas cartográficas, sistemas de información geográfica y modelos estadísticos multivariantes. Su objetivo principal es identificar la magnitud y distribución espacial del cambio, proyectar y desplegar cartográficamente su probabilidad de ocurrencia en el futuro cercano, bajo el supuesto que las técnicas de manejo del suelo continuarán siendo similares al pasado cercano.

En las últimas dos décadas se han incrementado las investigaciones relacionadas con el análisis y modelamiento del cambio de uso de la tierra, principalmente referidos al proceso de deforestación en países tropicales. Muchos de estos modelos están ligados a estudios del ciclo global del carbono o impulsados por la búsqueda de las causas y consecuencias del cambio climático, pérdida de biodiversidad o modelamiento del paisaje. En general los esfuerzos de analizar y modelar los procesos de cambio de uso de la tierra son abordados mediante metodologías apoyadas en el uso de sensores remotos y análisis estadístico espacial

El ejercicio incontrolado de múltiples actividades en las cuencas hidrográficas entraña inevitablemente la competencia por la explotación de los recursos, los cuales no son ilimitados, además si se ignora la dinámica de estas zonas sus consecuencias pueden ser catastróficas (pérdidas de vidas humanas, bienes e inversiones). Para que estas zonas conserven su productividad y sus funciones naturales hay que tener en cuenta su planificación y administración (Reyes et al, 2006)

La antropización en las cuencas hidrográficas Guanabo e Itabo es un fenómeno vigente que ha venido incrementándose desde 1985. A partir del procesamiento digital de las imágenes de satélite y la aplicación de diferentes técnicas de detección de cambios, es posible llevar a cabo un estudio detallado de estas transformaciones acaecidas en el territorio en un período de 20 años, identificando los principales procesos que han intervenido en estos cambios ocurridos. La temática abordada en la presente investigación resulta de mucha actualidad al emplear las herramientas de los SIG y las técnicas del procesamiento digital de imágenes en el análisis de estas variaciones.

Teniendo en cuenta la expansión que ha existido en el área de estudio de matorrales secundarios (aroma y marabú) como consecuencia del abandono de muchas áreas ganaderas y de la sequía que ha sufrido el territorio en los últimos años y considerando el impacto que tienen sobre el territorio estos matorrales que por una parte protegen los suelos de la erosión, pero por otra invaden suelos que pueden tener un uso agropecuario y que además su difícil eliminación repercute económicamente de forma negativa en el territorio, se hace necesario hacer hincapié en su distribución como uno de los principales procesos relacionados con el cambio de uso de la tierra en el área estudiada a fin de propiciar la conservación de los recursos naturales y promover un uso sustentable del suelo.

La aplicación de técnicas de detección de cambio a las imágenes de satélite seleccionadas será de gran utilidad en el territorio, basado en la importancia para los sectores agrícola y ganadero (determinación de áreas limitadas para la producción, áreas ocupadas por especies invasoras, etc.) y en el cuidado de áreas protegidas con el fin de apoyar el aprovechamiento de los recursos en las cuencas hidrográficas.

Por primera vez en una investigación enmarcada en las cuencas Guanabo e Itabo se elaboran mapas de densidad de los matorrales secundarios de marabú y aroma y mapas de su distribución que representen su incremento que han tenido estos matorrales, así como las áreas donde se han mantenido, donde nunca han existido y donde han decrecido en el transcurso de los 20 años estudiados. Además del estudio del comportamiento de los componentes naturales, la tenencia y el uso de la tierra en el desarrollo de los mismos para establecer una posible relación con la expansión que han experimentado dichos matorrales en las cuencas, todo lo cual le aporta gran novedad científica a esta investigación.

La cartografía y estimación de la superficie ocupada por estas plantas constituye un resultado muy valioso para las autoridades encargadas del manejo y protección de estas dos cuencas y es una tarea en la que las herramientas de los SIG y las técnicas de teledetección encuentran una gran aplicación.

### **Estructura de la tesis**

La tesis quedó estructurada de la siguiente manera: Resumen, Introducción, tres Capítulos, Conclusiones, Recomendaciones y Anexos (mapas).

En el **CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS**, se hace referencia a la metodología utilizada para analizar y cartografiar los principales procesos que han influido en el cambio de uso de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo mediante el procesamiento digital de imágenes de satélite y las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica

En el **CAPÍTULO II. GENERACIÓN DE LOS MAPAS DE USO DE LA TIERRA EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS ITABO Y GUANABO Y ANÁLISIS DE SUS CAMBIOS**, se hace referencia a las características del área de estudio, se elaboran

los mapas de uso de la tierra para los años 1985, 2001 y 2005 y se analizan los principales cambios de uso de la tierra experimentados durante este período en ambas cuencas.

En el **CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN DE LOS MATORRALES DE MARABÚ Y AROMA**, se analizan y cartografían las áreas ocupadas por estos matorrales y su distribución espacial en el período de tiempo estudiado, así como se estudia y comprueba la influencia de variables naturales y la tenencia de la tierra en estos cambios identificados.

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS**

En la actualidad los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura del suelo son importantes y necesarios porque proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. Durante las últimas décadas, el hombre se ha convertido en el principal desencadenador de la actividad transformadora de los ecosistemas, su impacto global ha sido evaluado desde diversas perspectivas entre las que destacan la pérdida de biodiversidad y el cambio climático; entre muchas otras consecuencias ambientales de mayor relevancia regional tales como la alteración de los ciclos hidrológicos, la introducción de especies exóticas y la pérdida de hábitats, entre otros.

Los términos *uso de la tierra* y *uso del suelo* se utilizan indistintamente por diversos autores, en dependencia del tema que aborden o del país al que pertenezcan. En nuestro caso emplearemos el término uso de la tierra, entendiendo este como: “Expresión empleada convencionalmente en el Catastro Nacional, para señalar por qué tipo de cultivo, elemento u obra, está ocupada la superficie de cada parcela” según la Norma Cubana 57-18 (Comité estatal de normalización, 1983).

En las cuencas hidrográficas Guanabo e Itabo se han producidos a lo largo del tiempo, importantes cambios de uso de la tierra. La expansión de los matorrales secundarios de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*) representan más del 20 por ciento de estos cambios, afectando zonas ganaderas, cultivos, bosques y todas aquellas tierras ociosas de estas cuencas.

### **I.1 El marabú (*Dychrostachys cinerea*) y el aroma (*Acacia farnesiana*).**

Entre las principales especies invasoras de los campos cubanos se encuentran el Aroma (*Acacia farnesiana*) y el marabú (*Dychrostachys cinerea*). Ambas pertenecen a una misma familia botánica denominada Mimosáceas (*Mimosaceae*) y ambas también se diseminan por el ganado, en particular el vacuno, debido a que sus frutos están diseñados para ser diseminados por los animales. Se trata de plantas endozoocoras, que se caracterizan por ser resistentes a los jugos gástricos y por tener buen sabor y ser alimenticias, por tal motivo el ganado la come y después la propaga en sus excretas. Debemos señalar que aunque el aroma y el marabú se parecen mucho y pertenecen a una misma familia, ellas no sólo son especies diferentes, sino que

también son géneros distintos. El Aroma es *Acacia* y el marabú *Dychrostachys*. (Figuras 1 y 2)

Ambas especies, aceptan variedad de suelos, principalmente suelos pobres, en las serpentinitas y rocas volcánicas, muy pocas veces encontrado en suelos muy pantanosos y salinos. No son muy prósperas en áreas boscosas ni en terrenos cultivados eficientemente, por lo que en muchos casos han ocupado aquellas tierras abandonadas por el hombre al considerarlas cansadas, poco improductivas u ociosas, aparecen mucho también en las márgenes de los ríos.

El aroma (*Acacia farnesiana*) pertenece a la familia botánica de las mimosáceas (*Mimosaceae*), son árboles pequeños de hasta 5 metros de altura, ramas más o menos rectas, glabras o vellosas, los entrenudos sin aguijones, estípulas espinosas rectas, de 3 a 30 milímetros de largo, que con la edad llegan a ser blanquecinas. Sus frutos son deshicentes, estriados densamente a lo largo u oblicuamente, aguzados adelante, jóvenes verdes y maduros son pardos oscuros hasta negros. En las Fig. 1 y 2 podemos observar las ramas y los frutos de esta planta.

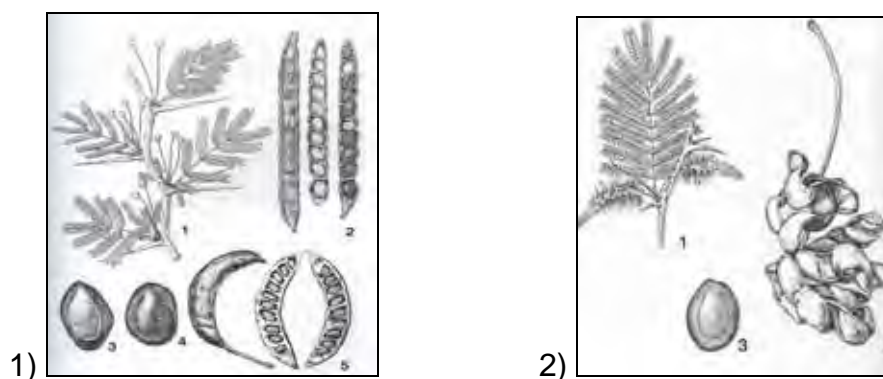


Fig. 1 y 2. Ramas y frutos de el aroma (*Acacia farnesiana*) y el marabú (*Dychrostachys cinerea*)

Fuente: Tomado de Bassler, M. (1998): Flora de la República de Cuba. Fascículo 2 Mimosaceae

Se distribuye ampliamente en todos los trópicos, de donde probablemente fue introducida en nuestro país; crece en todos lados, en bordes de calles y caminos, en ciudades, en las cercanías de los ríos y lagos, constituyendo una planta indeseable en lugares utilizados para la agricultura.

El Marabú (*Dychrostachys cinerea*) o también conocido en obras más antiguas como *Dychrostachys glomerata*, *Mimosa glomerta*, es una especie nativa de África, de hasta 5 metros de altura, con corteza gris y espinas solitarias, con frecuencia con una o dos hojas. Hojas bipinnadas y pubescencia fina, de 2 a 3 metros de largo. Los capítulos florales pendulosos son de color rosa en las partes superiores y amarillo en las inferiores. Sus frutos son de color pardo oscuro, nacen en racimos, retorcidas, de 5 a 8 centímetros de largo, y 0,5 a 1 centímetro de ancho. Son plantas de morfología sumamente variable, lo que ha motivado que se distingan varias especies en Cuba, normalmente se suele identificar con el nombre de Marabú a las demás especies por tener características muy similares.

Sobre su introducción en nuestro país existieron diversas teorías. Una de ellas cuenta que la señora Monserrat Canalejo, viuda de Gaspar Betancourt Cisneros, debido a su gusto por las plantas exóticas sembró la planta de flores coloridas en su finca La Borla, ubicada entonces en las afueras de la ciudad de Camagüey. Un hacendado del municipio de Sibanicú quiso tenerla, y logró que la semilla llegara a su poder. En menos de tres años su hacienda y las vecinas, sufrieron la expansión de la pretendida planta de jardín, convertida en árboles con púas.

Algunos autores señalan, en cambio, que fue el botánico José Blaín quién lo sembró en su herbario, en la zona de Taco Taco, provincia de Pinar del Río, y desde ahí se extendió. La planta, al encontrarse en la Isla con un clima cálido, húmedo, sol y grandes extensiones de tierra sin aprovechar, halló condiciones para sentirse más a gusto aquí que en el desierto de Kalahari, África, de donde es oriunda.

Otra explicación, quizás la más acertada, es que su introductor fue el ganado importado hacia Cuba poco después de la Guerra de los Diez Años desde el sur de América, donde ya existía la plaga. Los lotes de vacunos con semillas en su sistema digestivo propagaron a la resistente leguminosa, versión que destacó Tomás Roig en 1915. Lo cierto es que ningún otro arbusto se ha extendido tan profundamente en la Isla, imponiendo su predominio ante las formaciones vegetales oriundas.

En Cuba, actualmente hay más de un millón cien mil hectáreas infestadas por marabú, y existe en más de un 43 por ciento de las áreas ganaderas, según informe del

Ministerio de la Agricultura, (2006) A pesar de las estrategias y políticas trazadas por el propio Ministerio los métodos de control experimentados continúan siendo insuficientes. A partir de la década del 90 del siglo pasado, el marabú se expandió a un ritmo de cinco mil hectáreas anuales, a su proliferación ha contribuido el mal manejo agrotécnico y de los rebaños, al ser trasladado el ganado a terrenos cultivados donde pueden ir sembrando, de forma natural, esas semillas. Según expertos en el manejo de esta especie invasora se impone la disciplina tecnológica y el conocimiento de la planta, la que al arrancarla y dejarla fragmentada en el campo, retoña de cada pedazo de tallo o raíz.

Lo cierto es que el uso de herbicidas resulta efectivo pero muy costoso y contaminante. El control por corte requiere trabajo intensivo y continuo que sólo es posible para pequeñas áreas. El control con maquinaria resulta difícil cuando los troncos han engrosado, y el desbroce afecta el suelo y no impide el rebrote. No tolera el encharcamiento permanente del suelo, por lo que la inundación es un método de control en terrenos llanos. No prolifera con sombra por lo que el desarrollo forestal con otras especies altas y frondosas que la cubran, o el desarrollo de cultivos densos controlan el marabú, pero sus raíces proliferan en los márgenes de esas áreas. El control por consumo intensivo del ganado puede ser un complemento del control por otros métodos. La erradicación del marabú resulta tan trabajosa y costosa que muy a menudo las tierras invadidas son abandonadas por los productores.

Las múltiples afectaciones provocadas por el marabú pueden ser resumidas así (Méndez, 2005):

- Ocupa terrenos que dejan de estar aptos para la producción, los cuales sólo pueden ser reincorporados a tales fines después de grandes inversiones y considerables esfuerzos.
- Desplaza la flora y vegetación autóctona. Tratándose de una isla como el caso de Cuba, que cuenta con abundantes especies endémicas y que muchas de ellas tienen área de distribución significativamente restringida, ello puede convertirse en un factor que conduzca a la extinción de valiosos elementos florísticos nativos.
- Altera el funcionamiento de los ecosistemas que invade, lo cual afecta todos sus componentes, bien sean bióticos o abióticos, así como las relaciones que entre



ellos se establecen, al crear su propio nicho ecológico.

- Altera y homogeniza el paisaje, y reduce atractivos naturales que afectan incluso la actividad turística.

A pesar de todas las adversidades anotadas anteriormente, la presencia del marabú en Cuba tiene también beneficios que no deben ser olvidados (Méndez, 2005):

- Desempeña un importante papel en la conservación y beneficio del terreno, pues su amplio sistema radicular evita la erosión y como otras leguminosas fija grandes cantidades de nitrógeno al suelo.
- En sus intrincadas poblaciones encuentra la fauna un excelente refugio para esquivar la persecución de predadores naturales y cazadores furtivos.
- Tiene cierta utilidad para la apicultura por su discreto aporte de polen y néctar.
- Constituye una importante fuente de alimento proteico para animales herbívoros. El inconveniente que representan las espinas para su consumo directo, aunque es mejor tolerado por cabras y ovejas.
- La madera, duradera y resistente, tiene amplia utilización en postes de cercas, horcones de construcciones rústicas, bastones y otros objetos de ebanistería. Clasificada como muy pesada y de alta densidad (1,11 g/cm<sup>3</sup> con 15 % de humedad), es de textura fina y grano recto, por lo que se considera que, convertida en virutas, puede constituir una materia prima adecuada para fabricar tableros de madera prensada y diferentes tipos de hormigones ligeros. Suministra también una excelente pulpa para papel.
- El tallo y la semilla se usan para la fabricación de variados objetos decorativos y artesanales.
- Tiene atributos ornamentales, evidentes no sólo en sus flores vistosas, sino también el follaje de color verde intenso y frutos retorcidos, a lo que es necesario sumar particularidades relacionadas con el fácil cultivo y amplias posibilidades de manejo, incluida una adecuada respuesta a la poda.
- La corteza y los frutos poseen propiedades antisépticas y astringentes, dado su alto contenido de tanino.

En la actualidad, el Ministerio de la Agricultura, ante la gravedad que ha alcanzado el problema del marabú y el aroma y la falta de recursos químicos y mecánicos existentes, desarrolla un programa contra las Plantas Leñosas Indeseables (P.L.I), con el objetivo de caracterizar las áreas invadidas en cuanto a su densidad y ubicación para saber si en el lugar que ellas ocupan se consideran enemigas o no; posteriormente se ponen en movimiento todos los medios mecánicos, biológicos y químicos, sobre la base de dar prioridad al mantenimiento de las áreas libres y liberadas y a las que tienen un grado de invasión de ligero a medio. Se ha organizado brigadas de chapeo en muchos territorios y realizado movilizaciones masivas, combinadas con el rescate de equipos, el uso de petroderivados nacionales y la utilización de productos hormonales de importación. Este programa ha logrado reducir las áreas invadidas pero la guerra contra el marabú dista mucho de ser ganada.

En las cuencas Guanabo e Itabo las áreas ocupadas por el marabú y el aroma han ido aumentando en el transcurso de los últimos 20 años, los resultados de esta expansión los podemos observar en las Fig. 3 y 4. La mapificación y estimación de la superficie ocupada por estas plantas constituye un resultado muy valioso para las autoridades encargadas del manejo y protección de estas dos cuencas y es una tarea en la que las herramientas de los SIG y las técnicas de teledetección encuentran una gran aplicación.

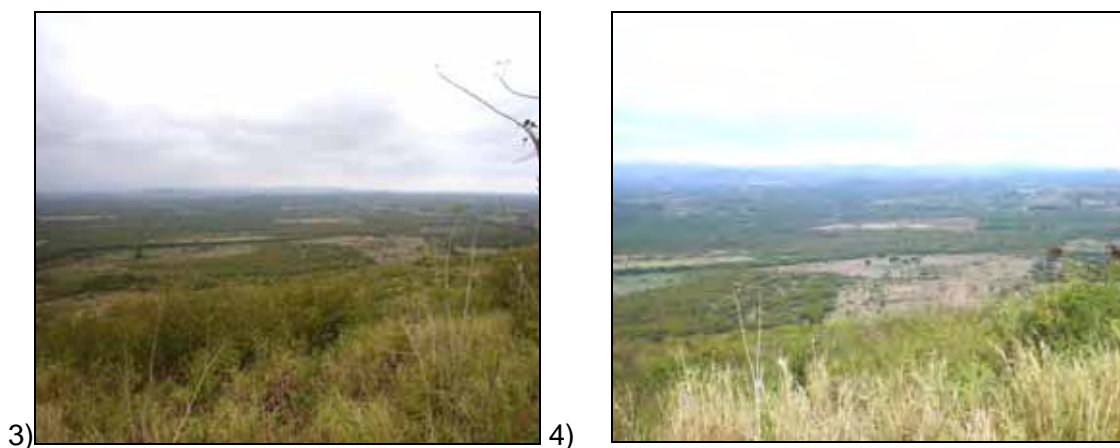


Fig. 3 y 4. Vista del valle de Campo Florido desde el Mirador de Bellomonte.

Fuente: Otero, 2006

## **I.2 Aportaciones de la Teledetección y los SIG a los estudios de cambio de uso de la tierra**

La percepción remota o teledetección consiste en un conjunto de técnicas que permiten obtener información de los objetos a partir del análisis de su respuesta espectral. En general, los sistemas de captura de datos están constituidos por sensores transportados por aeronaves o satélites, que son capaces de recibir y almacenar la respuesta espectral de los objetos en varias bandas del espectro electromagnético. La información así obtenida es plasmada bien en material fotográfico, bien en archivos digitales que pueden ser analizados mediante algoritmos de clasificación numérica o mediante análisis visual.

En cualquier caso, como resultado de las capturas mencionadas, se construyen imágenes de la superficie que acumulan eventualmente una gran cantidad de información, mediante una combinación coherente de bandas espectrales (número y localización de medidas espectrales); resolución espacial (tamaño del píxel de la imagen o, de manera equivalente, medida de longitud en la superficie terrestre; resolución radiométrica, que se mide mediante el número de niveles de gris asociado con cada píxel y, finalmente, el tamaño matricial de la imagen. Dependiendo del rango de los parámetros citados, una imagen de algunos kilómetros cuadrados puede ocupar desde megabytes hasta gigabytes.

Independientemente del método de interpretación que se utilice, las imágenes aerosatelitales, incluidas las fotografías, ofrecen la posibilidad de derivar mapas de cobertura del terreno, distribución de las formas del relieve (permiten diferenciar tipos de roca y de suelos), así como cartografiar fielmente cauces, cuerpos de agua y otros elementos culturales del territorio (localidades, infraestructuras).

En los últimos treinta años la información captada y transmitida por satélites se ha convertido en un elemento de uso diario a nivel masivo en áreas de aplicación inmediata como comunicaciones, meteorología, detección de catástrofes, etc. Los sensores a bordo de los satélites utilizados en el dominio de los recursos naturales se han ido refinando y especializando con cada nueva generación, al igual que los sistemas de procesamiento de los datos recibidos. Esto facilita los estudios de recursos naturales en distintas escalas, desde los niveles de grandes regiones hasta los de predios individuales.

Los datos satelitales pueden ser transformados digitalmente para hacerlos compatibles con la cartografía y la información de terreno y así constituir un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los productos obtenidos utilizando este tipo de sistema integrado aumentarán su valor agregado en la medida que pase a ser un elemento de juicio en la toma de decisiones por parte del destinatario final.

En la actualidad las imágenes de satélite son indispensables para los estudios regionales orientados hacia inventarios de recursos naturales y la optimización de sus usos con distintos fines. Su utilidad ha sido ampliamente demostrada en el mundo, en términos de precisión, ahorro de recursos humanos y de tiempo que resultan en una relación costo/producto netamente favorable para el usuario final en comparación con los métodos convencionales.

A nivel de escala de detalle o semi-detalle las imágenes y el SIG pueden contribuir en forma significativa en la evaluación de determinados recursos naturales o el impacto de factores externos sobre ellos. Los sensores actuales permiten: estudios catastrales, evaluación de daños provocados por factores climáticos (inundaciones, granizo, etc.) o generados por el mal uso de los recursos (erosión eólica o hídrica).

Los mapas y bases de datos derivados de la percepción remota pueden alimentar procesos de diferente índole en los SIG. A partir de la información secuencial de cobertura se puede establecer el cambio en el uso de la tierra, el crecimiento de localidades urbanas, la pérdida de vegetación natural, así como el progreso de otros procesos de transformación o degradación que hayan tenido lugar. En síntesis, esta información, convenientemente procesada en los SIG, aporta elementos importantes.

La cartografía del uso de la tierra es una de las aplicaciones clásicas de la Teledetección. Desde el lanzamiento del primer satélite de la serie Landsat en 1972, primer proyecto destinado a la observación terrestre, se han desarrollado varios métodos para obtener mapas de este tipo.

El monitoreo de la cobertura vegetal y los cambios en el uso de la tierra se fundamentan en la interpretación de tendencias entre áreas con el mismo tipo de vegetación al tener reflectancias espectrales. La reflectancia espectral producto de la radiación solar depende de las características fisionómicas de cada tipo de vegetación,

tales como: espesura de la masa verde, grado de caducifolia, densidad de los tallos leñosos, así como: color del suelo, humedad del suelo, presencia de agua superficial en el suelo, entre otros. La herramienta de análisis consiste en obtener datos sobre los cambios de uso ocurridos contando con imágenes de diferentes fechas y así poder cuantificar la tendencia de estos cambios.

### **I.2.1 Procesamiento digital de Imágenes. Técnicas del procesamiento digital de imágenes**

El análisis de imágenes de satélite de la misma región tomadas en diferentes fechas permite caracterizar los cambios ocurridos en ella. Este tipo de análisis se puede realizar apoyado en imágenes Landsat TM o ETM +, por ejemplo. Cada imagen de satélite Landsat TM consta de 7 bandas o canales espectrales. Y cada banda es una matriz (enrejado) de varios millones de valores radiométricos o píxeles (entre 7 y 15 millones), distribuidos en filas y columnas. La imagen de satélite a diferencia de la fotografía aérea permite su manipulación digital con el fin de mejorar el contraste para resaltar diferentes tipos de superficies y proporcionar un estimativo de las características en el estudio cuantitativo geográfico y temático de una región en particular y almacenar esta información en una base de datos relacionales (Chuvieco, 2002).

Existe una gran variedad de técnicas de procesamiento de estas imágenes multifechas para caracterizar los cambios de la cobertura del suelo (Singh, 1989; Mas, 2000 en Calderón 2003). Entre las limitaciones inherentes a estos métodos se pueden mencionar los errores relacionados con el registro de las imágenes, las diferencias radiométricas debidas a la calibración del sensor, los efectos atmosféricos o la inclinación solar y la falta de confiabilidad de las clasificaciones basadas en la respuesta espectral.

A partir de los resultados de este tipo de estudio se derivan una serie de aspectos para entender ciertas tendencias y mecanismos desencadenadores de procesos ambientales tales como la pérdida de la productividad, vulnerabilidad a erosión, deforestación, fragmentación, pérdida del valor de opción de bienes y servicios ambientales, entre otros aspectos necesarios para apoyar las labores de ordenamiento ecológico (Velázquez *et al.*, 2001 en Calderón 2003).

Las técnicas de procesamiento digital de imágenes permiten al usuario obtener diferentes resultados en función de los intereses de su investigación, Entre estas técnicas encontramos (Seco, 2002):

- Técnicas de restauración de la imagen
- Técnicas de mejoramiento o realce de la imagen
- Técnicas de transformación de la imagen
- Técnicas de clasificación multiespectral

Para concretar los objetivos de nuestra investigación nos centraremos en las técnicas de clasificación multiespectral, las que permiten agrupar los píxeles de una imagen según el valor de sus niveles digitales (ND), haciéndoles corresponder un determinado tipo de cobertura de la superficie (vegetación, suelos, agua, etc.), con el fin de obtener una nueva imagen que se convertirá en un mapa temático (uso de suelo) o en información estadística (Seco, 2002):

### **Métodos de clasificación**

La clasificación supone la fase culminante del tratamiento digital de imágenes. Como fruto de la clasificación digital se obtiene una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio. La información multiespectral se condensa, en definitiva, en un documento cartográfico y en tablas estadísticas, que definen la localización y ofrecen el inventario superficial de las categorías de interés. La clasificación digital se dirige a obtener una nueva imagen, en la cual cada uno de los píxeles originales venga definido por un ND, que es el identificador de la clase en donde se haya incluido. Estas clases pueden describir distintos tipos de cubierta (variable nominal o categórica), o bien intervalos de una misma categoría de interés (variable ordinal) (Chuvieco, 1990).

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo con la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento “Análisis Multitemporal del Cambio de Uso de Suelo” en base a Imágenes Satelitales del territorio a estudiar, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de

las categorías que se identifiquen. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvienco, 2002).

### **a) Clasificación Supervisada**

Para realizar la clasificación supervisada, se sugiere tener un conocimiento somero de la cobertura y de los elementos circundantes de la zona o área donde se desarrollará el estudio. Son muy útiles las experiencias de campo que conlleven relevamientos florísticos, edáficos y geológicos etc. Se delimitan áreas de entrenamiento, a partir de las cuales se caracterizan cada una de las clases, para asignar más tarde el resto de los píxeles de una imagen a una de esas categorías siendo esto una manera más puntual para realizar el análisis (Chuvienco, 2002).

### **b) Clasificación No Supervisada**

Otra opción para realizar una clasificación de la cobertura se denomina clasificación no supervisada. En este caso existe un programa que identifica patrones estadísticos en los datos sin utilizar ningún dato introducido por el usuario. Se usa el algoritmo que utiliza la misma distancia espectral para formar grupos ó “clusters” de píxeles con similares características. El programa comienza usando los valores medios de los grupos, que fija arbitrariamente y cada vez que el algoritmo se repite (y se agregan nuevos píxeles a cada grupo) las medias de estos grupos son reemplazados por un nuevo valor. La nueva medida de cada grupo es usada entonces para la próxima repetición. El algoritmo se repite hasta un número máximo definido por el usuario o hasta que el porcentaje máximo de píxeles permanecen sin cambios entre dos repeticiones sucesivas.

En general se usa este método cuando se conoce poco sobre los datos antes del proceso de clasificación y se tiende a obtener el número de clases posibles, que luego pueden ser analizadas y reagrupadas para reducir el número final de clases.

La clasificación no supervisada está en condición de ofrecer una información subjetiva, basándose en la realidad del área de estudio. Tanto en la clasificación supervisada como la no supervisada, las poblaciones de píxeles de las diferentes categorías deben tener caracteres espectrales homogéneos, lo que significa que cada unidad de la

imagen (píxel) se asocia con niveles contiguos similares (Chuvienco, 2002).

### **I.2.2. La representación y análisis de los cambios mediante los SIG**

Utilizando los SIG es posible estudiar los cambios que sufren los objetos y fenómenos en el transcurso del tiempo. La confección de estos mapas permite conocer que objetos han permanecido sin cambios, evaluar los resultados de acciones y políticas y poder anticiparnos a las condiciones del futuro. (ESRI Guide for GIS Análisis, 2005).

Formas de representar los cambios en los de mapas

- A. Series de tiempo
- B. Mapas de rutas
- C. Mapas de cambios (medición de los cambios)

#### A. Series de tiempo

La representación de una serie de datos mediante mapas se puede utilizar para mostrar los cambios en la localización o cambios en la magnitud o características de los objetos y fenómenos representados en la serie.

#### B. Mapas de rutas

Los mapas de rutas muestran la posición de objetos o fenómenos en el tiempo. Estos mapas son particularmente útiles para mostrar el movimiento e incremento de fenómenos discretos (tales como huracanes o incendios).

#### C. Mapas de cambios (medición de los cambios)

Para medir y representar los cambios es necesario calcular la diferencia entre los valores o categorías representados en uno o más mapas. En este sentido es posible calcular los cambios para:

- Objetos discretos
- Categorías o clases continuas
- Valores numéricos continuos



### **I.2.3. Detección de cambios mediante el procesamiento digital de imágenes**

La detección de cambios, una técnica de uso habitual en teledetección se usa comúnmente para estimar y evaluar cambios en la cobertura del suelo, y su variación a través del tiempo. Los cambios en la cobertura del suelo pueden deberse a diversos factores, desde desastres naturales o eventos climáticos extremos hasta políticas públicas o económicas. Por lo tanto, poder identificar y caracterizar estos patrones de cambio constituyen una herramienta muy útil a la hora de desarrollar planificaciones que tengan una dimensión espacial concreta, como por ejemplo la construcción de una nueva autopista, el ordenamiento de un territorio, o para evaluar zonas afectadas por desastres naturales.

Entre otras aplicaciones prácticas de esta técnica figuran (Hernán, 2005):

- Identificación de áreas forestadas-deforestadas.
- Evaluación de áreas afectadas por incendios, vertimientos (de residuos sólidos en ríos, de petróleo) deslizamientos, erupciones volcánicas, tsunamis, etc.
- Seguimiento multiestacional de cultivos.
- Evaluación de pérdida o fragmentación de hábitats.
- Evaluación de planificaciones y acciones pasadas.
- Identificación de patrones de cambio.

Esta técnica también permite realizar diversos estudios como el de la dinámica temporal de actividad antrópica: áreas urbanas, campos agrícolas, áreas de minería a cielo abierto y otros fenómenos dinámicos de ciclo corto como el seguimiento de trayectoria de huracanes, de fuegos y de ciclo largo como la desertificación y la deforestación (Seco, 2002).

La disponibilidad de datos periódicos obtenidos con los satélites de observación de la Tierra ha hecho posible que la detección de cambios sea una de las mayores aplicaciones de la percepción remota (Maldonado, 2005).

Las premisas básicas para usar datos de percepción remota para la detección de cambios es que: las alteraciones en el fenómeno estudiado producen cambios

proporcionales en los valores numéricos de las imágenes. A la vez, un aspecto fundamental, es que estos cambios son mayores que los producidos por otros factores sin importancia. Estos otros factores incluyen diferencias en las condiciones atmosféricas, ángulo de inclinación solar y humedad del suelo entre muchos otros. El efecto de algunos de estos factores puede ser minimizado seleccionando las imágenes adecuadas, por ejemplo, el uso de imágenes de la misma época reduce las diferencias en el ángulo de iluminación y además elimina las diferencias estacionales en áreas con vegetación.

Como señala Mas 2000 (en Pagot, 2003), varios investigadores se han esforzado para resolver los problemas de la detección de cambios usando métodos como los de comparación pos-clasificación y clasificaciones de imágenes multitemporales. Otras técnicas utilizan operaciones algebraicas simples y de éstas las más importantes son la diferencia y la razón entre imágenes, diferencia entre índices de vegetación. Entre las operaciones algebraicamente más complejas, pueden mencionarse: Análisis por Componentes Principales; Análisis por Vector de Cambios y el Análisis por Rotación Radiométrica Controlada.

La *detección de cambios* constituye en sí, una herramienta del procesamiento digital de imágenes que se aplica para detectar variaciones temporales en objetos de la superficie terrestre mediante la confrontación de imágenes tomadas en diferentes momentos y nos permite conocer la evolución del área de la imagen en un período de tiempo (dado por intervalo entre toma de imágenes).

La detección de cambios se realiza mediante las siguientes vías (Seco y Remond, 2005):

1. Análisis visual: visualización multitemporal.
2. Análisis digital:
  - para variables clasificadas o categorizadas (dos imágenes de clasificación multispectral): tabulación cruzada.
  - para variables de intervalo o continuas: resta o sustracción y cociente de dos imágenes multispectrales de diferente fecha.

Análisis visual:

Mediante el análisis visual es posible identificar en la imagen las áreas de cambio y permanencia de las categorías representadas a partir de la observación de varias imágenes de diferentes fechas representado sus niveles digitales en tonos de un color o colores diferentes sin modificar el valor de los niveles digitales originales de las imágenes.

#### Análisis digital:

El análisis digital se basa en la aplicación de un conjunto de operaciones matemáticas entre las bandas originales de la imagen o con el resultado de la clasificación supervisada a través de las cuales se modifican los niveles digitales originales de la imagen.

### **I.3 Procedimientos metodológicos**

En la primera parte de la investigación se elaboraron los mapas de uso de la tierra para los años 1985, 2001 y 2005 a partir de la aplicación de clasificaciones multiespectrales de imágenes Landsat 7 TM (1985 y 2001) y Quickbird (2005) Los resultados de la aplicación de estas técnicas serán explicados en el Capítulo II con mayor detalle mediante el análisis de los cambios que han experimentado las diferentes coberturas identificadas en el período estudiado.

Una vez elaborados estos mapas de uso de la tierra (Ver anexos, Mapa1, Mapa 2 y Mapa 3) fueron extraídas, de cada uno de ellos, las áreas de marabú y aroma y representadas en tres nuevos mapas para estudiar con mayor precisión la expansión de estos matorrales. A partir de operaciones de superposición por substracción y reclasificación en los SIG, se elaboró el Mapa 4 (Ver anexos) que representa la permanencia, crecimiento o decrecimiento de estos matorrales, mientras que el Mapa 5 (Ver Anexos) que representa las áreas de mayor densidad de los matorrales de marabú y aroma se elaboró mediante análisis espaciales de densidad en los SIG. Los resultados obtenidos en estas representaciones se encuentran explicados en el Capítulo III de la tesis.

Posteriormente mediante el empleo del análisis espacial y estadístico en los SIG se estudia la posible influencia de componentes naturales y antrópicos (altura, inclinación de la pendiente, orientación de la pendiente, distancia a la red de drenaje, tipo de

suelo, temperatura, precipitaciones, uso de la tierra) en la distribución y crecimiento de las zonas de marabú y aroma, relación que serán comprobada estadísticamente mediante la aplicación del coeficiente de correlación biserial puntual, el cual se utiliza para correlacionar una variable cuantitativa con una variable binaria pura (Cué, 1987), las mismas se dan cuando las respuestas esperadas son de presencia o no presencia, en nuestro caso esperábamos conocer la existencia o no de los matorrales de marabú y aroma (variable binaria) según cada componente seleccionado (variables cuantitativas).

Es necesario recalcar que este coeficiente solo es aplicable para correlacionar variables cuantitativas, por lo que la relación entre los componentes “Tipo de uso de la tierra” y “Tipos de suelo” (variables cualitativas) y la expansión de los matorrales de marabú y aroma no fue posible estudiarla a través de este coeficiente, para estudiar la misma no encontramos ningún coeficiente adecuado.

El coeficiente de correlación biserial puntual se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$r_{bp} = \frac{\bar{Y}_p - \bar{Y}_q}{S_y} \sqrt{pq}$$

En donde:

$r_{bp}$  - Coeficiente de correlación biserial puntual

$\bar{Y}_p$  - Media de las puntuaciones Y de los sujetos de la muestra para los cuales  $X = 1$

$\bar{Y}_q$  - Media de las puntuaciones Y de los sujetos de la muestra para los cuales  $X = 0$

$S_y$  - Desviación típica de Y, considerando las n observaciones.

$p$  - Proporción de sujetos en la muestra con  $X = 1$

$q$  - Proporción de sujetos en la muestra con  $X = 0$

El coeficiente  $r_{bp}$  toma los valores entre -1 y 1 ( $-1 \leq r_{bp} \leq 1$ ) y mientras mas cerca este de -1 o 1 este valor de  $r_{bp}$  mayor es la correlación entre las variables. Un valor de  $r_{bp}$  cercano a cero indica que la correlación entre las variables es casi nula. Si  $r_{bp} = 0$

las variables en estudio no están correlacionadas. El signo de  $\Gamma_{bp}$  indica el sentido de la relación, un signo negativo indica una relación inversa, mientras que un signo positivo indica una relación directa (Cué, 1987).

Por último se analizó la relación entre la tenencia de la tierra y la distribución de los matorrales de marabú y aroma, como otro factor clave en la expansión de este tipo de cobertura, para ello se realizaron también operaciones de superposición de diferentes tipos. Los procedimientos comentados anteriormente se resumen en el siguiente esquema metodológico (Fig. 5)

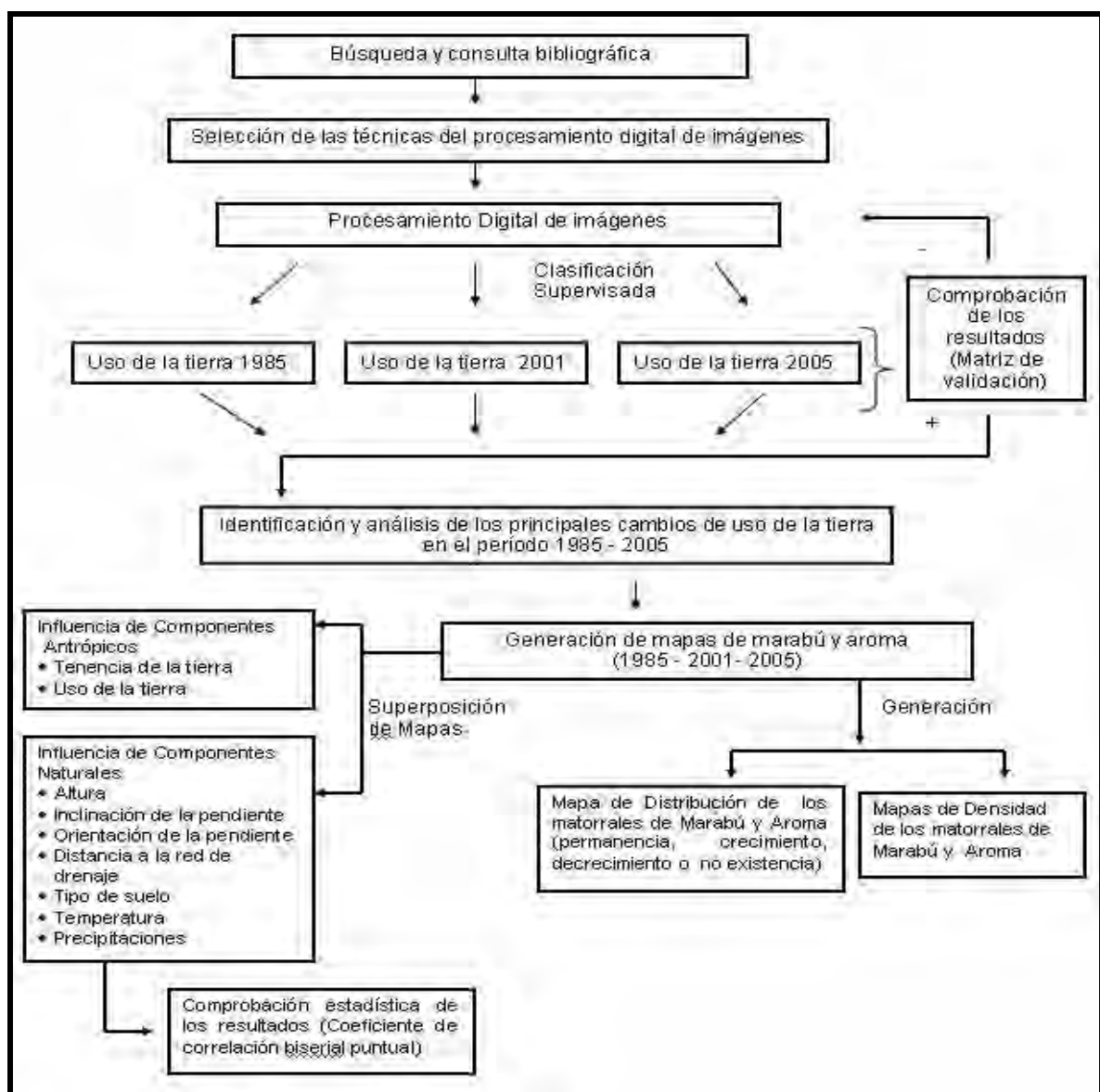


Figura 5: Esquema Metodológico

Fuente: Elaborado por la autora

## **CAPÍTULO II. GENERACIÓN DE LOS MAPAS DE USO DE LA TIERRA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS ITABO Y GUANABO y ANÁLISIS DE SUS CAMBIOS**

### **II. I Características físico-geográficas de las cuencas Guanabo e Itabo**

Las cuencas de Guanabo e Itabo, (Fig. 6) se encuentran ubicadas al este de la provincia Ciudad de La Habana, en el límite con la provincia Habana, con una extensión de 110,6 km<sup>2</sup> y 33,5 km<sup>2</sup>, respectivamente.



Figura 6. Área de estudio

Fuente: Elaborado por la autora

Desde el punto de vista geológico el territorio presenta una compleja composición litológica, al encontrarse en los límites más septentrionales del anticlinal, estando cortada por fallas, y con afloramiento hacia el flanco norte de rocas carbonatadas del Terciario y Cuaternario (Pucharovski 1967 en Capote 2005). La formación predominante es la Vía Blanca, existiendo gran variedad en cuanto a las formaciones

geológicas existentes provocando una gran diversidad físico-geográfica.

“Entre las rocas terciarias abundan las calizas con facies arrecifales cavernosas con gran cantidad de moluscos, corales y también se observan conglomerados, margas y areniscas carbonatadas”,

Las condiciones geomorfológicas de esta macrorregión reflejan las principales regularidades de la geomorfología cubana y en ella están presentes varios tipos de morfoestructuras tales como: llanuras monoclinales, alturas de bloque, llanuras de zócalo plegado y otras, así como un conjunto de fenómenos morfoesculturales como terrazas marinas, fluviales y formas gravitacionales y cárnicas.

En las áreas con afloramientos de rocas carbonatadas existe cierto desarrollo del carso, con lapiez y pequeñas grutas de origen marino. La superficie de la llanura está suavemente inclinada hacia el mar con varios escalones hacia el Este de los ríos, donde se conservan algunos niveles de terrazas marinas cuaternarias.

De forma general el relieve se puede considerar como llano, pues el 65 % del área se encuentra representado por llanuras. El mismo ha sido clasificado como una llanura litoral aterrazada calcáreo – marina y denudativa (Pórtela, *et al*, 1989 y Guerra, 1989 en Capote, 2005).

Las mayores elevaciones las encontramos al Sur, en la Cuenca Guanabo. Son las Lomas de San Francisco Javier y Lomas de Tapaste las cuales oscilan entre 251 y 261 metros de altura, aunque existen otras elevaciones que no alcanzan los 150 metros.

La posición de Cuba en la periferia de la zona tropical, y en la faja migratoria de los organismos meteorológicos zonales, tropicales y extratropicales, determinan las condiciones climáticas generales. Predomina el clima cálido y húmedo, pero es notable la marcada diversidad reconocida en la Isla (Barranco y Díaz 1989 en Reyes, *et al*, 2006), que incluye los climas secos en las costas y hasta los frescos en las montañas. En todo ello se aprecia la impronta de los factores geográficos, donde relieve y exposición tienen sentido clave, de conjunto con los de tipo meteorológico,

estos rasgos generales, pueden ser parcialmente reconocidos en las cuencas de los ríos Itabo y Guanabo.

La misma, siguiendo lo definido en la clasificación de Koeppen, puede ser enmarcada dentro del tipo de clima Aw, tropical con verano húmedo con una temperatura media anual del aire de 25°C y promedios de máxima y mínima de 28°C y 21°C respectivamente, con la peculiaridad de que en consecuencia de su extensión superficial y la regularidad de su relieve. Son muy escasas las variaciones dadas en el orden espacial, las más notables se refieren a las condiciones dadas en la costa y las observadas hacia el interior.

En cuanto a las precipitaciones, atendiendo a su comportamiento interanual se hace evidente la existencia de dos períodos bien definidos: el período lluvioso que se extiende de mayo a octubre que representa aproximadamente el 70% de la lámina anual y el poco lluvioso, que abarca los meses de noviembre a abril, y reúne apenas el 30 % de la lámina anual.

En el territorio se encuentran localizadas las cuencas hidrológicas superficiales de los ríos Itabo y Guanabo, que modelan el sistema de alturas costeras. Estos sistemas fluviales están orientados principalmente de Sur a Norte, formando estuarios en su desembocadura, a excepción del Itabo que desemboca en la laguna El Cobre. Dentro del territorio aparecen varias lagunas litorales: La Conchita, El Cobre, y Rincón de Guanabo.

Existen en el territorio 5 lagunas, 3 estanques y 19 presas. De estas últimas las más importantes en tamaño y cantidad de agua almacenada son La Zarza y La Coca, ambas poseen un área de alimentación relativamente grande en comparación con el área total de la cuenca (casi la mitad), cuya capacidad de almacenamiento llega a los 29,2 Hm<sup>3</sup> y que en su totalidad es utilizada para el abasto de la población, después de su tratamiento en la potabilizadora (planta de filtro) situada en la cuenca del río Itabo; estas dos presas recogen todo el escurrimiento, producto de las lluvias, en el tercio superior de la cuenca, de ahí la importancia del uso de la tierra que se le da a esta zona en aras de mantener una calidad de las aguas adecuada a la función para la cual son destinadas.



En la región de estudio, las características hidrogeológicas van a ser muy heterogéneas, dadas por la capacidad de almacenaje de las rocas, la hidrodinámica de las aguas subterráneas y los elementos de flujos preferenciales condicionados por los patrones de circulación en cada acuífero.

En el área encontramos diferentes tipos de suelos, los más abundantes son los Pardos con Carbonatos, de gran importancia económica pues son los predominantes en todo el territorio nacional. Son suelos fértiles, utilizados para los cultivos de caña, pastos, cultivos menores y frutales. Encontramos suelos de tipo Fersialítico Rojo Parduzco Ferromagnésico (asociados a las colinas de serpentinitas y otras rocas ultrabásicas) los que poseen buena fertilidad, mas no son muy utilizables por encontrarse en zonas onduladas.

Otro tipo de suelo presente es el Pardo sin Carbonatos que es de importancia en la agricultura. Se utilizan en el cultivo de pastos, maíz, caña, yuca y otros cultivos menores. También encontramos suelos aluviales, con alta fertilidad natural aunque como limitante tienen la posibilidad de inundaciones periódicas. Se cosecha en ellas gran cantidad de cultivos, principalmente hortalizas y viandas. En menor medida se encuentran los suelos Esqueléticos poco desarrollados.

En general se puede afirmar que los suelos son de calidad media pues no tienen buena profundidad y han sufrido la explotación durante un largo período de tiempo que ha condicionado, en muchos casos, la pérdida de su fertilidad y la aparición de procesos erosivos y de lavado en sus horizontes superiores.

La vegetación natural en la zona costera ha sido muy degradada provocado por el proceso de urbanización. Sólo se mantienen restos de manigua costera en la zona de Celimar, vegetación de saval en algunas parcelas de Santa María y los manglares asociados a las lagunas costeras (mangle rojo, prieto y patabán): El Cobre, la Conchita y Rincón de Guanabo, las que son de gran importancia ecológica por constituir elementos reguladores desde el punto de vista hidrológico del que depende, en gran medida, la conservación y el mejoramiento de la playa.

Principales formaciones vegetales naturales o seminaturales presentes (Capote, 2005).

- Formaciones boscosas:  
Bosques siempreverdes de mangles (Manglares): Con estrato arbóreo, sin estrato arbustivo, con herbáceas y trepadoras. Hacia el Norte en zonas bajas y cenagosas.
- Formaciones herbáceas  
Comunidades acuáticas de agua dulce: Formadas por especies acuáticas, algunas que flotan libremente como la *Eicchornia sp.* o malangueta, *Utricularia sp.* y otras enraizadas como *Myriophyllum sp.*, *Nymphacea sp.*, *Najas sp.*, entre otras, en los embalses y algunas secciones del río.  
Comunidades halófilas: Formadas en su mayoría por plantas herbáceas y suculentas, adaptadas a medios de elevada salinidad en el suelo. Puede aparecer a la orilla de los ríos o como herbazales de ciénaga, siempre hacia la parte más baja de la cuenca.
- Formaciones arbustivas  
Matorral xeromorfo espinoso sobre serpentinita (cuabal): Estrato arbustivo denso, herbáceas dispersas, palmas, epífitas y abundancia de lianas. Sobre suelos derivados de serpentinitas. Hacia el Sur, la mejor conservada se encuentra dentro del área protegida de La Coca.
- Complejos de vegetación  
Vegetación de costa arenosa: Incluye plantas herbáceas, algunas suculentas y algunas especies arbóreas. Fundamentalmente hacia El Rincón de Guanabo, se presenta en áreas limitadas de la faja costera debido al elevado impacto de las mismas.
- Vegetación secundaria  
Surge como consecuencia de la degradación de la vegetación natural. Aquí predominan especies oportunistas, según el sustrato y condiciones del medio. Es la vegetación predominante dentro de la cuenca.

## **II. 2 Generación de los mapas de uso de la tierra para los años 1985, 2001 y 2005**

Para elaborar los mapas de uso de la tierra se contó con una imagen Landsat 7 TM para el año 1985, una imagen Landsat 7 TM para el año 2001, y una imagen Quikbird para el año 2005 y se procedió a partir de cada una ellas con un mismo procedimiento para obtener los mapas de uso de la tierra en cada año estudiado.

Cada banda de las imágenes procesadas, cuyas individualidades aparecen descritas en los anexos, fue importada al SIG "IDRISI" (versión "Los Andes") con la Proyección UTM, Zona 17 Norte como el resto de capas temáticas digitales empleadas en la investigación.

Como las imágenes cubren por lo general un área superior a las de las cuencas hidrográficas estudiadas y con el objetivo de evitar procesamientos engorrosos y lentos por la capacidad de memoria que se requiere y sobre todo para eliminar territorios que no son objeto de estudio en la presente investigación, se procedió a recortar la imagen y limitarla solo a la región de estudio, a partir de la creación de una subescena de cada una de las imágenes originales, para ello se utilizó la capa temática que representa los límites de las cuencas Guanabo e Itabo obtenida a partir de la generación del Modelo Digital de Elevación (M.D.E.)

Para un óptimo procesamiento de las imágenes fue necesario realizar un análisis previo de las mismas. Este análisis consistió en estudiar la distribución de los niveles digitales, utilizar herramientas para el mejoramiento del contraste, en analizar las coberturas de los objetos atendiendo a sus fotocaracterísticas: textura, forma, disposición, color, etc., que sirvieron de primera aproximación a la identificación de los objetos representados en las imágenes.

Concluidas estas tareas preliminares, se procedió a realizar una imagen de síntesis, denominada composición en falso color, en la que se agruparon las bandas TM3, TM4 y TM5 (para las imágenes de los años 1985 y 2001) que corresponden en el espectro electromagnético con las longitudes de onda del rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio respectivamente y QB4, QB3 y QB2 (para la imagen del año 2005) que corresponden en el espectro electromagnético con las longitudes de onda del infrarrojo cercano, rojo y verde respectivamente, en este caso se utilizó esta combinación de bandas debido a que no se contaba con la banda del infrarrojo medio como en las

imágenes de los años anteriores. En ambos casos se escogieron las bandas que mayores posibilidades ofrecían en la interpretación de los tipos de cubiertas vegetales.

Finalmente se realizó una clasificación supervisada a las imágenes de síntesis obtenidas para cada año, esta técnica requiere de dos etapas que fueron desarrolladas como parte del estudio:

#### 1. Fase de entrenamiento:

Como resultado del estudio previo de las imágenes, y la generación de la composición de falso color y en color real, se seleccionaron los sitios de entrenamiento representativos de cada una de las siguientes categorías de uso de la tierra:

- Matorrales secundarios de marabú y aroma (1)
- Pastos naturales y cultivados (2).
- Arenas, áreas urbanas, carreteras y canteras (3).
- Cultivos (4).
- Bosques semidecíduos degradados (5).
- Cuerpos de agua (6).

En la ubicación de los sitios de entrenamiento representativos de cada categoría fueron desarrollados varios recorridos por el área de estudio, utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S) y posteriormente representados en formato digital dentro del SIG IDRISI.

En el caso de las imágenes empleadas de mayor antigüedad (1985 y 2001) fue necesaria la selección e identificación de los sitios de entrenamiento de cada una de las categorías mediante la consulta de informes, documentos del balance de uso de la tierra en el territorio y entrevistas a los campesinos y cooperativistas para no incurrir en una inadecuada selección de los mismos.

#### 2- Fase de asignación:

En esta etapa se distribuyen los píxeles de la imagen en las categorías correspondientes, con el apoyo de la información obtenida en la fase de entrenamiento. Como resultado inicial de la fase, se obtiene el gráfico de las firmas

espectrales de las categorías utilizadas para cada imagen analizada.

A continuación se detallan características y procedimientos específicos en la generación de los mapas de uso para cada año estudiado.

## **II.2.1 Resultados de las clasificaciones de los mapas de uso de la tierra**

### **II.2.1.1 Resultados de la clasificación del mapa de uso de la tierra para el año 1985**

Para la generación del mapa de uso de la tierra se utilizó la imagen captada por el sensor Landsat 7 TM que como indican sus siglas TM: (Thematic Mapper en español Mapificador Temático), brinda facilidades para la confección de mapas temáticos a partir de sus imágenes.

Como resultado de la fase de asignación se obtuvo el siguiente gráfico que representa las firmas espectrales:

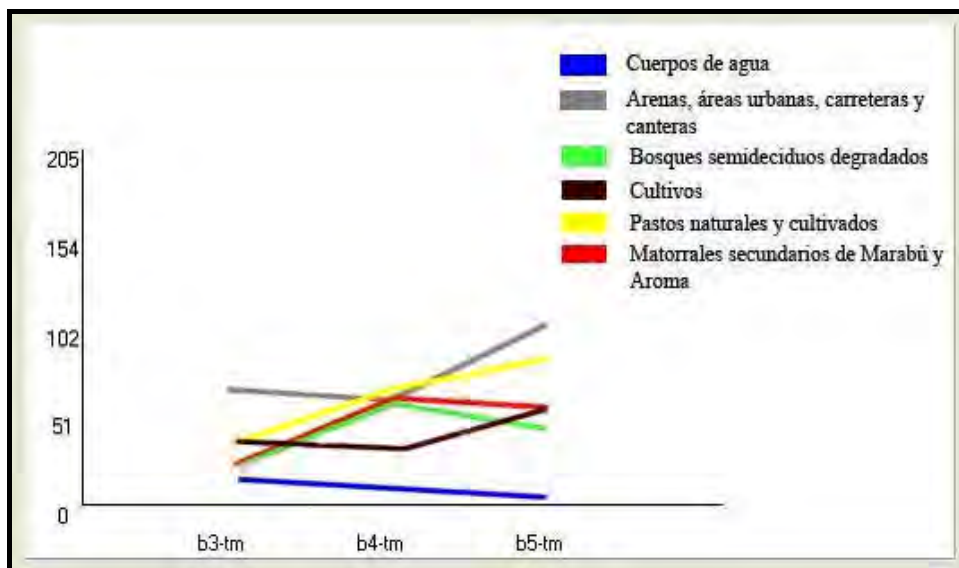


Fig. 7. Firmas espectrales para las categorías de uso de la tierra usadas en la clasificación de la imagen del año 1985.

Fuente: Elaborado por la autora.

En el gráfico se representan las firmas espectrales para las categorías de uso de la tierra del año 1985, en donde los valores más altos corresponden a las arenas, áreas urbanas, carreteras y canteras aunque se aprecian solapes de pastos naturales y cultivados.

En la fase final de la clasificación supervisada se utilizaron los clasificadores que brinda el SIG IDRISI para el agrupamiento de los niveles digitales, lográndose los mejores resultados con el clasificador de la máxima verosimilitud y utilizando los siguientes por cientos (cuerpos de agua 0,15%, arenas, áreas urbanas, canteras y carreteras 0,05%, bosques 0,15%, cultivos 0,20%, pastos naturales y cultivados 0,35% y para el marabú y aroma 0,10%) de probabilidad, estimados a partir de los informes consultados del balance de la tierra y de lo observado en los recorridos de campo. Los resultados obtenidos quedaron representados en el Mapa 1 (ver Anexos) y serán comentados en el próximamente en este capítulo cuando se analice el cambio de uso de la tierra en el territorio.

#### **II.2.1.2 Resultados de la clasificación del mapa de uso de la tierra para el año 2001**

En el caso del año 2001, se utilizó una imagen captada por el sensor Landsat 7 TM.

Como resultado de la fase de asignación se obtuvo el siguiente gráfico que representa las firmas espectrales:

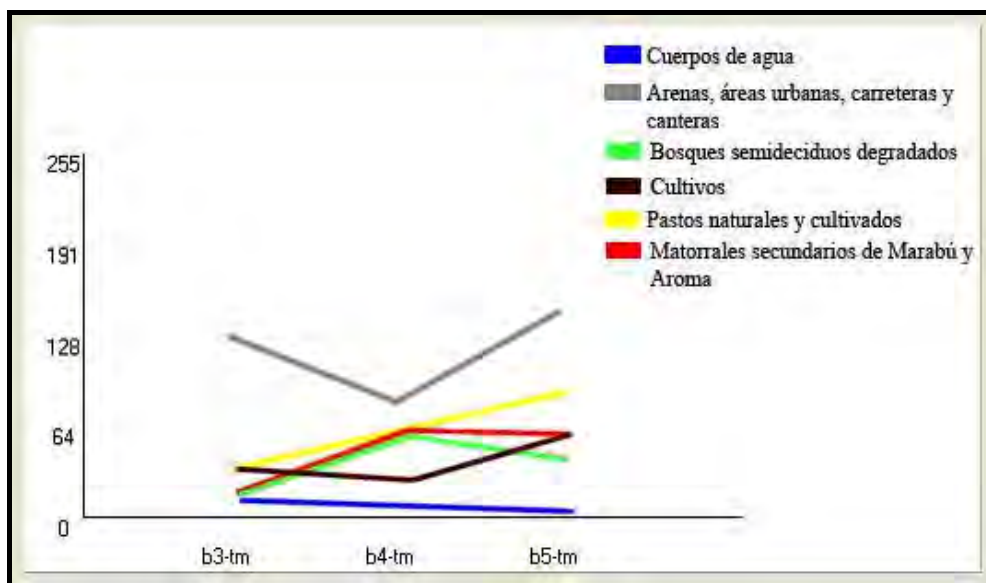


Fig. 8. Firmas espectrales para las categorías de uso de la tierra usadas en la clasificación de la imagen del año 2001

Fuente: Elaborado por la autora.

En el gráfico anterior se representan las firmas espectrales para las categorías de uso de la tierra del año 2001, en donde las arenas, áreas urbanas, canteras y carreteras son las que más reflejan, y las que menos reflejan son los cuerpos de agua.

Los resultados obtenidos se generaron utilizando el mismo clasificador que en el caso anterior pero con los siguientes por cientos de probabilidad (cuerpos de agua 0,15%, arenas, áreas urbanas, canteras y carreteras 0,05%, bosques 0,20%, cultivos 0,10%, pastos naturales y cultivados 0,25% y para el marabú y aroma 0,15%) los mismos quedaron reflejados en el Mapa 2 (Ver anexos).

### II.2.1.3 Resultados de la clasificación del mapa de uso de la tierra para el año 2005

Para la generación del mapa de uso de la tierra se utilizó la imagen captada por el sensor QuickBird, con una resolución espacial de 0.6 metros (en el pancromático) y 5 metros (en las bandas multiespectrales), sus imágenes están georreferenciadas en WGS 84.

Como resultado de la fase de asignación se obtuvo el siguiente gráfico que representa las firmas espectrales:

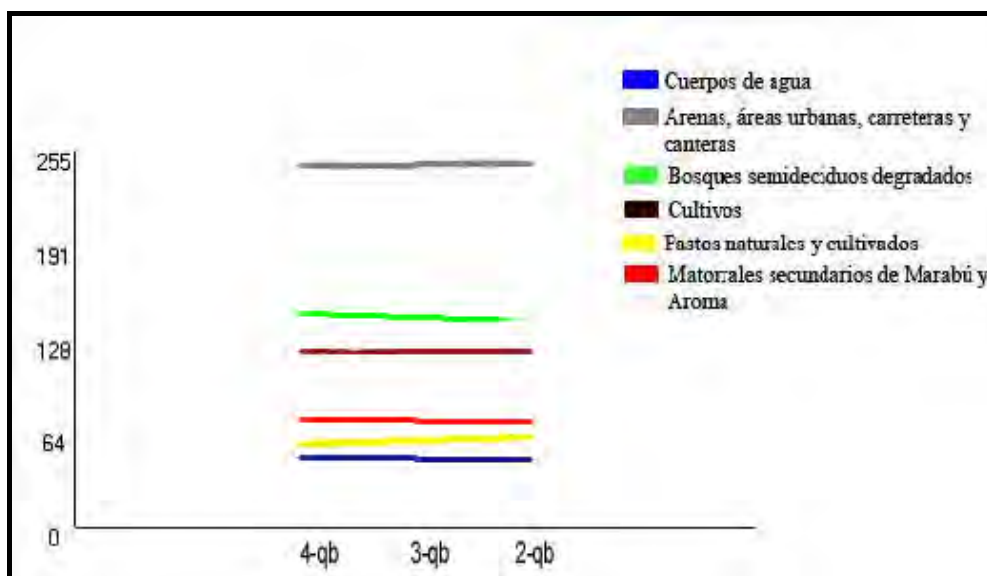


Figura 9. Firmas espectrales para las categorías de uso de la tierra usadas en la clasificación de la imagen del año 2005.

Fuente: Elaborado por la autora.

Como se puede observar en la figura anterior se logró una clara definición de las firmas espectrales para cada banda utilizada, en donde las arenas, áreas urbanas, canteras y carreteras son las que más reflejan, y las que menos reflejan son los cuerpos de agua.

Los resultados obtenidos se generaron utilizando el mismo clasificador que en los casos anteriores pero con los siguientes por cientos de probabilidad (cuerpos de agua 0,15%, arenas, áreas urbanas, canteras y carreteras 0,05%, bosques 0,25%, cultivos 0,15%, pastos naturales y cultivados 0,25% y para el marabú y aroma 0,20%) los mismos quedaron representados en el Mapa 3 (Ver Anexos).

Es necesario destacar que debido a la alta resolución de esta imagen fue necesario un cuidadoso trabajo en cuanto a la selección de los puntos de control, se seleccionaron alrededor de 20 sitios para cada categoría, los cuales fueron corroborados después de clasificada la imagen en los trabajos de campo realizados para la comprobación de los resultados obtenidos.



## **II.2.2 Comprobación de los resultados obtenidos en la elaboración de los mapas de uso de la tierra**

Como parte final de esta etapa fueron comprobados los resultados obtenidos en las clasificaciones supervisadas a partir de la elaboración de la matriz de validación. Es conveniente aclarar que sólo se comprobaron tres categorías de uso que constituyen las de mayor cambio en el período estudiado y que resultaban las de mayor interés para el mapa de uso del año 2005, las mismas son las siguientes:

- Cultivos
- Pastos naturales y cultivados
- Matorrales secundarios de marabú y aroma

Tabla 1. Matriz de Validación.

<b>Categorías de uso de la tierra 2005</b>	<b>Puntos de comprobación tomados en el campo</b>			
	<b>Matorrales de marabú y aroma (1)</b>	<b>Pastos (2)</b>	<b>Cultivos (4)</b>	<b>Total</b>
1. Marabú y aroma	21	2	1	<b>24</b>
2. Pastos	7	18	3	<b>28</b>
3. Arenas, áreas urbanas, carreteras y canteras.	0	0	0	<b>0</b>
4. Cultivos	3	2	14	<b>19</b>
6. Bosque semideciduo degradado.	0	0	1	<b>1</b>
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>22</b>	<b>19</b>	<b>72</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

Como se aprecia en la matriz anterior de los 72 puntos de control tomados para hacer la validación de los resultados obtenidos en la clasificación supervisada de la imagen QuickBird para el año 2005, 59 de ellos se corresponden con la cobertura observada en el terreno, lo cual representa un 73,61% de validez.

Si tenemos en cuenta que han transcurrido 3 años desde que fue captada la imagen clasificada (2005) hasta el momento en que se realiza la comprobación en el terreno y se elaboran los mapas y que además el área de estudio ha experimentado un significativo cambio de uso de la tierra, podemos considerar los resultados como confiables. Además en la literatura especializada los criterios para considerar válida

una clasificación supervisada son disímiles, diversos autores coinciden en que con más del 70 % de validez puede considerarse confiable la clasificación.

Del análisis de la tabla 1 se puede inferir que hay 10 puntos que fueron observados como representativos de la cobertura 1 (matorrales secundarios de marabú y aroma) y sin embargo en la imagen fueron clasificados como pastos naturales y cultivados lo que ejemplifica lo anteriormente explicado, ya que estas áreas que en el año 2008 (año de la comprobación en el terreno) se encontraban formando parte de los matorrales secundarios de marabú y aroma y tres años atrás (año de la imagen clasificada) eran áreas ocupadas principalmente por pastos o cultivos.

### **II. 3 Análisis del cambio de uso de la tierra en las Cuencas Itabo y Guanabo**

Las cuencas Guanabo e Itabo han experimentado un cambio de uso de la tierra significativo en el transcurso de los años desde 1985 hasta 2005, en cuanto a la superficie ocupada por los diferentes tipos de uso.

En la tabla 2, que se presenta a continuación, se muestra la superficie ocupada por cada una de las coberturas obtenidas a partir del procesamiento digital de la imagen Landsat 7 TM correspondientes al año 1985. Se puede observar que de los 167 km<sup>2</sup> que abarca el área de estudio, en aquel año predominaban las superficies ocupadas por pastos (114.24 km<sup>2</sup>), con aproximadamente el 70% del territorio, lo que se justifica por el uso ganadero de las tierras en aquel momento, alrededor del 63.72% estaban dedicadas a esta actividad, el restante 30% del territorio se encuentra ocupado por cultivos (23.48 km<sup>2</sup>) que representan el 14.06%, por bosques semidecíduos degradados (14.74 km<sup>2</sup>) que ocupan alrededor de un 9 %, además de superficies ocupadas por matorrales secundarios de marabú y aroma que suponen aproximadamente 7 km<sup>2</sup> de área ( 4.18%) y con una menor representatividad dentro de las cuencas se encuentran las superficies ocupadas por las áreas urbanas, carreteras y canteras (5.07 km<sup>2</sup>) y los cuerpos de agua (2.53 km<sup>2</sup>) que suponen el 3.03 % y el 1.52 % del total, respectivamente. (Ver Mapa 1 en Anexos).

Tabla 2. Uso de la tierra en las cuencas Guanabo e Itabo para el año 1985.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	2 812	2.53	1.52
<b>Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	5 628	5.07	3.03
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	16 388	14.74	8.83
<b>Cultivos</b>	26 087	23.48	14.06
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	7 749	6.97	4.18
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	126 933	114.24	68.39
<b>Total</b>	<b>185 597</b>	<b>167.04</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 30 metros

Al analizar la distribución de los tipos de uso de la tierra en cada cuenca por separado puede observarse (Tabla 3) que para el año 1985 en la cuenca Itabo, la mayor parte del territorio se encontraba ocupado por los pastos naturales y cultivados (27.51 km<sup>2</sup>), representando un 74.62 % del total, seguido por las áreas dedicadas al cultivo con un 15.92 %. El resto de la cuenca se encuentra casi homogéneamente distribuido entre los bosques semidecíduos degradados (3.04%), las áreas de matorrales secundarios de marabú y aroma (2.95%) y las áreas urbanas, carreteras y canteras (2.83%), los cuerpos de agua representan sólo un 0.63% de la cuenca.

Tabla 3. Uso de la tierra en la cuenca Itabo para el año 1985.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	256	0.23	0.63
<b>Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	1 158	1.04	2.83
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	1 247	1.12	3.04
<b>Cultivos</b>	6 520	5.87	15.92
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	1 206	1.09	2.95
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	30 563	27.51	74.62
<b>Total</b>	<b>40 950</b>	<b>36.86</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 30 metros

Algo similar ocurre en la cuenca Guanabo, analizando la Tabla 4 se destacan grandes áreas de pastizales (86.73 km<sup>2</sup>), como ya sabemos por la gran explotación ganadera del área en la década de los 80 del pasado siglo, que representan el 66.63 % del territorio. Se denota una mayor cantidad de cultivos (17.61 km<sup>2</sup>), de superficies

cubiertas por bosques semidecíduos degradados (13.62 km<sup>2</sup>) que representan un 10.46 %, y también de aquellas ocupadas por matorrales secundarios de marabú y aroma que suponen un 4.52% de la cuenca.

Tabla 4. Uso de la tierra en la cuenca Guanabo para el año 1985.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	2 556	2.30	1.77
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	4 470	4.02	3.09
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	15 141	13.62	10.46
<b>Cultivos</b>	19 567	17.61	13.53
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	6 543	5.89	4.52
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	96 370	86.73	66.63
<b>Total</b>	<b>144 647</b>	<b>130.18</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 30 metros

A partir de los años 90 del pasado siglo XX, con el comienzo el período especial, la mayor parte de la masa ganadera de ambas cuencas disminuyó considerablemente, quedando desatendidas la mayor parte de las áreas de pastos, mientras que las áreas ocupadas por los matorrales de marabú y aroma fueron expandiéndose dada la condición de planta invasora e invadieron mayormente las zonas que se encontraban ociosas. Con su rápido desarrollo, las superficies cubiertas de pastos y cultivos fundamentalmente, se vieron muy afectadas.

Los resultados recogidos en la Tabla 5 muestran el uso de la tierra para el año 2001 de ambas cuencas, en donde a pesar de que los pastos siguen representando la mayor superficie ocupada (65.05%) con un área de 108, 65 km<sup>2</sup>, los matorrales secundarios de marabú y aroma experimentan un notable crecimiento (27.43 km<sup>2</sup>) para este año y suponen un 16.42% de las cuencas, contrario a lo que sucede con las superficies destinadas al cultivo que disminuyen en extensión (8.71 km<sup>2</sup>) y representan el 5.22% del territorio. (Ver Mapa 2 en Anexos)

Tabla 5. en las cuencas Guanabo e Itabo para el año 2001.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	4 071	3.66	2.19
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	1 591	1.43	0.86
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	19 060	17.15	10.27
<b>Cultivos</b>	9 679	8.71	5.22
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	30 474	27.43	16.42
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	120 722	108.65	65.05
<b>Total</b>	<b>185 597</b>	<b>167.04</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 30 metros

Si observamos el comportamiento de las coberturas en la cuenca Itabo (Tabla 6) en el año 2001 observamos como los matorrales secundarios de marabú y aroma abarcan una área mayor comparada con el año 1985 (3.27 km<sup>2</sup>) y como los cultivos pierden en extensión (0.53 km<sup>2</sup>) y sólo representan el 1.44% del territorio.

Tabla 6. Uso de la tierra en la cuenca Itabo para el año 2001.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	473	0.43	1.15
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	692	0.62	1.69
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	2 951	2.66	7.20
<b>Cultivos</b>	591	0.53	1.44
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	3 633	3.27	8.83
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	32 640	29.38	79.70
<b>Total</b>	<b>40 980</b>	<b>36.88</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 30 metros

Un cambio similar, pero en mayor grado, tiene lugar en la cuenca Guanabo en el año 2001 (Ver Tabla 7), en donde los matorrales secundarios de marabú y aroma aumentan aproximadamente 20 km<sup>2</sup> en área (24.34 km<sup>2</sup>) con respecto al año 1985, y representa un 18.70% de la cuenca, estas áreas fueron cedidas en su mayoría por aquellas cubiertas de pastos. El cambio más significativo se aprecia en las superficies destinadas al cultivo que decrecen hasta ocupar menos de 2 km<sup>2</sup> del territorio y sólo suponen el 1 %, lo cual se corresponde con la expansión de los matorrales secundarios de marabú y aroma durante el transcurso de estos 6 años.

Tabla 7. Uso de la tierra en la cuenca Guanabo para el año 2001.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	3 598	3.24	2.49
<b>Arenas, Áreas Urbanas ,Carreteras y Canteras</b>	899	0.81	0.62
<b>Bosques semidecuidos degradados</b>	17 721	15.95	12.25
<b>Cultivos</b>	1 458	1.31	1.01
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	27 041	24.34	18.70
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	93 900	84.51	64.93
<b>Total</b>	<b>144 617</b>	<b>130.16</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 30metros

Para el año 2005 las nuevas políticas del Estado cubano y de los gobiernos a nivel local para combatir la expansión de los matorrales secundarios de marabú y aroma (“Estrategia Integral para combatir el marabú” (en Méndez, 2005), actividades de quema, tala, buldoceo, etc...) se hacen evidentes y comienzan a renovarse nuevas áreas agrícolas para el cultivo y la reforestación,

Los resultados reflejados en la Tabla 8 demuestran este incremento en las áreas cultivadas (28.16 km<sup>2</sup>) y de bosques (42.29 km<sup>2</sup>) para el año 2005, aunque además se hace evidente la apropiación de nuevas áreas de pastos por los matorrales secundarios de marabú y aroma, que ahora representan casi un 20 % del área total de estudio (Ver Mapa 3 en Anexos).

Tabla 8. Uso de la tierra en las cuencas Guanabo e Itabo para el año 2005.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	12 794 433	4.64	3.08
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	3 269 452	1.11	0.74
<b>Bosques semidecuidos degradados</b>	124 339 425	42.29	30.60
<b>Cultivos</b>	101 789 322	28.16	18.68
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	75 426 946	32.18	18.84
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	100 850 573	42.26	28.07
<b>Total</b>	<b>418 470 151</b>	<b>150.63</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 0.6 metros

Si realizamos este mismo análisis a nivel de cuencas se observa (Ver tabla 9) que ocurre un comportamiento similar, en la cuenca Itabo se denota un

crecimiento en 7 km<sup>2</sup> de áreas cultivadas, también aumentan las áreas de bosques en un 8 % con respecto al 2001 y las áreas cubiertas por pastos decrecen en aproximadamente un 30 %, inverso a lo que ocurre con los matorrales secundarios de marabú y aroma que ahora representan casi el 25 % de toda la cuenca.

Tabla 9. Uso de la tierra en la cuenca Itabo para el año 2005.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	1 649 848	0.60	2.91
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	929 943	0.31	0.84
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	15 900 513	5.58	15.77
<b>Cultivos</b>	26 678 340	7.65	23.01
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	18 433 036	7.72	23.21
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	28 783 366	11.39	34.26
<b>Total</b>	<b>92 375 046</b>	<b>33.25</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora

\* Tamaño del píxel igual a 0.6 metros

Por su parte en la cuenca Guanabo (Ver Tabla 10) las áreas de pastos decrecen en casi un 40 % con respecto al año 2001, lo que se justifica con la expansión de los matorrales secundarios de marabú y aroma hacia estas áreas y también por los resultados de las nuevas políticas para combatirlo que dieron lugar al aumento de la cobertura boscosa en un 20 % de la cuenca y de las áreas cultivadas en un 15 % en tan solo 5 años.

Tabla 10. Uso de la tierra en la cuenca Guanabo para el año 2005.

Cobertura	Número de píxeles *	Área en km <sup>2</sup>	Área en %
<b>Cuerpos de Agua</b>	11 144 585	4.03	3.44
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	2 339 509	0.80	0.68
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	108 438 912	40.51	34.51
<b>Cultivos</b>	75 110 982	20.49	17.46
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	56 993 910	20.66	17.60
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	72 067 207	30.89	26.32
<b>Total</b>	<b>326 095 105</b>	<b>117.38</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

\* Tamaño del píxel igual a 0.6 metros

### II. 3.1 Análisis del período 1985- 2005

Si analizamos lo sucedido en el período 1985 – 2005 se puede concluir que han ocurrido cambios importantes en el uso de la tierra en las cuencas hidrográficas Itabo y Guanabo, principalmente en las áreas de pastos, cultivos y bosques, determinados por la expansión de los matorrales de marabú y aroma. En la Tabla 11 se representa el por ciento del área que ocupaba cada cobertura en los años estudiados.

Tabla 11. Uso de la tierra en las cuencas Guanabo e Itabo en el período 1985- 2005.

Cobertura	Área en % 1985	Área en % 2001	Área en % 2005
<b>Cuerpos de Agua</b>	1.52	2.19	3.08
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	3.03	0.86	0.74
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	8.83	10.27	30.60
<b>Cultivos</b>	14.06	5.22	18.68
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	4.18	16.42	18.84
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	68.39	65.05	28.07
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

Los resultados reflejan un incremento consecutivo en las áreas que ocupan los matorrales de marabú y aroma, aumentando en alrededor de un 14 y apropiándose de territorios antes cubiertos por pastos o cultivos. También se denota en el transcurso de los últimos 4 años (2001-2005) una expansión de las áreas de bosques, impulsado fundamentalmente por las políticas del gobierno local y municipal encaminadas a la reforestación y aprovechamiento de espacios ociosos, cuyos resultados ya son apreciables. La Fig. 10 refleja la dinámica de estas coberturas a las que nos referimos anteriormente.



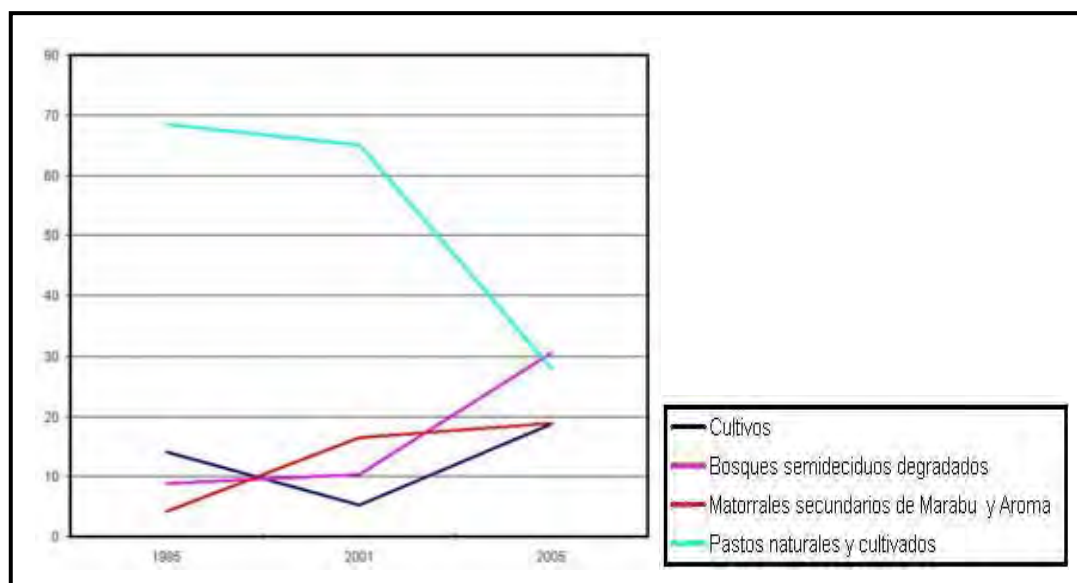


Fig.10: Dinámica que han experimentado diferentes coberturas estudiadas desde el año 1985 hasta el 2005.

Fuente: Elaborado por la autora.

El resultado de cada cuenca estudiada de manera individual, responde al mismo comportamiento que identificábamos de manera general para toda la región estudiada, Itabo por ejemplo, incrementa su área boscosa a un 15.77% para el año 2005 en comparación con los 3.04% que tenía en el año 1985, así mismo con las cubiertas de cultivos y matorrales de marabú y aroma que aumentan en aproximadamente 7% y 20 % respectivamente, en este período y aquellas destinadas a los pastos manifiestan un decrecimiento en alrededor de un 41%, reflejando una dinámica semejante a la que analizamos para ambas cuencas hidrográficas anteriormente.

En el caso de la cuenca Guanabo el área boscosa aumenta de un 10.46 % que tenía en el año 1985 a un 34.51 % para el año 2005, las cubiertas de cultivos y matorrales de marabú y aroma se incrementan aproximadamente en un 4% y 13% respectivamente y los pastos manifiestan un decrecimiento en alrededor de un 40%. Estos resultados quedaron recogidos en la Tabla 12 que se presenta a continuación.

Tabla 12. Uso de la tierra por cada cuenca en el período 1985- 2005.

Cobertura	Área en % 1985		Área en % 2001		Área en % 2005	
	<b>Itabo</b>	<b>Guanabo</b>	<b>Itabo</b>	<b>Guanabo</b>	<b>Itabo</b>	<b>Guanabo</b>
<b>Cuerpos de Agua</b>	0.63	1.77	1.15	2.49	2.91	3.44
<b>Arenas, Áreas Urbanas ,Carreteras y Canteras</b>	2.83	3.09	1.69	0.62	0.84	0.68
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	3.04	10.46	7.20	12.25	15.77	34.51
<b>Cultivos</b>	15.92	13.53	1.44	1.01	23.01	17.46
<b>Matorrales secundarios de marabú y aroma</b>	2.95	4.52	8.83	18.70	23.21	17.60
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	74.62	66.63	79.70	64.93	34.26	26.32
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

En la dinámica que han experimentado las diferentes coberturas en el transcurso de estos 20 años (1985-2005) evidentemente las áreas cubiertas de pastos se reflejan los mayores cambios, con un decrecimiento de casi un 40 % para el 2005 con respecto al año 1985. Se distingue además la disminución de áreas cultivadas en el transcurso de 1985 al año 2001, lo cual se corrobora con el recrudescimiento del Período Especial en estos años y el abandono de muchas áreas ganaderas, lo cual justifica también el crecimiento de los matorrales secundarios de marabú y aroma en estos años.

En el último período estudiado (2001-2005) se aprecia un incremento de las áreas cultivadas y también de la superficie boscosa, fundamentado en las nuevas estrategias trazadas para combatir la expansión los matorrales secundarios de marabú y aroma, los cuales a pesar de que incrementan el área que ocupan en las cuencas, experimentan un crecimiento de menor magnitud en comparación con el período anterior estudiado (1985-2001).

### **CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN DE LOS MATORRALES SECUNDARIOS DE MARABÚ (*DYCHROSTACHYS CINEREA*) Y AROMA (*ACACIA FARNESIANA*) EN LAS CUENCAS GUANABO E ITABO**

#### **III.1 Análisis de la expansión de los matorrales de marabú y aroma**

Considerando que uno de los principales cambios reportados en ambas cuencas es el crecimiento de las áreas de matorrales secundarios de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*), a partir del abandono que sufrieron las áreas destinadas a pastos y cultivos como consecuencia de la crisis económica de la década de los años 90, se procedió en este capítulo a profundizar en el análisis y cartografía de las áreas de crecimiento de esas especies invasoras, a partir de aplicar algunas técnicas de detección de cambios apoyadas en el procesamiento digital de las imágenes de satélite y las herramientas de los SIG, cuyos resultados se explicarán a continuación.

##### **III.1.1. Generación de los mapas de marabú a partir de los mapas de uso de la tierra**

Después de elaborar los mapas de uso de la tierra para los años 1985, 2001 y 2005 en los cuales se identificaron los diferentes tipos de cobertura vegetal, se confeccionaron tres mapas individuales para cada uno de estos años en los que solo se representan las áreas de marabú y aroma

Mediante una operación de superposición entre los mapas de de los años 1985 y 2001 y 2005, fue posible conocer las áreas donde estas especies se mantuvieron, decrecieron, crecieron o nunca existieron en ambas cuencas, durante el período estudiado (Ver Mapa 4 en Anexos)

En la Tabla 13 se representa el resultado obtenido en el mapa mediante el análisis anterior para cada cuenca y de forma general para toda el área de estudio.

Tabla 13. Dinámica del cambio de los matorrales de marabú y aroma en el área de estudio durante el período 1985 – 2005.

<b>Cuencas</b>	<b>Nunca Hubo en</b>		<b>Decrece en</b>		<b>Se mantiene en</b>		<b>Crece en</b>	
	<b>(km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>(km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>(km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>(km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>
<b>Itabo</b>	23.84	14.21	0.10	0.06	4.17	2.49	14.77	8.80
<b>Guanabo</b>	78.45	46.75	0.39	0.23	9.92	5.91	36.18	21.56
<b>Ambas Cuencas</b>	102.29	60.95	0.50	0.30	14.09	8.40	50.94	30.35

Fuente: Elaborado por la autora

Los resultados reflejan como alrededor del 60% de toda el área nunca ha sido ocupada por los matorrales secundarios de marabú y aroma, como en otro 8% que equivalen a 14 km<sup>2</sup> aproximadamente, se han mantenido los mismos desde el año 1985, han aumentado en este período en alrededor de 51 km<sup>2</sup> en ambas cuencas, que supone un 30.35% del área total y solo en un 0.30% han decrecido, que equivale a menos de 1 km<sup>2</sup>.

Si se realiza este análisis por cada cuenca se observa que en el caso de las áreas donde nunca hubo estos matorrales, Itabo presenta 23.84 km<sup>2</sup> y Guanabo 46.75 km<sup>2</sup> que representan el 14.21% y 46.75 % respectivamente, se han mantenido las cubiertas de en 4.17 km<sup>2</sup> en Itabo y 9.92 km<sup>2</sup> en Guanabo. En esta misma cuenca se han expandido en 36.18 km<sup>2</sup> lo que constituye aproximadamente el 22% de su total, mientras que en Itabo la expansión ha sido en 14.77 km<sup>2</sup> que representan casi el 9% de toda su extensión. En cuanto al área en que decrecen es muy escasa y no supera el medio kilómetro cuadrado en ninguna de dichas cuencas.

A partir de los recorridos de campo por el área de estudio se pudo corroborar la expansión que han venido experimentando los matorrales de marabú y aroma, llegando a formar en algunas zonas una especie de bosque prácticamente impenetrable como se puede observar en las Fig. 12 y 13. A pesar de ello en la actualidad, algunos lugares se han eliminado mediante la tala y la quema (Fig. 14 y 15) y se distingue la recuperación de áreas de cultivos y pasto con la incorporación de la ganadería (Fig. 16 y 17)

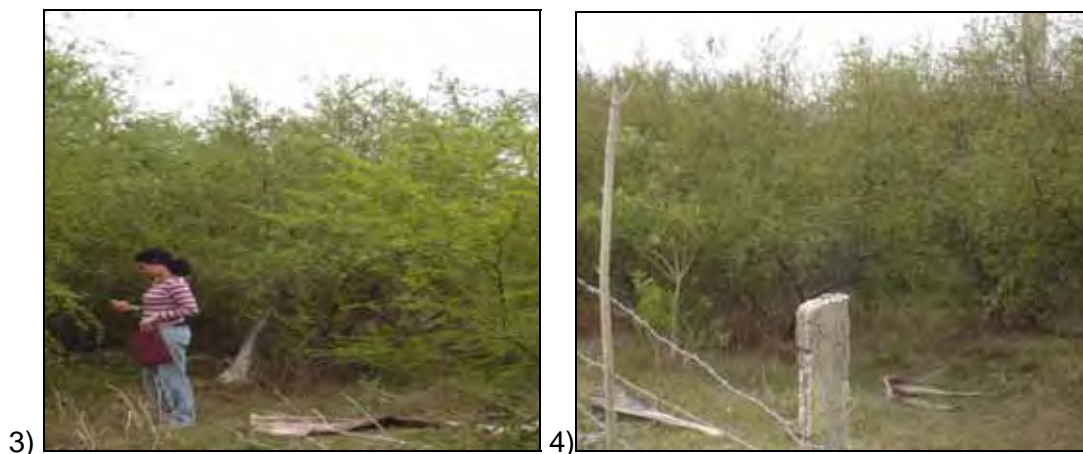


Fig.12 y 13. Bosque de matorrales de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*)

Fuente: Tomadas por el equipo de trabajo.



Fig. 14 y 15. Áreas de práctica de tala y quema de matorrales de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*)

Fuente: Tomadas por el equipo de trabajo.

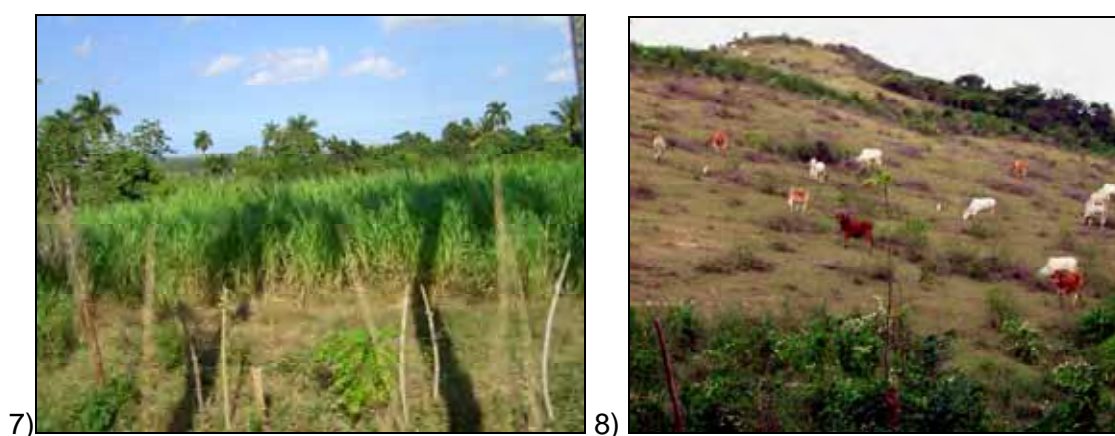


Fig. 16 y 17. Zonas de cultivo y áreas ganaderas recuperadas

Fuente: Tomadas por el equipo de trabajo.

Mediante el análisis espacial utilizando los SIG fue posible representar aquellas áreas de mayor densidad de matorrales secundarios de marabú y aroma para el año 1985 y 2005, a partir de la generación de modelos de densidad para esos años. A fin de facilitar una mejor visualización de la expansión que han tenido en el período estudiado, así como de su localización espacial en las cuencas Itabo y Guanabo. Estos resultados pueden apreciarse en los mapas 5 y 6 (Anexos)

Los resultados reflejan espacialmente la localización de las áreas más densas de marabú y aroma para los años 1985 y 2005, en el primer caso se ubicaban al Sur de la cuenca Guanabo y en un menor grado hacia el centro, en forma de pequeños matorrales asociados. Durante el transcurso de los últimos 20 años el aspecto del territorio ha cambiado completamente, se mantienen las áreas identificadas en el año 1985, sin embargo en el 2005, se incrementan con mucha mayor densidad los matorrales hacia el Norte de ambas cuencas, al Noreste de la cuenca Guanabo y al Sur de la cuenca Itabo, apareciendo en forma de bosques concentrados.

La resta de los modelos de densidad del año 2005 y 1985 generó un tercer mapa que representa las áreas de mayor densidad en las cuencas durante el período 1985-2005 (Ver Mapa7 en Anexos). En el mismo se distinguen 6 zonas de manera general donde la concentración de matorrales secundarios de marabú y aroma es significativa en comparación con las del resto de las cuencas, dos de ellas se localizan en la cuenca Itabo y las otras cuatro en la cuenca Guanabo.

### **III.2 Análisis de la posible Influencia de componentes naturales y antrópicos en la distribución y crecimiento de las zonas de marabú y aroma en el período 1985 - 2005**

Una vez analizada la expansión de los matorrales de marabú y aroma resultó conveniente estudiar las características de las áreas en donde se ha desarrollado estas especies desde el punto de vista de sus componentes naturales con el objetivo de determinar si existe alguna condición natural que posibilite o impida el incremento de los matorrales. Se seleccionaron 8 variables (altura, inclinación de la pendiente, orientación de la pendiente, distancia a la red de drenaje, tipos de suelo, tipos de uso de la tierra, temperatura y precipitación) y mediante una superposición en formato raster de las áreas de marabú y aroma y cada unos de los mapas que representan

estas variables, se generaron una serie de tablas que muestran el comportamiento de las variables seleccionadas en el interior de las áreas ocupadas por los matorrales para los años 1985 y 2005.

### **a) Altura**

En la Tabla 14 se representa la altura en donde se localizaron los matorrales de marabú y aroma en el año 1985 y en el 2005, del análisis de esta tabla no puede afirmarse, que la altura constituye una limitante desde el punto de vista natural, que impida la expansión de dichos matorrales, ya que son encontrados desde el nivel del mar hasta las cotas de 290 y 294.05 metros en 1985 y 2005 respectivamente.

Como promedio los valores de altura están cerca de 79 metros en el año 1985 y se corresponden principalmente con las terrazas fluviales, mientras que en año 2005 el promedio de altura es de 50.24 metros, lo que evidencia el incremento de estos matorrales hacia otras zonas de las cuencas (Ver Mapa 8 en Anexos).

Tabla 14. Altura (en metros) en las áreas con presencia de matorrales secundarios de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*)

<b>Cobertura</b>	<b>Altura (en metros)</b>					
	<b>1985</b>			<b>2005</b>		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
<b>Marabú y aroma</b>	0.00	290	78.98	2.89	294.05	50.24

Fuente: Elaborado por la autora

### **b) Inclinación de la pendiente**

El análisis de la inclinación de las pendientes mostró que no puede considerarse como motivo de la expansión que han tenido los matorrales de marabú y aroma (Tabla 15), pues los mismos se identificaron tanto en terrenos totalmente planos como en pendientes de 83.11 y 84.57 grados en los años 1985 y 2005 respectivamente. Como promedio los valores de inclinación se comportan entre 4 y 5 grados puesto que no existen grandes pendientes en las cuencas, exceptuando sus cabeceras y su límite al Norte. (Ver Mapa 9 en Anexos).



Tabla 15. Inclinación de la pendiente (en grados) en las áreas con presencia de matorrales secundarios de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*)

<b>Cobertura</b>	<b>Inclinación de la pendiente (en grados)</b>					
	<b>1985</b>			<b>2005</b>		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
<b>Marabú y aroma</b>	0.00	83.68	4.12	0.00	84.57	4.82

Fuente: Elaborado por la autora.

### c) Orientación de la pendiente

La Tabla 16 refleja los resultados de la tabulación cruzada entre el modelo de orientación de la pendiente y el marabú. No puede concluirse que la orientación influyó en la expansión de estos matorrales, ya que son encontrados desde 0 hasta 315.98 grados en el caso del año 1985 y hasta los 360 grados en el caso del 2005. Como promedio la orientación en el año 1985 se aproxima a los 79 grados (NE-E), mientras que en el año 2005 es de 134 grados. (E-SE) (Ver Mapa 10 en Anexos).

Tabla 16. Orientación de la pendiente (en grados) en las áreas con presencia de matorrales secundarios de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*).

<b>Cobertura</b>	<b>Orientación de la Pendiente (en grados)</b>					
	<b>1985</b>			<b>2005</b>		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
<b>Marabú y aroma</b>	0.00	315.98	78.98	1.00	360.00	134.55

Fuente: Elaborado por la autora.

### d) Distancia a la Red de Drenaje

Se analizó además la distancia a la red de drenaje como otro componente que pudiese estar influyendo en el incremento de las áreas de marabú y aroma. La Tabla 17 muestra como se localizaron estos matorrales en las proximidades de los cauces y también alejados a más de 1.7 kilómetros de distancia de estos, por ende la distancia a la red de drenaje no confirma ser el motivo de la expansión que han tenido los matorrales. El promedio de distancia en el año 1985 alcanza los 60.18 metros mientras



que en el 2005 se aproxima a los 237 metros. (Ver Mapa 11 en Anexos)

Tabla 17 Distancia a la Red de Drenaje (en metros) en las áreas con presencia de matorrales secundarios de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*).

<b>Cobertura</b>	<b>Distancia a la red de drenaje (en metros)</b>					
	<b>1985</b>			<b>2005</b>		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
<b>Marabú y aroma</b>	0.00	325.18	60.18	0.00	1718.13	236.84

Fuente: Elaborado por la autora.

### **e) Tipos de suelo**

En las Tablas 18 y 19 quedan representadas la superficie ocupada por estos matorrales según cada tipo de suelo para los años 1985 y 2005 respectivamente, del análisis de estas tablas se aprecia como los suelos pardo con carbonatos es el tipo de suelo sobre los que se han expandido más estos matorrales (63% y 56% aproximadamente en el año 1985 y 2005, respectivamente), siendo también los suelos que más extensión ocupan en ambas cuencas. (57 % y 55% en el año 1985 y 2005, respectivamente)

Al analizar para cada tipo de suelo el área cubierta por estos matorrales se puede ver como en el año 1985 (Tabla 18) en los suelos de tipo Húmico carbonatado ocupan 4.43 % de su superficie total, mientras que para los suelos Fersialíticos RPF ocupan mas del 12%, también los suelos aluviales superan el 7% de área cubierta de matorrales

Tabla 18. Distribución del marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*) por tipos de suelos para el año 1985.

<b>Suelo</b>	<b>Área total de suelos (m<sup>2</sup>)</b>	<b>% del total de suelos</b>	<b>Área con marabú (m<sup>2</sup>)</b>	<b>% en el área total de suelos</b>	<b>% en el área total de marabú</b>
<i>Pardo grisáceo</i>	2 331 812.94	1.59	49 203.99	2.11	0.84
<i>Fersialítico P.R</i>	3 492 488.71	2.38	212 193.17	6.08	3.64
<i>Fersialítico RPF</i>	21 706 647.07	14.80	706 187.96	3.25	12.11
<i>Pardo con carbonatos</i>	83 812 171.74	57.13	3 654 063.93	4.36	62.65
<i>Húmico carbonatado</i>	5 093 343.08	3.47	258 210.23	5.07	4.43
<i>Rendzina roja</i>	932 881.48	0.64	52 090.222	5.58	0.89
<i>Pardo sin carbonatos</i>	4 437 313.32	3.02	111 673.13	2.52	1.91
<i>Esquelético</i>	3420 052.30	2.33	202 940.00	5.93	3.48
<i>Aluvial</i>	18 498 086.72	12.61	449 754.56	2.43	7.71
<i>Cantera</i>	1 380 447.39	0.94	90 839.01	6.58	1.56
<i>Otros organismos</i>	1 608 405.52	1.10	45 102.53	2.80	0.77
<b>Total</b>	<b>146 713 650.27</b>	<b>100.00</b>	<b>5 832 258.732</b>	<b>46.72</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora

El análisis para el año 2005 (Tabla 19) refleja como se mantienen los mismos tipos de suelo a los que mayormente se encuentran asociados los matorrales de marabú y aroma. En los suelos de tipo Húmico carbonatado ocupan ahora 3.67 % de su superficie total, mientras que para los suelos Fersialíticos RPF ocupan más del 11.87 %, en cambio los suelos aluviales supera el 15 % de área cubierta de matorrales (Ver anexos, Mapa 12). Esto se debe a que estos suelos conjuntamente con los pardos con y sin carbonatos, en los años 80, se dedicaban a las actividades ganaderas y fueron desatendidos durante la etapa de la crisis económica de la década de los años 90 del pasado siglo.

Tabla 19. Distribución del marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*) por tipos de suelos para el año 2005

<b>Suelo</b>	<b>Área total de suelos (m<sup>2</sup>)</b>	<b>% del total de suelos</b>	<b>Área con marabú (m<sup>2</sup>)</b>	<b>% del área total de suelos con presencia de marabú</b>	<b>% del área total de marabú</b>
<b>Pardo grisáceo</b>	2 331 812.94	1.47	466 625.000	20.01	1.47
<b>Fersialítico P.R</b>	3 492 488.71	2.55	811 100.000	23.22	2.55
<b>Fersialítico RPF</b>	21 706 647.07	11.87	3 779 250.000	17.41	11.87
<b>Pardo con carbonatos</b>	83 812 171.74	55.91	17 801 150.000	21.24	55.91
<b>Húmico carbonatado</b>	5 093 343.08	3.67	1 167 900.000	22.93	3.67
<b>Rendzina roja</b>	932 881.48	1.17	372 900.000	39.97	1.17
<b>Pardo sin carbonatos</b>	4 437 313.32	3.85	1 225 500.000	27.62	3.85
<b>Esquelético</b>	3 420 052.30	1.33	422 350.000	12.35	1.33
<b>Aluvial</b>	18 498 086.72	15.74	5 013 125.000	27.10	15.74
<b>Cantera</b>	1 380 447.39	1.11	353 250.000	25.59	1.11
<b>Otros organismos</b>	1 608 405.52	1.34	428 225.000	26.62	1.34
<b>Total</b>	<b>146 713 650.27</b>	<b>100.00</b>	<b>31 841 375.00</b>	<b>264.07</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

#### f) Tipos de uso de la tierra (tomando como referencia año 1985)

Si se toma como referencia los tipos de uso de la tierra del año 1985 para analizar sobre cual cobertura se han expandido mayormente estos matorrales en el año 2005, se aprecia (Tabla 20) como son las áreas de pastos las más afectadas, en alrededor de 24 km<sup>2</sup> que representan el 75.69%, continúan las áreas destinadas a los cultivos en casi 4 km<sup>2</sup>, que suponen el 11.79% del total de ambas cuencas, y también las áreas cubiertas por bosques se ven afectadas en aproximadamente 2 km<sup>2</sup> que equivalen al 6.06%. Los resultados de este análisis se representan en el Mapa 13 (Ver Anexos)

Tabla 20. Distribución del marabú (*Dyckrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*) por tipos de uso de la tierra (tomando como referencia el año 1985)

<b>Tipos de uso</b>	<b>Afectaciones del marabú (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Afectaciones del marabú (%)</b>
<b>Cuerpos de Agua</b>	0.06	0.19
<b>Arenas, Áreas Urbanas, Carreteras y Canteras</b>	0.66	2.05
<b>Bosques semidecíduos degradados</b>	1.95	6.06
<b>Cultivos</b>	3.79	11.79
<b>Pastos Naturales y cultivados</b>	24.35	75.69
<b>Total</b>	<b>32.17</b>	<b>95.79</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

## g) Temperatura

Tabla 21. Temperatura media anual (en grados Celsius) en las áreas con presencia de matorrales secundarios de marabú y aroma

<b>Cobertura</b>	<b>Temperatura media anual (en grados Celsius)</b>					
	<b>1985</b>			<b>2005</b>		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
<b>Marabú y aroma</b>	23.12	25.65	24.45	23.07	25.65	24.72

Fuente: Elaborado por la autora.

El análisis de la temperatura muestra como los matorrales de marabú y aroma se desarrollan entre los 23.12 y 25.65 °C en el año 1985 y 23.07 y 25.65 °C en el año 2005, lo cual indica que abarca todos los valores de temperatura registrados por las estaciones. Los valores promedio para ambos años esta en el orden de los 24°C. Del análisis de esta tabla no puede afirmarse que la temperatura constituya una limitación desde el punto de vista natural que impida la expansión de estos matorrales. Los resultados de este análisis se representan en el Mapa 14 (Ver Anexos)

## h) Precipitaciones

Tabla 22. Precipitación media anual (en milímetros) en las áreas con presencia de matorrales secundarios de marabú y aroma

<b>Cobertura</b>	<b>Precipitación media anual (en milímetros)</b>					
	<b>1985</b>			<b>2005</b>		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
<b>Marabú y aroma</b>	384.42	914.66	694.74	376.76	912.76	658.76

Fuente: Elaborado por la autora.

La tabla 22 por su parte, evidencia la existencia de áreas de marabú y aroma en zonas con registros de 384.42 mm y 914.66 mm de lluvia precipitados en año 1985, mientras que los valores de precipitación mínimo y máximo son de 376.76 mm y 912.76 mm respectivamente en el año 2005, lo cual indica que no puede afirmarse que la expansión de estos matorrales dependa del comportamiento de esta variable, los valores promedio registrados por las estaciones meteorológicas están próximos a los 700 mm de lluvia precipitada. Los resultados de este análisis se representan en el Mapa 15 (Ver Anexos)

Después de conocer el comportamiento espacial de cada uno de los componentes naturales en las áreas de marabú y aroma para los años 1985 y 2005 a partir del análisis de cada una de las tablas anteriores puede notarse como al parecer no existe una influencia clara en la mayor parte de los componentes sobre la expansión de estos matorrales, con excepción de los tipos de suelos y el uso de la tierra. Para comprobar la hipótesis anterior se recurrió a la utilización de un coeficiente estadístico que nos permitiera medir la fortaleza de estas relaciones

El coeficiente de correlación biserial puntual que fue explicado en el Capítulo I, permite medir la relación entre variables binarias (presencia, ausencia) con variables cuantitativas por lo que los componentes como el tipo de suelo y el tipo de uso de la tierra no pudieron ser corroborados mediante este coeficiente al ser variables cualitativas, pero sí el resto de los componentes analizados.

A continuación se presenta la Tabla 23 que agrupa los resultados de dicha comprobación.

Tabla 23. Coeficientes de correlación biserial puntual obtenidos

<b>Variable</b>	<b>Coefficiente de correlación</b>
Altura	-0.09
Inclinación de la pendiente	-0.04
Orientación de la pendiente	-0.005
Distancia a la red de drenaje	0.038
Temperatura (media anual)	0.07
Precipitación (media anual)	0.0089

Fuente: Elaborado por la autora.

Los resultados de la aplicación del coeficiente de correlación entre las variables estudiadas y las áreas de marabú y aroma demostró que es despreciable la influencia de las mismas en la expansión de estos matorrales, obteniéndose valores bien cercanos a cero en todos los casos, lo cual indica que la correlación entre las variables y la expansión de los matorrales es casi nula, además nos percatamos de que el comportamiento por variables es diferenciado.

En el caso de la altura y la pendiente, el resultado es negativo, indicando que la relación con la expansión de los matorrales es inversa, es decir a mayor altura e inclinación de la pendiente menor es la posibilidad de crecimiento para estas plantas, contrario a lo que sucede con la distancia a la red de drenaje, la temperatura y las precipitaciones que tienen una relación directa, indicada por el signo positivo del resultado obtenido, lo que significa que a mayor distancia a la red de drenaje, con una mayor temperatura y mayores precipitaciones existe una mayor posibilidad para la expansión de los matorrales. El coeficiente obtenido para la orientación de la pendiente indica que esta variable no tiene influencia alguna en el desarrollo de los matorrales de marabú y aroma.

Después de haber estudiado la influencia de las variables seleccionadas sobre la expansión de los matorrales secundarios de marabú y aroma, y haber comprobado los resultados estadísticamente, hemos corroborado como no existe limitación natural que impida o posibilite el incremento de los matorrales, sino que estas especies, consideradas las más dañinas que ha afectado nuestro país, son capaces de adaptarse y proliferar en las más disímiles condiciones físicas.

### **III.3 Análisis de la relación entre el uso y la tenencia de la tierra y la expansión de los matorrales de marabú y aroma.**

La expansión de los matorrales secundarios de marabú y aroma en las cuencas Itabo y Guanabo no ha sido propiciado por la influencia de las variables naturales estudiadas, debido a lo cual se decidió analizar otros factores que pudiesen estar influyendo en el crecimiento de los mismos, como la tenencia de la tierra y el uso de la tierra.

#### **III.3.1 Tenencia de la tierra**

Los principales tenentes de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo se agrupan en las cuatro UBPC pertenecientes a la Empresa Pecuaria Bacuranao cuyas hectáreas aproximadamente alcanzan las 4 430.0. De ellas las UBPC “Protesta de Baraguá” y “Victoria de Girón” suman alrededor de 1 900.0 ha. Completan la diversidad de tenentes la Empresa de Cultivos Varios que registra un área superior a las mil hectáreas, que comparte su papel de suministradora de alimentos en la cuenca. Por otra parte, encontramos pequeños productores asociados en Cooperativas de Crédito y Servicio (CCS) quienes disponen de un 4.2 % de la superficie cultivable, que no supera las 100 hectáreas como promedio y en la que se siembran viandas, hortalizas y granos. Tienen establecidos sistemas de producción tradicional con el empleo de muy bajos recursos en condiciones de secano, con cultivos adaptados a la alternancia de períodos secos y lluviosos, lo que resulta en una baja productividad.

El extremo sur de la cuenca Guanabo perteneciente a la provincia La Habana, asume un papel líder en el uso forestal y pecuario de sus tierras, que se extienden por casi 4 785.0 ha y están representadas fundamentalmente por las Empresas “Forestal Mayabeque”, “Pecuaria Nazareno” y “Pecuaria Guaicanamar”. A continuación se muestra la Tabla 24, que resume los principales tenentes de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo.

Tabla 24. Tenencia de la tierra en las cuencas Itabo y Guanabo.

Tenentes de la tierra	Área (ha)
<b>Empresa Pecuaria Bacuranao</b>	4 427.7
- UBPC "26 de Julio"	272.0
- UBPC "Protesta de Baraguá"	1 900.3
- UBPC "Desembarco del Granma"	352.1
- UBPC "Victoria de Girón"	1 903.3
<b>Empresa de Cultivos Varios</b>	1 424.8
<b>Empresas Provincia Habana</b>	4 785.0
<b>Organismos Estatales</b>	65.5
<b>Sector Privado</b>	505.6
<b>Total</b>	1195.20

Fuente: García, y Nápoles, en Reyes 2005, DPPF, Provincia Habana (2004)

La Tabla 25 refleja el por ciento que representan los tenentes de la tierra según el área total de estudio. En ella no aparece reflejado el por ciento que ocupan los embalses, áreas urbanas y carreteras (9.2%) puesto que en estas zonas no existen afectaciones de los matorrales secundarios de marabú y aroma.

Tabla 25. Presencia de matorrales secundarios de marabú (*Dychrostachys cinerea*) y aroma (*Acacia farnesiana*) según tenentes de la tierra

Tenentes de la tierra	% que representa del área total de las cuencas	Afectaciones del marabú			
		1985		2005	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
<i>Sector Estatal</i>	63.8	5.48	78.7	26.93	83.7
<i>Sector Privado</i>	11.6	0.35	4.8	2.41	7.5
<i>Sin información</i>	15.4	1.14	16.5	2.84	8.8
<b>Total</b>	<b>90.8</b>	<b>6.97</b>	<b>100.0</b>	<b>32.18</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

Si asumimos que la tenencia de la tierra ha sido la misma para los años 1985 y 2005 (puesto que fue imposible contar con estos datos para años anteriores al 2005), y se analizan los sectores más afectados por la expansión de los matorrales de marabú y aroma, se aprecia como en el sector estatal el incremento ha sido de 5.48 a 26.93 km<sup>2</sup>, mientras que en el sector privado el incremento ha sido de 1.14 a 2.84 km<sup>2</sup>. Está claro que el área que ocupaban estos matorrales aumentó en el período estudiado en alrededor de 25 km<sup>2</sup>, pero el por ciento de representatividad por sectores ha



mantenido los mayores valores para el sector estatal desde 1985 hasta el 2005, con valores de 78.7 y 83.7 % de afectaciones por presencia de matorrales respectivamente. Además no se contó con información para el 8.8 % del área que ha sido afectada en cuanto a sus propietarios. Los resultados de estos análisis quedaron representados en el mapa 16 (Ver Anexos)

Después de haber estudiado el comportamiento de la tenencia de la tierra (Tabla 25) y el uso de la tierra (Tabla 20) en las cuencas Itabo y Guanbo puede concluirse que los mismos constituyen factores determinantes en la expansión del marabú y la aroma en el período 1985 – 2005, siendo el sector estatal en el que predominan estos matorrales (83.7%) y las áreas de pastos sobre las cuales más se han desarrollado (75.69 %).

**CONCLUSIONES**

1. Las cuencas de los ríos Guanabo e Itabo han experimentado un cambio de uso de la tierra significativo en el período 1985 -2005, durante el cual se ha producido un aumento de un 14% de la superficie ocupada por matorrales secundarios del marabú y el aroma.
2. El procesamiento digital de las imágenes de satélite seleccionadas permitió la generación de los mapas de uso de la tierra para los años 1985, 2001 y 2005 en los que quedaron representadas las diferentes coberturas identificadas.
3. La aplicación de diferentes técnicas de detección de cambios permitió la generación de los mapas que representan la dinámica de cambio y las áreas de mayor densidad de los matorrales secundarios de marabú y aroma en las cuencas Itabo y Guanabo durante el período 1985-2005.
4. Mediante operaciones de superposición entre los mapas que representan el comportamiento de las variables naturales seleccionadas y los mapas de marabú y aroma, fue posible determinar que no existe influencia entre estas y la expansión que han experimentado dichos matorrales, lo cual fue comprobado estadísticamente mediante el coeficiente de correlación biserial puntual.
5. La tenencia y el uso de la tierra constituyen los factores que más influencia han ejercido sobre la expansión del marabú y el aroma en las cuencas Itabo y Guanabo en el período 1985 – 2005, siendo el sector estatal donde predominan estos matorrales (83.7%) y las áreas de pastos sobre las cuales más se han desarrollado (75.69 %).

## RECOMENDACIONES

1. Continuar el monitoreo de las áreas de marabú y aroma con el apoyo del procesamiento digital de imágenes de satélite más recientes que permitan evaluar el incremento o disminución de estos matorrales en las cuencas de los ríos Itabo y Guanabo.
2. Divulgar los resultados de la presente investigación a las autoridades competentes y fundamentalmente a los tenentes estatales cuyos terrenos en su mayoría se encuentran abandonados o poco explotados propiciando el desarrollo y la expansión de matorrales secundarios de marabú y aroma.
3. Aplicar los procedimientos empleados para la detección de cambios de uso de la tierra y específicamente de los matorrales de marabú y aroma en otras áreas afectadas del país.

**Anexo 1: Características de las imágenes del satélite Landsat 7 TM y QuickBird utilizadas para generar los mapas de uso de la tierra para los años 1985 y, 2001 y 2005.**

*a) Características de las imágenes del satélite Landsat 7 TM utilizadas para generar los mapas de uso de la tierra para los años 1985 y 2001*

La descripción para las bandas multiespectrales y pancromáticas es la siguiente:

-Proyección: UTM, Zona 17 Norte.

Bandas Multiespectrales:

-Dimensiones: 7297\*615\*6 9formato (BSQ).

-Tamaño del píxel: 30x30m.

Pancromática:

- Dimensiones: 14593\*12329\*1 (formato BSQ).

-Tamaño del píxel: 15x15m.

La subescena obtenida a partir del recorte de la imagen generó una nueva imagen con las siguientes características:

- Número de columnas: 512.

- Número de filas: 619.

- Tamaño del píxel: 30m.

- X Máxima: 390784.

- X Mínima: 376190.

- Y Máxima: 2565527.

- Y Mínima: 2547882.

*b) Características de la imagen del satélite QuickBird utilizada para generar el mapa de uso de la tierra para el año 2005.*

La descripción de las mismas para las bandas multiespectrales y pancromáticas es la siguiente:

-Proyección: UTM, Zona 17 Norte.

Bandas Multiespectrales:

-Dimensiones: 7297\*615\*6 9formato (BSQ).

-Tamaño del píxel: 3x3m.

Pancromática:

- Dimensiones: 14593\*12329\*1 (formato BSQ).

-Tamaño del píxel: 0,6x0,6 m

La subescena obtenida a partir del recorte de la imagen original (proceso que fue referido anteriormente) generó una nueva imagen con las siguientes características:

- Número de columnas: 32700

- Número de filas: 27353

- Tamaño del píxel: 5m

- X Máxima: 392673

- X Mínima: 373053

- Y Máxima: 2563798.

- Y Mínima: 2547389.