

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE LA COBERTURA
FORESTAL DE LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ,
1987-2006 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**POR:
ZULEIKA IBÁÑEZ RIVERA.**

DAVID; CHIRIQUÍ, REPÚBLICA DE PANAMÁ.

2008.

**ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL DE
LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ, 1987-2006 MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**Trabajo de Graduación
Sometido para optar por el título de Ingeniero Forestal**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela de Ingeniería Agrícola**

**Permiso para su publicación, reproducción total o parcial debe
ser obtenido de la Facultad de Ciencias Agropecuarias**

Aprobado

Director _____
Asesor _____
Asesor _____

David, Chiriquí, República de Panamá.

2008.

AGRADECIMIENTO

“ A Dios,

... Por el don de la vida, por otorgarme la sabiduría y salud para lograr tan anhelado sueño.

“ A mis profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias,

... Por su ejemplo de profesionalidad que nunca olvidaré.

“ Al Director de este trabajo, el Ingeniero Gilberto Samaniego,

... Por hacer posible la elaboración y confección del mismo.

“A mis asesores el Geógrafo Profesional Raúl Martínez e Ingeniero Noé Aguilar

... Por su guía, tiempo y dedicación.

“A la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), y los funcionarios de la Unidad de Sensores Remotos,

...Por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo en dicha entidad.

“A todas aquellas personas,

...Que de una u otra forma, me ayudaron e hicieron aportes valiosos, para poder culminar satisfactoriamente esta tesis.

Gracias...

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, con mucho amor y cariño:

“A mis padres,

...Por el esfuerzo, sacrificio y dedicación y sobre todo por creer en mí siempre.

“A mi hermano,

...Por su ayuda y comprensión que siempre me regala.

“A mi abuela, amigos y compañeros,

...que me aconsejaron y ayudaron a seguir adelante.

“A ti, Noriel,

... Por tus palabras de ánimo que me relajaban en los momentos de tensión.

Zuleika Ibáñez...

Ibáñez, Zuleika. 2008. Estudio de la Dinámica de la Cobertura Forestal de la Cuenca del Río Chiriquí, 1987-2006 mediante la aplicación de técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Tesis de Ingeniería Forestal. David, PA. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 125 p.

Palabras Claves: Cuenca del Río Chiriquí, Cobertura forestal, Técnicas de Teledetección, Sistemas de Información Geográfica, Imágenes Satelitales.

RESUMEN

El estudio se realizó para la Cuenca del Río Chiriquí, ubicada en la Provincia de Chiriquí, en la parte occidental de la República de Panamá, entre las coordenadas 8° 15' y 8°53' de latitud norte y 82°10' y 82°33' de longitud oeste. El mismo se llevó a cabo en la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), específicamente en la Unidad de Sensores Remotos. El objetivo de este trabajo era realizar un estudio de la Cobertura Forestal de la Cuenca del Río Chiriquí para el período comprendido entre los años 1987-2006 y poder establecer la tasa de deforestación para esa área.

Para este trabajo se utilizaron tres imágenes satelitales de la Cuenca del Río Chiriquí de los años 1987, 2000 y 2006 proporcionadas por el Nodo Servir de la Nasa, instalado en Panamá y con el apoyo de la Unidad de Sensores Remotos de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Estas imágenes fueron clasificadas individualmente por medio del método no supervisado, utilizando el software ERDAS IMAGINE 8.5. Los tipos de coberturas boscosas identificadas en las imágenes fueron: bosques maduros (que correspondían a las áreas que no habían sido alteradas por el hombre), bosques secundarios (aquella masa forestal que se desarrolla de manera natural, después de la desaparición total o parcial de otra anterior) y los manglares (aquella masa forestal que puede desarrollarse en terrenos sujetos a intrusiones de agua salada).

Por otro lado, del estudio de la dinámica de la cobertura boscosa de la Cuenca para el período de 1987-2006 se obtiene que la misma está cubierta por 36.30 % de bosques de los cuales 21.75 % son bosques maduros, 10.28 % son bosques secundarios y 4.27 % son manglares.

La tasa anual de deforestación de 1987-2006 fue de -1.03 %, lo que representa una pérdida absoluta de 15,278.93 ha en 19 años, y una pérdida promedio anual de 804.15 ha de bosque, mostrando una situación favorable en comparación con la tasa anual de deforestación para nuestro país que es de -1.12 %.

Se concluye que el uso de información generada a partir de teledetección y de datos provenientes de sistemas de información geográfica permiten conocer aspectos muy importantes sobre la dinámica de los ecosistemas, lo que constituye una poderosa herramienta para identificar patrones de uso actual de la tierra y evaluar el impacto de las actividades antrópicas sobre las coberturas boscosas.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Agradecimiento	iii
Dedicatoria	iv
Resumen	v
Índice de contenido	vii
Índice de cuadros	x
Índice de gráficas	xi
Índice de Figuras	xii
Índice de Anexos	xiv
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	
2.1 Teledetección	4
2.1.1 Historia de la Teledetección	5
2.2 Esquema de un Sistema de Teledetección	6
2.2.1 Espectro electromagnético	9
2.2.1.1 Composiciones en color	10
2.2.1.2 Criterios de interpretación visual	11
2.2.2 Interacción Atmósfera-Radiación	16
2.2.3 Interacción Radiación-Superficie	17
2.2.4 Respuesta Espectral	18
2.2.4.1 Respuesta espectral de la vegetación	18
2.2.4.2 Respuesta espectral del suelo	20
2.2.4.3 Respuesta espectral del agua	21
2.2.5 Gráficas de firmas espectrales	21
2.3 Técnicas utilizadas en la Interpretación digital de imágenes satelitales	22
2.4 Los Sistemas de Información Geográfica	23
2.4.1 Antecedentes de los SIG	25
2.4.2 Los sensores remotos en el estudio de los bosques	26
2.4.2.1 Satélite LANDSAT™	28
2.5 Cuenca Hidrográfica	30
2.5.1 El manejo de cuencas en Panamá	31
2.5.2 Cuencas Hidrográficas en la provincia de Chiriquí	33
2.6 Características Generales de la Cuenca del Río Chiriquí	34

2.6.1	Localización	34
2.6.2	División Político-Administrativa	34
2.6.3	Población	36
2.6.4	Morfología	37
2.6.5	Hidrología	41
2.6.6	Geomorfología y Geología	43
2.6.7	Suelos	44
2.6.8	Cultivos	46
2.6.9	Clima	46
2.6.10	Uso del Agua	49
2.6.11	Flora	50
2.6.12	Vegetación	51
2.6.13	Uso del suelo y Cobertura Boscosa	51
2.6.14	Zonas de Vida	52
2.6.15	Áreas Naturales Protegidas	54
2.7	El Recurso Forestal en Panamá	57
2.7.1	Importancia de los Bosques	57
2.7.1.1	Bosques Maduros	58
2.7.1.2	Bosques Secundarios	58
2.7.1.3	Bosques de Galería	59
2.7.1.4	Manglares	59
2.7.2	La Deforestación	60
2.7.2.1	La deforestación en Panamá	61
2.7.2.2	Deforestación en la provincia de Chiriquí	62
III.	Metodología	
3.1	Localización del Estudio	63
3.2	Metodología Experimental	64
3.2.1	Obtención de imágenes satelitales	66
3.2.1.1	Imágenes satelitales utilizadas	66
3.2.2	Reproyección y Georreferenciación cartográfica	69
3.2.3	Corte de la Imagen de la Cuenca	73
3.2.4	Identificación visual del terreno	75
3.2.4.1	Brillo	76
3.2.4.2	Color	76
3.2.4.3	Textura	81
3.2.4.4	Sombras	81
3.2.4.5	Forma-Tamaño	82
3.2.4.6	Gráficas de firmas espectrales	82
3.2.5	Clasificación de Imágenes	83
3.2.5.1	Clasificación No supervisada	84
3.2.5.2	Asignación de categorías	87
3.2.6	Dinámica de la Cobertura Boscosa 1987-2000	90
3.2.7	Matriz de cambio	94
3.2.8	Tasa de deforestación 1987-2006	94

3.2.9 Mapa de Cambios	95
IV. Resultados y Discusiones	
4.1 Dinámica de la Cobertura Boscosa 1987-2000	96
4.2 Dinámica de la cobertura Boscosa 2000-2006	99
4.3 Dinámica de la Cobertura Boscosa 1987-2006	102
4.4 Tasas de Deforestación y Tendencias	114
4.4.1 Tasa de deforestación 1987-2000	114
4.4.2 Tasa de deforestación 2000-2006	115
4.4.3 Tasa de deforestación 1987-2006	115
V. Conclusiones	118
VI. Recomendaciones	120
VII. Referencias Citadas	122
VIII. Anexos	126

INDICE DE CUADROS

N°	Descripción	Pág
I	Datos de población de los distritos de la Cuenca del Río Chiriquí.	36
II	Tipos de clima en la Cuenca del Río Chiriquí.	48
III	Centrales Hidroeléctricas en la Cuenca del Río Chiriquí.	49
IV	Zonas de Vida de la Cuenca del Río Chiriquí.	53
V	Dinámica de la Cobertura Boscosa 1987-2000.	96
VI	Matriz de cambio 1987-2000 para la Cuenca del Río Chiriquí.	98
VII	Dinámica de la Cobertura Boscosa 2000-2006.	100
VIII	Matriz de cambio 2000-2006 para la Cuenca del Río Chiriquí.	101
IX	Dinámica de la Cobertura Boscosa 1987-2006.	103
X	Matriz de cambio 1987-2006 para la Cuenca del Río Chiriquí.	104

INDICE DE GRÁFICAS.

Nº	Descripción	Pág
1	Dinámica de la Cobertura Boscosa 1987-2006. Cuenca del Río Chiriquí.	113

INDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág
1	Esquema de un Sistema de Teledetección	7
2	Espectro Electromagnético	10
3	Combinación de Bandas 3-4-5. Software ERDAS IMAGINE	12
4	Combinación de Bandas 2-3-4. Software ERDAS IMAGINE	12
5	Combinación de Bandas 1-2-3. Color verdadero. Software ERDAS IMAGINE	13
6	Ejemplo de un "pixel" en el Análisis Digital	14
7	Organización jerárquica de los Criterios de Interpretación Visual	15
8	Interacción Atmósfera-Radiación	16
9	Interacción Radiación Superficie	17
10	Reflectividad de la Hoja	19
11	Sistema de Información Geográfica	25
12	Mapa. División Político-Administrativa. Cuenca del Río Chiriquí.	35
13	Mapa. Población. Cuenca del Río Chiriquí.	38
14	Mapa. Pendiente. Cuenca del Río Chiriquí.	39
15	Mapa. Elevaciones. Cuenca del Río Chiriquí.	40
16	Mapa. Ríos. Cuenca del Río Chiriquí.	42
17	Mapa. Climas. Cuenca del Río Chiriquí.	47
18	Mapa. Zonas de Vida. Cuenca del Río Chiriquí.	55
19	IMAGEN LANDSAT TM del año 1987	67
20	IMAGEN LANDSAT TM del año 2000	68
21	IMAGEN LANDSAT TM del año 2006	68
22	Reproyección de la Imagen. Software ERDAS IMAGINE	70
23	Proceso de Georreferenciación para la Cuenca del Río Chiriquí	72
24	Corte de la Cuenca del Río Chiriquí. Año 1987	74
25	Corte de la Cuenca del Río Chiriquí. Año 2000	74
26	Corte de la Cuenca del Río Chiriquí. Año 2006	75
27	Ejemplo de cultivos	78
28	Ejemplo de Nubes	79
29	Ejemplo de Área poblada. Ciudad de David. Año 1987	80
30	Ejemplo de Bosques	80
31	Ejemplo de una cobertura con diferente reflectividad	81
32	Ejemplo de la ISODATA en la Clasificación No Supervisada	86

33	Ejemplo de la Asignación de las Categorías a la Imágenes Satelitales	88
34	Mapa. Cobertura Boscosa. 1987. Cuenca del Río Chiriquí	91
35	Mapa. Cobertura Boscosa. 2000. Cuenca del Río Chiriquí	92
36	Mapa. Cobertura Boscosa. 2006. Cuenca del Río Chiriquí	93
37	Cambios 1987-2006. 1987-2006. Cuenca del Río Chiriquí	110
38	Pérdida de Bosques. 1987-2006. Cuenca del Río Chiriquí	111
39	Ganancia de Bosques. Cuenca del Río Chiriquí	112

INDICE DE ANEXOS

N°	Descripción	Pág
1	Imagen Satelital. Año 1987. Cuenca del Río Chiriquí.	127
2	Imagen Satelital. Año 2000. Cuenca del Río Chiriquí.	128
3	Imagen Satelital. Año 2006. Cuenca del Río Chiriquí.	129

I. INTRODUCCIÓN

La **deforestación** representa una pérdida directa de superficie de bosque y es un proceso que muestra una alta variación espacial, respondiendo a una combinación de factores socioeconómicos y naturales que determinan la forma en que se produce.

En los últimos años se ha podido observar una clara disyuntiva entre el uso actual de la tierra y su capacidad de uso debido a varios factores como el aumento poblacional y el deterioro de áreas boscosas para dar paso a la ganadería. Esto conlleva a una pérdida de la capacidad productiva de los sitios y alteraciones del régimen hidrológico de la cuenca, generando un impacto muy significativo en el nivel de vida de las comunidades dentro de las áreas de influencia.

Por lo anterior y debido a la gran importancia que tiene La Cuenca del Río Chiriquí, por su extensión, disponibilidad hídrica y su potencial hidroeléctrico, se realizó un estudio de los cambios que ha experimentado esta área en los últimos diecinueve años, en cuanto a cobertura forestal se refiere.

En la Cuenca del Río Chiriquí, se encuentran tres importantes áreas protegidas: el Parque Nacional Volcán Barú, el Parque Internacional La Amistad (PILA) y la Reserva Forestal de Fortuna, siendo de gran importancia el recurso forestal de la cuenca.

El avance tecnológico que experimentamos hoy en día permite tener un conocimiento global de cualquier región de la superficie de la tierra a partir de imágenes provenientes de sensores a bordo de plataformas satelitales.

La teledetección es una disciplina basada en conceptos de gran utilidad para la Ecología. Es un nuevo tipo de tecnología que se ha convertido en una herramienta capaz de evaluar, comprender, predecir y manejar los recursos naturales de una manera mucho más eficaz, presentando ventajas sobre otros tipos de observación, por su capacidad de poder estudiar grandes extensiones de terreno a un costo relativamente bajo. No es hasta épocas recientes, que la teledetección ha dirigido su atención a las regiones tropicales sobre todo por la

pérdida de cobertura boscosa tan acelerada a que están siendo sometidas estas zonas.

En este trabajo se utilizaron herramientas como la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, como fuente de datos para analizar un problema medioambiental de gran trascendencia como lo es la deforestación en nuestro país. En consecuencia, se ha preferido emplear ésta técnica de interpretación porque es sencilla y confiable además de que se pueden obtener los resultados en un menor tiempo. 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 de una región en particular y almacenar esta información en base de datos relacionales.

Debido a lo anterior, esta investigación cuenta con los siguientes objetivos:

1. Realizar un estudio de la dinámica de la cobertura boscosa de la Cuenca del Río Chiriquí en el período de 1987-2006.
2. Determinar la tasa de deforestación entre los años 1987-2006.
3. Elaborar un mapa de cobertura boscosa de la Cuenca del Río Chiriquí.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Teledetección

La **teledetección o percepción remota** es una técnica que ha ido evolucionando aceleradamente durante las últimas década con el advenimiento de la tecnología satelital, sus orígenes se ubican con el inicio de las actividades aeronáuticas a principio de siglo XX para ir evolucionando con el desarrollo de las actividades espaciales. Las siguientes definiciones establecen algunos parámetros de lo que la comunidad científica considera a la palabra teledetección o percepción remota:

- El término teledetección fue el adoptado en los países de habla hispana como traducción del inglés ***remote sensing***, para describir las observaciones de un objeto efectuadas sin mediar contacto físico con él (***Pinilla, 1995***).

- La teledetección o percepción remota es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra (**Chuvienco, 1990**).

2.1.1 Historia de la Teledetección

La historia de la Percepción Remota comenzó hace unos 600 millones de años, cuando alguna forma inferior de vida animal diferenció algunas de sus células, volviéndolas fotosensibles. También durante millones de años dicho rudimento fotosensible evolucionó convirtiéndose en un poderoso y sofisticado sensor, el ojo humano. Este tuvo un imitador mecánico, la cámara fotográfica, que hizo su aparición hace algo más de un siglo y que fue mejorada durante la década de 1930 para ser aplicada a la fotografía aérea.

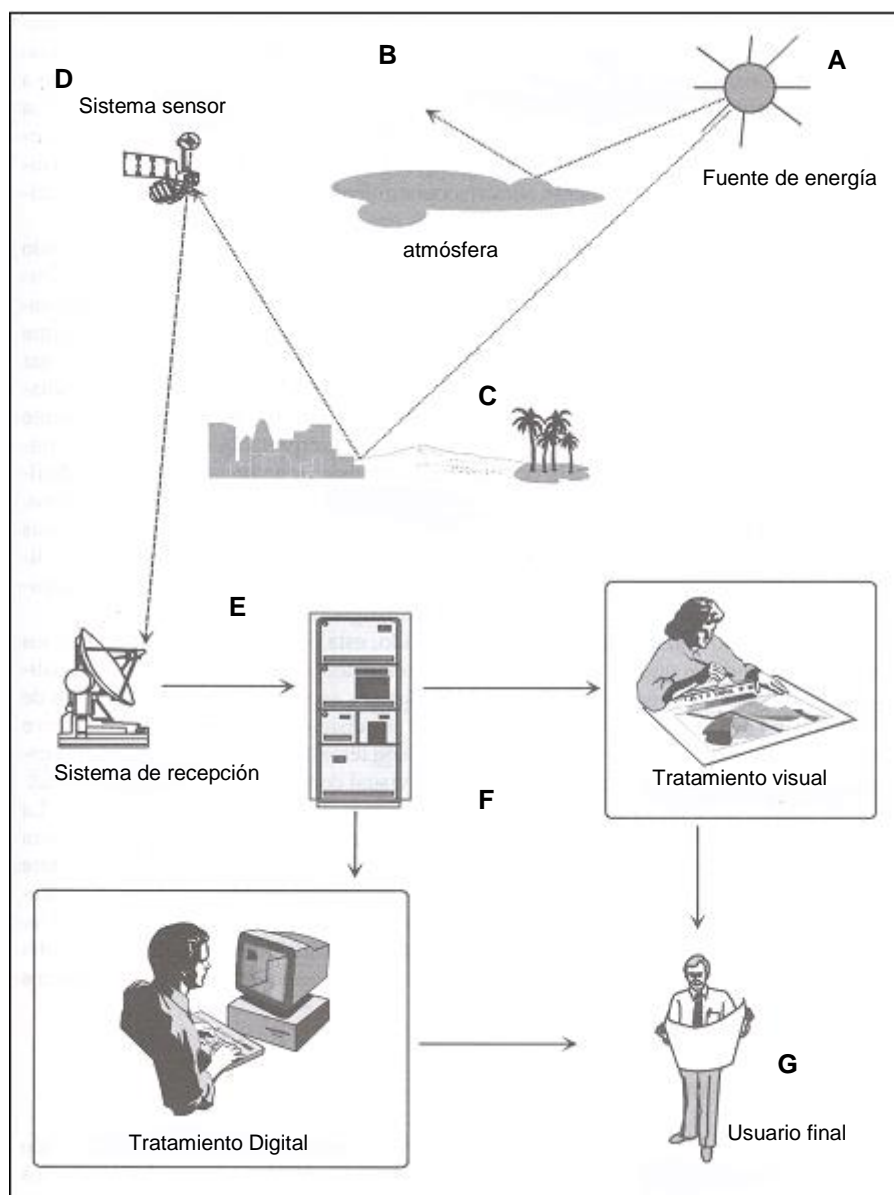
La Segunda Guerra Mundial dió un gran impulso a la fotografía aérea así como a otras formas de percepción remota. Sin embargo, el "salto cuántico" en esta disciplina se produjo en la década de 1960 cuando las plataformas satelitales reemplazaron a las aéreas y los sensores electrónicos multiespectrales, acoplados a computadoras, reemplazaron a las cámaras fotográficas (**Pinilla, 1995**).

A fines de la década de los sesenta, aparece una nueva ola de curiosidad que se centra en explorar la superficie terrestre, pero con el objetivo puesto a los recursos naturales. Es así que la agencia espacial norteamericana construye el primer satélite de la serie ERTS y este es puesto en órbita el 23 de julio de 1972. Posterior a este lanzamiento satelital, muchos otros se han dado, logrando que cada vez las observaciones desde el espacio hasta la superficie terrestre sean mas progresivas y objetivas, para cualquier fin que el hombre se plantee *(Chuvienco, 1990)*.

2.2 Esquema de un Sistema de Teledetección

Para cualquier proceso de percepción remota es necesario que existan los siguientes aspectos, como los muestra la **Figura 1**:

- **Fuente de energía o iluminación (A):** La Fuente de energía que supone el origen del flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco externo al sensor, en cuyo caso se habla de Teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por este, conocido como Teledetección activa. La fuente de energía más importante es la energía solar.
- **Radiación y la atmósfera (B):** Es el proceso en el que la energía electromagnética es propagada a través del espacio libre.

FIGURA 1. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE TELEDETECCIÓN

Fuente: Chuvieco (2006)

- **Interacción con la superficie terrestre (C):** La Cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelo, agua y construcciones, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.

- **El sistema Sensor (D):** Compuesto por el sensor propiamente dicho y la plataforma que lo sustenta. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y enviarla directamente al sistema de recepción.

- **Sistema de transmisión, Recepción, y proceso (E):** El Sistema de recepción es en donde se recibe la información transmitida por el sensor, esta información es grabada en un formato apropiado y es distribuido a los intérpretes para su tratamiento visual o digital.

- **Interpretación y análisis (F):** En esta etapa el intérprete, analiza la información, en donde es recibida la información transmitida por el sensor.

- **Aplicación (G):** El último proceso es el de extraer la información necesaria para resolver un problema específico y llega la usuario final

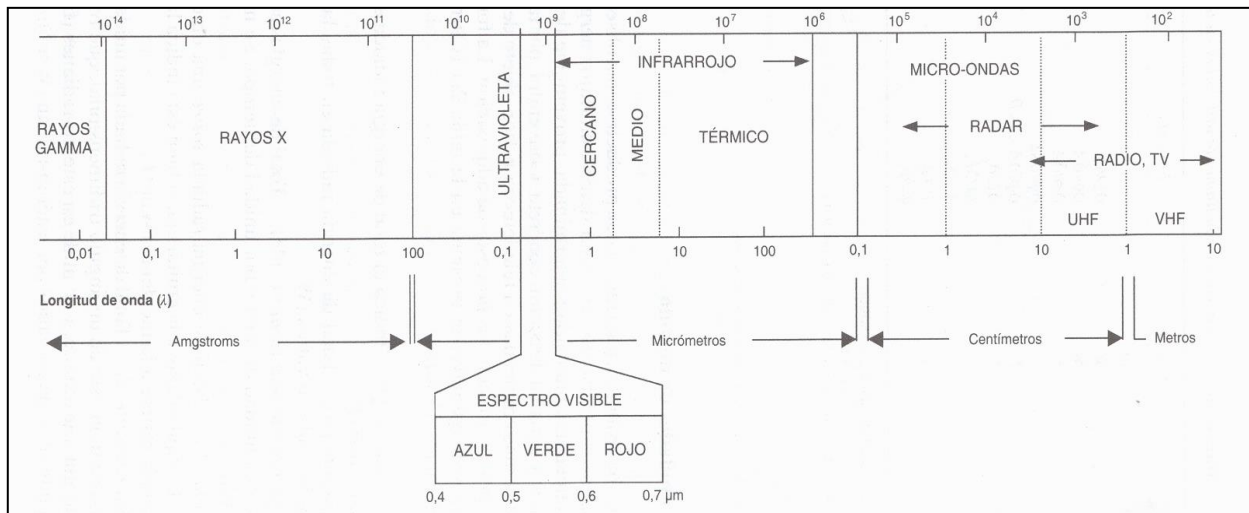
quien es el encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como dictaminar el impacto que de él se derive.

2.2.1 Espectro Electromagnético

La causa principal del clima es la energía radiante del sol recibida por la tierra. La radiación está compuesta de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (300.000 Km/seg) (**Hernández, 2002**) .

Pinilla (1995), señala que la radiación electromagnética se presenta como una distribución continua de frecuencias, desde longitudes de onda cortas y altas frecuencias (rayos cósmicos) hasta longitudes de onda largas y bajas frecuencias (ondas de radio). Dentro de esta continuidad, es posible agrupar en familias a los distintos tipos de radiación en función de su longitud de onda. Se denomina **espectro electromagnético** a la sucesión creciente de longitudes de onda de todas las radiaciones conocidas. Las regiones del espectro son las siguientes: rayos gamma, rayos x, rayos ultravioleta (UV), espectro visible, infrarrojo próximo (IRp), infrarrojo térmico(IRt), microondas, radar y ondas de televisión y radio (UHF y VHF) (**Figura 2**).

FIGURA 2. ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



Fuente: Chuvieco (2006)

2.2.1.1 Composiciones en color

Las composiciones en color constituyen un caso particular de combinación lineal analógica en el periférico de visualización a partir de la información multispectral de la imagen suministrada por la mayor parte de los sensores. Para ello, se forma una nueva imagen sumando tres bandas, seleccionadas según cualquier criterio, a cada una de las cuales se le asigna uno de los tres tonos primarios azul, verde o rojo. **(Pinilla, 1995)**

Según **Pinilla (1995)**, señala que en la práctica la combinación utilizada y la atribución de los tonos primarios dependen de la finalidad del estudio, e incluso de la costumbre del intérprete. Asignando los tonos azul (A), verde (V) y rojo

(R), en este orden, a las bandas, es frecuente la presentación de imágenes TM con la combinación de bandas **3-4-5**, en la cual la vegetación se presenta en color verde por su alta reflectancia en el infrarrojo próximo (**Figura 3**). También se utiliza frecuentemente la combinación **2-3-4**, en la que la vegetación aparece en color rojo (**Figura 4**). Normalmente, cualquiera que sea la combinación de bandas y el orden de los colores, la composición incluye una banda en el visible, una en el infrarrojo próximo y otra en el infrarrojo medio, que suelen ser las bandas de mayor varianza de la imagen. La combinación en “**color verdadero**” para TM es la formada por las bandas **1-2-3**, pues los intervalos del espectro que abarcan cada una, coinciden con los tonos básicos que se les asignan (**Figura 5**).

2.2.1.2 Criterios de Interpretación visual

Una de las principales ventajas del análisis visual sobre el análisis digital es su capacidad de incorporar a la interpretación de la imagen criterios complejos. Mientras el tratamiento digital se basa, casi exclusivamente, sobre la intensidad radiométrica de cada “**píxel**” en las distintas bandas utilizadas para la interpretación, el análisis visual utiliza otros elementos, como son: la textura, estructura, emplazamiento o disposición, entre otras.

FIGURA 3. COMBINACIÓN DE BANDAS 3-4-5. SOFTWARE ERDAS IMAGINE.

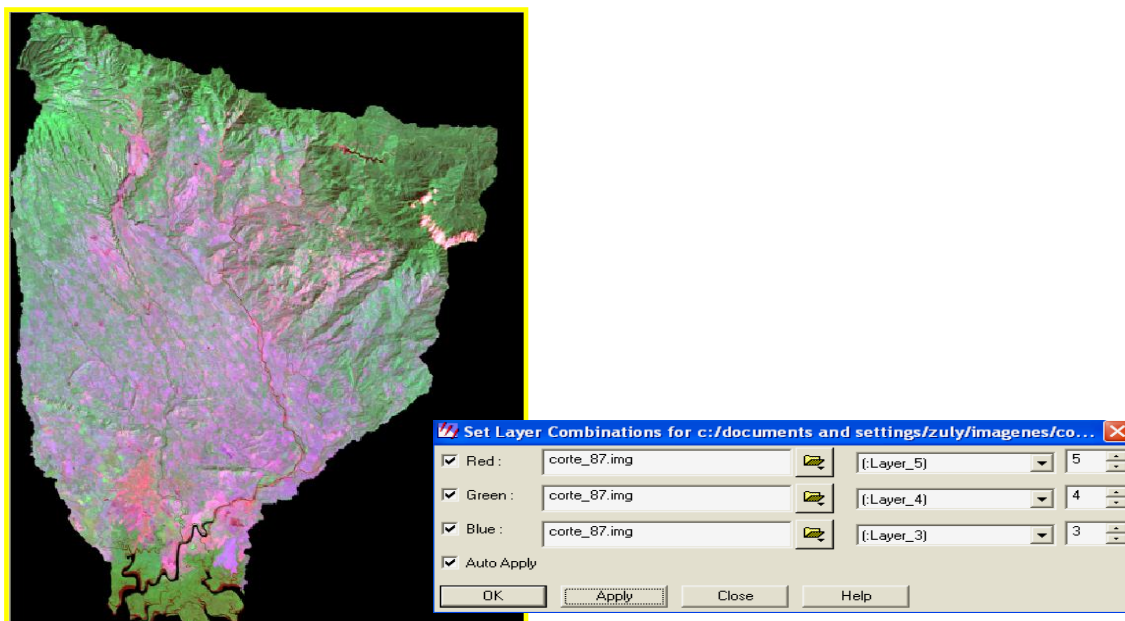


FIGURA 4. COMBINACIÓN DE BANDAS 2-3-4. SOFTWARE ERDAS IMAGINE.

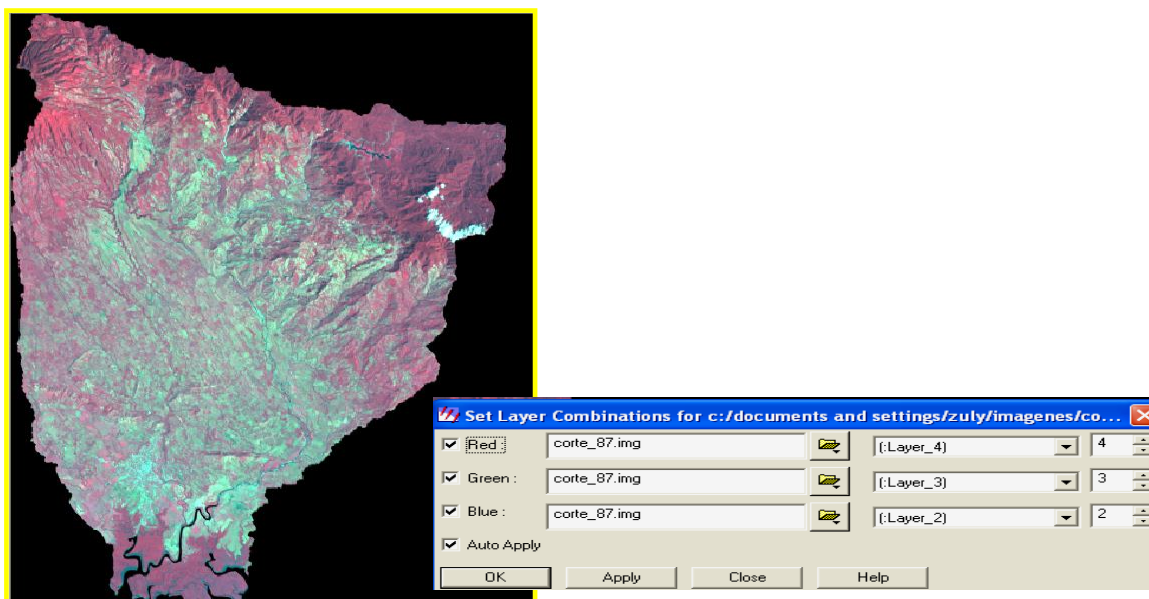
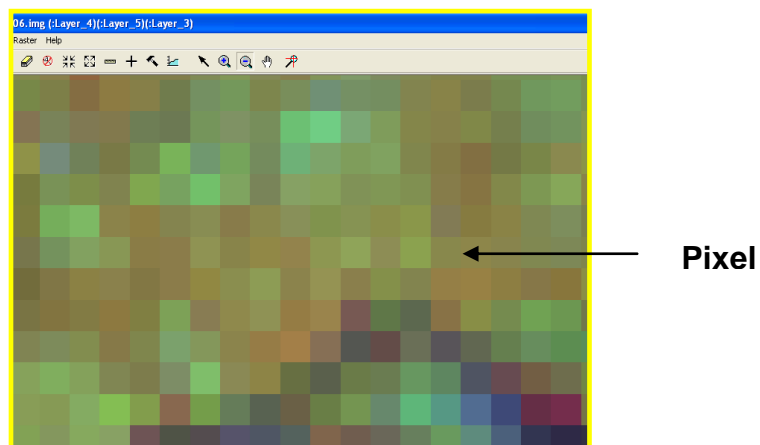


FIGURA 5. COMBINACIÓN DE BANDAS 1-2-3. COLOR VERDADERO. SOFTWARE ERDAS IMAGINE.



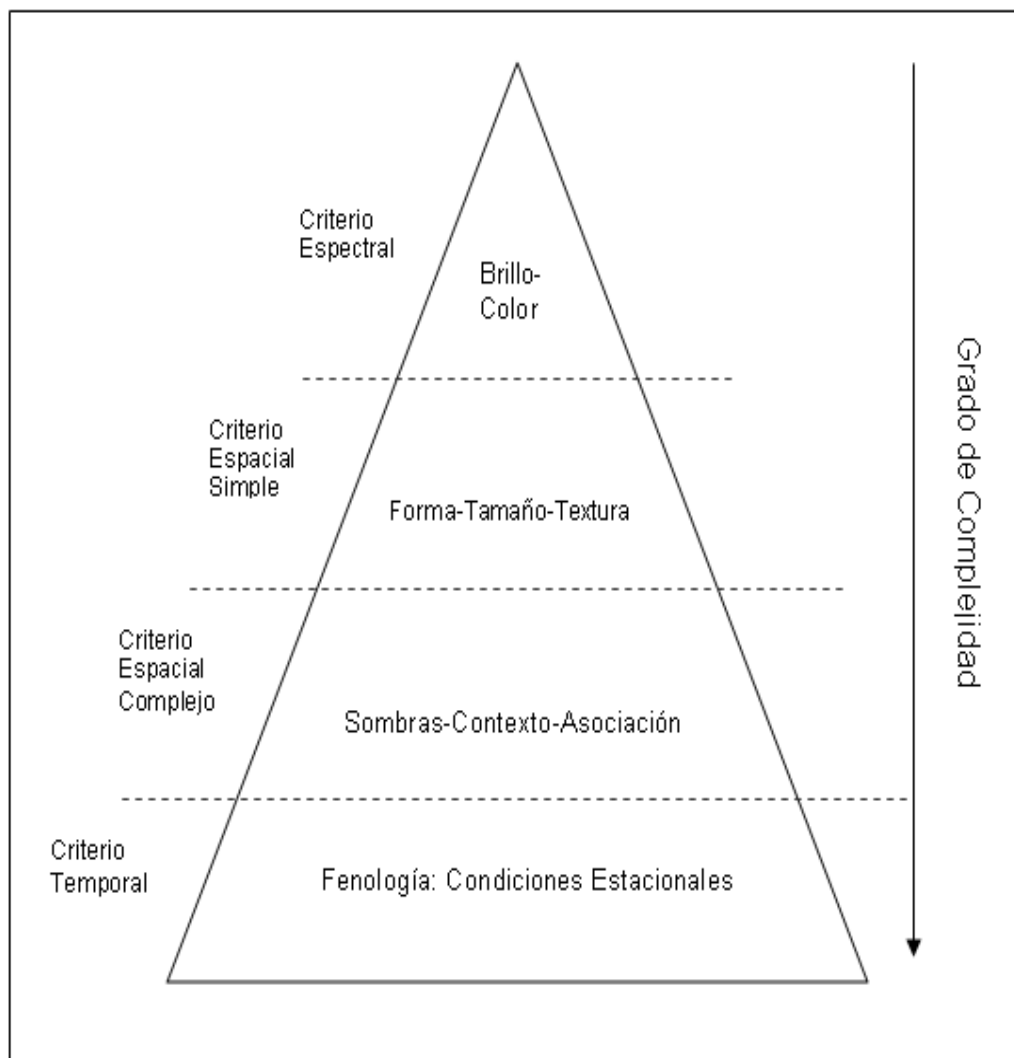
En la **Figura 6**, se muestra un ejemplo de un píxel, que se refiere a cada uno de los elementos que componen una imagen dispuestos matricialmente en filas y columnas. Cada cuadro en esta figura representa un píxel y cada uno posee dimensiones de 30 x 30 metros.

FIGURA 6. EJEMPLO DE UN “PÍXEL” EN EL ANÁLISIS DIGITAL.



Los criterios de interpretación visual se utilizan de un modo integrado, en claves visuales complejas. Varios autores han sugerido clasificar esos criterios en una escala jerárquica, en función de su grado de complejidad y de las variables que se consideran. La **Figura 7**, muestra que el brillo y color serían los criterios más elementales, pues caracterizan espectralmente a una cubierta. La forma, tamaño y textura tienen que ver con las propiedades espaciales de los objetos. La sombra y emplazamiento, con relación a los objetos circundantes. Finalmente, la dimensión temporal hace referencia a la evolución estacional de las cubiertas.

FIGURA 7. ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DE LOS CRITERIOS DE INTERPRETACIÓN VISUAL

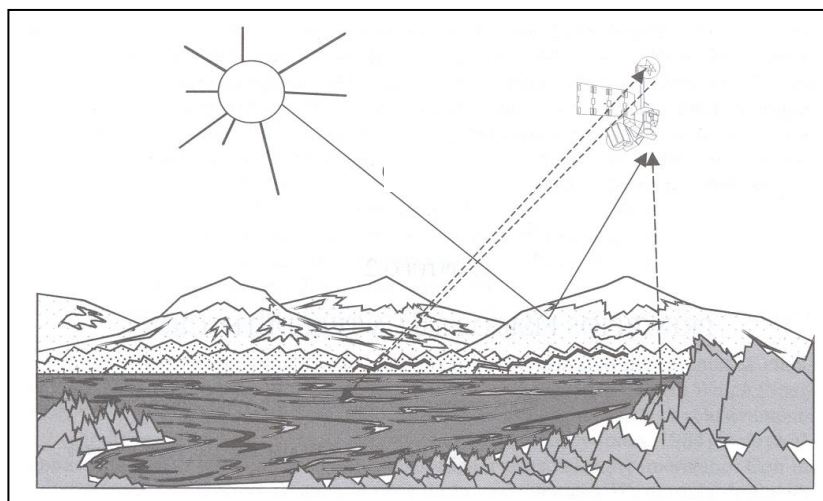


Fuente: Chuvieco (2006)

2.2.2 Interacción Atmósfera - Radiación

Según **Montiel (2008)**, la atmósfera no es un cuerpo transparente. En ella se encuentran pequeñas partículas en suspensión que interactúan con la radiación incidente (**Figura 8**). La energía al chocar con estas partículas puede ser dispersada, absorbida o emitida dependiendo de la longitud de onda. Por lo general a mayor longitud de onda la dispersión disminuye, en tanto absorción presenta comportamientos variables. También la atmósfera emite parte de la energía absorbida en forma de calor y este tipo de energía es registrada principalmente por los sensores diseñados para generar información de las energías electromagnéticas del infrarrojo térmico.

FIGURA 8. INTERACCIÓN ATMÓSFERA - RADIACIÓN



Fuente: Chuvieco (2006)

2.2.3 Interacción Radiación - Superficie

La energía que llega a los cuerpos, incide en la superficie y puede sufrir tres procesos: ser reflejada (**R**), absorbida (**A**) o transmitida (**T**), por lo tanto la energía incidente (**I**) será la sumatoria de todos los procesos anteriores:

$$I = R + A + T$$

La energía reflejada y el calor que los cuerpos emiten, es la energía que los sensores de los satélites reciben, después de interactuar nuevamente con la atmósfera. (*Montiel, 2008*)

FIGURA 9. INTERACCIÓN RADIACIÓN - SUPERFICIE



Fuente: <http://www.ciat.cgiar.org>

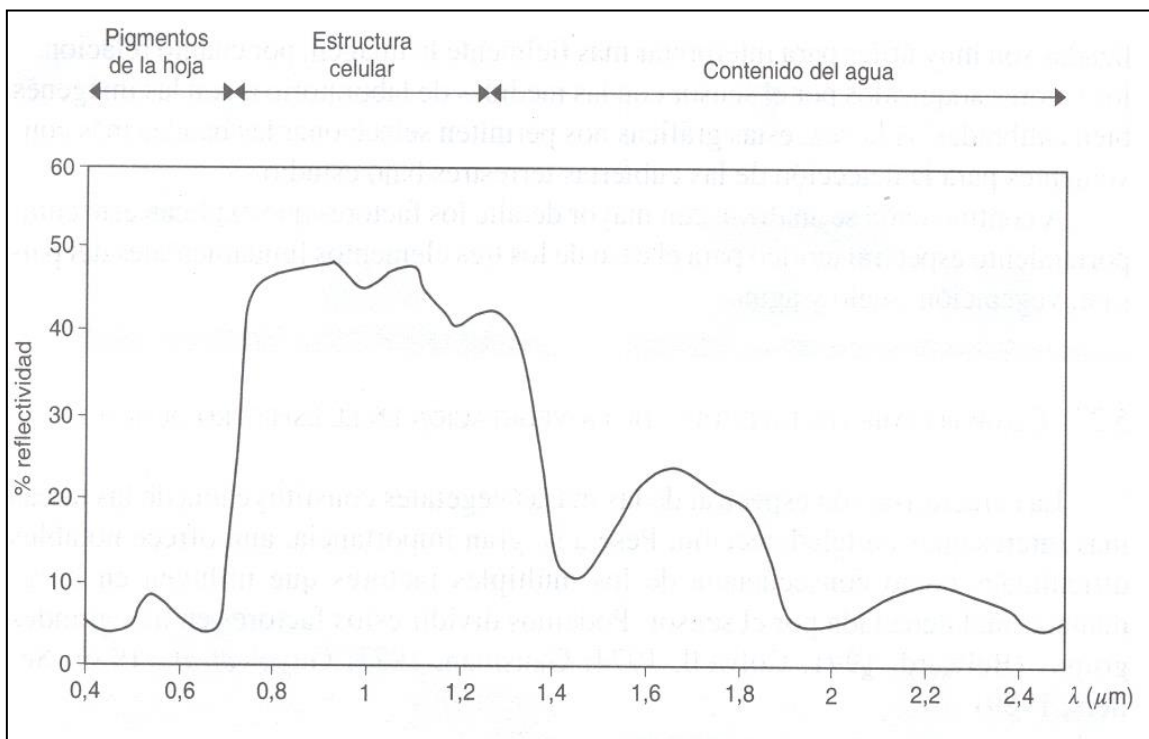
2.2.4 Respuesta Espectral

La respuesta espectral es el comportamiento de los cuerpos ante la incidencia de radiaciones electromagnéticas de distintas frecuencias (**Pinilla, 1995**).

2.2.4.1 Respuesta espectral de la Vegetación

La caracterización espectral de las masas vegetales constituye una de las tareas más interesantes en teledetección. Pese a su gran importancia, aún ofrece notables dificultades como consecuencia de los múltiples factores que influyen en la radiancia final detectada por el sensor. Podemos dividir estos factores en tres grandes grupos:

- Los relacionados con la **reflectividad de la hoja (Figura 10)**, que suele ser el elemento más visible desde una plataforma espacial. Aquí los factores más destacados son la presencia de pigmentos, la estructura celular y el contenido de humedad.
- Las características geométricas de la planta, principalmente su área foliar, la forma de las hojas, su distribución en la planta, la geometría del dosel, la importancia del componente leñoso, etc.
- Finalmente, habría que considerar aquellos aspectos derivados de la situación geográfica de la planta: pendiente, orientación, asociación con otras especies, reflectividad del sustrato, geometría de plantación, condiciones atmosféricas, entre otras. (**Chuvienco, 2006**)

FIGURA 10. REFLECTIVIDAD DE LA HOJA

Fuente: *Chuvieco (2006)*

Chuvieco (2006), señala que la baja reflectividad en la porción visible del espectro se debe al efecto absorbente de los pigmentos de la hoja, principalmente las clorofilas, xantofila y caroteno (65, 29 y 6 por ciento respectivamente) aunque la proporción puede variar mucho. En algunas especies resulta destacada la acción de otro pigmento, la antocianina, buen reflector de la porción roja del espectro, que causa ese color en épocas de senescencia.

Por otro lado la elevada reflectividad en el infrarrojo cercano se debe, por un lado, a la baja absorción de las clorofilas y por otro lado a la estructura celular interna de la hoja. Como se sabe, la hoja se compone, en esencia, de cuatro capas: la epidermis superior e inferior, el parénquima en empalizada y el mesófilo esponjoso. Las dos primeras juegan un importante papel en la regulación térmica de la planta y en su absorción de CO₂.

El sensor no mide hojas aisladas, sino agrupaciones de hojas formando plantas o masas de vegetación, por lo que además de la reflectividad de la hoja es preciso tener en cuenta otros elementos adicionales que complican esto. Conviene aquí citar tres grupos de factores: la geometría de la planta, los ángulos de observación e iluminación y las características del sustrato. (*Chuvienco, 2006*).

2.2.4.2 Respuesta espectral del Suelo

Pinilla (1995), señala que la respuesta del suelo a la reflectividad de las longitudes de onda está influenciada por características como:

- La composición química,
- Textura,
- Estructura y
- Contenido de humedad. (El contenido de materia orgánica en el suelo reduce su reflectividad).

2.2.4.3 Respuesta espectral del Agua

Para **Chuvieco (2006)**, la respuesta del agua varía según la longitud de onda, dentro del espectro óptico e infrarrojo, el agua tiende a absorber la energía a medida que la longitud de onda aumenta, en el caso de las microondas, éstas son reflejadas especularmente si el agua está tranquila, cuando hay turbulencia o oleajes la energía es reflejada en varias direcciones. También la respuesta del agua está influenciada por la profundidad y el contenido de sedimentos que contribuyen a reflejar la energía cuando esta llega hasta las partículas o al fondo del agua.

2.2.5 Gráficas de Firmas Espectrales

Como ya se conoce, cada material en la naturaleza tiene su propia interacción con la energía electromagnética. Esta interacción varía de una longitud de onda a otra, dando como resultado lo que se conoce como un patrón de **respuesta espectral**.

Pero las respuestas espectrales en la naturaleza según **Chuvieco (2006)**, pueden variar por:

- Los tipos de vegetación a través de las estaciones.
- El cambio en la iluminación (topográfica o estación) y variaciones en la Humedad.

- La mayoría de coberturas del suelo son mezclas de rasgos que son captados como un solo píxel.
- Cuando un sensor capta los datos no se puede asegurar que el rango del espectro que usa, será aquel en el que podrá diferenciarse algún material específico.

2.3 Técnicas Utilizadas en la Interpretación Digital de Imágenes Satelitales

En la actualidad para realizar un estudio multitemporal de cobertura boscosa se utilizan muchas técnicas de teledetección y una de ellas es la Clasificación de imágenes que es el proceso de desarrollar mapas interpretados a partir de imágenes de sensores remotos. La **clasificación** es la parte final del tratamiento digital de imágenes. Existen muchos tipos de clasificación pero los más utilizados son: **La Clasificación Supervisada y la Clasificación No Supervisada.** (*Chuvienco, 1990*)

La **clasificación Supervisada**, se provee una descripción estadística de una manera en la cual las coberturas de uso esperadas deberían aparecer en la imagen y después un procedimiento denominado **Clasificador**, es usado para evaluar la probabilidad de que cada píxel pertenezca a una de esas clases.

Calderón y Cedeño (2007), señalan que en la clasificación **No supervisada** un enfoque muy diferente es usado. Aquí un tipo espacial de **clasificador** es

usado para descubrir patrones de reflectancia comúnmente ocurridos y patrones distintos de reflectancia en la imagen, basado en que ellos representan las principales clases de coberturas y usos. Luego entonces se debe determinar la identificación de cada clase por una combinación de experiencia y trabajo de campo.

En ambos casos el proceso de clasificación puede ser visto como aquél que determina el conjunto al cual cada píxel pertenece. En el caso de la **clasificación Supervisada** los conjuntos son conocidos antes de que el proceso se inicie. Esta clasificación es por ello un proceso de toma de decisiones basado en la información disponible. Con la clasificación **No supervisada**, sin embargo, las clases son desconocidas, por eso el proceso se considera de segmentación de clases, más que de toma de decisiones.

2.4 Los Sistemas de Información Geográfica

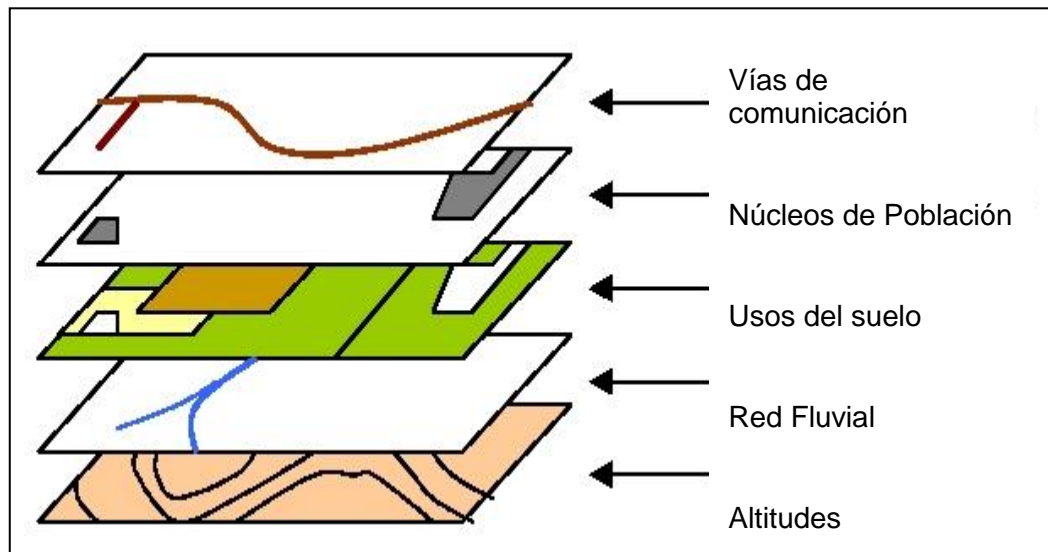
Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. (*Wikipedia, 2008*)

Puebla y Gould, (2000) citado por **Martínez (2007)**, señala que las aplicaciones de los SIG están dirigidas a áreas tan disímiles como, la ordenación del territorio, la planificación urbana y rural, los análisis de mercado, ambiente y recursos naturales, administración y mantenimiento de redes públicas, catastro, desastres naturales, redes de consumo, transporte, cartografía, análisis espacial y estrategia militar entre otras.

Por otro lado la Enciclopedia **Wikipedia (2008)**, señala que los SIG funcionan como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentran asociados por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

Como se observa en la **Figura 11**, la razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

FIGURA 11. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



Fuente: <http://es.wikipedia.org>

Cerca del 80% de la información tratada por instituciones y empresas públicas o privadas tienen en alguna medida relación con datos espaciales, lo que demuestra que la toma de decisiones depende en gran parte de la calidad, exactitud y actualidad de esta información espacial.

2.4.1 Antecedentes de los SIG

Según **Chuvieco (2006)**, en los años 1960 y 1970 emergieron nuevas tendencias en la forma de utilizar los mapas para la valoración de recursos y planificación. Observando que las diferentes coberturas sobre la superficie de la tierra no eran independientes entre sí, sino que guardaban algún tipo de

relación, se hizo latente la necesidad de evaluarlas de una forma integrada y multidisciplinaria.

A finales de los años setenta la tecnología del uso de ordenadores progresó rápidamente en el manejo de información cartográfica, y se afinaron muchos de los sistemas informáticos para distintas aplicaciones cartográficas. De la misma manera, se estaba avanzando en una serie de sectores ligados, entre ellos la edafología, la topografía, la fotogrametría y la percepción remota. En un principio, este rápido ritmo de desarrollo provocó una gran duplicación de esfuerzos en las distintas disciplinas relacionadas con la cartografía, pero a medida que se aumentaban los sistemas y se adquiría experiencia, surgió la posibilidad de articular los distintos tipos de elaboración automatizada de información espacial, reuniéndolos en verdaderos sistemas de información geográfica para fines generales (*Chuvienco, 2006*).

A principios de los años ochenta, los SIG se habían convertido en un sistema plenamente operativo, a medida que la tecnología de los ordenadores se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación.

2.4.2 Los Sensores Remotos en el Estudio de los Bosques

Los **Sensores Remotos** se definen como el conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos,

mediante mediciones a distancia, sin contacto material con los mismos (**Pinilla, 1995**).

En los estudios de la cobertura boscosa se destacan los sensores remotos relativos a su condición, distribución, fragmentación y dinámica. Para todos los casos, es necesario obtener imágenes que cubran las regiones sometidas a estudio y para el caso de los estudios de la dinámica de bosques, se requiere como mínimo imágenes o fotografías aéreas de dos períodos distintos.

Calderón y Cedeño (2007), señalan que las imágenes procedentes de sensores remotos principalmente los satelitales, le brindan al estudio de los bosques una herramienta de incalculable valor permitiéndonos visualizar grandes regiones con niveles de recurrencia. Las imágenes actuales de carácter multiespectral brindan información de los bosques en diferentes rangos del espectro electromagnético que van desde los visibles pasando por los infrarrojos e imágenes del rango del radar. Todas ellas con grandes capacidades de visualizar diferentes aspectos de la vegetación.

Según **Calderón y Cedeño (2007)**, manifiestan que en el caso de las bandas del visible, las vistas en los rango del verde (0.5 a 0.6 micrones) destacan aspectos relacionados con la presencia de pigmentos en las hojas (clorofila) permitiéndonos caracterizar el verdor de las plantas. En los rangos de los infrarrojos cercanos, la vegetación muestra las más altas reflectividades (cerca

del 60% de la luz reflejada), esta condición nos permite caracterizar el vigor en la vegetación. Por su parte los infrarrojos medios, destacan la absorción del agua, lográndose identificar vegetaciones según su contenido de humedad, situación de gran utilidad en algunos aspectos relacionados con los bosques maduros.

Otro aspecto importante en el uso de sensores remotos en los estudios del bosque, es el relacionado con la recurrencia de la escena. Los satélites tipo **Landsat TM**, de gran uso en el estudio del ambiente, brindan un nivel de resolución temporal de 16 días, es decir que podemos obtener información de un mismo lugar en ese período de tiempo. (*Chuvienco, 2006*).

2.4.2.1 Satélite LANDSAT™

Los satélites Landsat constan de dos tipos de sensores: **el Multiespectral Scanner (MSS) y el Thematic Mapper™**. Estos sensores funcionan a través de la radiación solar que reflejan los objetos en la superficie terrestre. Los datos de reflexión están relacionados o dependen de la estructura y composición de la vegetación que presenta la tierra. Ambos sensores poseen funciones parecidas, tal como recibir señales de reflexión producida por los elementos terrestres, y mediante un sistema electrónico interno procesar dicha reflexión y convertirla a un formato digital. Esta información es enviada a la superficie terrestre donde hay instaladas estaciones receptoras que analizan la información para luego distribuirlas en forma de imágenes.

El Landsat es un proyecto Norteamericano lanzado en 1972 y se ha constituido sin duda alguna como el mejor y más efectivo proyecto de Teledetección espacial hasta el momento; debido a la excelente resolución de sus sensores en carácter global (*Pinilla, 1995*).

Según *Calderón y Cedeño (2007)*, este sensor o Satélite es el más utilizado en aplicaciones agrícolas, **forestales**, usos de suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización ambiental. Sobre todo esta muy ligado a estudios territoriales en los que el parámetro fundamental es el ambiente.

Chuvienco (2006), señala que la plataforma del Satélite Landsat se puede describir de la siguiente manera:

- **Resolución Temporal:** Mide el tiempo que pasa desde la obtención de la imagen de un punto de la tierra, hasta la siguiente imagen. En el Caso del Landsat es de 16 días.
- **Resolución Espacial:** La que cuantifica el tamaño del **píxel**, (que es la mínima unidad de medida del territorio), es capaz de definir la lectura de las bandas del sensor. Para el Landsat TM la resolución espacial es de 30 metros.
- **Resolución Espectral o Radio métrica:** El Landsat dispone de lecturas de Siete canales o bandas, situadas en distintas zonas del espectro electromagnético.

2.5 Cuenca Hidrográfica

Salvat (1975), citado por **Batista (2003)**, define la **cuenca hidrográfica** como el territorio en que las aguas convergen hacia los puntos más bajos de la superficie del mismo se unen en una corriente resultante o río principal que las evacua hacia un lago, mar u océano. Sus límites suelen coincidir con las líneas de cerros que marcan la divisoria de las aguas entre las vertientes, pero en algunos casos no coinciden forzosamente con la cuenca orográfica.

El concepto de **cuenca hidrográfica**, es definido como un sistema natural dinámico compuesto de elementos biológicos, físicos y antropogénicos que reaccionan entre sí, resultando en el conjunto responsable en permanente cambio, lo que fundamentalmente ha conducido a entender la cuenca hidrográfica bajo dos marcos conceptuales: un marco biofísico que la define como tal y un marco político referido a su manejo y ordenamiento **(USAID/Panamá, 2002)**.

Las cuencas hidrográficas constituyen unidades territoriales importantes por cuanto en ellas reside una proporción mayoritaria de la población. Tienen un clima muy agradable durante todo el año, poseen valles intermontanos muy fértiles para ciertos rubros agrícolas; una población muy laboriosa arraigada a su tierra, con valores culturales, históricos y económicos propios con un potencial turístico importante; y sobre todo constituyen las fuentes hídricas estratégicas

para facilitar el desarrollo regional aguas abajo (*FAO, 1987*) citado por *Batista (2003)*.

2.5.1 El Manejo de Cuencas en Panamá

El manejo de cuencas es una disciplina en evolución. En los Estados Unidos, el manejo de cuencas comenzó como una herramienta de manejo forestal para aumentar el flujo o producción de agua, especialmente en los suelos boscosos nacionales. Después de un extenso estudio sobre la producción llevado a cabo entre los años treinta y setenta, los intentos para manipular la producción de agua (cantidad de flujo) en los bosques nacionales por la recolección de madera, han recibido cada vez menos atención (*USAID/Panamá, 2002*).

USAID/Panamá (2002), señala que en la década del ochenta el manejo de cuencas recibió gran atención en Latinoamérica como una manera de manejar la severa degradación de los suelos en las zonas más altas, especialmente donde las reservas se veían amenazadas por la sedimentación. Esta preocupación fue muy importante en Panamá, ya que la amenaza de la sedimentación en el Lago Alhajuela se hizo evidente. Las agencias donantes financiaron una gran cantidad de proyectos de cuencas en Centroamérica y Panamá en los ochenta y noventa, con metas relacionadas con recursos hídricos, conservación de suelos y disminución de la pobreza.

Las cuencas prioritarias, particularmente a nivel de montaña están, siendo sometidas a planes de manejo y conservación que garantizan el uso sostenible de los recursos naturales, especialmente en lo que a agua se refiere (**ANAM, 2003**).

Por otro lado, en Panamá existen 51 cuencas hidrográficas, según **FAO (2007)**, 18 en la Vertiente del Atlántico y 33 en la del Pacífico. Por su orografía y la estrechez de su territorio, la mayoría de los ríos son de corta longitud y dlescargan perpendicularmente al litoral costero.

En la República de Panamá es la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) el ente público encargado de diagnosticar, administrar, manejar y conservar las cuencas hidrográficas del país, en coordinación con las instituciones públicas sectoriales con competencia ambiental que integran el Sistema Interinstitucional Ambiental, con las Comisiones Consultivas Ambientales, establecidas en la Ley 41 de 1998 y con los Comités de Cuencas Hidrográficas creados por la Ley.

Con la aprobación de la Ley 44 de 5 de agosto de 2002 o Ley del Régimen Administrativo Especial para el Manejo, Protección y Conservación de las Cuencas Hidrográficas de la República de Panamá, la gestión territorial adquirió una significación fundamental en la implementación de la política territorial-ambiental. En dicha ley explícitamente se consagra el requisito de Planes de

Ordenamiento Territorial en conjunto con Planes de Manejo, Desarrollo, Protección y Conservación de las Cuencas Hidrográficas. **(CONADES)**

Las cuencas con mayor abundancia de agua y potencial para su aprovechamiento son las de los ríos Changuinola-Teribe, Guarumo, Cricamola, Calovebora y Veraguas en la vertiente Atlántica y en la vertiente del Pacífico los ríos **Chiriquí**, Fonseca, Tabasará y San Pablo **(FAO, 2007)**.

Cabe destacar que existen tres Cuencas Hidrográficas del país que cuentan con planes de manejo, éstas son:

- Río Chiriquí
- Río Zaratí
- Río La Villa

2.5.2 Cuencas Hidrográficas en la Provincia de Chiriquí

Las cuencas hidrográficas de la Provincia de Chiriquí, ordenadas relativamente de Oeste a Este y ubicadas en la vertiente del Pacífico, son las siguientes: Palo Blanco, Chiriquí Viejo, Escarrea, Chico, Chiriquí, Fonseca, San Félix y Tabasará. De éstas solamente la cuenca del río Tabasará, la cual es limítrofe con la Provincia de Veraguas, se ubica parcial, aunque mayoritariamente, dentro del territorio de Chiriquí. La Provincia de Chiriquí incluye cuatro cuencas ubicadas entre las 25 de mayor superficie a nivel

nacional, éstas son: Chiriquí, Fonseca, Chiriquí Viejo y San Félix. Otros ríos de importancia son el Colorado de la cuenca del río Palo Blanco (área de Coto), los ríos Caisán y Gariché tributarios del río Chiriquí Viejo, los ríos Platanal, David y Caldera tributarios del río Chiriquí, el río Chorcha de la cuenca del río Fonseca, el río San Juan de la cuenca del San Félix y los ríos Cuvíbora y Viguí (mayoritariamente en Veraguas) tributarios del río Tabasará **(ANAM, 2003)**.

2.6 Características Generales de la Cuenca del Río Chiriquí

2.6.1 Localización

La Cuenca del Río Chiriquí se localiza en la Provincia de Chiriquí, en la parte occidental de la República de Panamá, entre las coordenadas 8° 15' y 8°53' de latitud norte y 82°10' y 82°33' de longitud oeste. Limita al norte con la Provincia de Bocas del Toro, al sur con el Golfo de Chiriquí, al este con la Cuenca No. 110 (Río Fonseca) y al oeste con la Cuenca No. 106 (Río Chico) **(ETESA, 2008)**.

2.6.2 División Político Administrativa

La cuenca del Río Chiriquí está conformada por los distritos de David, Dolega, Boquete, Gualaca, Boquerón y Besiko. Este último corresponde al área de la Comarca Ngöbe Buglé. Ver **Mapa de División Político-Administrativa**.

2.6.3 Población

Según datos de Estadística y Censo hasta el año 2004, la Cuenca del Río Chiriquí presenta un total de 206,416 habitantes. El **Cuadro I** muestra los datos de población de los distritos de la cuenca.

CUADRO I. DATOS DE POBLACIÓN DE LOS DISTRITOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.

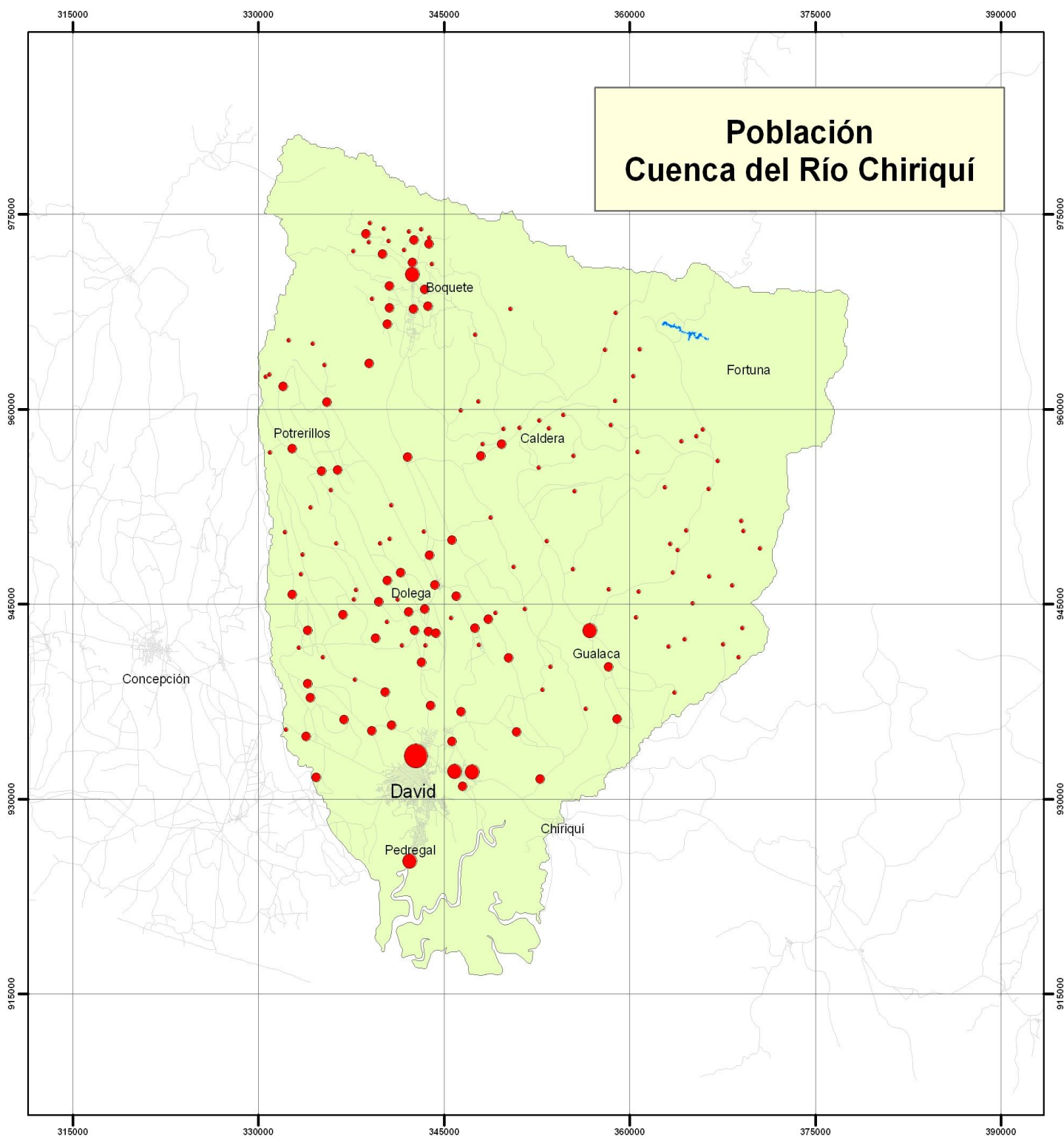
Distritos	Habitantes
David	136,461
Dolega	19,225
Boquete	3,500
Gualaca	8,848
Boquerón	18,807
Besiko	19,575
TOTAL	206,416

Fuente: Elaboración propia.

El **Mapa de Población**, muestra la distribución de la misma dentro de la Cuenca. La mayor parte de la población se localiza en aquellos corregimientos considerados como urbanos. En la parte alta de la cuenca se aprecian los corregimientos de Alto Boquete, Los Naranjos, Jaramillo, Hornito y Potrerillos y en la parte baja de la cuenca los asentamientos humanos de mayor cuantía como: David cabecera, La Lomas, Pedregal, Dolega y Gualaca cabecera.

2.6.4 Morfología

- **Forma:** La cuenca tiene la forma de una hoja o triángulo. Cuenta con un coeficiente de Gravelius, $K = 1.399$.
- **Tamaño:** Es de $1,925 \text{ km}^2$ y tiene un perímetro de 215 km.
- **Pendiente Media de la Cuenca:** La pendiente media de la Cuenca es de 11.1%. El **Mapa de Pendiente** muestra los rangos de pendiente de la Cuenca del Río Chiriquí. Se puede apreciar que el rango de pendiente comprendido entre $0^\circ - 7^\circ$, abarca la mitad de la superficie de la Cuenca.
- **Área de elevación:** Este factor permite establecer la distribución de la cuenca en función de las alturas. En el **Mapa de Elevaciones** se presenta la distribución del área de la Cuenca (ha), por rangos de elevación (msnm).



Leyenda

- 0 - 250
- 251 - 1500
- 1501 - 5000
- 5001 - 65154

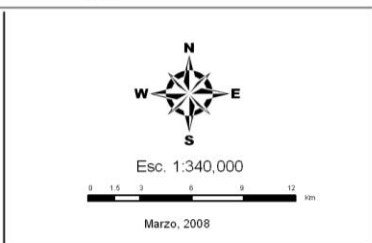
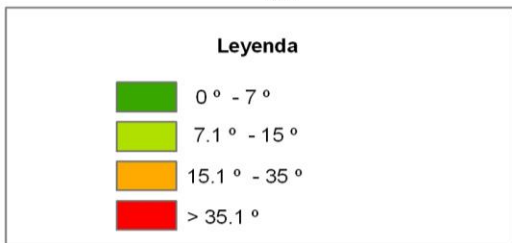
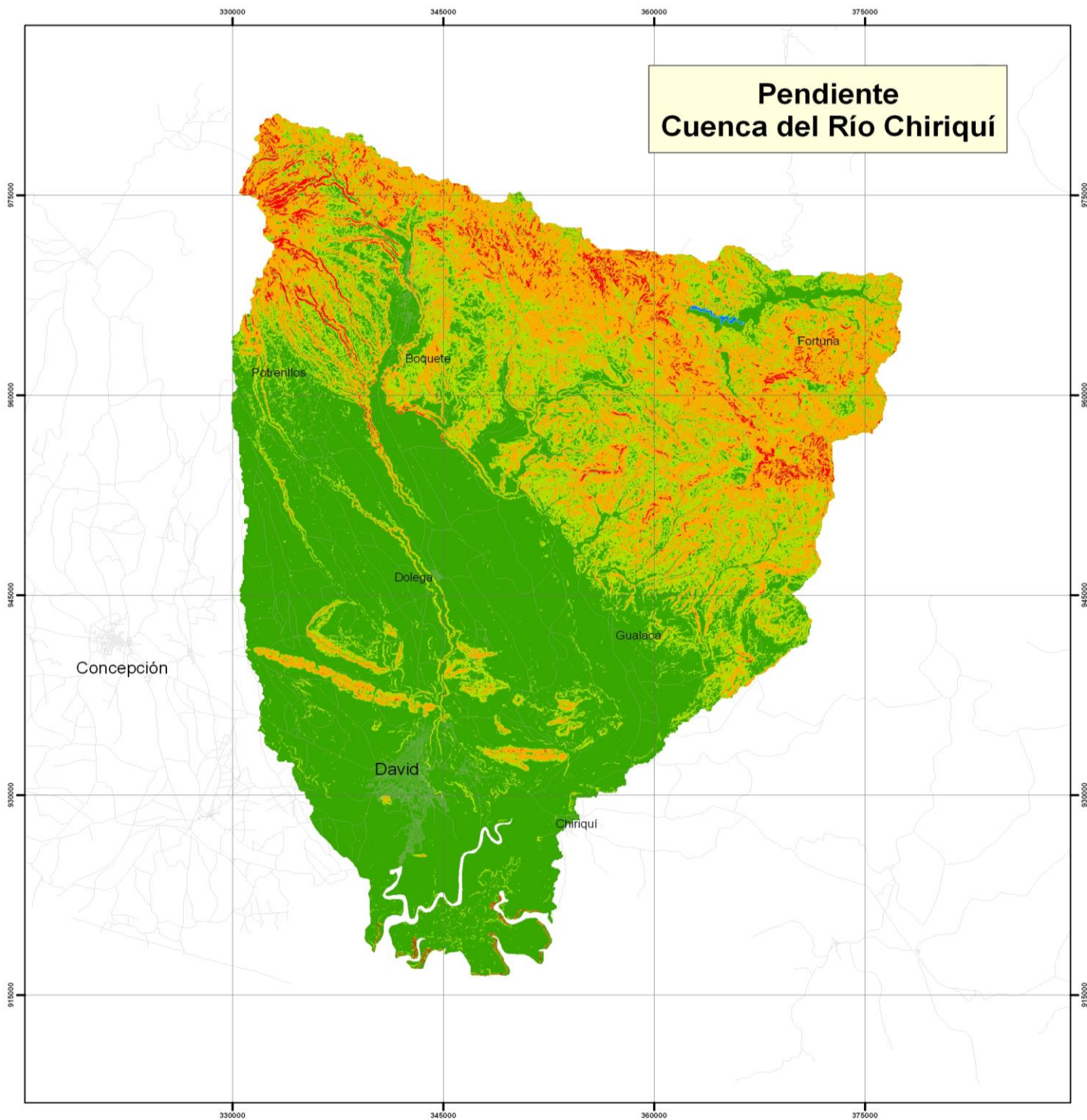
Localización Regional

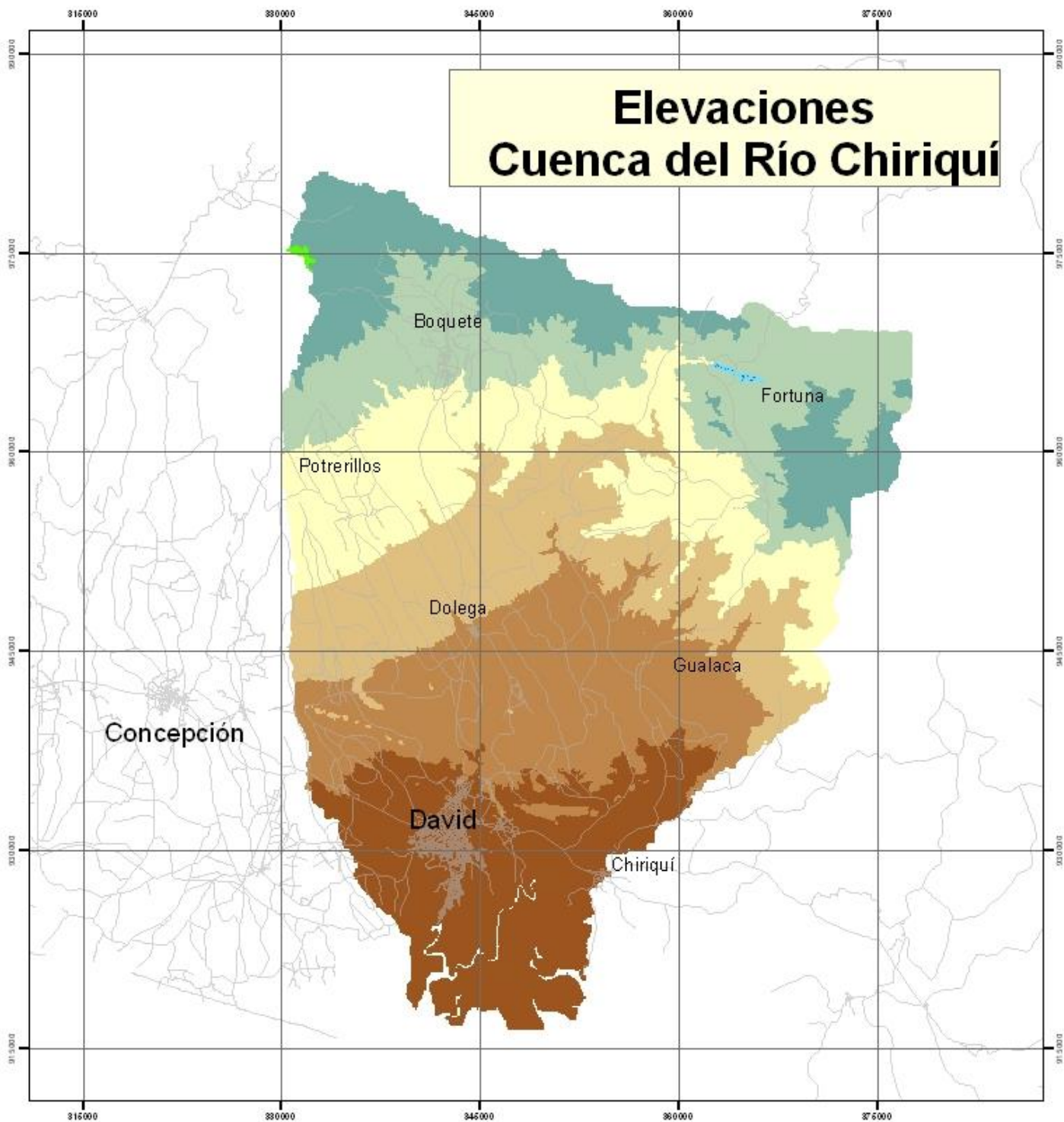


Esc. 1:340,000



Marzo, 2008





Elevaciones Cuenca del Río Chiriquí

Leyenda

msnm

	0 - 75		1,001 - 1,500
	76 - 250		1,501 - 3,000
	251 - 500		3,001 y más
	501 - 1,000		



Es c. 1:340,000

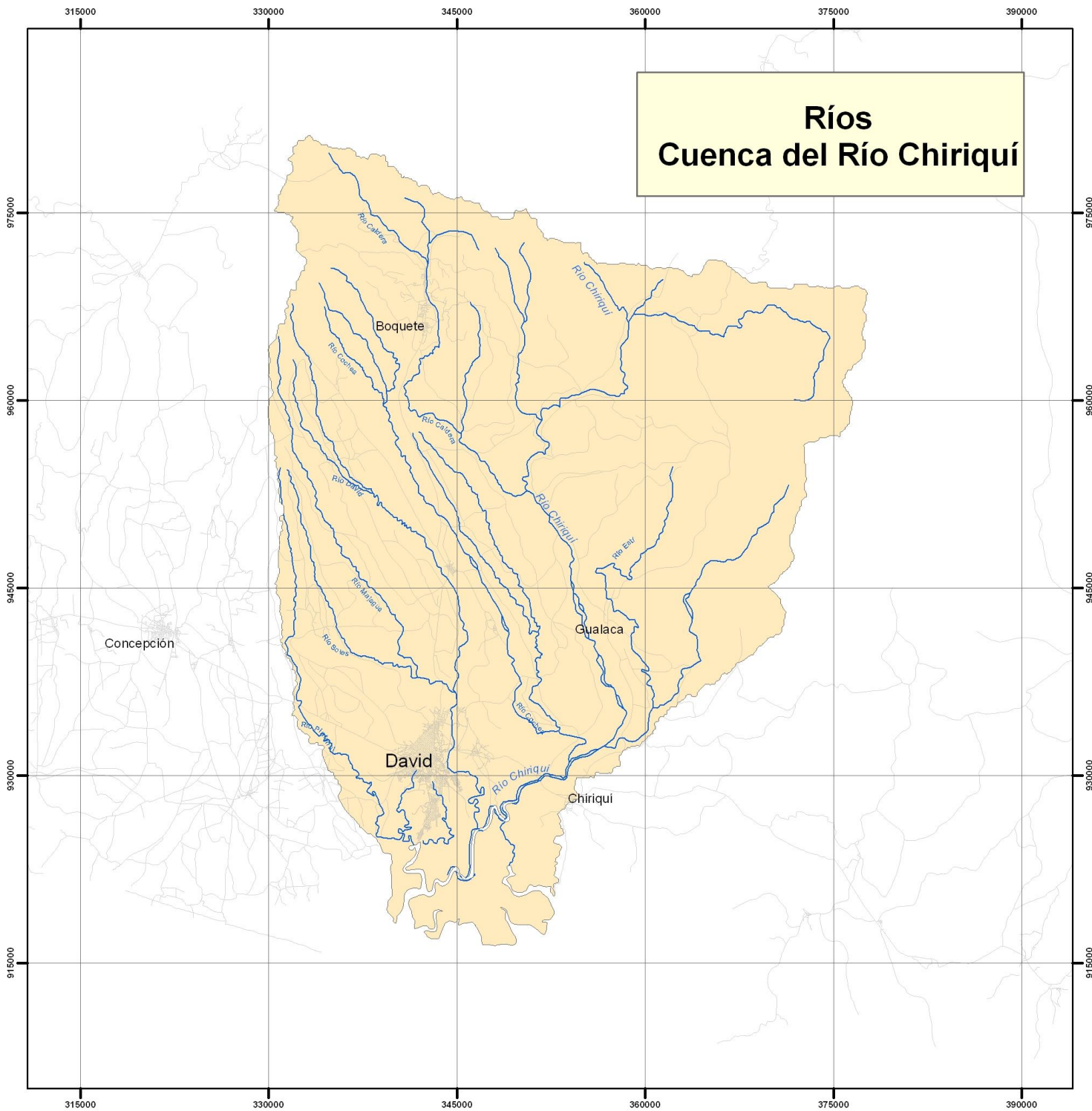
Marzo, 2008

2.6.5 Hidrología

Esta Cuenca posee drenajes principales como los ríos: Caldera, David, Cochea y Estí. Además tiene otros drenajes secundarios como los ríos: Majagua, Soles y Platanal. **Ver Mapa de Ríos.**

El río Caldera, que es un afluente de la cuenca alta del río Chiriquí, tiene una longitud de 46 km, con una precipitación de 3,124 mm y una altura en el área del volcán de 995 msnm (*ETESA, 2008*).

- **Densidad de Drenaje:** Este factor define la mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar las aguas provenientes de las precipitaciones que quedan sobre la superficie de la tierra, debido al grado de saturación de las capas del subsuelo, en este caso es de 0.2643 km/km²
- **Número de Orden del Cauce del Río Chiriquí:** Éste, cuenta con número de orden 6.
- **Perfil Longitudinal:** Esta longitud se obtiene de medir en un plano de 1:50,000 la trayectoria que describe el cauce. Para el Río Chiriquí, la longitud es de 108 kilómetros.



Leyenda

- Ríos
- Calles

Fuente: Atlas Nacional

Localización Regional



Esc. 1:340,000



Marzo, 2008

- **Caudal:** El Río Chiriquí cuenta con un caudal multianual de 131 m³/s. En febrero, el mes más seco, este río presenta un caudal promedio mensual de 44,3 m³/s. Por otro lado en el mes de octubre considerado el mes más lluvioso, presenta un caudal promedio mensual de 302 m³/s.

El perfil del cauce del río representa una superficie alargada, profundamente entallada (5-20 metros de profundidad) y de ancho variable, el cual puede alcanzar hasta 1.5 – 2 kilómetros en algunos sectores. Es observable que el Río Chiriquí sufre un cambio en su patrón de drenaje, el cual va en sentido sur, en la medida que transita por el dominio paisajístico de la altiplanicie, hacia el norte tiene mayormente un cauce único y meándrico, fuertemente controlado por la estructura geológica, en su tramo final (sur-oeste) al penetrar al paisaje de planicie, vuelve a tener un cauce único y meándrico, de anchura considerable.

2.6.6 Geomorfología y Geología

Al este de los ríos Caldera y Chiriquí se presenta un relieve alto, con elevaciones que oscilan entre 1,000 y 3,000 metros. Dentro del área se pueden mencionar el Cerro Estrella, en la cuenca del Río Los Valles con una altura de 2,250 metros, y el Cerro Hornito, en la cuenca del río Gualaca, cuyas alturas alcanzan hasta más de 2,000 metros. Al oeste; es decir, a la margen derecha de los ríos Calderas y Chiriquí, se destaca un relieve ligeramente inclinado, conformado por lavas volcánicas provenientes del Volcán Barú. Su topografía

permite clasificarla como una meseta de lava que según varios autores son geoformas que resultan del relleno de grandes flujos de lavas. El mismo autor añade que cuando las superficies son muy planas pueden ser denominadas llanuras de lava.

El 60% de la geología de esta cuenca corresponde a rocas ígneas, de la cual un 30% corresponde a un período terciario indiferenciado, un 20% del período pleistoceno y un 10% del terciario superior inferior-intrusivo. El restante 40% corresponde a rocas sedimentarias, del período terciario superior (20%) y del período cuaternario reciente (20%).

2.6.7 Suelos

Los suelos principalmente los de la zona alta son de origen volcánico, con un horizonte superficial negro, de aproximadamente 90 cm de profundidad, ricos en materia orgánica, los que se han formado debido a procesos edafogénicos. Los suelos tienen una textura franco-arenosa, con buen drenaje.

El resto de la cuenca se caracteriza por poseer suelo pardo limoso y limo arenoso con gravas, el cual se deriva directamente de la degradación de los aluviones finos.

Este suelo muestra un alto contenido de materia orgánica vegetal en cuyo caso adopta un color pardo muy oscuro. Posee una alta humedad y está cubierto por una vegetación arbustiva y de gramínea, con algunos relictos de bosque de túnel. Son suelos bien drenados, con baja a moderada capacidad de almacenamiento de humedad disponible y afectados por una ligera a moderada erosión laminar generalizada, su uso actual es principalmente para ganadería extensiva, agricultura de subsistencia y áreas de sabana arbustiva y matorrales.

A lo largo de esta cuenca los suelos se clasifican en diferentes clases:

- **CLASE II**, Arables, algunas limitaciones en la selección de las plantas, requiere conservación moderada.
- **CLASE III**, Arables, severas limitaciones en la selección de las plantas, requiere conservación especial o ambas cosas.
- **CLASE IV**, Arables, muy severas limitaciones en la selección de plantas, requiere de un manejo muy cuidadoso o ambas cosas.
- **CLASE V**, No arables, poco riesgo de erosión, pero con otras limitaciones, apta para bosques y pastos.
- **CLASE VI**, No arable, con limitaciones severas, apta para pastos, bosques, tierras de reserva.
- **CLASE VII**, No arables, con limitaciones muy severas, apta para pastos, bosques, tierras de reserva.

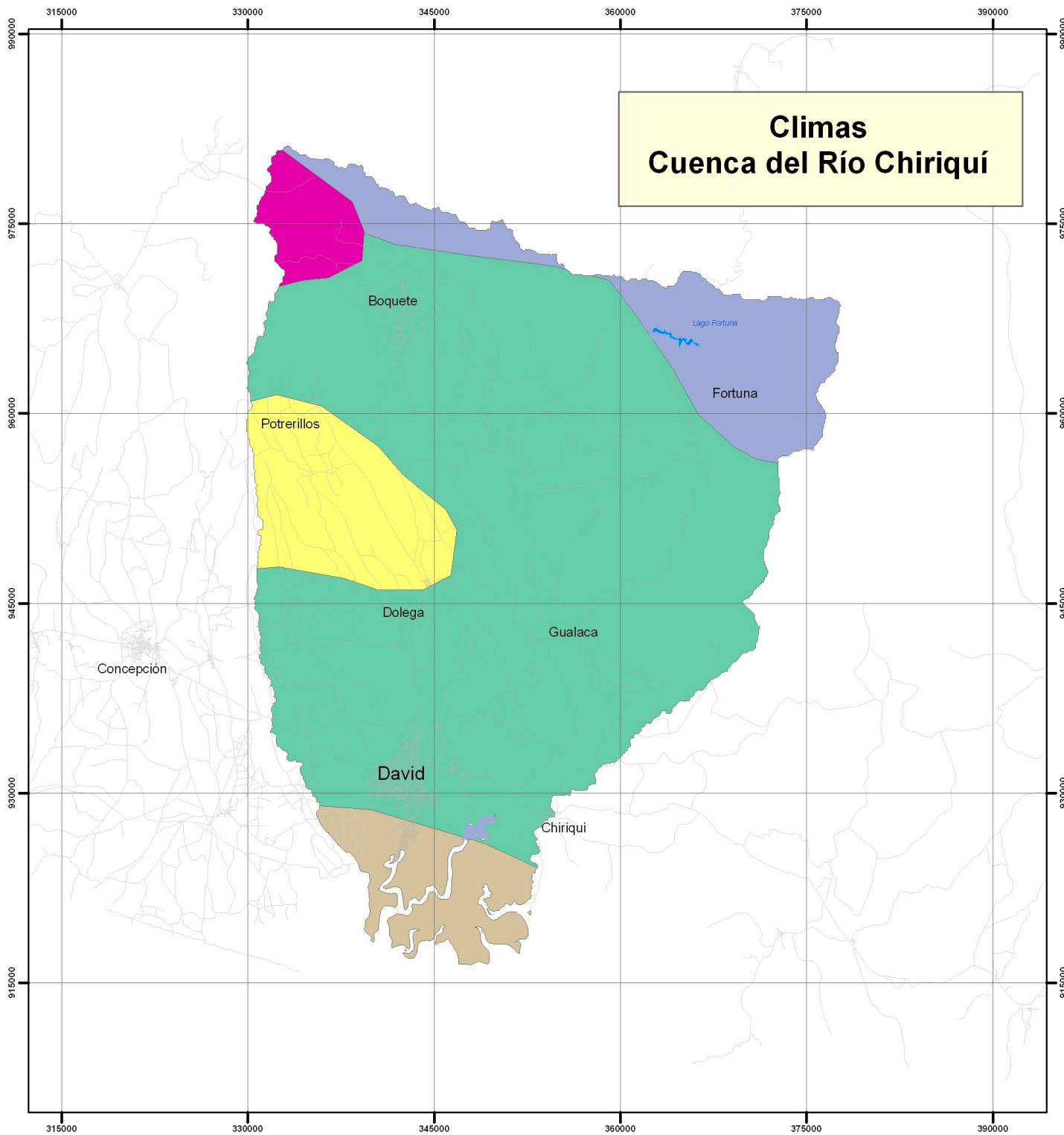
2.6.8 Cultivos

Se tiene la siguiente clasificación en la cuenca del Río Chiriquí:

- **TEMPORALES:** Los cultivos temporales ocupan una superficie de 4,977 ha. En la parte media de la cuenca se pueden encontrar cultivos como maíz, chayote, yuca y guandú. En la parte alta (600-2,600) cultivos como tomate, cebolla, papa, lechuga y repollo.
- **PERMANENTES:** Los cultivos permanentes ocupan 3,792 ha. Predomina café con 1,133.5 ha en áreas como Palmira arriba, Palmira Centro, Palmira abajo, Cañas verdes (Boquete), Potrerillos arriba, Brazo de Cochea, El burro, los Mameyes (Potrerillos) y Cochea. Los cítricos predominan en Potrerillos Arriba al igual que la caña de azúcar.

2.6.9 Clima

Según la clasificación climática de Köppen, a la cuenca del Río Chiriquí le corresponde en mayor porcentaje el **Clima Tropical Húmedo**, con 70.30%. **Ver Mapa de Climas.** El Clima Tropical Húmedo presenta una precipitación anual superior a los 2,500 milímetros, con uno o más meses con precipitaciones menores a 60 milímetros, en él encontramos frondosos bosques en galerías en las orillas de los cursos de agua así como una vegetación muy variada y abundante. Por otro lado el **Clima Templado muy Húmedo de Altura**, con un porcentaje de 11.47, se caracteriza por una alta precipitación, donde el mes más seco tiene una precipitación superior a 600 milímetros.



Climas Cuenca del Río Chiriquí

Leyenda

- Clima Tropical muy Húmedo
- Clima Tropical Húmedo
- Clima tropical de Sabana
- Clima Templado muy Húmedo de Altura
- Clima Templado Húmedo de Altura

Fuente: Atlas Nacional
Clasificación según KÖPPEN

Localización Regional

Mar Caribe
Golfo de Panamá

Esc. 1:340,000

Marzo, 2008

De igual manera se presentan en la Cuenca el **Clima Tropical muy Húmedo** con 9.19 %, el **Clima Tropical de Sabana** con 5.98 % que muestra un período seco prolongado y el **Clima Templado Húmedo de Altura**, con un porcentaje de 3.05 presentando lluvias que disminuyen su intensidad durante uno o dos meses al año (**Cuadro II**).

CUADRO II. TIPOS DE CLIMA EN LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.

Tipos de Clima	Superficie	
	Hectáreas	Porcentaje
Clima tropical muy Húmedo	17,694.08	9.19
Clima Tropical Húmedo	135,337.84	70.30
Clima Tropical de Sabana	11,513.69	5.98
Clima Templado muy Húmedo de Altura	22,083.61	11.47
Clima Templado Húmedo de Altura	5,880.77	3.05
Total	192,510.00	100

Fuente: Elaboración propia.

2.6.10 Uso del Agua

El uso del Río Chiriquí en la parte media está dedicado principalmente a la ganadería extensiva y la parte alta de la cuenca está despoblada, siendo el principal uso la generación de energía. En el **Cuadro III** se presentan las principales centrales hidroeléctricas de la Cuenca del Río Chiriquí, con su capacidad instalada y el porcentaje que representan del total del país.

Cuadro III. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.

Planta	Capacidad Instalada (MW)	% del total
Fortuna	300	19.8
Estí	120	7.9
La Estrella	47.2	3.1
Los Valles	54.8	3.6
Dolega	3.1	0.2
Arkopal	0.68	0.04

Fuente: Periódico La Prensa, 2008.

Cabe mencionar que las aguas del Río Chiriquí también son utilizadas para consumo humano, contando con plantas de tratamiento de agua potable en los distritos de Gualaca, David y Dolega.

2.6.11 Flora

Sin duda alguna la flora mejor conocida después de la provincia de Panamá, es la de la provincia de Chiriquí. Son muchos los estudios que se han llevado a cabo en la provincia, tanto en tierras bajas como en las tierras altas de la provincia. Sitios como Volcán, Boquete, Fortuna, Cerro Punta, Cerro Colorado, y otros son conocidos no solamente a nivel nacional sino a nivel internacional. Todos estos sitios forman parte de la cordillera de Salamanca, sitio de gran riqueza biológica y alto endemismo.

El dato más reciente sobre la cantidad de especies reportadas para la provincia de Chiriquí, es el de **Correa (2001) citado por ANAM (2003)**, quien establece que la cantidad de especies es de 3,258 especies de angiospermas, de las cuales 358 especies son endémicas de la provincia. Siendo este, el segundo valor más grande en cuanto a especies endémicas para una provincia.

En la actualidad el sitio mejor estudiado o colectado de la provincia es la región de Fortuna, con más de 1,000 especies reportadas.

2.6.12 Vegetación

En la Cuenca del Río Chiriquí, la superficie la abarcan áreas de cultivos de sabana y vegetación pionera; un 40 % es abarcado por bosques peremnífolios (subtropicales 30 % y tierras altas 10 %), mientras que un 9 % son bosques y tierras inundables; el resto son zonas urbanas.

En muchas áreas pueden verse especies arbóreas, muchas de las cuales tienen algún uso como madera o leña o para la construcción de casas rurales, entre las que cabe señalar: Espavé (*Anacardium excelsum*), Corotú (*Enterolobium cyclocarpum*), Laurel (*Cordia allidora*), Roble de Sabana (*Tabebuia rosea*), Panamá (*Sterculia apetala*), como las más comunes.

En reportes del **INRENARE** (1995), la provincia de Chiriquí mantiene un 13.6% de su superficie cubierta de bosque, principalmente en las Áreas Naturales Protegidas.

2.6.13 Uso del Suelo y Cobertura Boscosa

La cuenca del Río Chiriquí se caracteriza por presentar amplias zonas dedicadas al uso agropecuario donde predomina una cobertura vegetal de pastos, en segundo lugar se encuentran los bosques maduros, que se localizan en la parte alta de la cuenca y los bosques intervenidos que se observan en la parte media y alta de la cuenca. Además se presentan áreas con rastrojos

compuesta por vegetación arbustiva o árboles pequeños que se aprecian en la parte media y baja de la cuenca.

Por otro lado los manglares, se ubican al sur de la ciudad de David en la desembocadura del Río Chiriquí.

2.6.14 Zonas de Vida

La Cuenca del Río Chiriquí, se caracteriza por tener una amplia gama de ecosistemas desde áreas al nivel del mar como los ecosistemas marino costeros, pasando por valles y planicies altamente productivos, hasta áreas de altas montañas. Esta cuenca posee ocho Zonas de Vida, según la clasificación de L.R.Holdridge.

Las Zonas de Vida de Panamá, están ubicadas en el región latitudinal Tropical, se diferencian según las provincias de humedad (Pluvial, Muy Húmedo, Húmedo y Seco) determinadas por la cantidad de precipitaciones y los pisos altitudinales (Basal, Premontano, Montano Bajo y Montano).

El **Bosque muy Húmedo Premontano** es la zona que presenta la mayor superficie de la Cuenca, con un porcentaje de 59.30. La línea de elevación superior de ésta formación se da entre los 1,300 a 1,600 metros sobre el nivel

del mar con una biotemperatura media anual de unos 17,5 °C y una precipitación promedio entre los 2,000 a 4,000 milímetros.

Las tierras bajas presentan **Bosques Húmedos Tropicales**, mostrando un porcentaje de 20.12, que es el bioma más complejo de la tierra y la principal zona de vida de nuestro país en términos de su estructura y diversidad de especies y predominan árboles grandes, dispersos en áreas de potrero o formando bosques de galería que circundan los ríos.

CUADRO IV. ZONAS DE VIDA DE LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.

Zonas de Vida	Superficie	
	Hectáreas	Porcentaje
Bosque Húmedo Tropical	38,727.45	20.12
Bosque muy Húmedo Montano	13.15	0.01
Bosque muy Húmedo Montano Bajo	5,846.15	3.04
Bosque muy Húmedo Premontano	114,153.55	59.30
Bosque muy Húmedo Tropical	6,680.72	3.47
Bosque Pluvial Montano	1,581.43	0.82
Bosque Pluvial Montano Bajo	12,559.85	6.52
Bosque Pluvial Premontano	12,933.06	6.72
Total	192,495.36	100.00

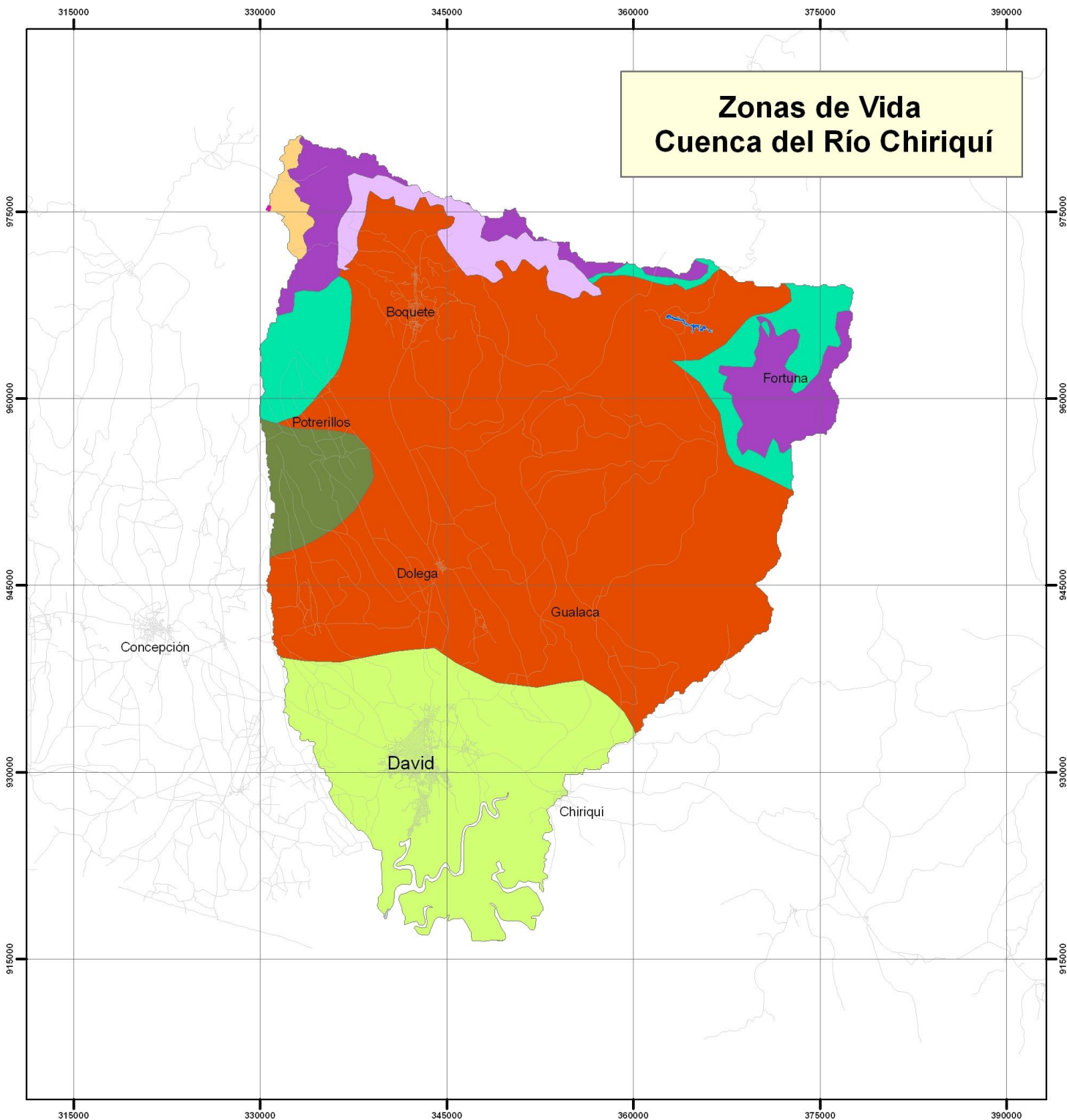
Fuente: Elaboración Propia.

Con menor porcentaje en superficie dentro de la Cuenca se encuentran el **Bosque Muy Húmedo Montano** y el **Bosque Pluvial Montano**, con 0.01 % y 0.82 % respectivamente. A estas zonas, no se les concede importancia económica, debido a las condiciones ambientales y el difícil acceso a las mismas. La vegetación es virgen y cubre prácticamente toda el área, siendo el valor de la misma el de proteger y regular el régimen hidrológico, por lo que gran parte de ellas han sido incluidas dentro del Servicio Nacional de Áreas Protegidas en sus categorías especiales. **Ver Mapa de Zonas de Vida.**

2.6.15 Áreas Naturales Protegidas

La provincia de Chiriquí cuenta con un sinnúmero de Áreas Naturales Protegidas bajo alguna categoría de manejo. Pero las más conocidas a nivel nacional son el **Parque Internacional La Amistad (PILA)**, **Parque Nacional Volcán Barú** y la **Reserva Forestal Fortuna**. Adicionales a estas áreas se encuentran otras como el Parque Nacional Golfo de Chiriquí, dos refugios de vida silvestre, La Barqueta Agrícola y Playa de Boca Vieja.

Sin embargo, el Parque Internacional La Amistad es compartido con la provincia de Bocas del Toro. La provincia de Chiriquí solo cuenta con el 3 % de la superficie total de este Parque que representan solamente 6,210 ha y se ve fuertemente presionado por la ampliación de la frontera agrícola que va en detrimento de la cobertura boscosa del parque y por ende de la provincia.



Leyenda

Bosque muy Húmedo Premontano	Bosque muy Húmedo Montano
Bosque Muy Húmedo Tropical	Bosque Pluvial Montano
Bosque Húmedo tropical	Bosque Pluvial Montano Bajo
Bosque Muy Húmedo Montano Bajo	Bosque Pluvial Premontano

Fuente: Atlas Nacional
Clasificación según L.R. HOLDRIGE

Localización Regional

Esc. 1:340,000

Marzo, 2008

El Parque Nacional Volcán Barú, cuenta con aproximadamente unas 14,000 hectáreas. Al igual que el PILA, presenta grandes áreas con fincas dentro de sus límites con actividades ganaderas o agrícolas. Su superficie boscosa cada año se ve diezmada por los incendios forestales, ya sean provocados o naturales, que afectan su cobertura boscosa.

El Parque Nacional Marino Golfo de Chiriquí, con una extensión de 17,740 hectáreas, comprendiendo islas y áreas marinas. Entre las islas están la isla Parida y Paridita, Santa Catalina, Pulgoso, Gámez, Tintorera, Obispo, entre otras, las cuales conforman el archipiélago de las islas Paridas.

El área mejor protegida y conservada de la provincia es, sin duda alguna, la Reserva Forestal Fortuna. Esta posee una extensión de 19,500 hectáreas, constituidas por bosques nubosos secundarios y primarios. Su papel en la regulación y protección del recurso hídrico es de vital importancia para la hidroeléctrica. Por su altísima biodiversidad, hoy día es reconocida como zona núcleo de la Reserva Mundial de la Biósfera y parte del Corredor Biológico Mesoamericano.

2.7 El Recurso Forestal de Panamá

El recurso forestal de Panamá está constituido por los bosques naturales, las plantaciones establecidas y por las áreas con suelos de aptitud forestal y ahora dedicadas a otros usos. (**Ramírez, 2003**)

Por otro lado, las provincias con mayor superficie de cobertura boscosa son Darién, Panamá, Bocas del Toro y la Comarca Emberá-Wounaan, señalado por **Ramírez (2003)**, que contienen el 62% de los bosques del país. Sin embargo, dos de estas provincias, Darién y Panamá, presentan al mismo tiempo las tasas de deforestación más alta del país, incluyendo también la Comarca Ngöbe-Buglé.

El manejo de los recursos naturales es uno de los principales problemas que afronta actualmente Panamá. El importante crecimiento demográfico, la pobreza estructural, la debilidad de sectores alternativos a la agricultura, la alta concentración de la propiedad de la tierra y la inexistencia de vigilancia y control en áreas naturales, son algunas de las diversas causas que propician el deterioro ambiental y los altos índices de deforestación.

2.7.1 Importancia de los Bosques

La **FAO (2007)**, señala que en el caso específico de los bosques, estos juegan un papel importante en la conservación del medio ambiente, ya que

regulan las corrientes de agua, tienen un efecto moderador en el clima a escala mundial y local, y favorecen la conservación de los suelos previniendo la erosión. Además, son el hogar de numerosas especies de plantas y animales que se encuentran amenazadas y otras, aún desconocidas.

Los bosques realizan una aportación valiosa al desarrollo sostenible en todas partes del mundo. La mayoría de los países destinan sus bosques a usos múltiples y se está prestando creciente atención a la conservación del suelo, el agua, la diversidad biológica y otros valores medioambientales. Sin embargo la disminución constante de bosques primarios en la mayoría de los países tropicales es motivo de grave preocupación. *(Ramirez, 2003)*.

2.7.1.1 Bosques Maduros

Es una formación boscosa que no ha sufrido alteraciones por acción directa del hombre, especialmente en lo que se refiere a la extracción de productos forestales, como madera y otros *(INRENARE, 1998)*.

2.7.1.2 Bosques Secundarios

Masa forestal que se desarrolla naturalmente después de la desaparición total o parcial de otra anterior, cuyas características, en cuanto a composición y tamaño son diferentes a la masa arbórea que reemplaza. Es una formación vegetal constituida por especies herbáceas leñosas, arbustivas y arbóreas y está

representada por especies pioneras de rápido crecimiento y pueden contener árboles dispersos aprovechables de diversos tamaños y especies (**INRENARE, 1998**).

TOB (2000) citado por Wadsworth (2000), menciona que los bosques secundarios cumplen con diversas funciones de protección. De acuerdo al sitio, a su extensión y a sus características, los bosques secundarios son un hábitat, un refugio o un corredor para animales y plantas, reducen la erosión del suelo y protegen el ciclo del agua. Sirven como sumidero de carbono y como zona de amortiguamiento de áreas protegidas. Además, en algunos casos los bosques secundarios cumplen un rol en el turismo y la recreación.

2.7.1.3 Bosques de Galería

Son fragmentos de vegetación, generalmente estrechos que bordean regular o irregularmente el cauce del río o de las quebradas, de estructura bastante desarrollada.

2.7.1.4 Manglares

Un manglar es una agrupación de árboles que poseen ciertas adaptaciones que les permiten sobrevivir y desarrollarse en terrenos anegados (terrenos

inundados o inundables) que están sujetos a intrusiones de agua salada o salobre. Entre sus adaptaciones podemos mencionar las siguientes:

- Tolerancia a altos niveles de salinidad.
- Raíces aéreas que estabilizan al árbol en terrenos blandos.
- Semillas flotantes (plántulas).
- Estructuras especializadas para permitir la entrada de oxígeno y la salida de bióxido de carbono (lentícelas y neumatóforos) **(Ríos, 1984)**.

2.7.2 La Deforestación

La deforestación consiste en la destrucción de bosques por tala o quemado, y va acompañada por el avance tecnológico, que a su vez plantea nuevos y más graves problemas **(Montes de Oca, 1997)**.

La deforestación es causada en gran manera por el crecimiento paulatino de la población humana de una región, además de otros tipos de uso de la tierra como cultivos a gran escala y la ganadería extensiva que provocan una degradación en los suelos. **(Pacheco, 1998)**.

Por otro lado **(Marcano, 2008)**, señala que la deforestación no tiene que ver solamente con la pérdida de árboles sino que también tiene un gran impacto sobre el ambiente.

2.7.2.1 La Deforestación en Panamá

Ramirez (2003), explica que los registros existentes en Panamá, desde 1850 nos indican que el área de bosques ha disminuido a gran velocidad. En ese año se estimó que los bosques cubrían el 91% del área del país, incluso después de haber sufrido un severo proceso de deforestación producido por la colonización española, que comenzó en el siglo XVI. Durante el siglo XX la disminución fue muy notoria debido a que entre 1947 y 1970 la cobertura boscosa se redujo de 70% a 53%. En el año 2000 la superficie boscosa del país alcanzaba apenas 45% de la superficie total del país, o sea la mitad de la cobertura forestal hace 150 años atrás.

Según el **Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Panamá (2003)**, el proceso de degradación de los recursos ha ido en aumento en las últimas décadas, observándose la intervención de las áreas pertenecientes a los bosques de galería para expansión de las actividades agrícolas. Esto ha ocasionado un agotamiento de la fertilidad del suelo, sedimentación en los afluentes y una reducción considerable del caudal en estación seca.

Hay muchos factores que generan la pérdida y destrucción de bosques naturales en Panamá. En el **Plan de Acción Nacional Sobre la Diversidad Biológica de Panamá (2000)**, el gobierno de Panamá constata que la

deforestación ha alcanzado una tasa promedio de 50,000 hectáreas anuales, debido principalmente a la demanda de tierras para la agricultura y ganadería extensiva, la demanda de leña, la expansión urbana e industrial, el desarrollo de obras de infraestructura y la sobre explotación de la riqueza forestal.

2.7.2.2 Deforestación en la Provincia de Chiriquí

La provincia de Chiriquí presenta poca cobertura boscosa, concentrándose principalmente en la cordillera central y también pueden verse fragmentos de bosques en muchas partes de la provincia.

Para el año 1998, el porcentaje de cobertura boscosa era tan bajo que solo alcanzaba un 12% de su superficie (**ANAM, 2003**).

Por otro lado, **ANAM (2003)**, señala que el que la provincia esté casi completamente desforestada se debe principalmente a que la provincia se considera como un polo de desarrollo agropecuario, que necesita más tierras cada vez, lo que ha ejercido una gran presión sobre todas las áreas boscosas existentes en la provincia. Aún cuando en la actualidad las grandes masas boscosas presentes en la provincia solo se encuentren dentro de las Áreas Naturales Protegidas.

III. METODOLOGÍA

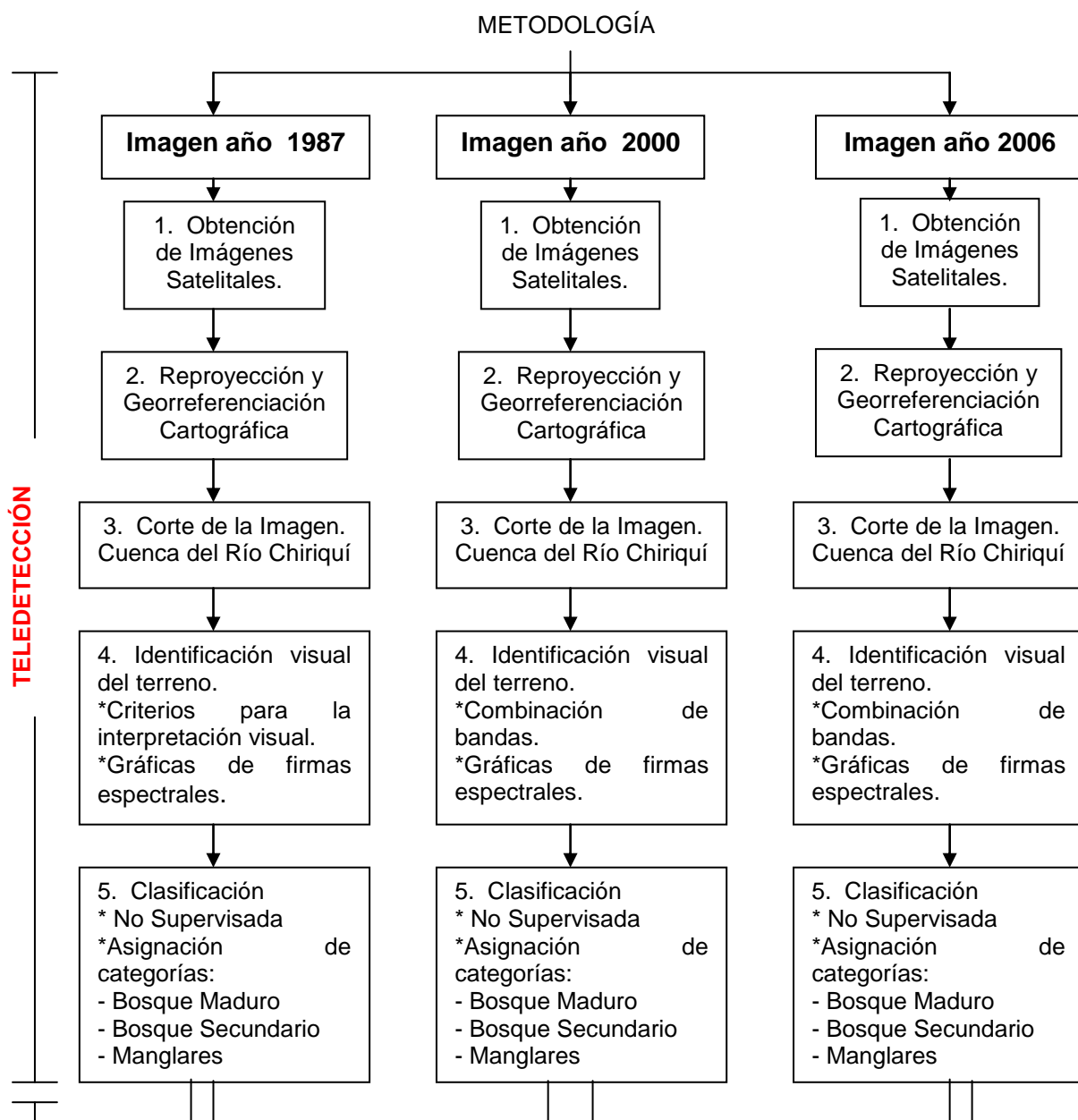
3.1 Localización del Estudio

El estudio se realizó en la Cuenca del Río Chiriquí, ubicada en la Provincia de Chiriquí, en la parte occidental de la República de Panamá, entre las coordenadas 8° 15' y 8°53' de latitud norte y 82°10' y 82°33' de longitud oeste, por medio de imágenes satelitales de los años 1987, 2000 y 2006, de la Cuenca.

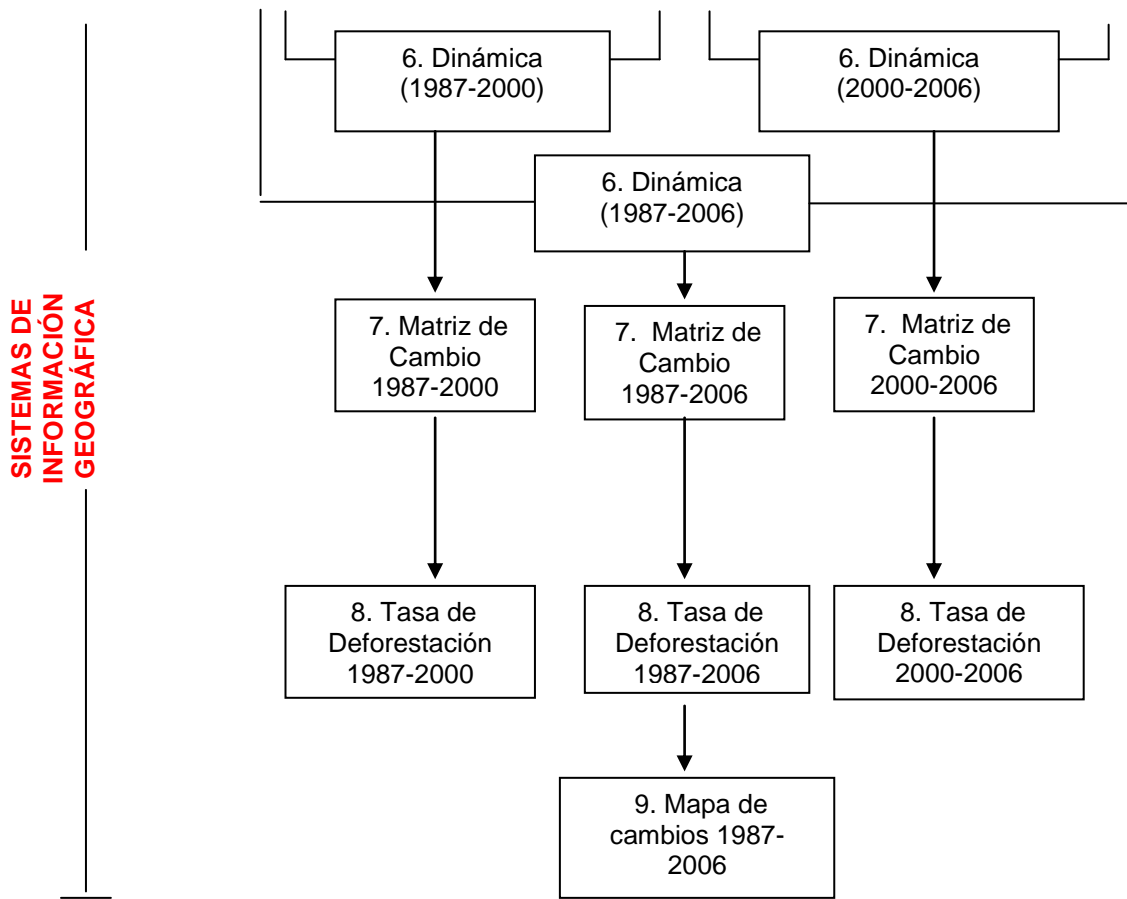
El análisis de los datos se realizó en la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), en la Unidad de Sensores Remotos, bajo la supervisión del Geógrafo Profesional Raúl Martínez, por medio de los Software ERDAS IMAGINE 8.5 y Arc Gis 9.1, que se utilizaron como herramienta para facilitar dicho estudio.

Metodología Experimental

A continuación se muestra la metodología empleada para realizar este estudio, para cada imagen se efectuaron los siguientes pasos:



Continuación...



Para facilitar el estudio de la dinámica de la Cobertura Forestal de la Cuenca del Río Chiriquí, se dividió el mismo en dos secciones. La primera sección basada en la técnica de **Teledetección**, que se realizó utilizando el Software ERDAS IMAGINE 8.5 y la segunda parte del estudio se basó en el empleo de los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, utilizando el Software Arc GIS 9.1.

TELEDETECCIÓN

3.2.1 Obtención de Imágenes Satelitales

El estudio se inició con la adquisición de imágenes satelitales de la cuenca del Río Chiriquí proporcionadas por el **Nodo Servir de la Nasa**, instalado en Panamá y con el apoyo del Geógrafo Profesional Raúl Martínez de la Unidad de Sensores Remotos de la **Autoridad del Canal de Panamá (ACP)**.

3.2.1.1 Imágenes Satelitales Utilizadas

Se utilizaron imágenes satelitales tipo **Landsat TM**, correspondiente a los años **1987, 2000 y 2006**, las cuales nos permitieron tener una cobertura general del área de la provincia de Chiriquí, con una representación de la superficie terrestre en siete diferentes bandas del espectro electromagnético.

Todas las imágenes de satélite tienen un parecido a la forma de presentación de una imagen fotográfica común. Las imágenes **Landsat** pueden ser presentadas tanto en formato de papel fotográfico, para la aplicación de análisis

visual o bajo una computadora donde se tiene acceso para la realización de análisis digital.

La representación digital de una imagen es un conjunto de números, con valores de 0 a 255 que representa la intensidad de reflexión que llega al sensor desde la superficie terrestre. Este conjunto de números esta representado por puntos y cada punto es llamado “**píxel**” (del ingles “picture elements”). El valor de cada píxel es siempre un numero entero, y para imágenes TM Landsat representa una superficie en terreno de **30x30 metros (Chuvienco, 1990)**.

FIGURA 19. IMAGEN LANDSAT™ del año 1987.

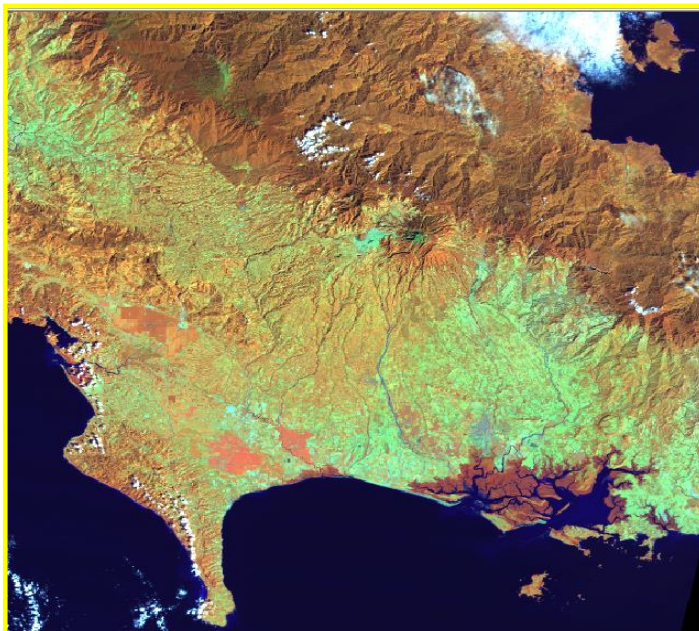


FIGURA 20. IMAGEN LANDSAT™ DEL AÑO 2000.

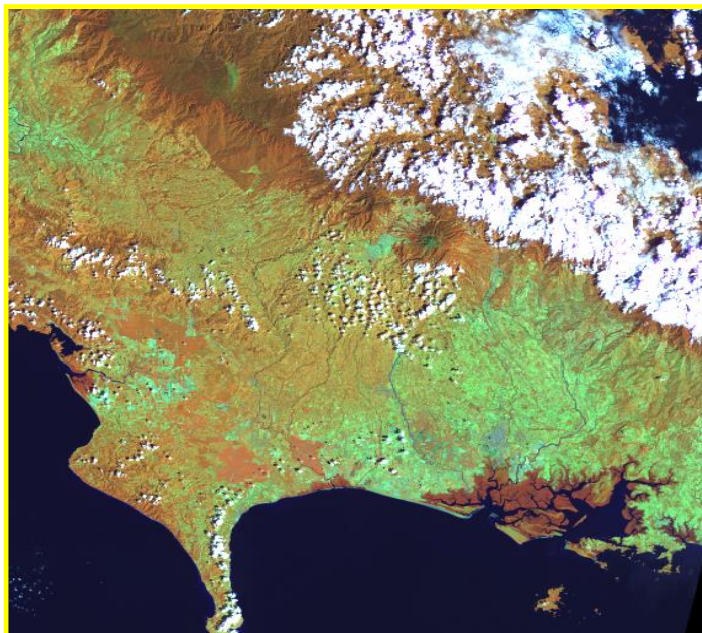


FIGURA 21. IMAGEN LANDSAT™ DEL AÑO 2006.



3.2.2 Reproyección y Georreferenciación Cartográfica

Previamente a la interpretación de la imagen, se debe proceder a la **reproyección cartográfica**, que es el proceso de proyectar los datos en un plano de acuerdo con un sistema de coordenadas cartográficas. Para el caso de Panamá está definido de la siguiente manera:

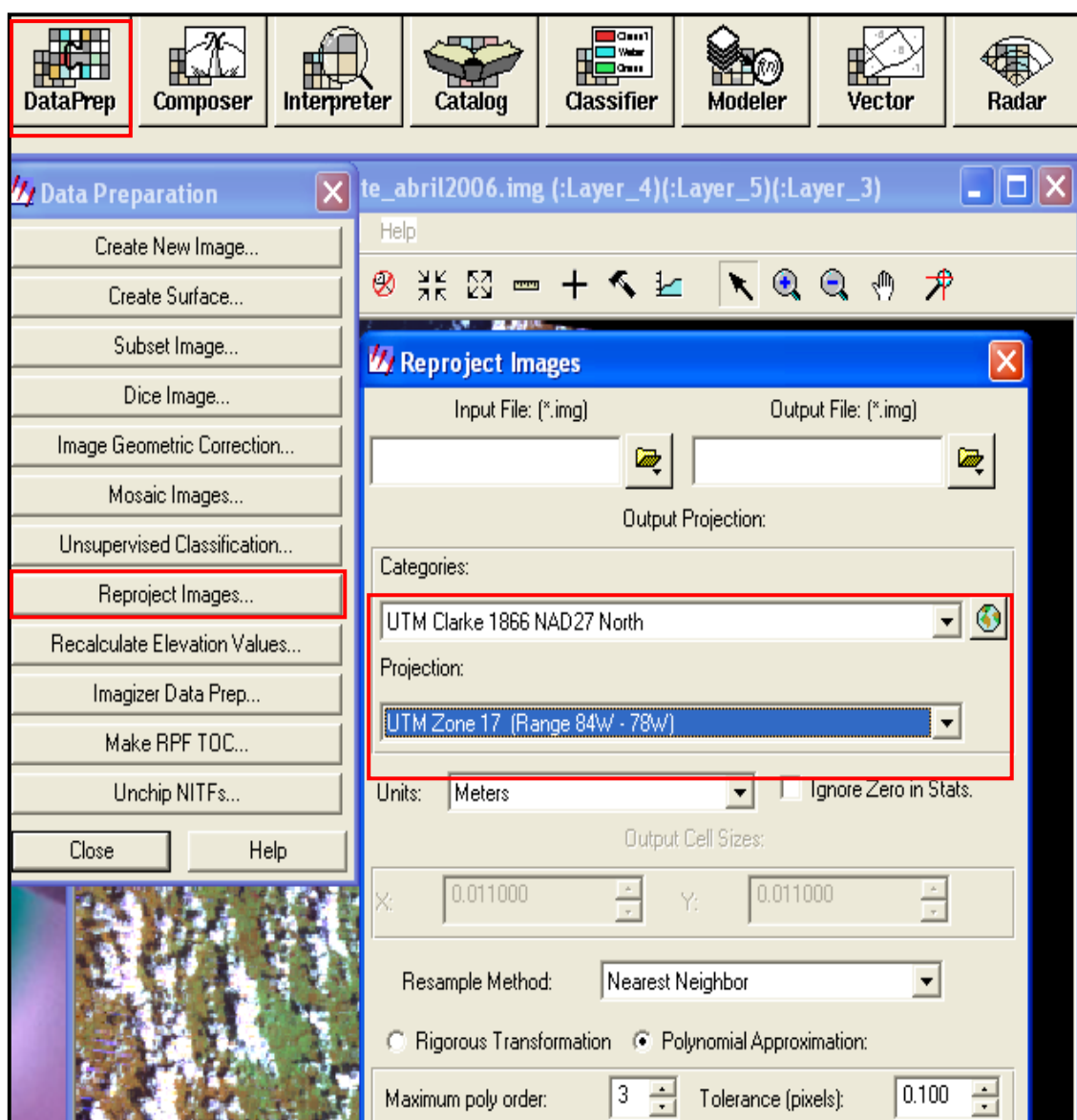
- **Categoría:** UTM CLARKE 1866 NAD 27 North.
- **Proyección:** UTM Zone 17 (Range 84W – 78W).

En nuestro país los sistemas de coordenadas utilizados habitualmente son el Sistema de Coordenadas Geográficas (**latitud y longitud**) y la Universal Transversal de Mercator (**UTM**) definidos por el Instituto Geográfico Tommy Guardia.

La **georreferenciación** es el proceso que permite ubicar en un sistema de coordenadas a las capas temáticas con las cuales se va a trabajar, dándole a cada punto en el plano un par de coordenadas espaciales (**Chuvieco, 2006**).

En la **Figura 22**, se muestra la utilización del Software ERDAS IMAGINE 8.5, ejecutando el procedimiento de reproyección cartográfica de una de las imágenes.

FIGURA 22. REPROYECCIÓN DE LA IMAGEN. SOFTWARE ERDAS IMAGINE.



Es importante recordar que el formato de la escena no corresponde a la orientación Norte-Sur, sino a la trayectoria relativa seguida por el satélite, en la que, además de la inclinación de su órbita, interviene el propio giro de la Tierra. Es decir que las imágenes suelen presentarse en forma romboidal, con una ligera inclinación de sus bordes laterales hacia el NE, que resultarán ser paralelos a la traza del satélite, la cual pasará por el centro de la escena.

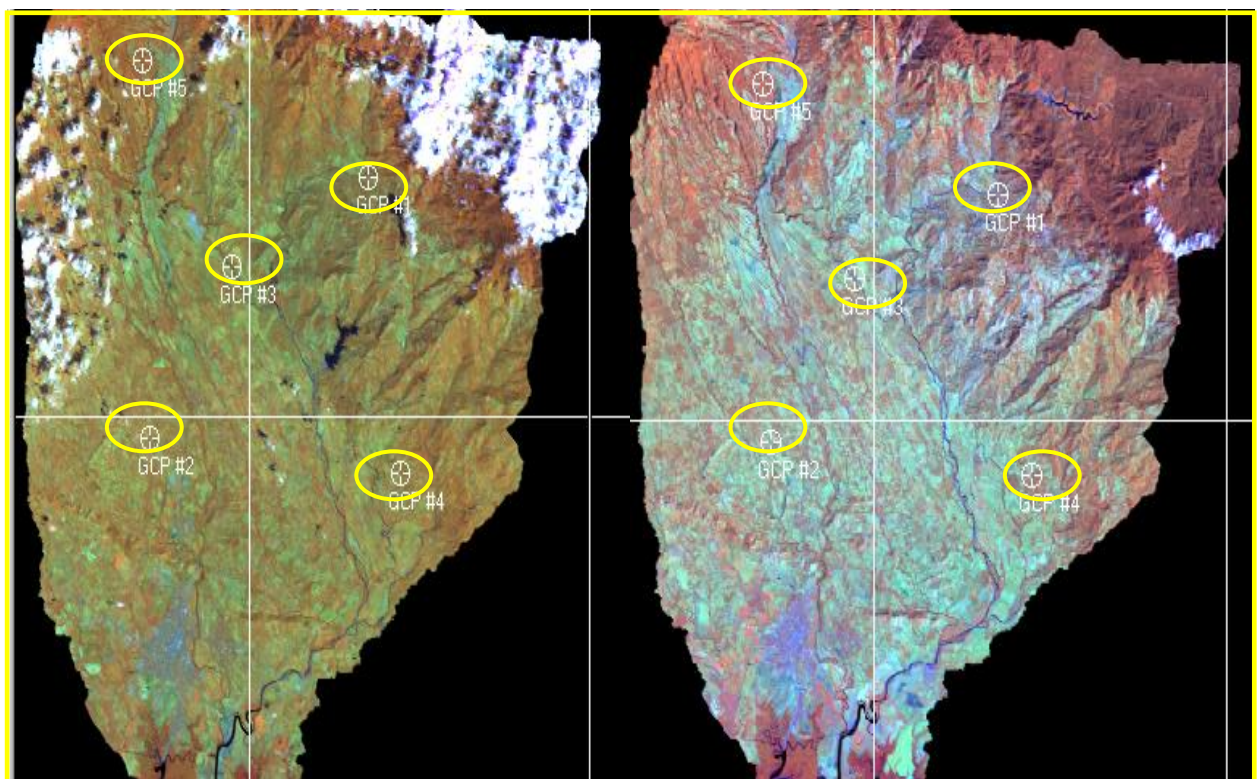
Cuando el sensor toma la imagen de la superficie las mismas no están posicionadas, es decir no presentan coordenadas espaciales. La asignación de coordenadas se realizó de un mapa con escala de 1:50,000. La corrección geométrica de la imagen es un procedimiento imprescindible para que se pueda superponer posteriormente sobre ella cualquier información geográfica auxiliar o para hacer posible un estudio multitemporal entre dos o más imágenes como es nuestro caso.

El procedimiento de georreferenciación se realizó de la siguiente manera: Se dispone una imagen de referencia (**imagen satelital año 1987**) y la imagen a georreferenciar (**imagen satelital año 2006**). Se coloca una imagen a lado de la otra para mejor visualización. En la imagen de referencia se ubican **puntos de control**¹. Es muy importante destacar que los puntos tienen que estar

¹ Los puntos de control son una serie de puntos utilizados en la búsqueda de las funciones de transformación que permitan la corrección de las distorsiones de una imagen.

distribuidos en la imagen de una forma homogénea y obteniendo como resultado un error promedio menor de 0.02.

FIGURA 23. PROCESO DE GEORREFERENCIACIÓN PARA LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.



La imagen de la izquierda corresponde a la imagen satelital del año 2006, que en nuestro estudio era la imagen a georreferenciar. Por otro lado la imagen de la derecha corresponde a la imagen satelital del año 1987, que era la imagen de referencia. Los círculos señalados en la imagen corresponden a los puntos de control ubicados de manera homogénea.

En este procedimiento **se** deben tomar puntos que sean fáciles de ubicar en las dos imágenes como: intersecciones de obras de infraestructura (cruce de caminos, autopistas, cruce de puentes con vías de comunicación) y **NO** se deben tomar puntos como accidentes geográficos por cuanto su forma y distribución pueden variar.

3.2.3 Corte de la Imagen de la Cuenca

Después de georreferenciadas las imágenes, se realizaron los cortes de cada una de ellas con la forma exacta de la Cuenca de interés que en este caso es la del Río Chiriquí. Este procedimiento se llevó a cabo con la ayuda del **Software ERDAS IMAGE 8.5**, por medio de la herramienta llamada **AOI** o área de interés que es un vector diseñado con la forma de la Cuenca.

FIGURA 24. CORTE DE LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ. AÑO 1987.

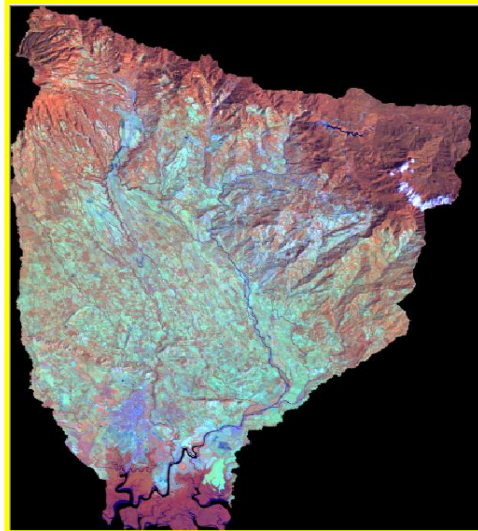


FIGURA 25. CORTE DE LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ. AÑO 2000.

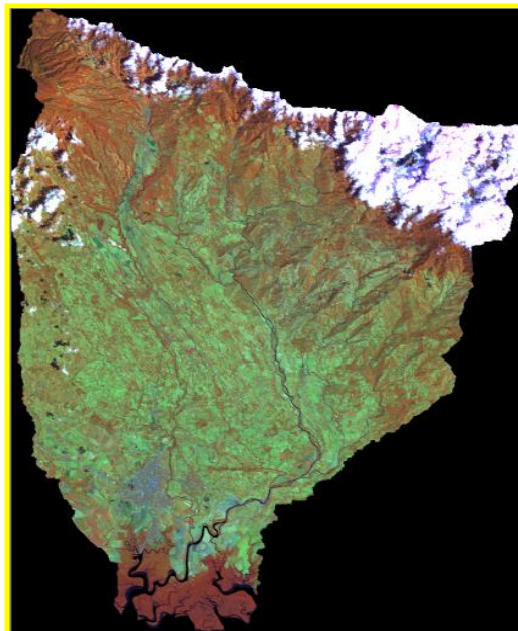
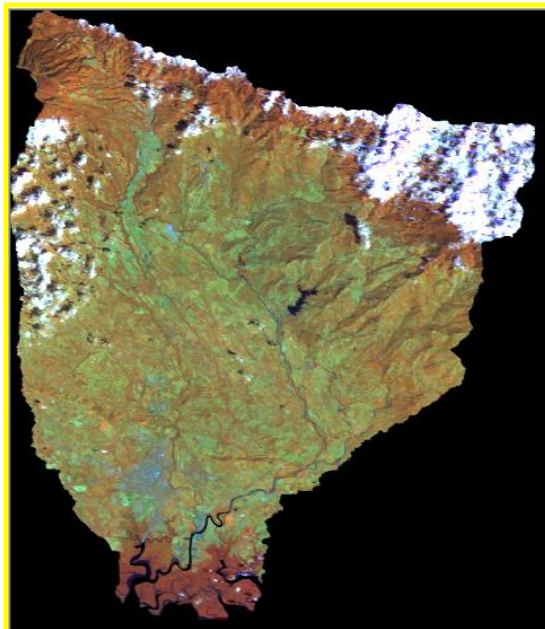


FIGURA 26. CORTE DE LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ. AÑO 2006.



3.2.4 Identificación Visual del Terreno

Antes de realizar la clasificación de las imágenes es necesario efectuar una identificación visual del área de interés. El análisis visual se basó en criterios como: brillo, color, texturas, sombras, forma-tamaño de cada imagen.

A continuación se explican los aspectos que se percibían en cada uno de estos criterios:

3.2.4.1 Brillo

El brillo en la imagen hacía referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro. El brillo se relacionaba estrechamente con el comportamiento espectral de las distintas cubiertas, para la banda particular del espectro sobre la que se trabaje.

El brillo es uno de los criterios de interpretación visual principal. En consecuencia, la representación fotográfica de una imagen siempre supone una pérdida considerable de la sensibilidad radiométrica del sensor. Atendiendo a este criterio, el análisis visual sería menos preciso que el digital, ya que parte de lo que el sensor distingue nosotros no podemos diferenciarlo. Habitualmente en fotointerpretación convencional las diferencias de brillo se observan en una sola banda, ya que la mayor parte son pancromáticas. En el caso de las imágenes de satélite, la observación del brillo se realiza simultáneamente en varias bandas, lo que nos facilitará un reconocimiento más certero de algunas cubiertas. (*Chuvienco, 2006*)

3.2.4.2 Color

Varios autores han puesto de manifiesto que el ojo humano es más sensible a las variaciones cromáticas que a la intensidad luminosa.

Una impresión similar al color que nosotros percibimos se obtuvo cuando combinamos las bandas espectrales Rojo, Verde, Azul (RVA), aplicando a cada una de ellas los tres colores primarios, en ese mismo orden. Esa asignación *natural* se modifica a voluntad del intérprete, asignando los colores RVA a tres bandas espectrales cualesquiera, en el orden que se estime más oportuno.

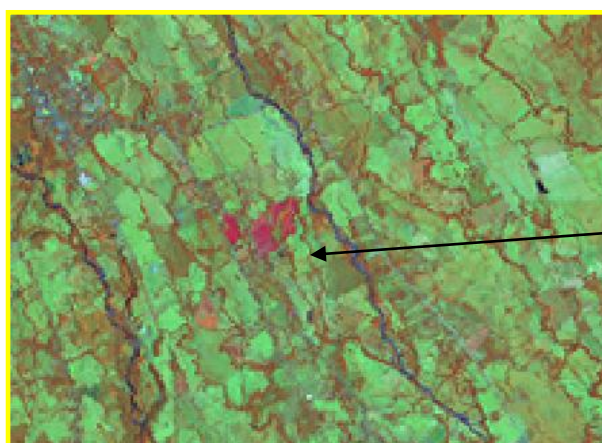
Obviamente cuando no se seleccionen las bandas espectrales RVA, sino otras cualesquiera, el color resultante no es con el que nosotros percibimos los objetos, sino con colores **artificiales**, de ahí que se les denominó a estas composiciones **falso color**. Esas composiciones coloreadas no se ajustan a los colores que aprecian nuestros sentidos.

Para facilitar la interpretación se incluyó una simple clave de color, con objeto de familiarizarse con este tipo de representaciones. Las tonalidades más habituales corresponden con las siguientes cubiertas **(Tendal, 1978) citado por Chuvieco (2006)**:

- **Rojo-Magenta:** Denota vegetación vigorosa, como **cultivos** regados, prados de montaña o bosques caducifolios en imágenes de verano **(Figura 27)**. El estudio detallado de la intensidad y saturación del rojo permite identificar diversas cubiertas vegetales, así como estimar su ciclo de crecimiento y vigor.
- **Rosa:** Muestra áreas vegetales menos densas y/o vegetación en temprano estado de crecimiento.

- **Blanco:** Áreas de escasa o nula vegetación pero de máxima reflectividad: nubes, arenas, depósitos salinos, canteras, suelos desnudos, nieve. **(Figura 28).**
- **Azul oscuro a negro:** Superficies cubiertas total o parcialmente por agua: ríos, lagos, canales, lagos embalses. En zonas volcánicas, los tonos negros pueden asimismo identificar flujo de lavas.
- **Gris a azul metálico:** Ciudades o áreas pobladas **(Figura 29).**

FIGURA 27. EJEMPLO DE CULTIVOS.



CULTIVOS

- **Marrón:** Vegetación arbustiva, muy variable en función de la densidad y del tono del sustrato (**Figura 30**).
- **Beige-Dorado:** Identifica zonas de transición: prados secos, frecuentemente asociados con el matorral ralo.

FIGURA 28. EJEMPLO DE NUBES.

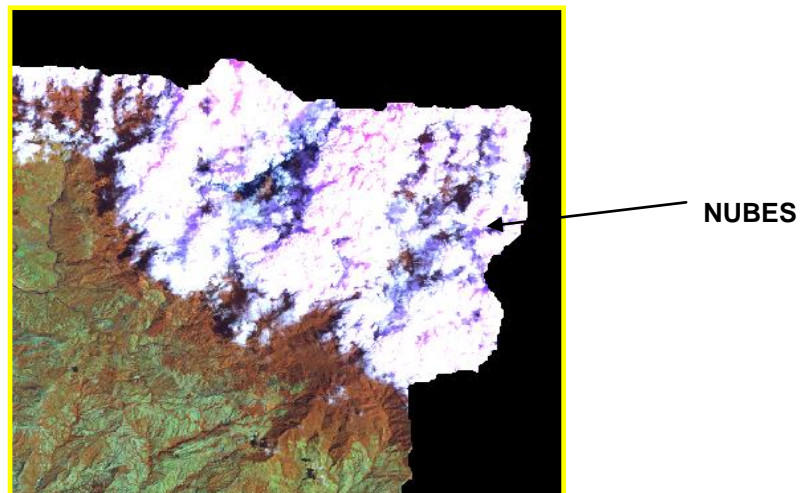
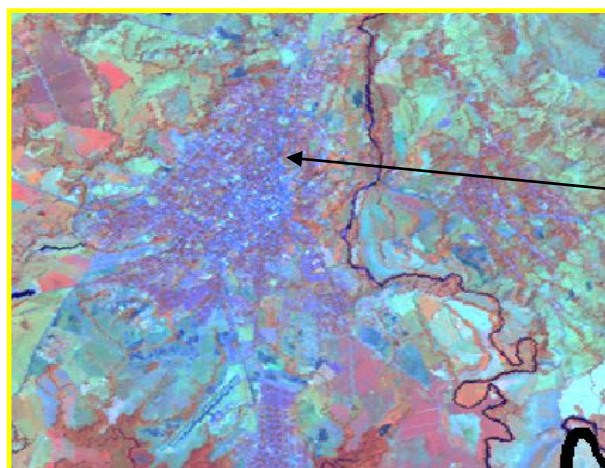
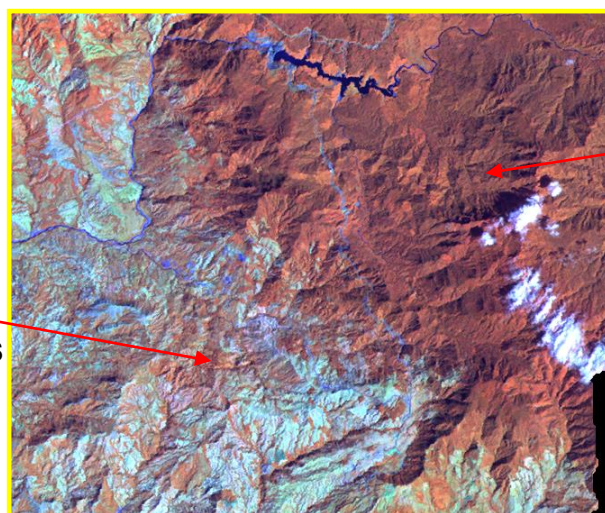


IMAGEN 29. EJEMPLO DE ÁREA POBLADA. CIUDAD DE DAVID. AÑO 1987.



**ÁREA
POBLADA**

FIGURA 30. EJEMPLO DE BOSQUES.



**BOSQUES
MADUROS**

**BOSQUES
SECUNDARIOS**

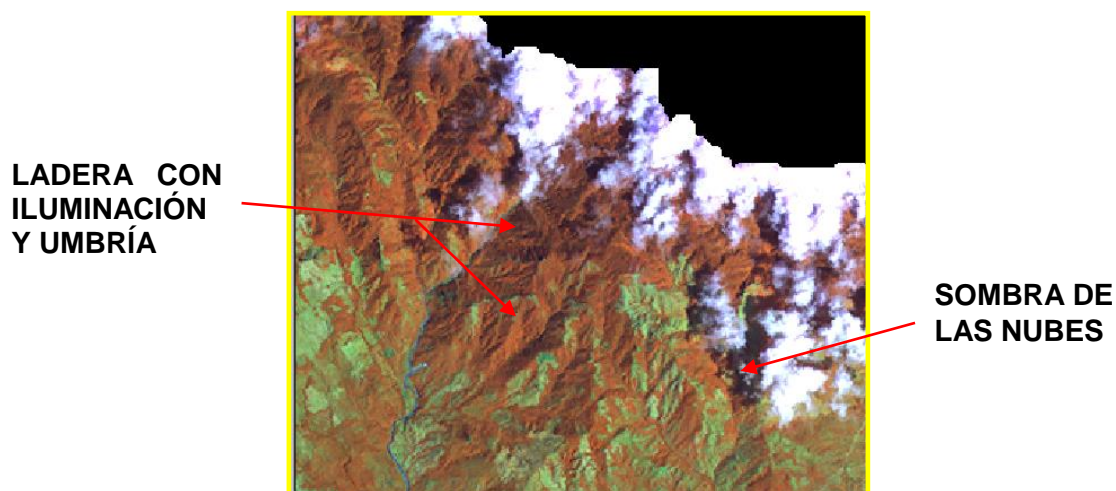
3.2.4.3 Textura

Es la cualidad de rugosidad o suavidad, con que se aprecian los objetos.

3.2.4.4 Sombras

La variación de las condiciones de iluminación en una cubierta introducía una notable variedad en su firma espectral característica, de tal forma que una misma cubierta puede ofrecer valores de reflectividad bastante contrastados según se situaba en una vertiente iluminada directamente por el sol, o en umbría **(Figura 31)**. Este aspecto conviene tenerlo en cuenta, para evitar señalar fronteras entre coberturas allí donde sólo había cambios en las condiciones de iluminación.

FIGURA 31. EJEMPLO DE UNA COBERTURA CON DIFERENTE REFLECTIVIDAD.



3.2.4.5 Forma-Tamaño

La forma de un determinado objeto es una clave para identificarlo, ya que su contorno permite asimilarlo a algunos de los patrones que nos resultan familiares.

En casos de posible duda a partir de la forma, el tamaño complementaba bastante la identificación de una cubierta. Por ejemplo, la forma de un campo de tenis y de fútbol es similar, pero no su tamaño. El empleo de este criterio viene marcado por la resolución espacial de las imágenes.

3.2.4.6 Gráficas de Firmas Espectrales

Una firma espectral es la forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta. Estas firmas dependen de las características físicas o químicas del objeto que interacciona con la energía electromagnética y varía según las longitudes de onda.

Cuando la radiación solar incide sobre un material, una parte de la misma se refleja en la capa más superficial del mismo y el resto se propaga por su interior. Allí, parte es absorbida y el resto sufre un proceso de dispersión (en todas direcciones) de tal modo que algo de la energía dispersada emerge del material por la misma superficie por la que penetró, sumándose así a la radiación

reflejada en la capa superficial. La suma de estas dos contribuciones constituye la radiación total reflejada por el material y juntamente con la irradiancia, permite definir la reflectividad espectral del mismo.

Para poder realizar una mejor clasificación de la imagen, en el análisis visual se ejecutan las gráficas de las firmas espectrales en los lugares donde no estamos seguros de la cobertura presente. Esta gráfica nos muestra la firma espectral para la cobertura de interés y su comportamiento marcará la diferencia entre un bosque secundario y uno maduro que es donde se dan las posibles confusiones.

Las distintas formas de interacción entre la radiación electromagnética y la materia en función de la longitud de onda es la que determina la respuesta espectral de las superficies naturales y posibilita su estudio. Sin embargo, hay que añadir que la reflectividad de una superficie puede ser modificada por la acción de factores externos a la misma entre los que cabe destacar, principalmente, los relacionados con la configuración de observación y la iluminación, así como a la presencia de la propia atmósfera.

3.2.5 Clasificación de las Imágenes

La clasificación es el proceso de agrupar los píxeles en un número finito de clases individuales o categorías de datos con base en los niveles de los datos.

Si un píxel satisface cierto criterio, entonces el píxel es asignado a la clase que corresponda a este criterio.

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y **no supervisado**, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método **no supervisado** procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (*Chuvienco, 2006*).

3.2.5.1 Clasificación No supervisada

En este estudio se empleó el método de clasificación **no supervisado**. Luego de tener los cortes de la cuenca para cada una de las imágenes de interés se procede a realizarle a cada una de ellas por separado lo que llamamos en Teledetección como Clasificación No Supervisada, que significa que los píxeles son asignados a distintos **cluster**² sin tener conocimiento del área, ni de la existencia de posibles patrones homogéneos en ella. El objetivo es relacionar las clases obtenidas con objetos reales cuya existencia, características y diferencias se pueden comprobar en campo.

² Se habla de clúster o conglomerado cuando los píxeles o elementos de una imagen tienden a formar grupos con similares condiciones espectrales. El agrupamiento automático no supervisado pretende encontrar estos grupos espectrales idóneos como reflejo de los naturalmente existentes en la imagen.

Para llevar a cabo esta técnica fue necesario la ayuda de nuestro Software **ERDAS IMAGINE 8.5**, y del algoritmo **ISODATA (Figura 32)**.

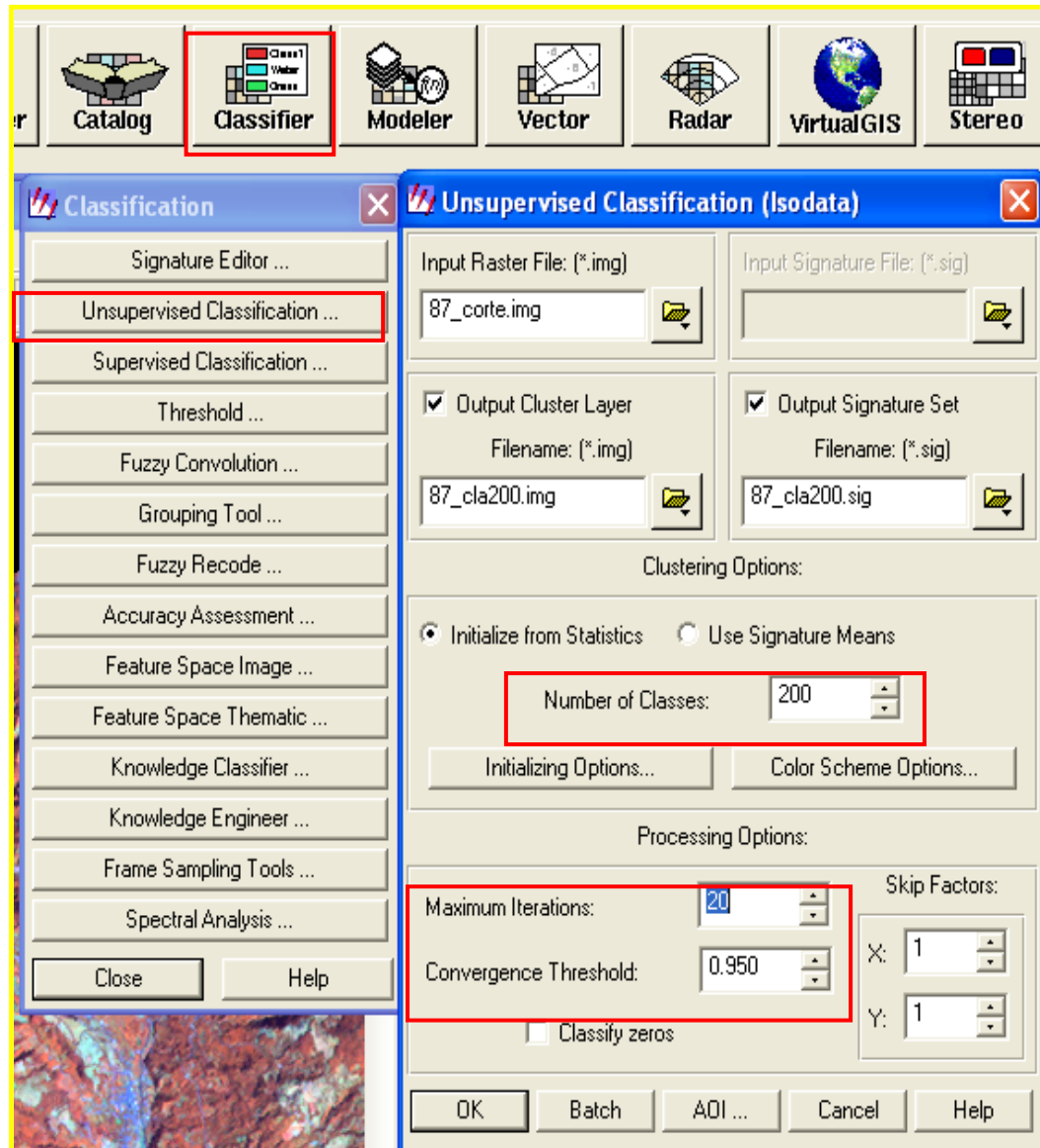
Es importante que en las opciones de procesamiento se ingresen los siguientes datos:

- **Máximo de Interacciones:** Se asignó un número de **20 interacciones**. Esto quiere decir que veinte es el número máximo de veces que la utilidad **ISODATA** reagrupa los datos.

- **Número de convergencia:** Siempre debe estar en **0.950**. El umbral de convergencia es el máximo porcentaje de píxeles cuya asignación de cúmulos no cambia entre interacciones. Este umbral evita que la utilidad **ISODATA** corra indefinidamente. Especificando un umbral de convergencia de 0.950 usted está indicando que cuando el 95 % o más de los píxeles, están en el mismo cluster entre una interacción y la otra, la utilidad debe suspender el procesamiento.

- **Número de clases o categorías:** Para este estudio se asignaron **200 Categorías**, lo que significa que todos los píxeles que se parezcan en cuanto a textura y color se van a agrupar en cada una de las 200 categorías que pide el Software. Es decir que, cuando acabó este proceso, se obtuvo una imagen clasificada en 200 categorías, lista para comenzar a trabajar.

FIGURA 32. EJEMPLO DE LA ISODATA EN LA CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA.



3.2.5.2 Asignación de Categorías

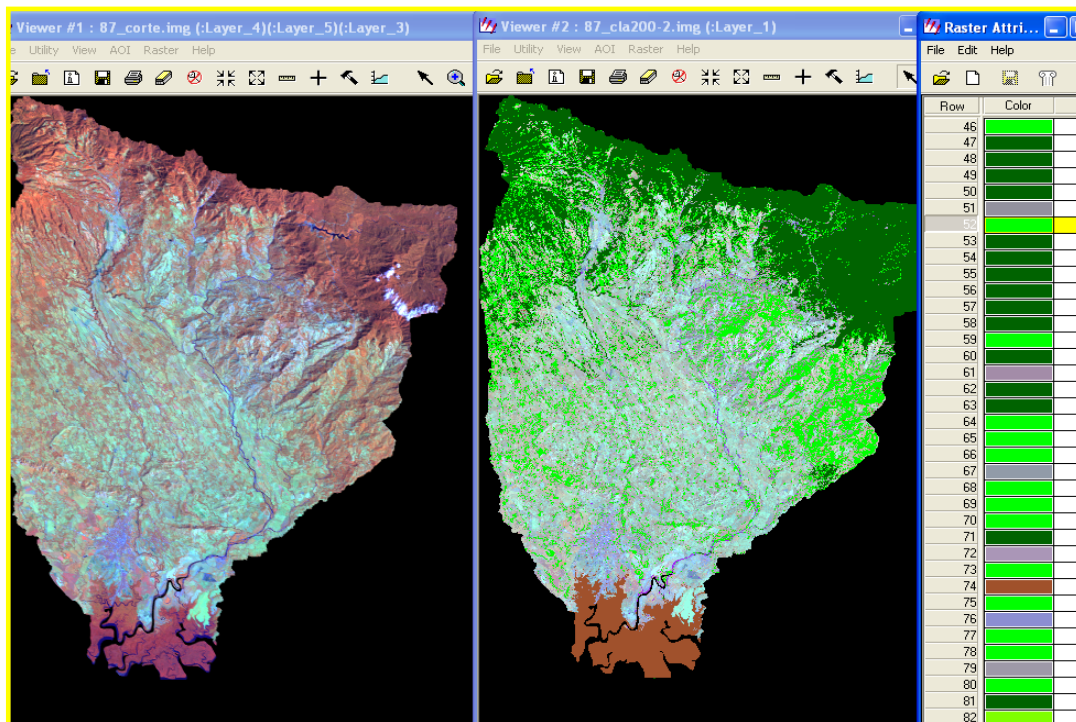
Cuando las tres imágenes estuvieron Clasificadas No Supervisadamente, se inició la asignación de categorías como lo son: Bosques Maduros, Bosques Secundarios y Manglares. Para esto se necesita la ayuda del corte de la imagen original y la imagen clasificada No supervisadamente (**Figura 33**).

Existen muchas técnicas usadas por muchos expertos en el tema, para este caso se adoptó una técnica que consiste en poner la imagen original encima y la clasificada No supervisadamente debajo y la tabla con las 200 categorías a un lado y con solo darle clic a un píxel me muestra enseguida en la tabla cual es el que seleccioné.

- **Bosques Maduros y Secundarios**

El proceso consiste en relacionar los píxeles de un Bosque Maduro, Secundario o Manglar. Para poder diferenciar entre un Bosque Maduro y uno Secundario y demás categorías es necesario jugar con las 7 bandas que tiene el Satélite Landsat, las cuales pueden ser combinadas por los tres cañones que posee el Software.

FIGURA 33. EJEMPLO DE LA ASIGNACIÓN DE LAS CATEGORÍAS A LAS IMÁGENES SATELITALES.



En esta figura se aprecia a la izquierda la imagen de referencia del año 1987 y a la derecha la imagen clasificada no supervisadamente que incluye la tabla con las 200 categorías asignadas. Las categorías que presentan un color verde oscuro, corresponden a los Bosques Maduros, el color verde claro, corresponde a los Bosques Secundarios y las categorías de color chocolate, corresponden a los manglares.

Con la combinación de estas bandas se obtuvo mejor claridad para estudiar las imágenes originales y tomándolas como referencia se introducen atributos a la imagen Clasificada no Supervisadamente. Se utiliza la combinación de Bandas 4 – 5 – 3 que es la recomendada para clasificar cobertura vegetal ya que posee dos bandas de Infrarrojo como lo son la 4 y la 5 y una del visible como lo es la 3. Esta combinación de bandas resalta o diferencia la vegetación vigorosa con altos grados de clorofila en sus hojas, de las no tan vigorosas con bajos porcentajes de clorofila de una manera muy sencilla.

El sensor envía los rayos hacia la superficie y esta regresa al sensor con información dependiendo al tipo de superficie en que este incida. Si la superficie de las hojas de un tipo de *bosque maduro* son de un color verde fuerte con buen índice de humedad y grosor en su contexto, troncos fuertes y sobretodo altos grados de clorofila en nuestra imagen se van a ver de un tono **chocolate oscuro**, fácil de distinguir de un *bosque secundario* que a pesar de tener casi las mismas características de un maduro se diferencia ya que no poseen los grados de humedad y clorofila en sus hojas y por esto se va a reflejar en nuestra imagen de un color **naranja claro**.

- **Manglares**

Para el caso de los *manglares*, el color que presentaban en las imágenes era parecido espectralmente al de los bosques maduros, pero su clasificación

resultaba más fácil debido a que ya se conocía el área de ubicación correspondiente a los mismos.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

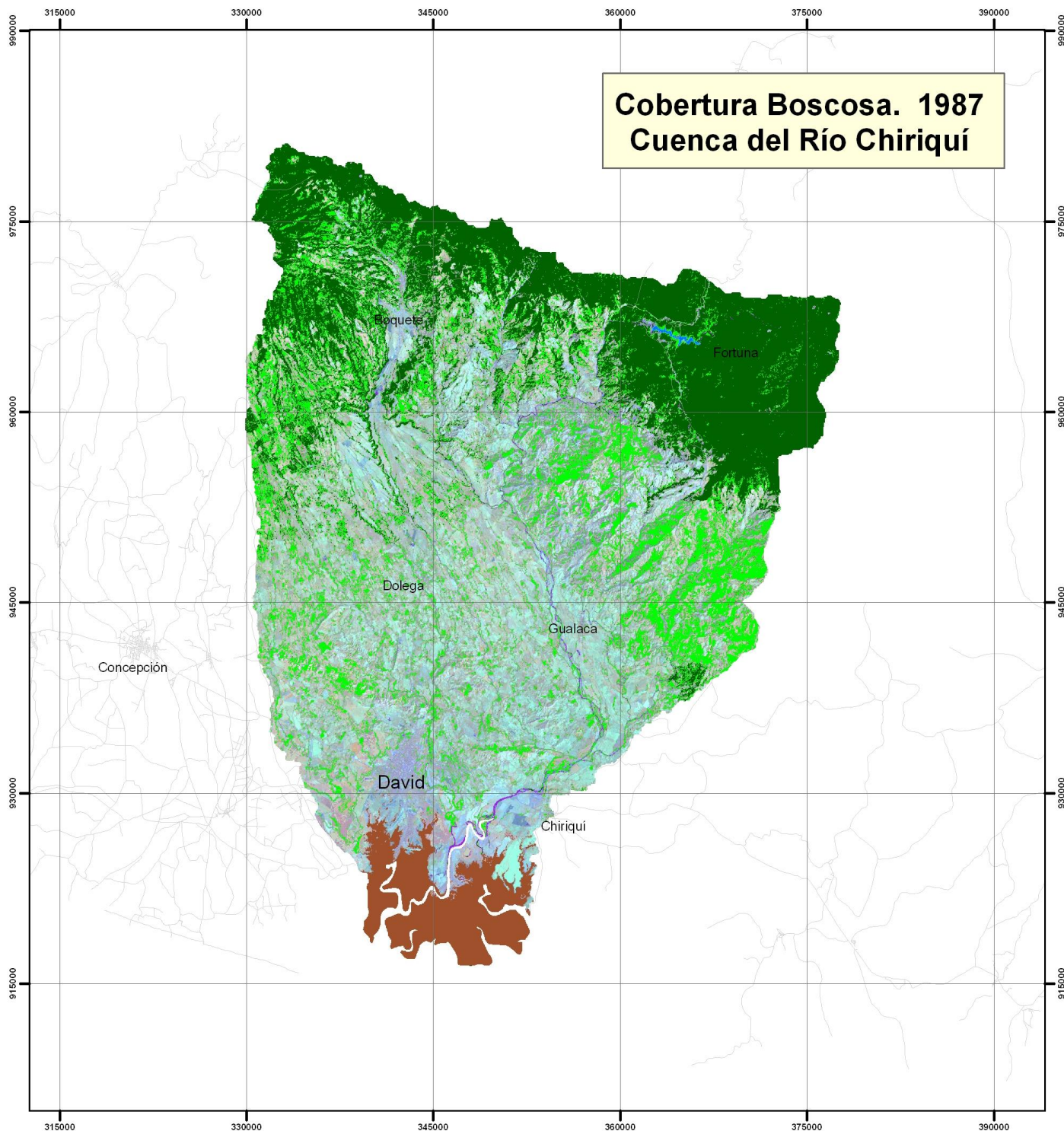
3.2.6 Dinámica de la cobertura boscosa 1987-2006.

Una de las aportaciones más destacadas de la teledetección espacial al estudio del medio ambiente es su capacidad para seguir procesos dinámicos.

Luego de clasificadas las imágenes se realizó el primer cruce. Este se efectuó entre las imágenes del año 1987 y 2000, por medio de la herramienta de nuestro SoftWare ERDAS IMAGINE 8.7 llamada Matrix la cual utilizamos de la siguiente manera: seleccionamos nuestras imágenes clasificadas de ambos años y la herramienta del software las une en una imagen nueva.

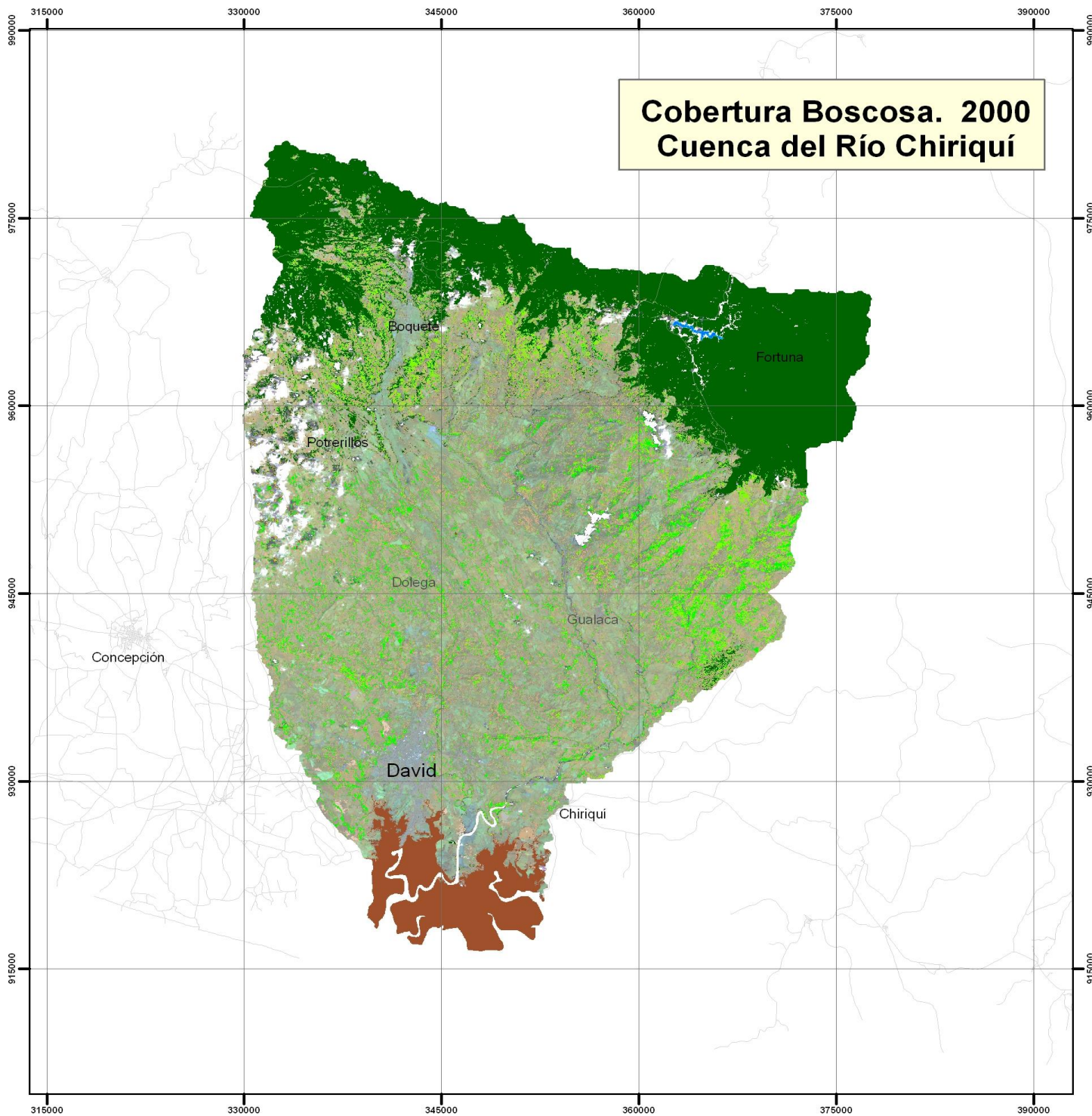
El segundo cruce se realizó para las imágenes del año 1987 y 2006, manteniendo el mismo criterio del procedimiento anterior. Por último el tercer cruce se realizó entre las imágenes del año 2000 y 2006.

Todos estos cruces se realizaron para obtener una matriz de cambios en la cobertura forestal de la Cuenca del Río Chiriquí y poder observar la dinámica de los bosques en cada período. Ver **Mapas de Cobertura Boscosa**.






<p>Leyenda</p> <ul style="list-style-type: none"> Bosques Masduros Bosques Secundarios Manglares	<p>Localización Regional</p> 	 <p>Esc. 1:340,000</p>  <p>Marzo, 2008</p>
--	--	--

Cobertura Boscosa. 2000 Cuenca del Río Chiriquí



Leyenda

-  Bosques Maduros
-  Bosques Secundarios
-  Manglares

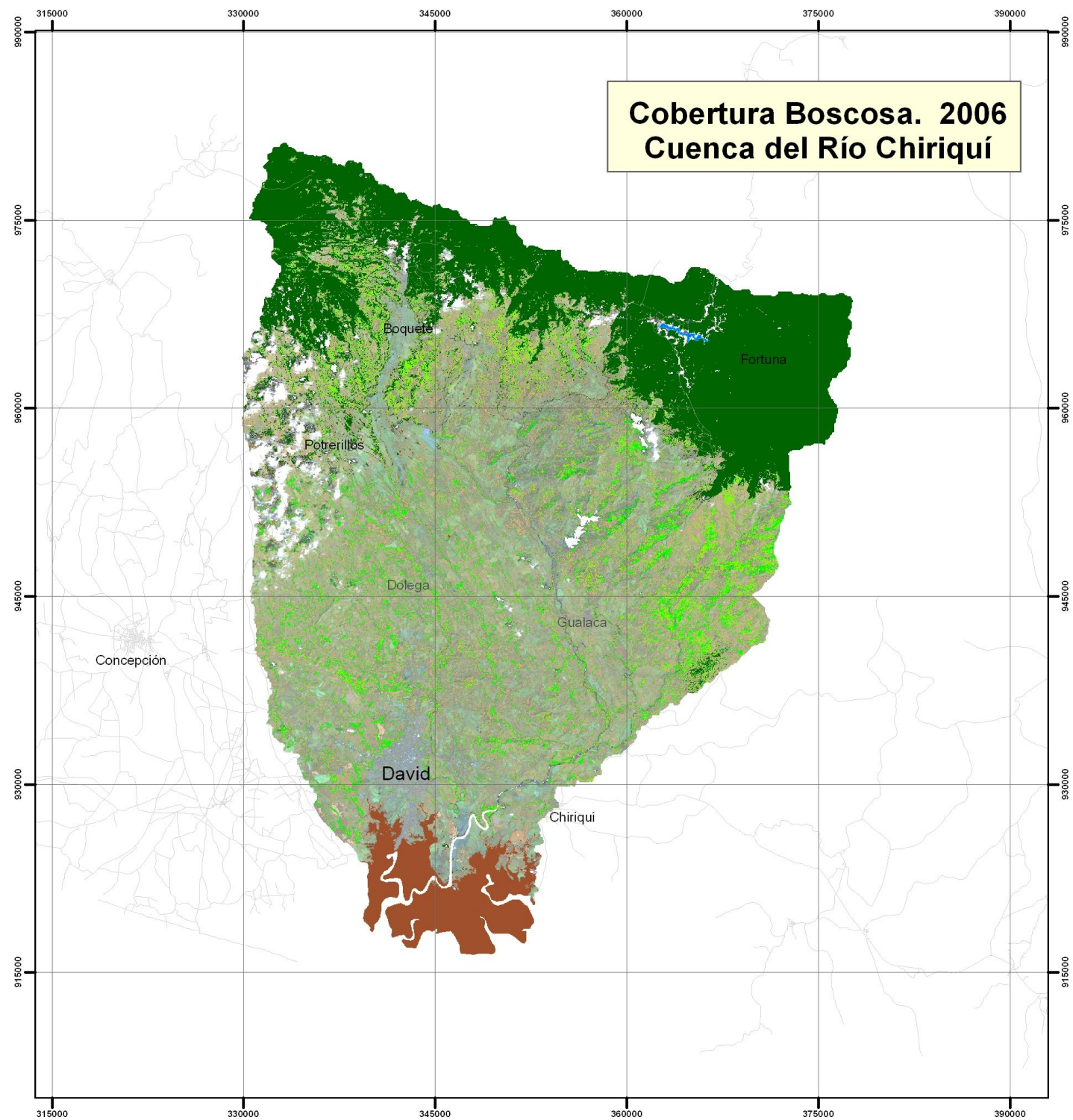
Localización Regional






Esc. 1:340,000



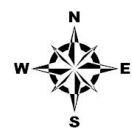
Marzo, 2008



Leyenda

-  Bosques Maduros
-  Bosques Secundarios
-  Manglares

Localización Regional



Esc. 1:340,000



Marzo, 2008

3.2.7 Matriz de Cambio

La matriz de cambio muestra por medio de una tabla todas las combinaciones posibles que existen entre las dos imágenes que se cruzaron. Por medio de esta matriz se observan las áreas de la cuenca donde hubo ganancias, pérdidas o se mantuvieron igual los bosques.

Las categorías tomadas en cuenta en este análisis son: bosques maduros, bosques secundarios, manglares, no bosques y nubes.

3.2.8 Tasa de Deforestación 1987-2006.

Para determinar y estimar la tasa de deforestación se debe conocer el estado del bosque en dos **momentos**, a este procedimiento se le conoce como análisis multitemporal.

Estos **momentos** se obtienen con las imágenes satelitales. Para la estimación de la tasa de deforestación en la Cuenca del Río Chiriquí, se utilizaron imágenes satelitales de la provincia de Chiriquí de los años 1987, 2000 y 2006.

Con la comparación de estas imágenes se establece la tasa de deforestación anual para un período de 19 años, mostrando así el cambio en la cobertura forestal que ha experimentado la Cuenca en este período.

Para obtener la tasa de deforestación se aplicó la fórmula utilizada por la FAO, (Gasparri, 2004).

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{1/(t_2 - t_1)} - 1$$

Donde:

A1: superficie de bosque al inicio del período.

A2: superficie de bosque al final del período.

t1: año de inicio del período.

t2: año final del período.

3.2.9 Mapa de Cambios

Se elaboró mediante el Software ArcGis 9.1, un mapa de cambio para el período 1987-2006.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Dinámica de la Cobertura boscosa 1987-2000.

En el **cuadro V** se detalla la dinámica de la cobertura boscosa para el período de 1987-2000.

CUADRO V. DINÁMICA DE COBERTURA BOSCOOSA 1987-2000.

Coberturas	Dinámica (has)			
	Año 1987		Año 2000	
	Ha	%	Ha	%
Bosque Maduro	44,892.3	23.32	42,522.26	22.08
Bosque Secundario	31,079.3	16.14	32,598.44	16.93
Manglares	9,211.16	4.78	8,288.04	4.30
No Bosques	107,327.24	55.75	106,167.9	55.15
Nubes			2,933.36	1.52
Total	192,510	100	192,510	100

Fuente: *Elaboración propia.*

Con respecto a los bosques maduros en el año 1987, la cuenca contaba con 44,892 ha que representaban un 23.32 % y para el año 2000 disminuyeron a 42,522.26 ha que representaban un 22.08 %, lo que refleja que hubo una pérdida de 2, 369.74 ha.

Por otro lado los bosques secundarios aumentaron en 1,519.14 ha en este período.

En el caso de los manglares, disminuyeron en 923.12 ha.

Considerando la condición climática de nuestro país la cual genera nubes en muchos meses del año, se agrega la categoría de nubes las cuales estaban presentes en la imagen del año 2000. Esta categoría ocupaba una superficie de 2,933.36 ha representando el 1.52 % del área de la cuenca.

La matriz realizada entre las imágenes de estos dos años, proporcionaron los siguientes resultados:

CUADRO VI. MATRIZ DE CAMBIO 1987-2000 PARA LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.

Categoría	Hectáreas	Imagen 1987	Imagen 2000	Total
Bosque Maduro	43,698.5	1	1	67,805.1
Bosque Secundario	16,059.4	2	2	
Manglares	8,047.2	3	4	
Pérdida de Bosque M	1,604.7	1	3	15,163.1
Pérdida de Bosque S	12,772.0	2	3	
Pérdida de Manglares	786.4	3	3	
Ganancia de Bosque M	1,864.6	4	1	15,205.1
Ganancia de Bosque S	13,144.0	4	2	
Ganancia de Manglares	196.5	4	4	

Fuente: Elaboración propia.

En color verde se resaltan las áreas que al cruzar las imágenes resultaron iguales, es decir las áreas en las que no habían ocurrido cambios en ese período. Estas áreas representan 67,805.1 ha de la superficie total de la cuenca.

Las pérdidas de bosques se muestran en color rojo. Estas áreas representan 15,163.1 ha de la superficie total de la cuenca, divididas de la siguiente manera:

los bosques maduros con pérdidas de 1,604.7 ha, los bosques secundarios con 12,772.0 ha y los manglares con 786.4 ha.

Las ganancias de bosques se muestran en color morado. Estas áreas representan un total de 15,205.1 has divididas de la siguiente manera: el bosque maduro 1,864.6 ha, el bosque secundario 13,144.0 ha y los manglares 196.5 ha.

Realizando el análisis de las áreas con pérdidas de bosques y las áreas con ganancia de bosques se puede decir que no se está ejerciendo una presión negativa sobre la cobertura boscosa de la cuenca para este período 1987-2000, debido a que existe una ganancia de 42 has.

4.2 Dinámica de la Cobertura boscosa 2000-2006.

En el **cuadro VII** se detalla la dinámica de la cobertura boscosa para el período de 2000-2006.

CUADRO VII. DINÁMICA DE COBERTURA BOSCOA 2000-2006.

Coberturas	Dinámica (has)			
	Año 2000		Año 2006	
	Has	%	Has	%
Bosque Maduro	42,522.26	22.08	41,875.73	21.75
Bosque Secundario	32,598.44	16.93	19,798.86	10.28
Manglares	8,288.04	4.30	8,229.24	4.27
No Bosques	106,167.9	55.15	118,546	61.58
Nubes	2,933.36	1.52	4,060.17	2.1
Total	192,510	100	192,510	100

Fuente: *Elaboración propia.*

La Cuenca para el año 2000, contaba con 42,522.26 ha que representaban un 22.08 % de bosques maduros y para el año 2006 disminuyeron a 41,875.73 ha que representaban un 21.75 % de la superficie de la cuenca, lo que nos indica que hubo una pérdida de 646.53 ha.

En el caso de los bosques secundarios para el año 2000 se contaba con 32,598.44 ha (16.93 %) y para el 2006 sólo existían 19,798.86 ha (10.28 %). En este caso los bosques secundarios disminuyeron considerablemente 12,799.58 ha.

Los manglares en este período disminuyeron en 58.8 ha. Las nubes también estaban presentes en la imagen del año 2006. Esta categoría ocupaba una superficie de 4,060.17 ha representando 2.1 % del área de la cuenca.

La matriz realizada entre las imágenes de estos dos años, proporcionaron los siguientes resultados:

CUADRO VIII. MATRIZ DE CAMBIO 2000-2006 PARA LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.

Categoría	Hectáreas	Imagen 2000	Imagen 2006	Total
Bosque Maduro	42,165.86	1	1	58,702.05
Bosque Secundario	8,659.4	2	2	
Manglares	7,876.79	4	4	
Pérdida de Bosque M	4,075.06	1	3	23,353.16
Pérdida de Bosque S	18,941.1	2	3	
Pérdida de Manglares	337.0	4	3	
Ganancia de Bosque M	2,574.83	3	1	11,082.17
Ganancia de Bosque S	8,239.3	3	2	
Ganancia de Manglares	268.04	3	4	

Fuente: Elaboración propia.

Las áreas que se mantuvieron sin cambios representan 58,702.05 ha de la superficie total de la cuenca.

Las pérdidas de bosques se muestran en color rojo. Estas áreas representan 23,353.16 ha de la superficie total de la cuenca, divididas de la siguiente manera: los bosques maduros con pérdidas de 4,075.06 ha, los bosques secundarios con 18,941.1 ha y los manglares con 337.0 ha.

Las ganancias de bosques se muestran en color morado. Estas áreas representan un total de 11,082.17 ha divididas de la siguiente manera: el bosque maduro 2,574.83 ha, el bosque secundario 8,239.3 ha y los manglares 268.04 ha.

Realizando el análisis de las áreas con pérdidas de bosques y las áreas con ganancia de bosques se puede decir que se está ejerciendo una presión negativa sobre la cobertura boscosa de la cuenca, debido a que se perdieron 12,270.99 ha de bosques para este período.

4.3 Dinámica de la Cobertura boscosa 1987-2006.

En el **Cuadro IX** se detalla la dinámica de la cobertura boscosa para el período de 1987-2006.

CUADRO IX. DINÁMICA DE COBERTURA BOSCOA 1987-2006

Coberturas	Dinámica (has)			
	Año 1987		Año 2006	
	Has	%	Has	%
Bosque Maduro	44,892.3	23.32	41,875.73	21.75
Bosque Secundario	31,079.3	16.14	19,798.86	10.28
Manglares	9,211.16	4.78	8,229.24	4.27
No Bosques	107,327.24	55.75	118,546	61.58
Nubes			4,060.17	2.1
Total	192,510	100	192,510	100

Fuente: *Elaboración propia.*

Para el período de 1987-2006 los bosques maduros reflejaron una pérdida de 3,016.57 ha. Estos bosques maduros se localizan sobre todo en la parte alta de la cuenca, en sentido Este a Oeste en la Cordillera Central (desde Cerro Chorcha hasta el Volcán Barú).

Los bosques secundarios de 31, 079.3 has que existían en 1987 se redujeron a 19,798.86 ha para el año 2006. Los Bosques secundarios se observan en los sectores medios y altos de la superficie de la Cuenca.

En el caso de los manglares se dio una pérdida de 981.92 ha para este período. Los manglares se localizan al sur de la ciudad de David, en la desembocadura del Río Chiriquí.

CUADRO X. MATRIZ DE CAMBIO 1987-2006 PARA LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ.

Categoría	Hectáreas	Imagen 1987	Imagen 2006	Total
Bosque Maduro	42,125.6	1	1	58,364.84
Bosque Secundario	8,356.35	2	2	
Manglares	7,882.89	3	4	
Pérdida de Bosque M	4,263.26	1	3	24,408.23
Pérdida de Bosque S	19,192.6	2	3	
Pérdida de Manglares	1,032.37	4	3	
Ganancia de Bosque M	2,827.6	3	1	11,693.23
Ganancia de Bosque S	8,593.69	3	2	
Ganancia de Manglares	271.94	3	4	

Fuente: Elaboración propia.

Las áreas que se mantuvieron sin cambios representan 58,364.84 ha de la superficie de la cuenca.

Las pérdidas de bosques representan 24,408.23 ha, divididas de la siguiente manera:

- **Los bosques maduros con pérdidas de 4,263.26 ha.**

Esto se debe a que la mayoría de los bosques maduros existentes en la cuenca del Río Chiriquí, se localizan en las tierras altas, principalmente las que se ubican en los distritos de Boquete y Volcán. Estas áreas son las más afectadas debido a la presión de la frontera agrícola que avanza rápidamente sobre los bosques existentes especialmente aquellos que se ubican dentro de las Áreas Naturales Protegidas, como en el caso de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Volcán Barú y el Parque Internacional La Amistad.

La Reserva Forestal Fortuna también presenta bosques nubosos primarios y secundarios. Se distingue como una de las mejores áreas protegidas del país porque su papel en la regulación y protección del recurso hídrico es de vital importancia para la hidroeléctrica. Sin embargo en la zona del Río Estí, en el distrito de Gualaca, los suelos se encuentran en zonas con pendientes superiores a 15 % y se practica una agricultura de subsistencia, donde se emplea un sistema de tumba y quema.

Las pérdidas de bosques también se sitúan en el área de potreros (distrito de Dolega), en donde se encuentran grandes plantaciones de cítricos y en el corregimiento de Rovira. Se puede mencionar que en la zona alta de Boquete, parte alta de la Cuenca los terrenos en su mayoría los han dedicado a la agricultura y la producción de hortalizas y café.

Los bosques maduros están siendo afectados debido a la expansión de la frontera agrícola en las zonas altas de la cuenca. Los pobladores de las comunidades ubicadas en las zonas de amortiguamiento del Parque Internacional La Amistad y el Parque Nacional Volcán Barú, realizan actividades agrícolas que ejercen día a día, mayor presión hacia estas zonas protegidas, sea por la deforestación, por la contaminación de las aguas o por el uso excesivo de plaguicidas. Muchas de las áreas de bosques maduros han sido deforestadas para ser convertidas en áreas de ganadería y agricultura, según los datos del estudio de cobertura boscosa para la República de Panamá **(INRENARE, 1995)**

- **Bosques secundarios con pérdidas de 19,192.6 ha.**

En el caso de los bosques secundarios las pérdidas se deben a que muchas de las especies presentes en estos bosques son utilizadas para leña, la construcción de casas o ranchos y postes de cercas muertas o vivas. Al mismo tiempo, estas áreas tienen un sotobosque arbustivo a herbáceo, con alturas que

no sobrepasan los 5 metros. En muchos lugares esta vegetación es eliminada para establecer algunos cultivos, lo que no permite su recuperación o regeneración, ya que se utiliza por 1 ó 2 años y se deja descansar entre 3 y 5 años. Este sistema de roza y quema es lo que no permite una regeneración natural de la vegetación de las tierras bajas de la cuenca.

Una parte del Parque Nacional Volcán Barú fue perturbada en 1992 y mantiene bosques secundarios de varios estadios sucesionales. También se localizan manchones aislados de bosques secundarios jóvenes insertados en pajonales a diferencia de un lado de Boquete y la zonas protegidas de la Reserva Forestal Fortuna y el Parque Nacional Volcán Barú que presentan un bosque secundario maduro.

Algunas áreas con bosques secundarios se encuentran en las tierras bajas de la Cuenca presentando algunos fragmentos o remanentes de bosques. Pero hay muchas especies que están seriamente amenazadas por la deforestación, ya que la mayoría de las áreas de bosques secundarios están siendo convertidas en áreas de ganadería y agricultura, este es el caso del área del Río Cochea y Caldera, que tienen un uso de suelo en base a ganadería extensiva, agricultura de subsistencia y áreas de sabanas y matorrales.

Entre las áreas pobladas que presentan pérdida de bosques están: Rincón, Los Ángeles, Hornito y Paja de Sombrero, correspondientes al distrito de Gualaca. También se han ido deforestando los bosques de galería, en las riberas de los ríos Cochea, Chiriquí y Caldera, debido a que la mayor cantidad de explotaciones agropecuarias se localizan en los distritos de David, Dolega y Boquete, según cifras del censo agropecuario del 2001, ya que el suelo en la cuenca se utiliza para la actividad agrícola extensiva, ampliando cada vez más la frontera agrícola hacia áreas cubiertas por bosques.

- **Manglares con pérdidas de 1,032.37 ha.**

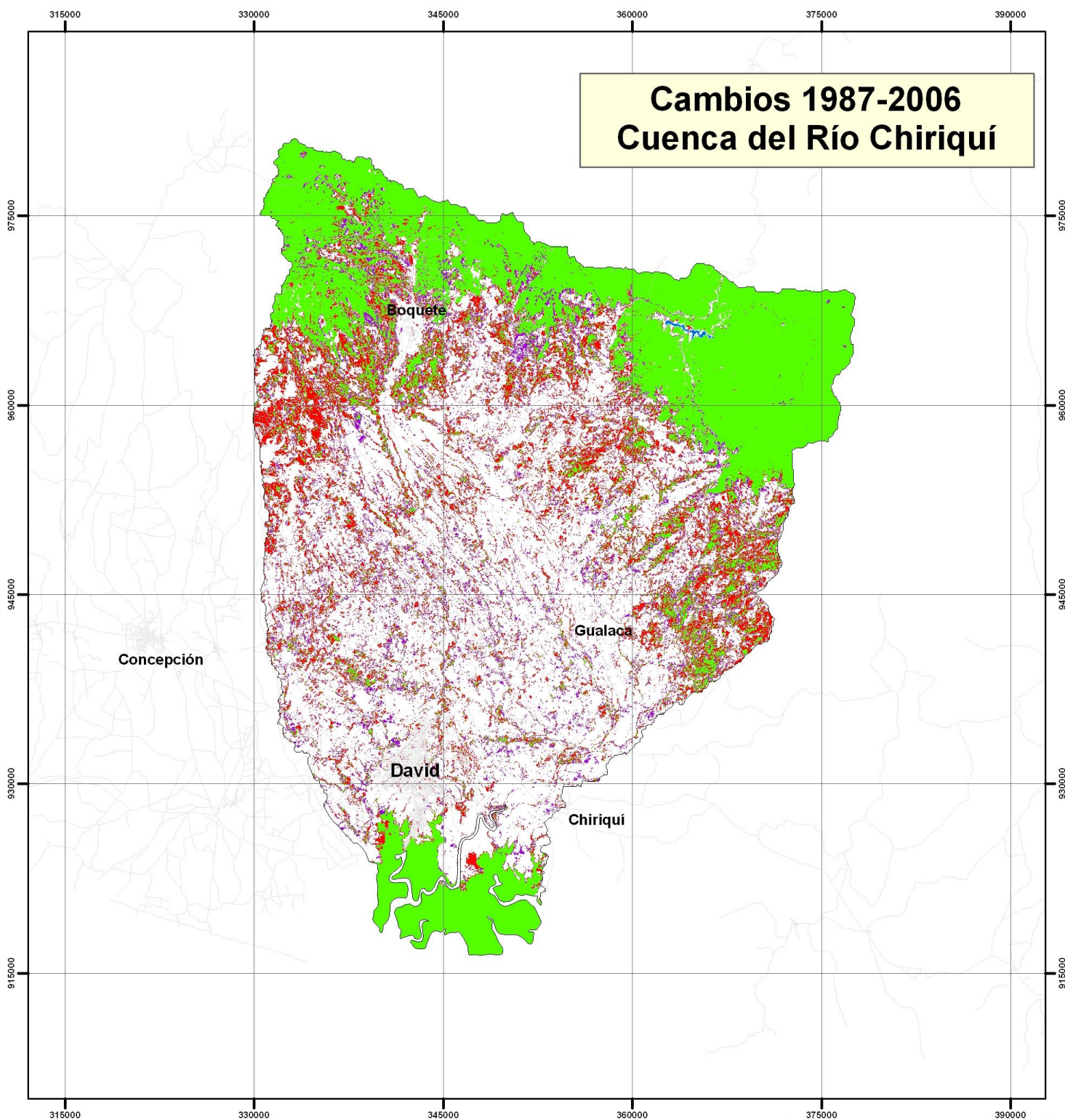
La mayor parte de los manglares del país se encuentra en el Pacífico, particularmente en los golfos de San Miguel, de Panamá y de **Chiriquí**.

En este estudio se determinó, que las pérdidas que se dan en estos bosques se deben al incremento del desarrollo turístico de la región, la gran demanda que tiene la madera de mangle para la confección de muebles y productos artesanales y el desarrollo de actividades agrícolas. Además en los últimos años los residentes de las áreas aledañas al Puerto Pedregal y otras han deforestado los mismos para la obtención de leña y madera para la construcción de sus viviendas.

Las ganancias de bosques representan 11,693.63 ha, divididas de la siguiente manera: bosques maduro con ganancias de 2,827.6 ha, los bosques secundarios con 8,593.69 ha y los manglares con 271.94 ha.

En algunas áreas ocurre la regeneración natural y maduración del bosque debido a que después que un área agrícola o ganadera es abandonada, ésta es rápidamente ocupada por plantas a través de la sucesión secundaria y a medida que la sucesión progresa hay un aumento en la altura de la vegetación, en el índice de área foliar y en el área basal, de tal manera que con el tiempo la estructura del bosque se parece cada vez más a la estructura de un bosque maduro.

En otros casos estas ganancias son producto de las reforestaciones realizadas en la cuenca con el fin de proteger el recurso hídrico para mantener la disponibilidad de agua potable para la población.



Cambios 1987-2006
Cuenca del Río Chiriquí

Leyenda

-  Igual
-  Pérdidas
-  Ganancia

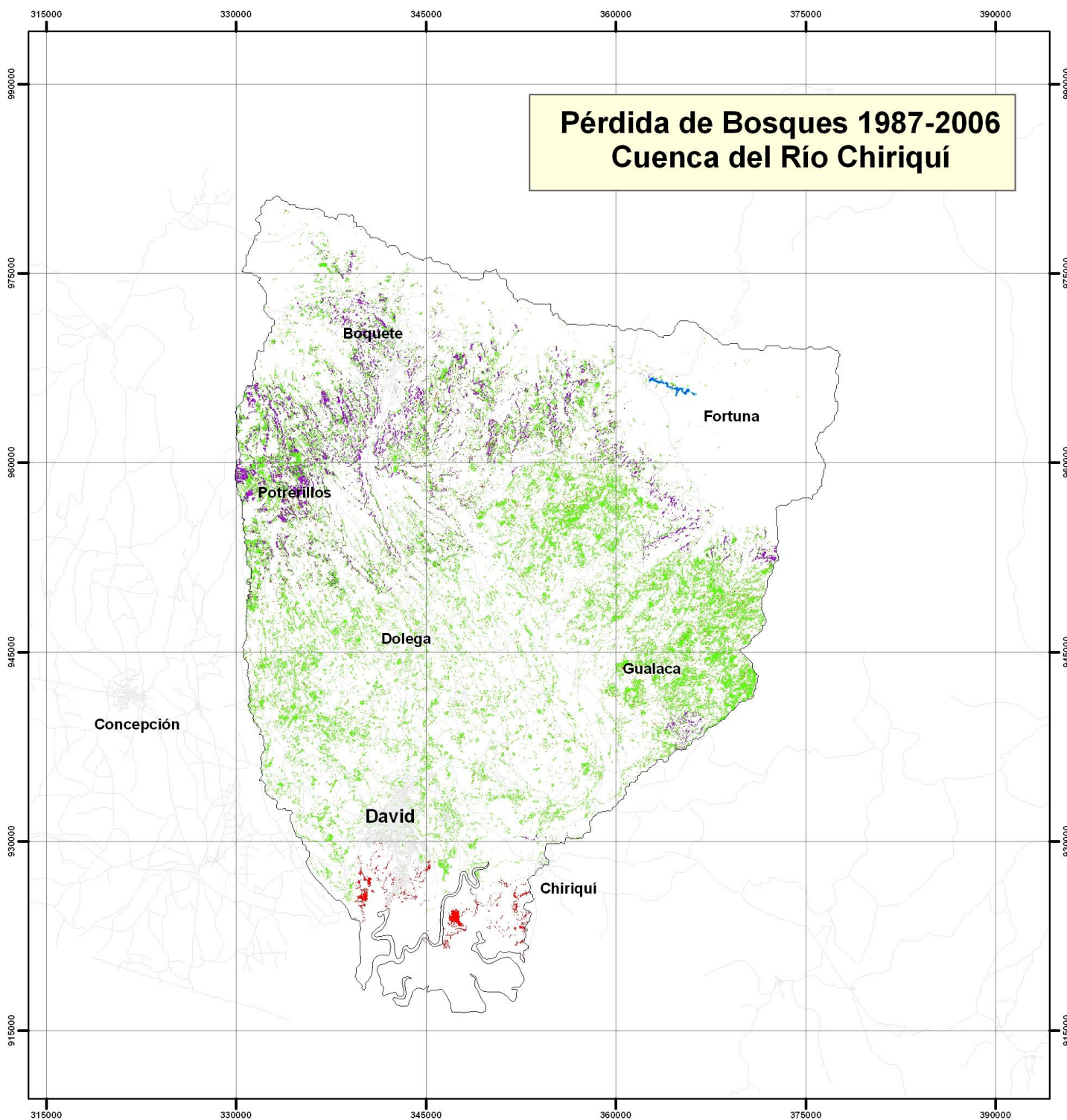
Localización Regional



Esc. 1:340, 000



Marzo, 2008



**Pérdida de Bosques 1987-2006
Cuenca del Río Chiriquí**

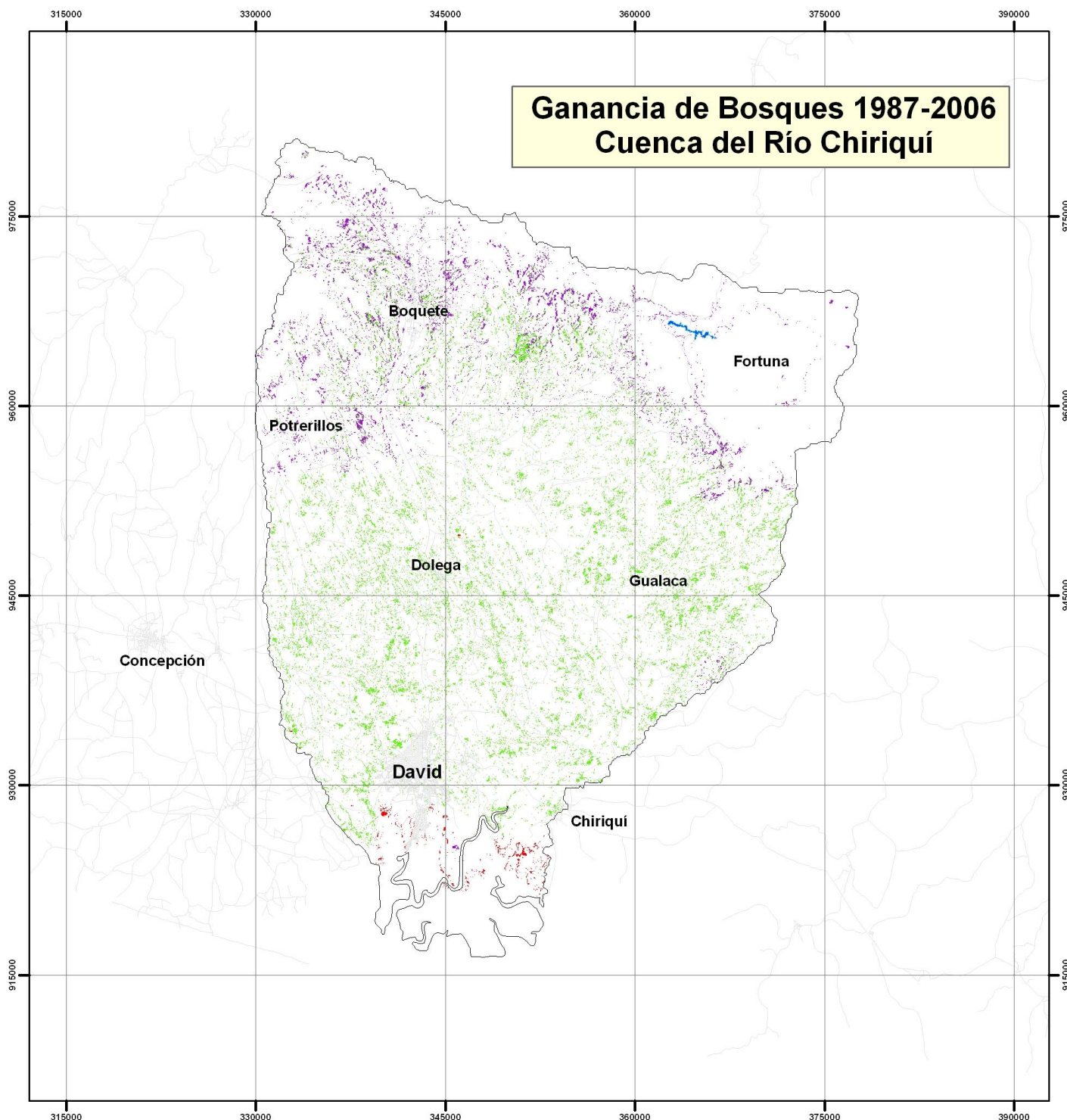
Leyenda

- Bosque maduro
- Bosque secundario
- Manglares

Localización Regional

Esc. 1:340, 000

Marzo, 2008



Leyenda

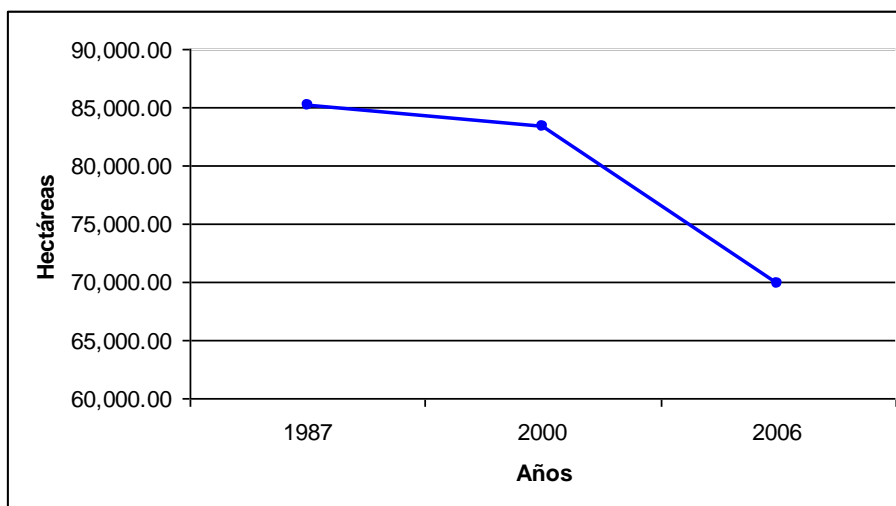
- Bosque maduro
- Bosque secundario
- Manglares

Localización Regional

Esc. 1:340,000

Marzo, 2008

Gráfica 1. Dinámica de la Cobertura Boscosa 1987-2006. Cuenca del Río Chiriquí.



La gráfica 1 muestra la dinámica de la cobertura boscosa para el período de 1987-2006, indicando que para el año 1987 existían 85, 182.76 ha de bosques, en el 2000 existían 83, 408.74 ha y para el año 2006 existían 69,903.83 ha. Lo que nos refleja que con el pasar de los años la presión del hombre sobre el recurso forestal va en aumento, disminuyendo así las hectáreas de bosque en ésta cuenca.

4.4 Tasas de Deforestación y Tendencias

La cobertura boscosa registrada para el año 1987, de la cuenca del Río Chiriquí fue de 85,182.76 ha, lo que corresponde al 44.25 % del total de esta región. Para el año 2000 la cobertura boscosa era de 83,408.74 ha y para el año 2006 la cobertura boscosa fue de 69,903.83 ha.

4.4.1 Tasa de Deforestación 1987-2000.

Al comparar la cobertura boscosa de los años 1987 y 2000, utilizando la fórmula propuesta por la FAO, con la finalidad de obtener la tasa de deforestación registrada durante ese período, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Bosques 1987 = 85,182.76 ha
- Bosques 2000= 83,408.74 ha

$$q(1987-2000) = -0.22 \%$$

La tasa obtenida representa una pérdida absoluta de 1,774.02 ha de bosque en 13 años, lo que resulta en una tasa promedio anual de 136.46 ha de bosques.

Esta tasa anual de -0.22% registrada para la cuenca es relativamente baja comparada con el -1.12% de la tasa anual de deforestación registrada para todo el país, de acuerdo al Proyecto “Cobertura Boscosa y Usos del Suelo de la

República de Panamá: 1992 – 2000”, llevado a cabo por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM).

4.4.2 Tasa de Deforestación 2000-2006.

Al comparar la cobertura boscosa de los años 2000 y 2006, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Bosques 2000 = 83,408.74 ha
- Bosques 2006= 69,903.83 ha

$$q (2000-2006) = - 2.90 \%$$

La tasa obtenida representa una gran pérdida absoluta de 13,504.91 ha de bosque en 6 años, lo que resulta en una tasa promedio anual de 2,250.82 ha de bosques.

Esta tasa anual de –2.90% registrada para la cuenca es alta comparada con el -1.12 % de la tasa anual de deforestación registrada para todo el país.

4.4.3 Tasa de Deforestación 1987-2006.

Al comparar la cobertura boscosa de los años 1987 y 2006, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Bosques 1987 = 85,182.76 ha
- Bosques 2006= 69,903.83 ha

$$q (1987-2006) = - 1.03 \%$$

La tasa obtenida representa una pérdida absoluta de 15,278.93 ha de bosque en 19 años, lo que resulta en una tasa promedio anual de 804.15 ha de bosques.

Esta tasa anual de -1.03% registrada para la cuenca está dentro de un rango significativo comparada con el -1.12% de la tasa anual de deforestación registrada para todo el país.

Esta situación se debe a que las áreas boscosa en la provincia de Chiriquí están fuertemente presionadas debido a la falta de tierras para la ganadería y cultivos; ya que gran parte de las tierras se concentran en algunos focos, lo que provoca que la población vaya hacia las Áreas Naturales Protegidas en busca de tierras, tratando de encontrar una solución a sus problemas socioeconómicos.

En muchos casos, por falta de una política ambiental adecuada y la falta de personal por otra, ocurre deforestación de las tierras que se encuentran con algún grado de cobertura boscosa.

En las tierras bajas se presenta una ganadería extensiva e intensiva y casi todas las tierras están dedicadas a esta actividad. Al mismo tiempo también se

puede observar un incremento en los desarrollos turísticos tanto en tierras bajas y costeras, como en las tierras altas, que ofrecen gran variedad de ambientes naturales.

Los bosques húmedos tropicales están sujetos a diferentes tipos de disturbios naturales. Estos disturbios pueden ser muy locales y de pequeño impacto, o muy extensos y de gran impacto. El primer tipo de disturbio incluye la creación de pequeños claros en el dosel del bosque, causados por la caída de una rama; mientras que el segundo tipo incluye disturbios a grandes superficies de bosque causados por huracanes, inundaciones o fuegos. En términos de superficie, la mayor parte de los disturbios son causados en la actualidad por actividades humanas.

Además los bosques secundarios están generalmente localizados cerca de asentamientos humanos, y por lo tanto, la extracción de productos forestales es más factible. Por consiguiente, se cree que un apropiado manejo de los bosques secundarios podría reducir la presión que existe sobre los bosques primarios.

V. CONCLUSIONES

- La metodología empleada nos permitió realizar esta investigación de una forma sencilla y menos laboriosa, debido a que en los últimos años el uso de herramientas como lo son Los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección, permiten realizar estudios complejos en poco tiempo. El uso de información generada a partir de teledetección y de datos provenientes de sistemas de información geográfica permiten conocer aspectos muy importantes sobre la dinámica de los ecosistemas, lo que constituye una poderosa herramienta para identificar patrones de uso actual de la tierra y evaluar el impacto de las actividades antrópicas sobre las coberturas boscosas.

- En cuanto a la cobertura forestal de la Cuenca del Río Chiriquí, se tiene que:
 - Está cubierta en un 36.30 % por bosques, de los cuales 21.75 % son bosques maduros. Estos se ubican en la parte alta de la cuenca, en sentido Este a Oeste en la Cordillera Central (desde Cerro Chorcha hasta el Volcán Barú).

- El 10.28 % corresponde a los bosques secundarios ubicados en los sectores altos y medios de la cuenca.
 - El 4.27 % son manglares, ubicados al sur del distrito de David en el corregimiento de Pedregal.
- Del procesamiento y análisis de los datos de las imágenes, se obtiene la siguiente información para el período 1987-2006:
 - Las áreas que no sufrieron cambios representan 58,364.84 ha. Estas áreas se encuentran en la parte alta de la Cuenca, por encima de los 1,000 msnm. Éstas áreas no cambian drásticamente, debido a que se encuentran dentro de áreas protegidas como lo son: El Parque Internacional La Amistad, El Parque Nacional Volcán Barú y la Reserva Forestal Fortuna.
 - Las pérdidas de bosques representan 24,408.23 ha, debido a que la cuenca del Río Chiriquí ha sufrido una fuerte intervención humana a través de los años y su cobertura boscosa se ha ido perdiendo producto del desarrollo de actividades como la agricultura y ganadería. Estas pérdidas se observan por debajo de los 1,000 msnm, en la parte media y baja de la cuenca. En el mapa de cambios se pudo observar que las áreas con pérdidas de bosque están localizadas por debajo de la Reserva de Fortuna, en el corregimiento de Hornito, donde se encuentran algunos asentamientos. Al mismo tiempo en zonas como Boquete, Potrerillos y Caldera se observa una pérdida considerable de bosques, para el desarrollo agropecuario de esas zonas. En el caso de los manglares estos se deforestan, para la obtención de leña y la elaboración de productos artesanales.
 - Las ganancias de bosques representan 11,693.23 ha. Son producto de la regeneración natural en áreas de cultivos abandonadas por la emigración de la población y de reforestaciones realizadas en la Cuenca.
- La tasa anual de deforestación de 1987 al 2006 fue de -1.03 %, lo que representa una pérdida absoluta de 15,278.93 ha en 19 años, y una pérdida promedio anual de 804.15 ha de bosque, mostrando una situación favorable en comparación con la tasa anual de deforestación para nuestro país.

VI. RECOMENDACIONES

- Que se refuerce la seguridad y se brinde asesoría técnica fomentando la educación ambiental en los pobladores en las áreas con asentamientos ubicados en las Áreas Protegidas, para que no se siga extendiendo la frontera agrícola sobre las áreas boscosas y conservar los mismos para garantizar la fuente de agua potable a la población de David y una mejor calidad en el clima.
- Los bosques juegan un papel muy importante en la protección de las cuencas hidrográficas por tal motivo, se deben proteger las cabeceras de las cuencas de la deforestación porque se desata un proceso de erosión que deposita grandes cantidades de lodo y como consecuencia de esto las aguas de los ríos se desbordan con mayor facilidad causando grandes inundaciones aguas abajo.

- Que en las partes altas y medias de la Cuenca, se potencien los sistemas productivos agroforestales y silvopastoriles que posibiliten la conservación y fomento de la cubierta arbórea.
- Mantener la vigilancia en las áreas donde se ubican los manglares, porque de continuar la devastación de los mismos, se arruina la industria pesquera y camaronera que es de vital importancia ecológica y alimenticia en nuestro país. Siendo la industria pesquera la actividad que mas divisas genera para el país después de la industria del banano.
- Que se implemente esta tecnología de Sistemas de Información Geográfica, en instituciones y empresas relacionadas al tema ambiental para que se pueda obtener un monitoreo de áreas de interés con el fin de conservar y proteger los recursos existentes y en las universidades para fines didácticos.

VII. REFERENCIAS CITADAS

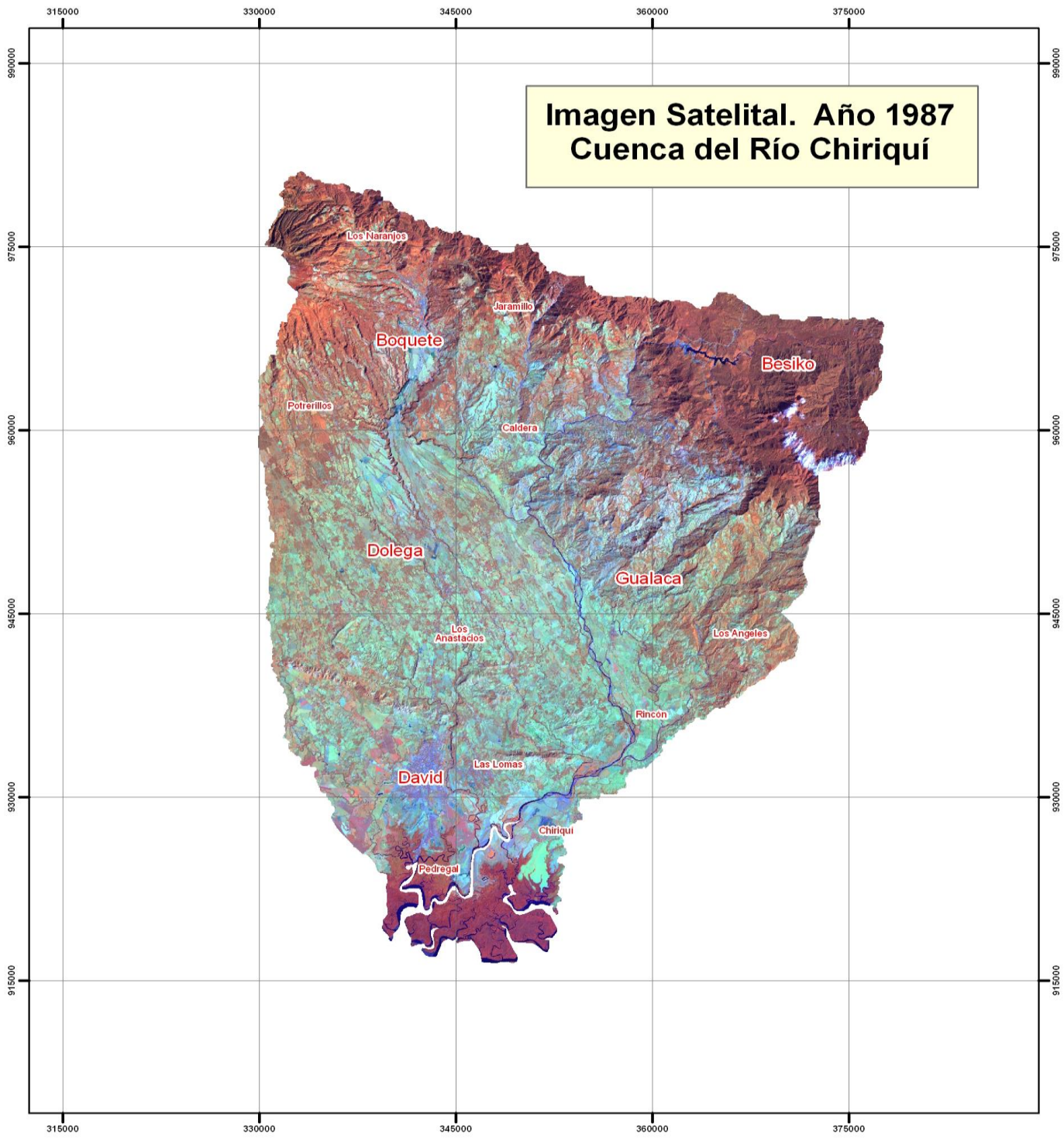
- Alvarez, Ana. 2004. Estudio de las características Biofísicas y Socioeconómicas de la Subcuenca del Río Cochea. Trabajo de Grado. Chiriquí, PA. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 137 p.
- ANAM - Consorcio Caura - Agriconsulting. 2003. Plan General Indicativo de Ordenamiento Territorial Ambiental de la República de Panamá (PIGOT).
- ANAM-PNUMA-GF. 2000. Plan de Acción Nacional Sobre la Diversidad Biológica de Panamá. "Primer Informe sobre el estado de la Diversidad Biológica de Panamá".
- Batista, Raizha J. 2003. Estudios básicos para el diagnóstico de la subcuenca hidrográfica del Río David. Trabajo de Grado. Chiriquí, PA. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 157 p.
- Calderón, Carlos y Cedeño, Cristian. 2007. Análisis Multitemporal de la Cobertura Boscosa en la Cuenca del Canal de Panamá, 1985 -2003. Trabajo de Grado. Universidad de Panamá. Facultad de Humanidades. 89 p.
- Centro virtual Cervantes. La interpretación de las imágenes. La visualización de las imágenes satelitales. Disponible en: http://cvc.cervantes.es/obref/atlas/esp/interpretacion/interpretacion_02.htm

- CONADES. Programa Multifase de Desarrollo Sostenible de la Provincia de Chiriquí. Plan Indicativo de Ordenamiento Territorial Funcional de la Provincia de Chiriquí (PIOFT). 66 p.
- Chuvieco, Emilio. 1990 Fundamentos de Teledetección espacial. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España. 374 p.
- Chuvieco, Emilio. 2006. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel, S.A. Barcelona, España. 325 p.
- ETESA. 2008. Balance Hídrico Superficial. Cuenca del Río Chiriquí. Cuenca 108. 6 p.
- FAO. 2007. Perfiles Hídricos por país. El Riego en Panamá. Disponible en: <http://www.fao.org/Regional/LAmerica/paises/h2o/panama.htm>
- FAO. 2007. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 143 p.
- GeoTecnologías SA. Generalidades de un SIG. Disponible en: <http://www.geotecnologias.com/Documentos/GIS.pdf>
- Hernández, Rubén. 2002. Libro Botánica Online. Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes - Mérida - Venezuela. Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/>
- INRENARE. 1995. Estudio de cobertura boscosa para la República de Panamá. 30 p.
- INRENARE. 1998. Resolución de Junta Directiva N° 05-98 (de 22 de enero de 1998). Por la cual se reglamenta la Ley 1 de 3 de febrero de 1994 y se dictan otras disposiciones.

- Marcano, José. 2008. Matices de Verde. Los Bosques. La Deforestación. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/bosques/threat/deforesta.html>
- Martínez, Raúl. 2007. Los Sistemas de Información Geográfica y la Geografía. Resumen.
- Mena Frau, Carlos y otros. 2006. Teledetección y Sig en el Ámbito Forestal: Experiencias en Chile. Revista del Centro de Ciencias Agrarias y Ambientales. Disponible en: <http://www.unicentro.br/editora/revistas/ambiencia/Ambiencia%20ed.%20especial/171-185.pdf>
- Montes De Oca, I. 1997. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. 3era edición. Editorial EDOBOL. La Paz, Bolivia. 450-458 p.
- Montiel, Carlos. ¿Qué es la percepción remota o teledetección?. Centro Integral de Agricultura Tropical. Disponible en: <http://www.ciat.cgiat.org>
- Olivares, Franklin. 1994. Análisis del Recurso Hídrico en la Cuenca Hidrográfica del Río David. Trabajo de Grado. Chiriquí, PA. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 149 p.
- Pacheco, Pablo. 1998. Estilos de desarrollo, deforestación y degradación de los bosques en las tierras bajas de Bolivia. CIFOS, CEDELA, TIERRA. La Paz, Bolivia. 120p.
- Pinilla, Carlos. 1995. Elementos de teledetección. Editorial RA-MA. Madrid, España. 313 p.
- Proyecto Hidroeléctrico Lorena. 2005. Alternergy S.A. Estudio de Impacto Ambiental. Categoría III. 150 p
- Proyecto Hidroeléctrico Prudencia. 2005. Alternergy S.A. Estudio de Impacto Ambiental. Categoría III. 180 p.

- Ramírez, Carlos A. 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Panamá. Preparado para el Taller Regional sobre los Recursos Genéticos Forestales de Centroamérica, Cuba y México CATIE, Turrialba, Costa Rica. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/j0604s/j0604s00.htm#TopOfPage>
- Ríos, Maritza. 1984. Los Manglares. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente. Disponible en: <http://www.ceducapr.com/manglares.htm>
- _____. 2003. La situación del manejo de Cuencas en Panamá. Disponible en: <http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf/2003/febrero/envio2/pdf/spa/doc14384/doc14384.pdf>
- Sylvander, Robert. 1981. Los bosques del país y su distribución por provincias. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 121 pág.
- USAID/Panamá. 2002. Seminario de Cuencas 201: Conceptos, Procesos y Herramientas para la Cuenca del Canal de Panamá. Disponible en: <http://www.irglttd.com/Resources/Publications/LAC/2002-03%20Seminario%20de%20Manejo%20de%20Cuencas%20201-Panama.pdf>
- Wadsworth, Frank. 2000. Producción Forestal para América Tropical. Los Bosques Secundarios y su Manejo. USDA. Disponible en: http://www.fs.fed.us/research/publications/producci%F3n_forestal_para_am%E9rica_tropical/cap.4.pdf
- Wikipedia. 2008. La Enciclopedia libre. Los Sistemas de Información Geográfica. Disponible en: http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%A1fica&oldid=15112206

Anexos



<p>Imagen Landsat Multiespectral</p> <p>Composiciones en Color</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 Infrarrojo próximo 5 Infrarrojo medio 3 Rojo del visible 	<p>Localización Regional</p> <p>The regional map shows the outline of Panama, with the Caribbean Sea (Mar Caribe) to the north and the Gulf of Panama (Golfo de Panamá) to the south. A red rectangle indicates the 'Area de Estudio' (Study Area) in the western part of the country.</p>	<p>A compass rose with cardinal directions N, S, E, and W. Below it is a scale bar labeled 'Esc. 1:340,000' with markings at 0, 1.5, 3, 6, 9, and 12 km. The date 'Marzo, 2008' is printed at the bottom.</p>
--	---	---

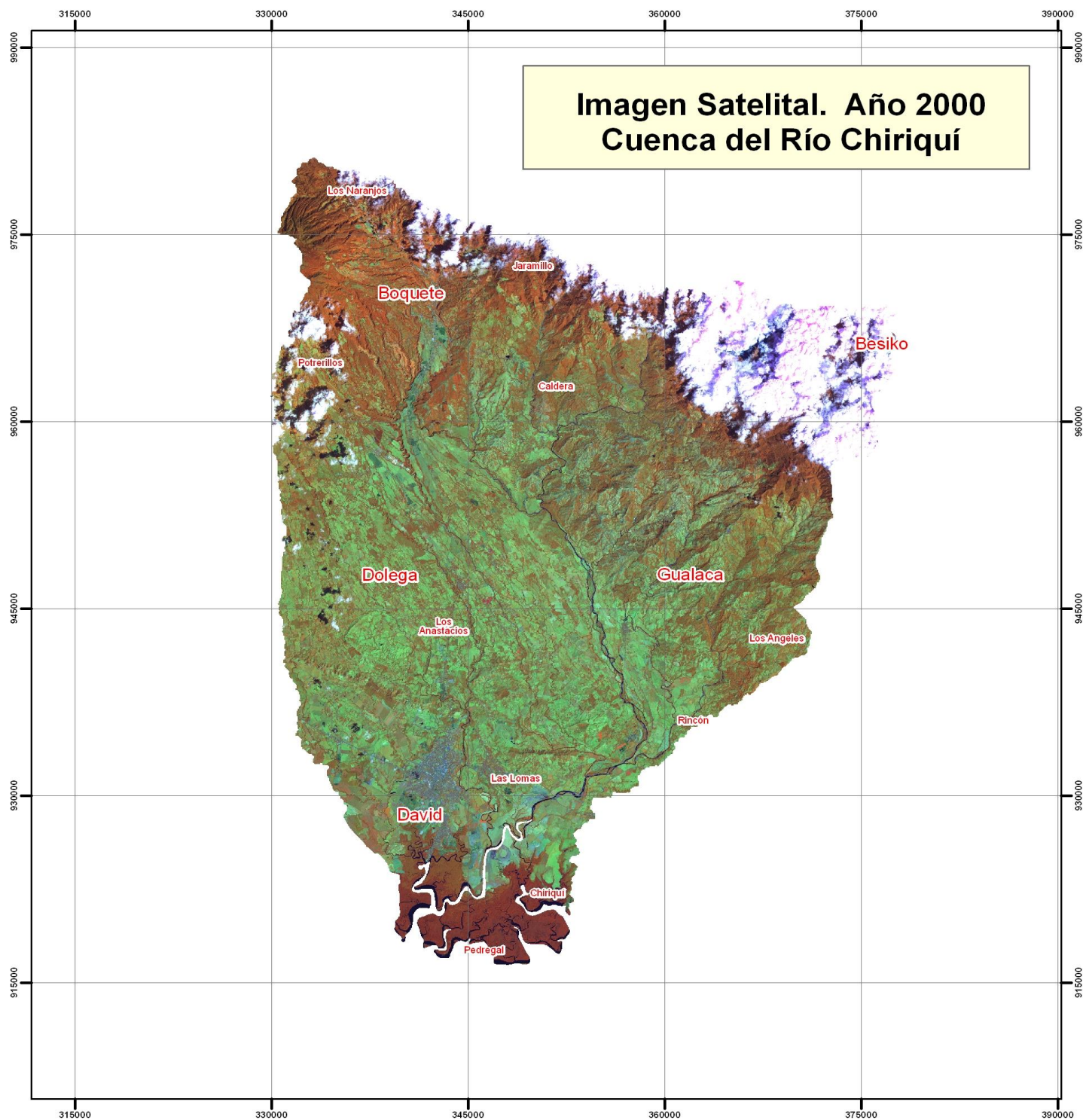


Imagen Landsat Multiespectral

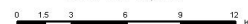
Composiciones en color

- 4 Infrarrojo próximo
- 5 Infrarrojo medio
- 3 Rojo del visible

Localización Regional



Esc. 1:340,000



Marzo, 2008

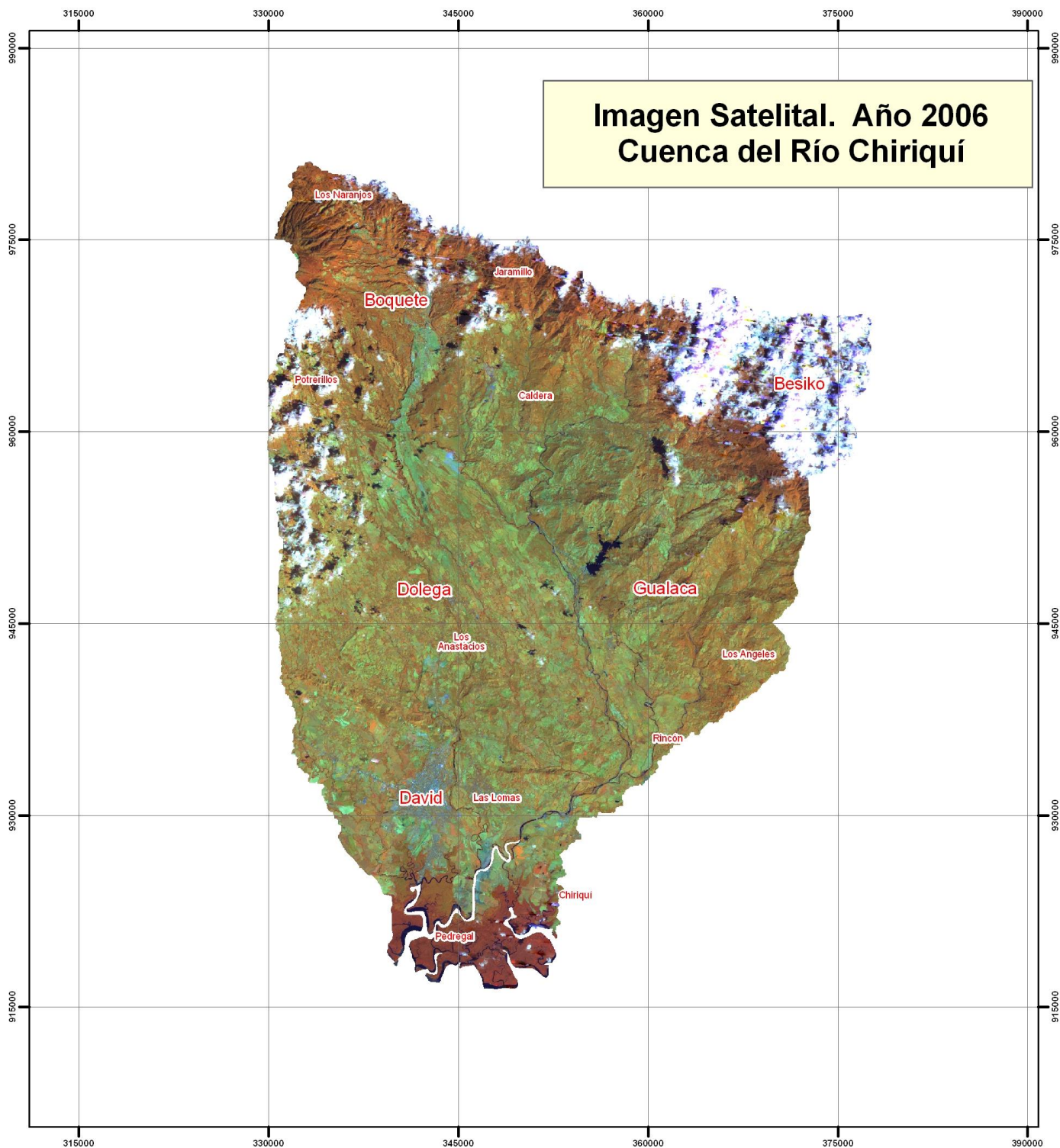


Imagen Landsat Multiespectral

Composiciones en color

- 4 Infrarrojo próximo
- 5 Infrarrojo medio
- 3 Rojo del visible

Localización Regional



Esc. 1:340,000



Marzo, 2008