

Serie Tecnología

Yrvin A. Rivera Valdez  
Rubén Montás Domínguez

Septiembre 2006



Colección UNAPEC por un mundo mejor

Estudio Bitemporal de la Deforestación  
en la República Dominicana usando  
Sensores Remotos



**UNIVERSIDAD APEC**  
Colección UNAPEC por un mundo mejor  
Serie Tecnología No.2 - ISBN-9945-423-04-5

La Colección “UNAPEC por un mundo mejor” es una publicación mensual de la Universidad APEC, constituida por las series Ensayo, Investigación, Artes y Comunicación, Turismo, Tecnología, Administración y otros. Su finalidad es proyectar la vida académica e intelectual de la Universidad, mediante las publicaciones de monografías portadoras de avances de investigaciones, estudios de áreas, propuestas de divulgaciones de las grandes ideas del mundo contemporáneo, análisis de la sociedad de la información, expresiones artísticas, y todo cuanto concierne a los saberes del mundo de hoy.

UNIVERSIDAD APEC

COMITÉ DIRECTIVO UNAPEC

Dr. Luis Heredia Bonetti  
Presidente

Lic. Carmen Cristina Álvarez  
Vicepresidente

Lic. Julio Ortega Tous  
Tesorero

Lic. Frederic Eman-Zadé  
Secretario

Ing. Francisco Hernández  
Miembro

Lic. Lil Magali Esteva  
Miembro

Dra. Cristina Aguiar  
Miembro

Lic. Opinio Álvarez  
Presidente de APEC

Dr. Franklin Holguín Haché  
Director Ejecutivo de APEC

Lic. Dennis R. Simó  
Rector

COMITÉ EDITORIAL Y ASESORES

Andrés L. Mateo  
Guillermo Piña Contreras  
Irene Pérez Guerra  
Jaime Tatem  
Carlos Sangiovanni  
Olga Basora  
Lourdes Concepción  
Teresa Hidalgo

ASESORES

Mariano Lebrón Saviñon  
Mario Suárez

# Presentación

---

Este libro, “Estudio bitemporal de la deforestación en la República Dominicana usando sensores remotos”, de los ingenieros Rubén Montás e Irvin Rivera, es una de las cinco tesis finales presentadas por ingenieros dominicanos en la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, en cumplimiento de los requisitos para obtener la maestría en ingeniería eléctrica con especialidad en electrónica y comunicaciones. La culminación exitosa de estos programas de maestría responde a las estrategias de formación permanente del personal docente que la Universidad APEC ha estado ejecutando en los últimos años. Pero estos programas se acompañan, además, de una vocación de estudios ligados a la investigación de los problemas de mayor significación social y económica de la vida del país.

Tal es el caso de este estudio sobre la desertificación en la República Dominicana. El problema es agudo y fundamental, aunque parece que muy pocos han advertido la dimensión del peligro que esto entraña. La manera despiadada e irracional como se han ido reduciendo los bosques de la República Dominicana nos coloca en una situación particularmente calamitosa, y la investigación que este libro aporta es un alerta para que las políticas de desarrollo tomen en cuenta la inversión en forestería y repoblación boscosa.

Si miramos los datos que los ingenieros Montás y Rivera aportan, sustentados en la investigación y en las técnicas de las comunicaciones modernas conocidas como sensado o percepción remota; tanto los datos históricos de deforestación, como los computados en un periodo de quince años que se sustentan en comparaciones de imágenes satelitales (1985-2000), podremos establecer con facilidad una relación indisoluble entre la pérdida acelerada de los bosques y la pobreza. Y más aún: lo agudo de esta

deforestación acelerada tiene un impacto inevitable sobre la agricultura de riego, los flujos de agua por el agotamiento de los ríos, la energía y el agua potable, etc. Lo que quiere decir que este tema está ligado de manera perentoria al futuro de nuestro país e incluso a nuestra supervivencia como comunidad humana.

Creemos que esta investigación puede ser de gran utilidad para replantearnos el tema de la deforestación como uno de los de mayor trascendencia del presente histórico de los dominicanos. Ese ha sido, desde su inicio, el objetivo de esta colección “UNAPEC por un mundo mejor”: contribuir al engrandecimiento de la educación dominicana, al estímulo de la investigación y a la búsqueda de soluciones a nuestros grandes males, a través del accionar de la universidad empleando dos de los pilares que fundamentan la vida universitaria: la investigación y la extensión.

Dennis R. Simó  
Rector de UNAPEC

# Estudio Bitemporal de la Deforestación en la República Dominicana usando Sensores Remotos

---

## I. Introducción

La República Dominicana ocupa 48 mil 442 kilómetros cuadrados (las dos terceras partes) de la isla de Santo Domingo o Española, la que comparte con Haití con una población que sobrepasa los 8 millones, de los cuales 2.3 millones residen en la ciudad de Santo Domingo, capital de la República, el país desde la década de los 80 del pasado siglo ha asumido un modelo de desarrollo económico de servicios.

Los investigadores coinciden en que los principales problemas ambientales de República Dominicana son : la deforestación, la extinción de la biodiversidad y el manejo de los desechos sólidos ( basura ), las aguas negras y otros que inciden en las condiciones sanitarias, todos los cuales contribuyen a la profundización de pobreza en que vive más del 60 por ciento de la población. Gran parte de los investigadores coinciden en que todos los grandes bosques de la República Dominicana desaparecieron durante el siglo XX, primero a causa del desmonte llevado a cabo por las empresas madereras y luego debido a la agricultura de corte y quema.



Figura 1. Isla de Santo Domingo

En este estudio se evalúa el porcentaje de deforestación en un período de 15 años, de 1985 al 2000, utilizando las técnicas y avance en

las comunicaciones electrónicas, conocida como sensado o percepción remota.

Definimos la deforestación como el proceso por el cual la tierra pierde sus bosques. El hombre contribuye a la deforestación, en su búsqueda por satisfacer sus necesidades personales o comunitarias, utiliza la madera para fabricar muchos productos. La madera también es usada como combustible o leña para cocinar y calentar. Por otro lado, las actividades económicas en el campo requieren de áreas para el ganado o para cultivar diferentes productos. Esto ha generado una gran presión sobre los bosques.

Este fenómeno de la deforestación se ve agravado por la lluvia ácida, la desertificación, y los incendios forestales. Los incendios forestales, pueden definirse como la propagación libre e ilimitada del fuego, cuya acción consume pastos, matorrales, arbustos y árboles. Para que un incendio ocurra deben existir tres factores: el oxígeno, el calor y el combustible.

Otras de las causas de la deforestación son la tala, la cual convierte el bosque en tierra agrícola, la cría de ganado, la urbanización y la construcción de infraestructuras, y la minería.

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar la dinámica temporal de la deforestación en la República Dominicana, en base a la comparación de imágenes satelitales de los años 1985 y 2000, obtenidas por los satélites Landsat .

## II. Antecedentes

Para hacer referencias a la deforestación, primero es interesante definir al objeto sobre el cual actúa el fenómeno, el bosque, y posteriormente, definiremos la deforestación. Para ello se citan textualmente las definiciones de la FAO en el informe “Situación de los Bosques del



Mundo 2001". Más definiciones se encuentran en otros documentos de FAO. La denominación bosque incluye bosques naturales y plantaciones forestales. Con este término se designa la tierra con una cubierta de copa de más del 10 por ciento de la zona y una superficie superior a 0,5 ha. Los bosques están determinados por la presencia de árboles y la ausencia de otros usos predominantes de la tierra. Los árboles deberían poder alcanzar una altura mínima de 5 m. El término incluye bosques utilizados con fines de producción, protección, conservación o usos múltiples (es decir, bosques que integran parques nacionales, reservas de la naturaleza y otras áreas protegidas). El término excluye específicamente árboles establecidos principalmente para la producción agrícola, por ejemplo plantaciones de árboles frutales, y los árboles plantados en sistemas agroforestales.

La Deforestación es la transformación del bosque en otro uso de la tierra o reducción a largo plazo de la cubierta de copa por debajo del umbral mínimo del 10 por ciento. La deforestación implica la pérdida duradera o permanente de la cubierta forestal y la transformación del bosque en tierras dedicadas a otros usos. Dicha pérdida de bosque sólo puede ser causada o mantenida por una perturbación continuada debida a la intervención humana o a causas naturales. El término deforestación se aplica a las zonas de bosque que se destinan a la agricultura y el establecimiento de pastizales, embalses y núcleos urbanos. No se aplica a aquellos lugares en los que se han extraído los árboles en el curso de actividades de aprovechamiento o explotación y en los que se confía en regenerar el bosque de forma natural o con ayuda de medidas silvícolas.

## 2.1 Deforestación en la RD

El inventario forestal llevado a cabo por la FAO en 1973, reveló que en la República Dominicana, los bosques primitivos originalmente cubrían cerca del 99% del país. A comienzos del siglo XX, quedaba aún el 85% del 99% original de la capa forestal.

Pareciera que la aceleración de la deforestación comenzó en la última etapa de los años treinta. En los 28 años desde 1909 a 1937 solamente se había perdido otro 12% de los bosques, mientras que en los 30 años siguientes (para 1967) casi el 50% de la zona que quedaba en 1937 había sido despejada. Se piensa que el aumento en la cantidad de aserraderos causó la severa pérdida observada, junto a una mejorada red de caminos. Entre 1930 y 1967, cuando se ordenó el cierre de todos los aserraderos, la cantidad de aserraderos en el país aumentó de 20 a 178.

En los siglos después del descubrimiento de la isla, la exportación de especies latifoliadas de las tierras bajas, especialmente *Swietenia mahogani*, era la principal fuente de ingresos del país. Sin embargo, hasta comienzos de los años treinta, el valor de las importaciones madereras excedía el 80% del valor de exportación, porque la industria maderera nacional no podía hacer frente a la creciente demanda de madera del país (FAO, 1948). La situación fue a la inversa en la década de 1930, y para 1946 la importación de madera era prácticamente nula (FAO, 1948).

La construcción de caminos, llevó a un incremento en la explotación de los bosques de pino del país en las zonas montañosas, destinados a su exportación.

En el período de 1940 a 1946 el volumen de exportación de madera de pino excedía el de todas las otras especies en casi ocho veces, y su valor era de seis veces el de estas especies (FAO, 1948). En 1964 la producción

de pino ascendió a un volumen de 92.000 m de madera recolectada (Russo, 1987).

Sin embargo, mientras la explotación de madera de pino era insignificante hasta comienzos de los años treinta, la destrucción de los bosques de pino empezó en las zonas montañosas remotas tan temprano como en la década de los ochenta. Eggers (1888) y Woodward (1910), ambos citados en Darrow (1990), informaron que habían visto agricultura de tumba y quema en la Cordillera Central (la zona principal de bosques de pino) y un equipo del gobierno descubrió que la cuenca del Río Yaque del Norte, una de las más aisladas de la Cordillera Central, había sido extensamente deforestada por cultivadores migrantes (Darrow, 1990). Después de la clausura de todos los aserraderos en 1967, la agricultura y quema se convirtió en la causa mayor de deforestación en las zonas montañosas del país, tampoco fue menos el hecho de que las familias quienes se habían ganado la vida en la industria de aserradero, tenían que encontrar otra fuente de ingresos, y muchos permanecieron en las montañas y se volvieron hacia la agricultura migratoria (Moya, 1988).

Los datos muestran una pérdida acelerada de bosques (más recientemente 36.143 hectáreas por año) a lo largo del período, con zonas deforestadas generalmente convertidas a la producción agrícola y ganadera, en especial ésta última.

### 2.1.1 Causas subyacentes de deforestación en RD

En el pasado la política macroeconómica de la República Dominicana se había caracterizado, según Morell (1988), por ser antirural. A fin de lograr desarrollo industrial y urbano, se capitalizaron los recursos rurales (agricultura y forestería) y se invirtieron en la infraestructura física y tecnológica de las zonas urbanas. No ha habido nunca una apropiada inversión en forestería o bosques. La concentración sobre el

desarrollo urbano se muestra muy claramente mediante la distribución de subvenciones disponibles.

Los habitantes rurales viven en una situación donde carecen de empleo, ingresos, asistencia sanitaria y educación, lo que puede causar efecto sobre la deforestación. El efecto de la deforestación de cuencas sobre la agricultura de riego, energía y agua potable puede ya notarse. No solamente se han secado un gran número de ríos, sino que también han disminuido algunos de los flujos de agua de sistemas de ríos principales, entre el 23 y 35% en un período de 20 años (Pérez, 1985, citado en Morell, 1988).

### 2.1.2 Parques Nacionales

Lago Enriquillo: Resto de un antiguo canal marino, fruto del tectonismo antillano y Fondo de una depresión tectónica localizado a más de 40 metros bajo el nivel del mar, en cuyo centro se encuentra la isla Cabritos. Este es el Lago más grande (260 kms<sup>2</sup> aproximadamente) e hipersalino (tres veces más salino que el mar Caribe) de las Antillas. Lago Enriquillo es un sitio turístico de clima seco bordeado por hermosos balnearios de aguas sulfurosas y frías, verdaderos oasis, además de arte rupestre de origen prehispánico (Las Caritas).

Parque Nacional de Los Haitises: El Parque Nacional de Los Haitises, se encuentra situado al noroeste de la República Dominicana, enmarcado en la Bahía de Samaná, de la cual forma parte. La vegetación de los Haitises está constituida por un bosque tropical húmedo de latifoliadas en el seno de sus depresiones, pasando a un bosque tropical semidecídulo en los mogotes y cayos del litoral. Es uno de los espacios con mayor biodiversidad del país y el Caribe,



Figura. 2 Los Haitises

con más de 700 plantas vasculares. La vegetación litoral de manglar, 98 kms cuadrados, ocupa localmente alguno de los caños de los Haitises y de manera más extensa, la desembocadura del río Yuna y la Bahía de San Lorenzo.

**Parque Nacional Jaragua:** Localizado en la región sudoeste del país y enclavado en Barahona. A grandes rasgos, se destaca una población alta de vegetación de regeneración lenta, adaptada a la alta variación solar y a la reducida precipitación. La vegetación más común es la siguiente: Uva de playa, caoba, guayacán, roble y guazábara.

**Parque Nacional Armando Bermúdez:** El relieve en que está localizado este parque nacional es abrupto y comparte con el Parque Nacional José del Carmen Ramírez la mayor altura de las Antillas, representada por el Pico Duarte, con una altura de 3,175 metros, seguido en orden de magnitud por los picos La Pelona (3,097 metros), Yaque (2,760 metros) y La Rusilla (3,038 metros). La flora fundamental de este parque está constituida principalmente por el pino criollo.

**Parque Nacional José del Carmen Ramírez:** Conjuntamente con el Parque Nacional Armando Bermúdez, este parque nacional posee en su interior la mayor cantidad de recursos hidrológicos. En él nacen los principales ríos que producen la irrigación del Valle de San Juan. Allí nace el río Yaque del Sur y todos sus afluentes, regando con el Armando Bermúdez alrededor de 80,000 tareas. Las formaciones vegetales están estructuradas fundamentalmente por bosques de coníferas, mixtos y latifoliadas o de hojas anchas. Predomina el pino criollo, que ocupa el piso superior.

**Parque Nacional Sierra del Bahoruco:** Este parque nacional constituye un ejemplo de estabilidad climática en el suroeste árido de La Española. Hay gran variedad de formaciones vegetales, que van desde el bosque

seco a nivel del mar hasta el bosque húmedo en el centro del parque. La vegetación posee un interesante atractivo científico y botánico. La flora es muy variada. Existen vastas superficies de pinares y grandes árboles de hojas anchas (latifoliadas), y muestras de bosques mixtos de interés ecológico excepcional.

**Parque Nacional del Este:** Este parque está localizado en el extremo sureste del país. Tiene forma de una península trapezoidal. Su extensión total es de 310 kilómetros cuadrados. Incluye a la isla Saona. Dentro del Parque Nacional del Este se distinguen tres zonas de vida, según la clasificación de Holdridge: Bosque Húmedo Subtropical, Bosque Seco Subtropical y Bosque de Transición entre los dos anteriores.

**Reserva Científica Ebano Verde:** Esta reserva se encuentra localizada en el paraje Loma de la Sal, sección Paso Bajito, municipio de Jarabacoa, provincia de La Vega. Esta área está clasificada como Bosque muy húmedo montano bajo, según Holdridge.

La vegetación de la reserva está compuesta por un gran número de árboles, arbustos, bejucos y hierbas.

**Reserva científica natural de Valle Nuevo:** Incluye un amplio espectro de los diferentes tipos de vegetación de las montañas, con predominio de los pinares. Los tipos de vegetación corresponden al bosque nublado, bosque de ébano verde en Pinar Parejo, bosque nublado de la zona alta (La Nevera) y a la sabana montañosa.

**Reserva científica Loma Quita Espuela:** Se considera como el último remanente del bosque pluvial de la República Dominicana. Forma parte de la Cordillera Septentrional y se localiza próximo a San Francisco de Macorís, Provincia Duarte. El árbol predominante es la *Mora abbotti*, especie endémica y de distribución restringida a nivel de los bosques muy húmedos de latifoliadas. Debido a su alta reproducción natural, su rápido

crecimiento y la alta calidad de su madera, este árbol representa un gran potencial dentro de un esquema de economía forestal. Otras especies características de la zona son la Sabina sin Olor y el Ciguamo, Siguamo o Quiebrahacha ( *Krugiodendron ferreum*), las cuales alcanzan altura de 15 m. y troncos de 1 m. de diámetro.

**Bosque Modelo Sabana Yegua:** La cuenca del Sabana Yegua se encuentra en la Cordillera Central, árida ladera sur de la cadena montañosa central de la República Dominicana. La zona está dividida en tres subcuencas que abarcan los drenajes de los ríos Yaque del Sur, Grande del Medio y Las Cuevas, que alimentan a la presa de Sabana Yegua.

### 2.1.3 Planes y/o Políticas establecidas para el Desarrollo Sustentable

En el país se avanza de forma significativa en la implementación de un conjunto de estrategias, planes y programas nacionales que contribuyen e inciden en la lucha contra la Desertificación y la Sequía. Los planes, estrategias y programas que se desarrollan en la actualidad son los siguientes:

- **Plan Nacional Quisqueya Verde**

Este tiene como objetivo mejorar las condiciones de vida de la población en las zonas rurales, a través del fomento, manejo y utilización de los recursos naturales, la generación de empleo, la protección del medio ambiente y la coordinación entre las instituciones del estado y las organizaciones de la Sociedad Civil, que trabajan a favor del desarrollo sostenible.

Este Plan tiene una cobertura nacional, aunque prioriza aquellas áreas que necesitan una mayor atención. El mismo tiene una amplia participación de la sociedad civil y se ejecuta con fondos del Gobierno Dominicano,

contemplados en el presupuesto nacional.

- Proyecto de Políticas Ambientales

Este proyecto se formuló con el objetivo de establecer las bases para un manejo ambiental mejorado en la República Dominicana, a través de un proceso de aprendizaje y participación, definiendo reformas de políticas ambientales y elaborando un Programa Nacional de Gestión Ambiental.

Este proyecto se ejecuta con un préstamo del Banco Mundial. El mismo aportará estudios claves para elaborar un Programa Nacional de Gestión Ambiental, el cual podrá servir de base para la elaboración del Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía.

- Programa 21 Nacional

Es una iniciativa del Gobierno Dominicano para apoyar la Comisión Nacional de Seguimiento a los Acuerdos de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo y generar un proceso participativo entre el sector público y privado que permita articular las dimensiones sociales, económicas y ambientales en pro del desarrollo sostenible. El programa tiene como objetivo el desarrollo de las capacidades institucionales y técnicas del país, para detener el proceso de degradación del medio ambiente y la biodiversidad, mediante un proceso que garantice las bases de la sostenibilidad integrando las dimensiones económicas, sociales, científicos -tecnológicas y ambientales en la planificación y gestión del desarrollo sostenible nacional, con la participación de los diferentes actores de la sociedad. El mismo tiene un horizonte de tres años, y se ejecuta con un financiamiento del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Gobierno Dominicano.

- Programa Nacional de Cambio Climático

El objetivo del programa es la preparación de la Comunicación Nacional



sobre Cambio Climático, la cual constara de un inventario de los gases de efecto invernadero, un estudio de vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático y un estudio de mitigación. Este programa está en su fase inicial y se ejecuta con una donación del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM).

- Estrategia Nacional y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad

Esta tiene por objetivo asistir a la República Dominicana en la preparación de su estrategia nacional y el plan de acción de conservación de la biodiversidad, en cumplimiento a los artículos 6 y 8 de la Convención de Diversidad Biológica. En la misma se identificarán estrategias claves y acciones prioritarias para la conservación y administración de la biodiversidad, en el contexto del desarrollo sostenible. La estrategia y el plan de acción nacional, constituyen herramientas básicas para emprender acciones de Lucha contra la Desertificación y la Sequía ya que permitirá hacer un mejor uso de la biodiversidad del país. La misma está en su fase inicial y se ejecuta con una donación del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM).

- Programa de Pequeños Subsidios del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (PPS/FMAM)

El objetivo del proyecto es asegurar los beneficios ambientales globales a partir de intervenciones en las áreas de biodiversidad, cambios climáticos y aguas internacionales a través de propuestas basadas en la comunidad, que generen beneficios locales. En los próximos dos años, el Programa de Pequeños Subsidios se dirige a apoyar la implementación de unos 25 nuevos proyectos, los cuales estarán concentrados en las provincias de la zona fronteriza, los cuales abordaran la promoción de nuevos métodos de producción sostenible y ecoturismo, utilizando los recursos de biodiversidad local, la protección de fuentes acuíferas terrestres y el

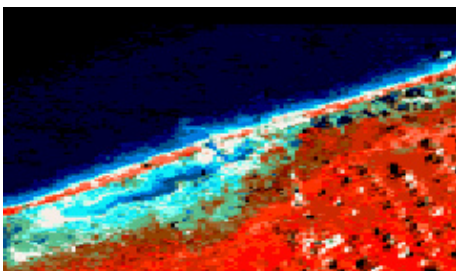
uso de paneles solares e hidrogeneradores, como alternativa de energía limpia. En la medida de las posibilidades, los proyectos para ser apoyados, deben presentar una estrategia de cómo van a trabajar el tema de la desertificación, en el lugar de ejecución. En esta fase que se inicia se han priorizado cuatro áreas focales: conservación de la biodiversidad, cambios climáticos, aguas internacionales y desertificación y sequía.

- Estrategia Nacional de Educación Ambiental

Esta se elaboró en 1992 con el objetivo de poner en práctica la Ley 295-85, (que hace obligatorio introducir en los planes educativos la conservación los recursos naturales y el ambiente) y para la formulación de un Plan de Acción Nacional sobre Educación Ambiental. La estrategia contiene un conjunto de acciones tendentes a contribuir con la formación de ciudadanos conscientes y defensores de su medio ambiente. Los aspectos fundamentales que se toman en cuenta en la estrategia, para alcanzar los propósitos previstos son: la política de gestión, los aspectos institucionales, la investigación y la capacitación. Dentro de la puesta en marcha de la estrategia, se ejecuta en los momentos actuales el Proyecto de Educación Ambiental en la Enseñanza Básica, el cual es financiado por la GTZ y el Gobierno Dominicano.

## 2.2 Percepción Remota Espacial

### 2.2.1 Los Sensores Remotos Conceptos



#### Definición

La percepción remota es la unión de disciplinas que tiene como objeto la captura y procesamiento de señales obtenidas con instrumentos físicamente alejados del objeto a ser medido. Estos instrumentos pueden ser portátiles o bien, estar alejados a grandes distancias como aquellos montados sobre una plataforma aérea o un satélite.

Su origen viene de la continua necesidad del hombre de explorar lo que lo rodea. Podemos considerar el ojo humano como una forma única de sensor remoto debido a que a través él, se captura la luz lo que permite obtener una representación visual del paisaje que ha sido enfocada por el iris y el cristalino del ojo.

## Funcionamiento de la percepción remota

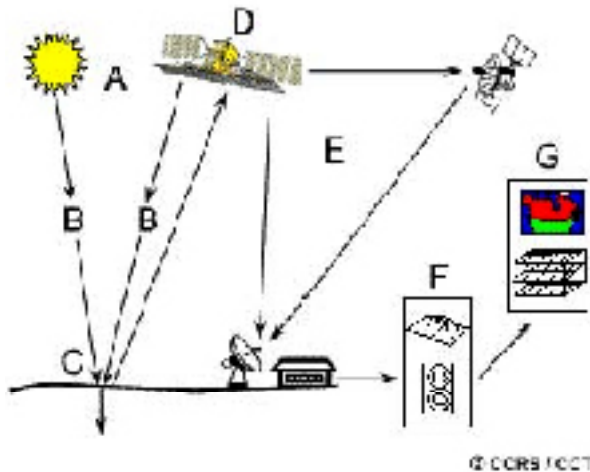


Figure - Remote Sensing Process (CCRS 2004)  
Energy Source or Illumination (A)  
Radiation and the Atmosphere (B)  
Interaction with the Target (C)  
Collect the electromagnetic radiation (D)  
Transmission, Reception, and Processing (E)

Como ya dijimos la percepción remota, es la utilización de sensores para la adquisición de informaciones sobre objetos o fenómenos sin que haya contacto directo entre el sensor y los objetos.

Esta tecnología utiliza un flujo de radiación electromagnética que al propagarse por el espacio interactúa con superficies u objetos, siendo reflejada, absorbida o emitida por dichas superficies u objetos. Siempre que se realiza un trabajo, algún tipo de energía debe ser transferida de un cuerpo para otro, o de un lugar para otro en el espacio. De todas las formas posibles de energía, existe una de especial importancia para la Percepción Remota: la energía radiante o energía electromagnética, la cual es la única

que no necesita de un medio material para propagarse. El ejemplo de energía radiante más familiar y de mayor importancia es la energía solar, que se propaga por el espacio vacío desde el Sol hasta la Tierra.

## Espectro electromagnético

Este espectro está subdividido en bandas, representando regiones que poseen características peculiares en términos de los procesos físicos, generadores de energía, o de los mecanismos físicos de detección de esta energía. Dependiendo de la región del espectro, se trabaja con energía (electro-volts), longitudes de onda (micrómetro), o frecuencia (hertz). Por ejemplo: en la región de los rayos gama y cósmicos, se usa energía; en la región entre ultravioleta e infrarrojo, se usa longitud de onda; y en la región entre microondas y radio, se utiliza frecuencia.

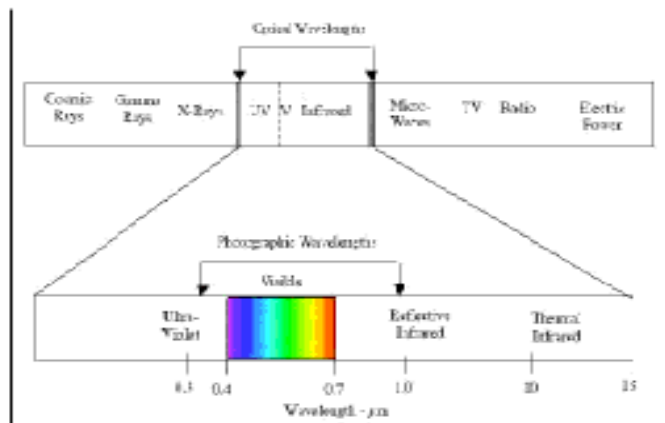


figura 4. Espectro electromagnético

se describen a seguir y están representadas en la figura a continuación.

La banda más utilizada en Percepción Remota está entre 0,3  $\mu\text{m}$  y 15,0  $\mu\text{m}$ , la cual se conoce como espectro óptico.

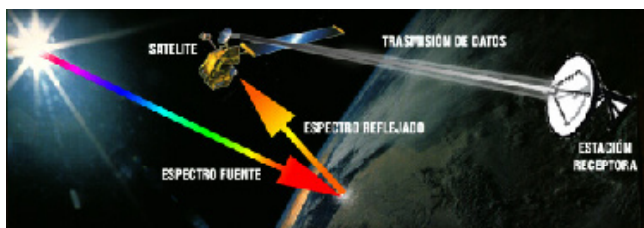
## Bandas del Espectros Electromagnéticos más utilizado en Percepción Remota.

**Infrarrojo:** de gran importancia para la Percepción Remota. Engloba la radiación con longitudes de onda de 0,75  $\mu\text{m}$  a 1,0 mm. La radiación infrarroja es fácilmente absorbida por la mayoría de las sustancias (efecto de calentamiento).

**Visible:** es definida como la radiación capaz de producir la sensación de visión para el ojo humano normal. Presentan una pequeña variación de longitud de onda (380 a 750 nm). Importante para la Percepción Remota, ya que las imágenes obtenidas en esta banda, generalmente presentan una excelente correlación con la experiencia visual del interprete.

**Ultravioleta:** extensa banda del espectro (10 nm a 400 nm). Películas fotográficas son más sensibles a la radiación ultravioleta, que a la luz visible.

Esta banda es utilizada para la detección de minerales por luminescencia y



polución marina. Uno de los grandes obstáculos para la región del espectro, es la fuerte atenuación atmosférica.

Figura 5. Esquema Operativo de un Satélite de Observación

En un sistema de sensores remoto los objetos terrestres son iluminados por la radiación solar, estos reflejan la radiación visible y no visible.

La radiación reflejada es capturada por los sensores montados en satélites, tales como Landsat y NOAA, etc, siendo parcialmente procesada a bordo de éstos y luego retransmitida a estaciones receptoras terrestres para

su posterior procesamiento y análisis, además proveen de datos espaciales para la investigación científica y el desarrollo.

Los datos así obtenidos pueden ser analizados con avanzados Pc's, para obtener información sobre las condiciones de los elementos en la superficie terrestre.

El manejo de datos espaciales con el uso de eficientes programas de cómputo llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG), reúne, traslapa y analiza estadísticamente datos espaciales de una misma área geográfica.

Con el desarrollo moderno de la ciencia de la computación electrónica digital se ha dado un auge importante a la percepción remota, pues la disponibilidad de estas herramientas permite la evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha permitido incorporar nuevos métodos y dispositivos de captura de datos a distancia, lo que ha hecho que la percepción remota extienda su campo de acción a fenómenos muy diversos.

## Instrumentos que se utilizan

**Espectro-radiómetro:** Es un instrumento que permite captar la radiación emitida o reflejada por un objeto en ciertas bandas del espectro electromagnético. Este instrumento es utilizado en plataformas satelitales (SPOT, LANDSAT, NOAA, etc.). También en plataformas aerotransportadas o directamente en terreno para mediciones locales. Este equipamiento permite abarcar parte del espectro ultravioleta, el espectro

visible completo y el infrarrojo cercano.

**Antena Receptora:** Esta antena es la encargada de capturar las señales de los satélites y enviarlas a la estación receptora de señales, la cual las debe procesar e identificar los espectros magnéticos que son útiles para el estudio de percepción remota. La recepción de imágenes es 2 veces al día, y después éstas se arreglan radiométricamente y geométricamente, para luego ser analizadas.



Figura 6. Domo y antenas receptoras

## Software

Los software mas utilizados en la actualidad son los siguientes:

**ERDAS Imagine**

Es un potente software de tratamiento digital de imágenes, así como un sistema de información geográfica, fácilmente integrable con sistemas vectoriales como ARC/INFO.

ERDAS Imagine es un programa de calidad para el análisis de cualquier tipo de dato geográfico.

## ARC/INFO

Se utiliza mayormente para desarrollo de Sistemas de Información



Geográfica (SIG). Pertenece a la familia de ArcGis, ArcInfo es el software mas completo para (SIG), permite creación de datos y análisis de sistemas. Incluye otros programas como ArcView y ArcEditor.

## IDRISI

IDRISI es un programa SIG producido por Clark Labs. La organización fue fundada en 1987 como el proyecto IDRISI por el profesor Ron Eastman. En 1994 el nombre fue cambiado a Clark Labs. Es una institución de educación e investigación localizada en la Universidad de Clark en Worcester, Massachussets, USA y está fuertemente atada a la Escuela de Graduación de Geografía y al programa de desarrollo Internacional de Clark. Las actividades de este laboratorio pueden agruparse en tres áreas: El desarrollo, la distribución y el soporte del análisis geográfico y del sistema de software de procesamiento de imágenes y el paquete de edición y digitalización vector CartaLinx; programas de educación y de investigación.

Desde su presentación en 1987, IDRISI ha alcanzado 20000 instalaciones en más de 130 países alrededor del mundo. En 1998 fue presentado el CartaLinx, un estructurador de datos espaciales. El programa permite la digitalización, desarrollo de bases de datos y edición topológica; soporta una variedad de métodos de entrada de datos y formatos para transferir desde ArcInfo, ArcView y MapInfo. Actualmente existen en actividad muchos grupos de investigación en Clark Labs. Estas investigaciones incluyen: Análisis de cambios y de series de tiempo, soporte de decisiones e incorporación de errores al SIG, análisis Geoestadístico, modelamiento de superficies, transferencia de tecnología e implementación de sistemas. Artículos de revistas, presentaciones de conferencia, documentos de proyectos, materiales de entrenamiento y nuevas capacidades de software son productos típicos de las actividades de investigación.

## Aplicaciones Generales de la Percepción Remota

Los temas de aplicación que se desarrollan actualmente se dirigen a estudiar los beneficios de la percepción remota en la producción de recursos naturales, como por ejemplo los océanos y bosques, en general los Laboratorios están en constante búsqueda de nuevas utilidades de la percepción remota, hasta ahora se ha utilizado en los siguientes campos:

- Educación
- Agricultura
- Cartografía
- Ingeniería
- Medio ambiente
- Hidrología
- Meteorología
- Gestión de recursos naturales
- Oceanografía
- Telecomunicaciones
- Planificación rural y regional
- Estudios y gestión de recursos forestales
- Aplicaciones militares

Aplicaciones del radiómetro en estudios de crecimiento de plantas o árboles, y el control de calidad de fuentes luminosas. Una de las principales aplicaciones de la radiometría in situ es la validación de la información entregado por los satélites, lo que permite decidir que tipo de sensor espacial utilizar para una aplicación específica.

## 2.2.2 LANDSAT



Uno de los proyectos de sensores remotos espaciales de mayor éxito en aspectos geográficos, recursos naturales y medio ambiente ha sido el programa Landsat, el cual se origina primero con el nombre de Earth Resources Technology Satellites (ERTS) en 1967 pero que en 1975 la NASA oficialmente lo renombra como programa “Landsat” y al satélite ERTS-1 como Landsat-1 (Lillesand y Kiefer, 1994).

Figura 7. La imagen muestra el Landsat 7 acoplado con el Boeing Delta II en Vandenburg AFB, Ca.

Su importante aportación ha sido el proveer datos globales de alta resolución multiespectral en forma repetitiva, lo cual ha permitido a muchos científicos el estudio de aspectos ambientales relacionados con la superficie de la tierra y sus cuerpos de agua. El programa ha pasado ya por dos generaciones, la primera comprendió los Landsat 1, 2 y 3, y la segunda generación los Landsat 4 y 5. Los Landsat 6 y 7 pertenecen ya a una tercera generación. A partir del Landsat 4 el diseño cambió por completo; de la plataforma de tipo Nimbus de los Landsat 1-3 de órbita polar, altitud de 913 km y ciclo de 18 días, para tener una órbita polar de altitud 700 Km. y un ciclo más corto de 16 días. Los Landsat 4 y 5 al igual que las generaciones pasadas portan un sensor MSS con un tamaño de pixel de 82 m X 82 m, pero en vez de la cámara RBV se introdujo un nuevo sensor, el Thematic Mapper (TM). El nuevo sensor, es uno de alta resolución con una sensibilidad radiométrica mejorada, con un tamaño de pixel reducido a 30 m para seis bandas y una banda infrarrojo térmica

de pixel 120 m. El TM es un radiómetro de barrido que no emplea fibras ópticas como el MSS pero cuyo grado de precisión de los datos es mayor, ya que el MSS ocupa un rango de cuantificación de 64 niveles pudiendo tomar cualquier pixel un valor entre 0 y 63 inclusive, mientras que en el TM tienen 256 niveles logrando en un pixel valores desde cero hasta 255 inclusive (Harris, R. 1987), es decir cuatro veces más valores por pixel.

En la tabla a continuación se muestran las características de los sensores MSS y TM que poseen los Landsat 4 y 5.

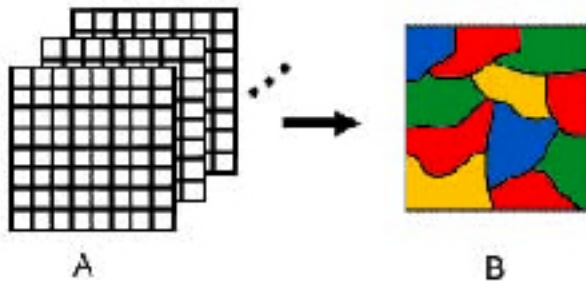
Tabla 1. Características de los sensores Multispectral Scanner(MSS) y Thematic Mapper (TM) a bordo de los Landsat 4 y 5 (Harris, R. 1987).

Band.	Longitud de onda del MSS (micrometros)	Longitud de onda De TM (micrometros)	Aplicaciones principales para datos de zonas temáticas.
1	0.5-0.6	0.45-0.52	
2	0.6-0.7	0.52-0.6	Mapas de agua costeras, diferenciación de suelo y vegetación. Efectancia verde de la vegetación sana.
3	0.7-0.8	0.63-0.69	Diferenciación en la absorción de energía por las diferentes especies de plantas. Medición de biomasa. Humedad e turgencia del tejido vegetal.
4	0.8-1.1(1.0)	0.76-0.9	
5		1.55-1.75	Discriminación nubes/neblinas
6		0.40-11.7	Mapas zona, incluyendo estrés de la vegetación. Mapas geológicos y humedad e turgencia del tejido vegetal.
7		2.08-2.35	

## 2.3 La Imagen Digital

Una imagen pictórica podría definirse de manera muy general como una escena a tiempo real o impresa capaz de ser percibida exclusivamente mediante el sentido de la visión. Mientras que la imagen digital, además de poder percibirse de manera pictórica, puede ser considerada como

un arreglo rectangular tridimensional o matriz de valores numéricos de radiancia reflejada o emitida por cada unidad mínima de información por área (pixel) que contenga la escena en cuestión en cada una de sus capas o bandas espectrales. Los valores de radiancia en las imágenes digitales aéreas o satelitales son cuantificados en escala o magnitud que van normalmente de 6, 7, 8 o 10 bits, dependiendo del tipo de sensor que las capta o de la naturaleza del procesamiento de éstas en tierra. Por ejemplo, las imágenes Landsat-TM tienen una resolución radiométrica de 8 bits y obtiene información de siete bandas espectrales, mientras que las imágenes SPOT HRV tienen igual resolución pero sólo para tres bandas. Por lo tanto, un valor numérico se asocia a cada pixel por cada banda espectral en una imagen digital.



La naturaleza analógica de las imágenes digitales en comparación con las pictóricas es que permiten recursos de manipulación y procesamiento computacional a la medida de las necesidades de estudio e interpretación de las mismas. Lo que permite aplicarles desde técnicas de mejoramiento (de contraste o coloreado) hasta las de realce (de transformación) de la imagen que se verán más adelante.

### 2.3.1 Procesado de la imagen

La percepción remota satelital ya no produce datos pictóricos como en sus principios, en la actualidad son datos registrados de forma digital como ya se ha explicado. La mayoría de los datos de las imágenes de satélite son transmitidos a la Tierra como valores digitales de la respuesta de cada pixel en la longitud de onda empleada por el sensor. Eventualmente estos datos pasarán a un proceso de digitalización de imágenes mediante la manipulación e interpretación de los mismos. Cada pixel de una imagen es la unidad visual más pequeña que puede percibirse en una imagen y que se define mediante un número entero llamado Digital Number o por sus siglas DN, que en la literatura española se le conoce como ND o Nivel Digital, este valor numérico representa una medida de la intensidad visual convertible a un nivel de gris (Grey Level) por un monitor de televisión o cualquier convertidor digital-analógico, estos valores en cada imagen son organizados en un arreglo matricial tridimensional, cuyas dos primeras dimensiones definen sus coordenadas geográficas y la dimensión espectral la tercera. Tales características permiten que la gran información que encierran las imágenes satelitales pueda ser mejorada y transformada para múltiples propósitos de detección e interpretación.

Los seres humanos somos buenos para la interpretación de imágenes, nuestros ojos nos restringen a ver sólo en blanco y negro los datos de una banda o en color en la combinación de tres bandas de datos. Con el Landsat-TM se tienen siete bandas disponibles. Para el ser humano sólo es posible ver una selección de tres y las bandas restantes no son usadas. Los ojos no pueden dividir una imagen por otra, pero la división entre la reflectancia del infrarrojo cercano sobre la reflectancia del rojo da información útil sobre la vegetación como ya se explicó anteriormente. De tal manera que muchas son las técnicas que sólo son posibles usando el análisis de la imagen digital y no podrían interpretarse únicamente de manera visual. La idea central detrás del proceso de la imagen digital es

simple, los datos digitales son introducidos pixel por pixel a la computadora, y ésta está programada para insertar estos datos en una ecuación o serie de ecuaciones y luego almacena los resultados computados para cada pixel. Lillesand y Kiefer (1994) señalan que a pesar de que pueda haber una infinidad de maneras para manipular digitalmente una imagen, todas ellas podrían ser categorizadas dentro de una o más de los siguientes cinco tipos de operaciones asistidas por computadora. Más adelante se enlistan las transformaciones de la imagen, por separarlas del realce o mejoramiento

### 2.3.2 Rectificación y Restauración de Imágenes

También llamado operaciones de preprocesamiento: consiste en corregir distorsiones o degradación de los datos de la imagen y crear una más fiel representación de la escena original; distorsiones geométricas a corregir de los datos crudos de la imagen, calibrar los datos radiométricamente y eliminar el ruido presente en los datos. El proceso de restauración depende básicamente de las características del sensor usado para adquirir los datos.

Por lo general para lograr estudios multi-temporales y multi-espectrales se necesita aplicarles a cada imagen digital a ocupar un tratamiento preliminar de corrección geométrica y radiométrica para arreglar defectos o distorsiones en su adquisición, emisión o recepción, pero principalmente para disponerlas a poder ser sobrepuestas sin generar nuevas distorsiones. Los métodos de detección de cambios ocupan algoritmos propios que requieren que las imágenes sean previamente corregidas atmosféricamente, georreferenciadas y corregidas topográficamente. En el primero de los casos se pretende eliminar el efecto provocado por los diferentes gases que constituyen la atmósfera y que modifican la radiancia original proveniente de la superficie terrestre y captada por el sensor remoto. Este efecto sin

embargo, es menor conforme las longitudes de onda emitidas aumentan ( Lillesand y Kiefer, 1994) y presentan por lo tanto un mejor contraste entre las respuestas de las coberturas similares. La georreferencia es una modificación geométrica de la imagen que pretende corregir los errores sistemáticos derivados de la rotación terrestre o de la inclinación de la órbita y parte de los datos orbitales del sensor. Una modificación alterna trata de manera más empírica el ajuste de la imagen a una cartografía básica o a otra imagen tomada como referencia; ambos casos requieren de tres pasos que son la localización de puntos de control o comunes a ambas imágenes o al mapa; aplicación de una función de transformación de las coordenadas de la imagen a las coordenadas de referencia, en este caso si la imagen es de un terreno muy accidentado conviene utilizar el cálculo de una función polinomial más compleja (de segundo o tercer grado) y por último pasar los valores ND de la imagen original a su nueva posición corregida mediante una de las tres funciones siguientes: del vecino más próximo; por interpolación bilineal y por convolución cúbica. Las dos últimas más complejas implican una mayor transformación de los ND originales. La corrección topográfica es importante en zonas montañosas de superficie muy irregular con diferencias de pendientes para evitar las variaciones de iluminación y por ende de radiancia en la imagen y entre las imágenes de diferente fecha y temporada; una manera de atenuación es la descrita arriba mediante la corrección geométrica con funciones complejas, otra es el ajuste con modelos de elevación digital (DEM por sus siglas en inglés) y la aplicación del modelo de corrección lambertiano o bien con otro no-lambertiano como el modelo de superficies de Minnaert (Recondo González, C., 2000) entre otros.

### 2.3.3 Mejoramiento de la Imagen

Se realiza en los datos de la imagen para hacer más efectivo su acceso



en subsecuentes interpretaciones visuales. El realce de la imagen implica técnicas para el aumento de los rasgos distintivos entre características o aspectos visuales de la imagen. Su objetivo es crear una nueva imagen de los datos originales para aumentar la cantidad de información que puede ser visualmente interpretada de ellos. La imagen realzada o mejorada puede ser mostrada interactivamente en un monitor o puede ser grabada en un formato de disco duro, en blanco y negro o a color. Mather, P. (1999) diferencia el mejoramiento o realce (image enhancement techniques) de cualquier transformación de la imagen arguyendo que en el mejoramiento no se llegan a alterar los datos originales de la imagen para incluso crear otra imagen artificial o transformada, sino que únicamente se escalan sus valores ND a un mayor o menor o igual intervalo que el de 0-255 mejorando su contraste o en términos fotográficos la exposición de la imagen. O bien, solo se traducen los valores de luminiscencia de la imagen de brillo o tono de grises (desde el negro al blanco) a matices de colores mejorando su percepción visual, ya que el ojo humano discrimina un mayor número de matices de colores que de tonos grises.

### 2.3.4 Transformación de la Imagen

Usualmente a este término se le asocia con la aplicación en una o varias imágenes multi-espectrales de las cuatro operaciones fundamentales de la aritmética (Mather, P. 1999). Es decir, ya sea que sus valores ND de una imagen multi-espectral o multi-temporal se sumen, resten, multipliquen o dividan se generará una imagen compuesta de dos o más bandas. Además, están otros métodos de transformación como el Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) o el que se basa en el anterior, el Estiramiento de correlación. Los métodos de base empírica como es el Índice perpendicular de vegetación y la transformación Tasseled cap, así como un método alternativo de representación del color el HSI, las

técnicas de filtraje o la transformación Fourier. La mayor parte de los métodos aquí nombrados se emplean en la detección de cambio y se tratan en el siguiente.

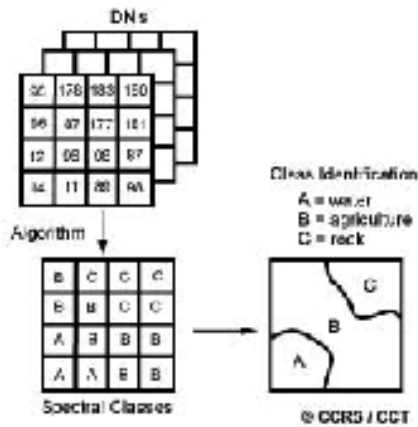
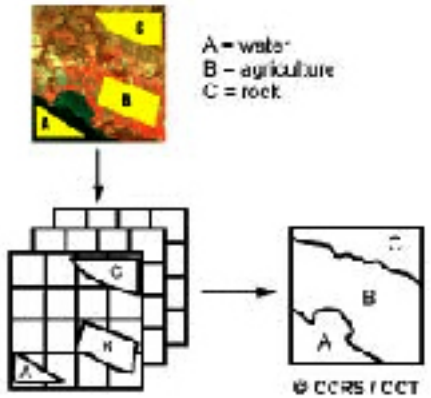


### 2.3.5 Clasificación de la Imagen

Su propósito es reemplazar el análisis visual de los datos de la imagen con técnicas cuantitativas para automatizar la identificación de las características de la escena, lo que implica un análisis multiespectral de los datos de la imagen y la aplicación de reglas de decisión basadas estadísticamente para la determinación de la identificación de la cobertura de terreno de cada pixel en la imagen. El proceso de clasificación que se basa únicamente en reglas de decisión a partir de las radianzas espectrales es llamado Patrón de Reconocimiento Espectral, el cual puede ser no supervisado o supervisado. En contraste, se llamará Patrón de Reconocimiento Espacial al proceso de clasificación que basa sus reglas de decisión en formas geométricas, tamaños, y patrones presentes en los datos de la imagen. En ambos casos el intento de procesar la clasificación es categorizar todos los pixeles de una imagen digital dentro de varias clases de cobertura de terreno, o «temas». Estos datos categorizados podrán entonces ser utilizados para producir mapas temáticos (TM) de la cobertura presente en una imagen, y/o producir una suma de estadísticos sobre las áreas cubiertas por cada

tipo de cobertura.

## Ejemplos de Clasificación



## 2.4 Métodos de Detección de Cambios

Las características dinámicas de muchas de las coberturas de la tierra han impulsado el desarrollo de técnicas de extracción de información a grande y mediana escala que permiten una visualización a través del tiempo de sus

fenómenos de origen y operación. Tales requerimientos han encontrado en la PRS una herramienta de interpretación poderosa y de aplicación práctica en las ciencias medio ambientales, como es la observación del avance de la frontera agropecuaria, el cambio de uso del suelo a nivel zonal y regional, el monitoreo climático y el del agujero de ozono, a niveles continentales la fenología de la vegetación, la desertificación de los suelos, el estudio planetario de las corrientes y las urgencias marinas.

Para tales propósitos los métodos de detección de cambios son técnicas que facilitan el análisis de las imágenes por satélite tomadas a diferentes tiempos bajo el recurso espectral de sus diferentes bandas que requieren del pre-procesamiento, realce y transformación de las imágenes originales que permita la utilización simultánea de las mismas (imagen multi-temporal y multi-espectral) para lograr una mejor detección en el análisis de cambios a observar. Los métodos en la detección de cambios de imágenes digitales van desde la simple comparación visual y manual de dos imágenes que apenas requiere de un simple pre-procesamiento hasta otros más complejos en su procesamiento. En general suelen basarse en operaciones de transformación aritméticas y/o empíricas aplicadas a una simple imagen multispectral de una área de interés o a un número de imágenes de la misma área tomadas en diferentes fechas, para generar una nueva imagen compuesta de una o más bandas. A continuación se describen algunos métodos más utilizados basados en los autores Mather, P.M. (1999) y Lillesand, T. y Kiefer, R. (1994).

### 2.4.1 Transformación Aritmética de Imágenes

Implica el uso de operaciones aritméticas sobre los ND de las imágenes generando una nueva imagen compuesta.

Diferencia de imágenes: Se restan pixel a pixel los ND de dos imágenes.

Se utiliza para revelar diferencias entre un par de imágenes de la misma área y diferente fecha. La diferencia tenderá a cero en áreas con menor cambio y se harán valores más positivos o negativos de lo contrario, ello impone la necesidad de escalar los datos de la imagen diferencia adicionándoles por ejemplo una constante.

División de imágenes: Se dividen pixel a pixel los ND de dos imágenes. Involucra cocientes o proporciones entre los datos de imágenes de dos fechas distintas. Tales cocientes tenderán a la unidad de pertenecer a áreas con menor cambio o a valores cercanos a cero o mayores que uno de lo contrario. Al igual que en la diferencia de imágenes es necesario aquí encontrar una umbral de cambio-no cambio significativo entre los datos. Una ventaja que tiene este procedimiento es que atenúa efectos extraños provocados por diferencias topográficas (iluminación, sombras, pendientes, etc.). a.2) Transformación empírica de imágenes: Implica la modificación de los ND de las imágenes originales generando una imagen artificial. Tales modificaciones responden en general al comportamiento multitemporal de modelos numéricos predeterminados a priori en condiciones determinadas.

Tasseled cap: Pretende definir un sistema nuevo tridimensional de coordenadas en donde la posición de un pixel individual es fijado mediante el computo de coeficientes designados a priori de tal manera que la línea de suelo y la región de la vegetación sean representadas con mayor claridad. Los ejes de tales coordenadas son nombrados «brillantes», «verdor» y «humedad» para las imágenes TM, donde la función de «brillantes» es un promedio ponderado de las seis bandas, mientras que el «verdor», con poca aportación de las bandas 5 y 7, es un contraste visible del infrarrojo cercano. La «humedad» es definida por el contraste entre las bandas del infrarrojo medio (5 y 7) y las bandas rojo e infrarrojo (3 y 4). Se ha justificado el empleo de esta función ya que provee un consistente sistema

de coordenadas basadas físicamente para la interpretación de imágenes en diferentes etapas agrícolas y porque sus ejes de coordenadas no están correlacionadas entre sí y no son dependientes de la escena, de manera que pueden extrapolarse a otras imágenes de diferente temporalidad. No obstante, presenta importantes problemas de interferencia con aquellos cambios debido a la geometría de la iluminación y al efecto atmosférico, como también su extrapolación a condiciones distintas a la de los campos de cultivo estadounidenses.

Se modifican los ND de las imágenes originales generando una imagen artificial. Tales modificaciones se basan en la alta correlación o covarianza existente entre las bandas de una imagen multi-espectral, que define el número de dimensiones que son relevantes en los datos de una escena y fija los coeficientes que especifican la posición de los ejes principales que muestran la mayor variabilidad de tales datos.

Análisis de componentes principales: Utilizada para dos imágenes, puede facilitar el análisis de cambio multi-temporal mediante la compresión de su información más significativa en tres componentes principales evitando información redundante. Con la imagen de componentes principales es posible después hacer una imagen compuesta de falso color RGB la cual contendrá más información que cualquier combinación con tres bandas espectrales o bien facilitar clasificaciones.

## 2.4.2 Clasificación de Imágenes

Se basa en el reconocimiento de patrones espectrales en una imagen y su asignación a una cierta categoría de clase, produciéndose una imagen temática.

Comparación Post-clasificación: Dos imágenes de diferente fecha

se clasifican y rectifican por separado, posteriormente se les aplica un algoritmo para determinar aquellos píxeles de cambio entre fechas. Adicionalmente se compilan sus datos estadísticos para expresar la naturaleza de tales cambios. La precisión de este procedimiento depende de aquella lograda por separado en cada clasificación.

**Clasificación de imagen multitemporal:** En este caso se genera una imagen multi-espectral al traslapar las imágenes de distintas fechas y luego hacerle la clasificación. Sin embargo, la dimensionalidad y complejidad del proceso puede ser grande y contener mucha redundancia.

### 2.4.3 Análisis del Vector de Cambio

Se considera conceptualmente como una extensión de la diferencia de imágenes, ya que la diferencia en el valor de cambio entre una fecha y la otra proyectadas en el plano de dos variables espectrales (bandas o componentes) podría ser definida como la distancia o magnitud del vector que señala a su vez la dirección del cambio entre las fechas. Tal dirección del vector de cambio espectral con frecuencia se interpreta como el tipo de cambio ocurrido.

Es importante mencionar dos cuestiones para concluir: la primera es que las técnicas en el resumen son algunas de las que cuentan con una mayor tradición en aplicaciones medio ambientales, pero que no son con mucho las únicas y que su combinación es posible y recomendable con la finalidad de evidenciar los fenómenos estudiados; y segundo, que ninguna de estas técnicas aporta con sus nuevas imágenes más datos de información que no se tuvieran antes ya en las imágenes originales de donde surgieron, sin embargo pudieran aportar una nueva disposición de tales datos que faciliten la detección e interpretación digital y visual del caso en estudio

que en las imágenes crudas no se percibe, esta es una utilidad en general de las técnicas de detección de cambios.

## 2.5 Deforestación y Percepción Remota Espacial

Las observaciones por satélite han permitido documentar desde periodos de varios años hasta décadas la deforestación a escala regional y continental, siendo la única fuente de información que así lo permite. A escala global y regional aumenta la necesidad de un mejor seguimiento de la deforestación, de y de ser posible el de mejorar la capacidad de trazar sus tendencias futuras y sus posibles impactos en los países afectados.

La PRS esta dando valiosa utilidad por sus novedosas capacidades en la lucha contra la deforestación. Investigadores señalan ventajas de los monitoreos con el uso de imágenes de satélite como son «la medición no destructiva de rasgos específicos de las comunidades vegetales tales como su biomasa, estado de desarrollo y salud, en algunos casos, la identificación de vegetación presentes en la región. Adicionalmente, facilitan la detección de cambios en el uso del suelo y en las comunidades naturales» (García Aguilar, M.T. y Valdivia López, R. 1998).

### 2.5.1 Evaluación de la Deforestación en la RD

Según el Dr. Abelardo Jiménez Lambertus, Presidente del Instituto Dominicano de Bioconservación, en los últimos veinte años se han talado en la República Dominicana más árboles que en toda su historia. A este ritmo se destruirán todos los recursos forestales del país en diez años. Una causa importante es la tala ilícita.

El Dr. Jiménez Lambertus dice que en las Crónicas de Indias se



mencionaba la abundante vegetación de Santo Domingo, y todavía en 1910 la cubierta forestal representaba alrededor del 50% de la superficie del país. En 1967 la proporción ya había disminuido al 11,5%. A su juicio, es urgente detener la deforestación de manera inmediata e iniciar una repoblación forestal masiva y de calidad.

El Dr. Antonio Thomen, experto dominicano en ecología, dice que, por desgracia, la República Dominicana carece de una política coherente en este sector. Propone el establecimiento de un consejo nacional para la defensa del ambiente, la prohibición de la tala, la urgente ejecución de un amplio programa de reforestación y repoblación y el establecimiento de bosques comunales y granjas de recursos energéticos para evitar la total destrucción del ambiente de la República Dominicana y salvar sus recursos forestales en peligro.

### 2.5.2 Estudios Realizados

Existen gran cantidad de trabajos en la actualidad sobre detección y evaluación de la deforestación mediante imágenes de satélite a nivel mundial. A continuación se comentan algunos trabajos que son relevantes a la detección, evaluación e impacto de áreas desforestadas de interés al tema que nos ocupa:

- Vine et al. (1995) exploran el impacto de la deforestación por incendio de una cuenca en Francia. Aporta un interesante estudio de las consecuencias hidrológicas del fuego.
- Brivio, P.A. y Ober, G. (1995) describen técnicas de análisis espacio-temporales de los incendios de vegetación en la región comprendida como el cinturón tropical de África, donde tales análisis guían al mapeo de los incendios para caracterizar la evolución de los patrones espaciales de la vegetación quemada a escala regional.

- Barbosa, P.M. et al. (1997) mediante el análisis multitemporal y multispectral de los datos obtenidos por el sensor NOAA-AVHRR-GAC llevaron a cabo la detección de áreas quemadas en Africa, al ocupar el Índice de Monitoreo Ambiental Global, GEMI. Después del análisis de perfiles semanales de las principales tipos de vegetación que fueron afectados por el fuego, desarrollaron una técnica multitemporal y multiumbral para la detección de pixeles de superficies quemadas con el nombre de Burned Area Algorithm (BAA).

- Bragmanov, V. et al. (1997) presentan la creación de una tecnología de geoinformación para el uso de datos AVHRR con una resolución espacial de 1.1 km para la detección y evaluación de superficies quemadas de una dimensión lineal varias órdenes menor que el pixel de una imagen.

- Dwyer, E. et al. (1997) presentan el proceso con un algoritmo detector de áreas quemadas de una serie temporal de datos satelitales de cobertura global para un periodo de 12 meses de Abril de 1992 a Marzo de 1993 con la finalidad de registrar todos los incendios observados a escala mundial.

- Lasaponara, R. et al. (2000) aplican los métodos más comunes de detección de incendios basados en datos del sensor AVHRR en la península itálica, con la finalidad de evaluar su efectividad y robustez en un esquema operacional para diferentes áreas incendiadas. Concluyen recomendando una nueva técnica de detección basada en la aproximación más general a la RAT (Robust AVHRR Technique).

- Lobo, A. et al. (2004) se dirigen al problema de estimar el impacto de los incendios en los bosques mediterráneos mediante el uso de imágenes Landsat TM, tomando como área de estudio una región afectada de Andalucía al sur de España. Procesaron dos imágenes, una antes del incendio y otra después del incendio. Aplicando una serie de tratamientos a las imágenes como el análisis canónico y segmentación, un modelo jerárquico basado en agrupamiento aglomerativo y la técnica Kauth-Thomas plane, indican la existencia de una respuesta diferenciada a la zona quemada y al cambio fenológico de la vegetación.

En La República Dominicana son contados los estudios realizados particularmente en esta materia utilizando el análisis de imágenes satelitales. Un estudio sobre cambios en el uso de la tierra en la parte oeste de la República Dominicana, que cubre el 56% del territorio nacional, muestra claramente la conexión entre el uso de las tierras para la agricultura y la deforestación (Russel, 1988). El estudio utilizó imágenes LANDSAT desde 1972 / 73, 1979 y 1985 / 86 con fines de investigar los cambios que ocurrieron en este período de 14 años. Hasta la fecha es el único estudio que utiliza resultados comparativos durante un período de tiempo largo. Debe señalarse que todos los bosques de pino naturales del país yacen dentro de la zona estudiada.

Los estudios anteriores al igual que el presente proyecto pretenden lograr un mejor entendimiento desde la percepción remota espacial del fenómeno de la deforestación tanto en su comportamiento como en su detección y cuantificación.

### III. Área de Estudio

#### 3.1 Localización

La República Dominicana está ubicada en la subregión de América media insular, en las grandes Antillas Caribeñas y localizada entre las latitudes de los 17° y 20° Norte y las longitudes de 68.7° y 72° Oeste. Ocupa la porción oriental de la Isla La Española, la cual comparte con la República de Haití, ocupando las dos terceras partes, con una extensión territorial de 48,670.82 Km<sub>2</sub> (Instituto Geográfico Universitario 1992) y una población de 8.6 millones de habitantes aproximadamente.

La economía del país se ha sustentado en el presente siglo, en el uso

y consumo intensivo de recursos naturales, como fue la explotación forestal de las décadas de los sesenta, el desarrollo de una agricultura poco tecnificada y dependiente de agroquímicos, contaminantes, el desarrollo de una política de exportación basada en rubros agrícolas, hasta finales de los ochenta y en los últimos años, el desarrollo del turismo, el fomento de la agroindustria y de las zonas francas.

El país está conformado por 29 provincias y un Distrito Nacional y dividido en tres grandes regiones: Región Cibao, compuesta por tres subregiones: Occidental, Central y Oriental. Región Suroeste, compuesta por dos subregiones: Del Valle y Enriquillo y Región Sureste, compuesta por tres subregiones: Valdesia, Del Yuma y Distrito Nacional (ONAPLAN,1997).

Dominicana, por su complejidad fisiográfica presenta variaciones climáticas locales, con temperaturas medias anuales entre los 28° C en las zonas bajas secas y hasta los 18° C aproximadamente, en las zonas montañosas, así mismo el régimen de lluvias es complejo, con 2,300mm de promedio anual, en las zonas más lluviosas (Noreste del país) y bajando hasta 450mm en la Hoya de Enriquillo (Suroeste del país).

En el país se localizan las masas de aguas interiores más grandes y numerosos del Caribe, con 270 sistemas, los de mayor extensión son Lago Enriquillo (265 Km<sub>2</sub>), las Lagunas Cabral (30 Km<sub>2</sub>) y Oviedo (28 Km<sub>2</sub>) y 108 cuencas hidrográficas (entre ellas tres grandes cuencas: Río Yaque del Norte con 7050 Km<sub>2</sub>, Río Yuna con 5070 Km<sub>2</sub> y Río Yaque del Sur con 5340 Km<sub>2</sub> de superficie) que son aprovechadas para irrigar y abastecer a la población y generar energía eléctrica (CYTED,1998).

La mayor parte de la superficie de nuestras cuencas presenta problemas de degradación, principalmente por la deforestación a que fue sometido el país en décadas anteriores. En consecuencia existen graves problemas de

erosión acelerada y suelos improductivos en las laderas de las montañas, sedimentación en las presas, disminución en el caudal de los ríos y el incremento en la vulnerabilidad a los desastres naturales.

El país cuenta con poca disponibilidad de suelos con vocación agrícola, sólo el 20.3% del territorio nacional, el resto comprende el 24.5% para pastizales y cultivos permanentes, 52.7% de vocación forestal y un 2.5% para la protección de la vida silvestre (Informe Nacional Conferencia de las Naciones Unidas, 1991). A pesar de esto grandes cantidades de bosques han sido destruidas para las actividades agrícolas, como el cultivo de caña de azúcar y arroz, el desarrollo de la ganadería, entre otras. Se estima que un 16,7% (8 055 Km<sub>2</sub>) del territorio de la República Dominicana corresponde a zonas áridas y semiáridas (Red Latinoamericana de Cooperación Técnica y Sistemas Agroforestales, 1997). Estas se encuentran en la Región Suroeste.

### 3.2 Índice de Vegetación

El análisis de la vegetación y descubrimiento de cambios en los modelos de la vegetación es la clave para el monitoreo de los recursos naturales. Por lo tanto no viene a ser ninguna sorpresa que el descubrimiento y la valoración cuantitativa de la vegetación verde es una de las aplicaciones mayores de la detección remota para la administración de recursos medioambiental y la toma de decisión.

Los doseles saludables de vegetación verde tienen una interacción muy distintiva con la energía en las regiones visible y las regiones cercanas al infrarrojo del espectro electromagnético. En las regiones visibles, los pigmentos de la planta (el más notablemente es la clorofila) causa una absorción fuerte de energía, principalmente con el propósito de la

fotosíntesis. Esta absorción alcanza el máximo en las áreas rojas y áreas azules del espectro visible, llevando así a la apariencia verde característica de la mayoría de las hojas. En el cercano al infrarrojo, sin embargo, una interacción muy diferente ocurre. La energía en esta región no se usa en la fotosíntesis, y se esparce fuertemente debido a la estructura interior de la mayoría de las hojas, provocando una reflectancia muy alta. Es este fuerte contraste, entre la cantidad de energía reflejada por las regiones del rojo y el cercano al infrarrojo del espectro electromagnético, lo que ha impulsado una variedad grande de esfuerzos por desarrollar Índices cuantitativo de la condición de la vegetación con el uso del sensado remoto de imágenes. Los datos del uso de los investigadores de Landsat y de otros satélites ambientales para determinar el número de acres de cierta cosecha mecanografían adentro una región, localizan la vegetación que es afectada pesadamente por tensiones naturales o artificiales tales como parásitos, fuego, enfermedad, y contaminación, y para delimitar límites entre las áreas tales como wetlands o viejo bosque del crecimiento. Tales sistemas de los datos, intervalos asumidos el control del tiempo y comparado, pueden también ayudarnos a entender cómo la vegetación cambia en un cierto plazo. Los datos basados en los satélites se pueden utilizar para detectar el cambio vegetativo a partir de una estación de crecimiento al siguiente, a partir del año al año, o a partir de la década a la década. Estos tipos de datos nos ayudan mejor a entender la ecología de nuestro planeta y quizás nos ayudarán a entender el impacto de la humanidad en nuestros ciclos biológicos naturales.

Un índice de vegetación es un valor que se calcula (o se deriva) de los datos de percepción remota que se utilizan para cuantificar la cubierta vegetativa en la superficie de la tierra. Aunque existen muchos índices vegetativos, el índice más extensamente usado es el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI). El NDVI, como la mayoría de los otros índices de vegetación, se calcula como cociente entre la reflectividad medida en las porciones cercana al infrarrojo y el rojo del espectro

electromagnético. Se eligen estas dos bandas espectrales porque son las más afectadas por la absorción de la clorofila en la vegetación verde frondosa y por la densidad de la vegetación verde en la superficie. También, en las bandas rojas y cercano-infrarrojas, el contraste entre la vegetación y el suelo está en un máximo.

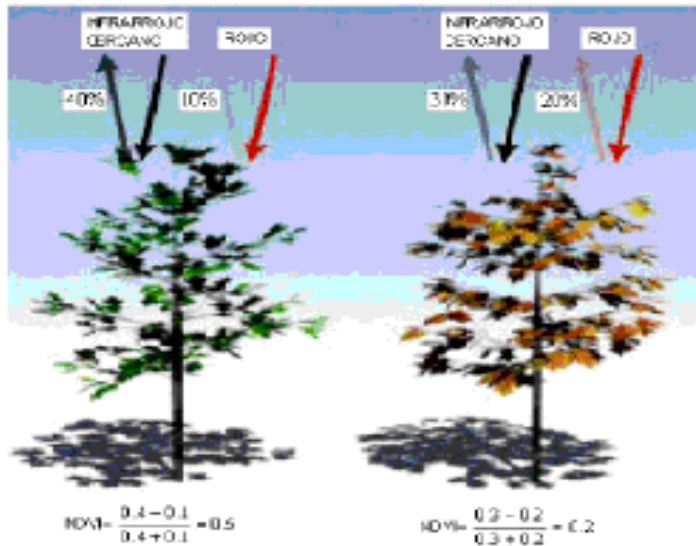


Figura 8. Clasificación de índices de Vegetación

Jackson y Huete (1991) clasificaron los índices de vegetación (VI) en dos grupos: basado en ángulo y basado en distancia. Para apreciar esta distinción, es necesario considerar la posición de píxeles de vegetación en un gráfico bidimensional (o bi-espectral) de reflectancia del rojo contra la reflectancia del cercano al infrarrojo. Los VI basados en ángulos son combinaciones aritméticas simples que arrojan el contraste entre los modelos de la respuestas espectrales de vegetación entre el rojo y porciones del cercano al infrarrojo del espectro electromagnético. Ellos se nombran

así porque cualquier valor particular del índice puede ser producido por un juego de valores de reflectancia de red/infrarrojo que forma una línea que surge en el origen de una un grafico bi-espectral.

En contraste con el grupo basado en ángulo, las medidas de grupo basados en distancia nos da el grado de vegetación presente a partir de la diferencia de reflectancia de cualquier pixel con la reflectancia de la tierra desnuda. Las posiciones de pixeles de tierra desnuda de nivel de humedad variante en un grafico bi-espectral tenderá a formar una línea (conocido como una línea de tierra). Cuando los doseles de vegetación aumentan, este fondo de tierra se disimulará progresivamente, con los pixeles de vegetación, que muestran una tendencia hacia el incremento de la distancia perpendicular de esta línea de tierra.

A estos dos grupos de índices de vegetación, un tercer grupo puede agregarse, el llamado VI de transformación ortogonal. Los índices ortogonales emprenden una transformación de las bandas espectrales disponibles para formar un nuevo juego de bandas.

## Los índices de vegetación (VI's) basados en Angulo

Los VI basados en ángulos son combinaciones de las bandas del rojo visible y la del infrarrojo cercano y se usan ampliamente para generar índices de vegetación. El valor del índice indica ambos, el estado y la abundancia de la capa de vegetación verde y biomasa. Los VI basados en angulo incluyen el RATIO, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI, y TTVI. En programa IDRISI el módulo VEGINDEX se usa para generar una imagen para cada uno de estos VI. Por su importancia y aplicación nos limitaremos en este trabajo a desarrollar el contenido del Ratio y del NDVI.

Relación del Índice de Vegetación (RATIO) fue propuesto por Rouse



en (1974) para separar la vegetación verde del fondo de la tierra, usando imágenes Landsat MSS. El VI RATIO es producido dividiendo el valor de la reflectancia contenida en la banda infrarroja cercana por el contenido en la banda de rojo es decir:

$$RATIO = \frac{NIR}{RED}$$

El resultado captura claramente el contraste entre las bandas rojas e infrarrojas para los pixeles de vegetación, con valores altos del índice que se produce por las combinaciones de la reflectancia baja del rojo (debido a la absorción por la clorofila) y la reflectancia alta del infrarrojo (como resultado de la estructura de la hoja). Además, porque el índice se construye como una proporción, se minimizan los problemas de iluminación inconstante como resultado de la topografía. Sin embargo, el índice es susceptible a la división por cero y la medida resultante no es lineal. Como resultado, el VI RATIO no produce distribuciones normales.

El índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) se introdujo en el 1974 por Rouse, para producir un VI que separa el brillo de la vegetación verde de la tierra de fondo que usa Landsat MSS. Se expresa como la diferencia entre el infrarrojo cercano y la banda roja, normalizada por la suma de esas bandas, es decir:

$$NDVI = \frac{NIR - r}{NIR + r}$$

Este es el más usado de los VI, retiene la habilidad de minimizar los efectos topográficos, a la vez que produce un respuesta lineal y la división por cero está significativamente reducida. Además, la medida tiene la propiedad deseable de ir de -1 a 1 con 0 representando el valor aproximado de ninguna vegetación. Así los valores negativos representan superficie no vegetal.

La figura de abajo demuestra la respuesta espectral de la reflexión

característica para la vegetación, el suelo verde y el agua comparada con la anchura de banda de los canales 1 y 2 del AVHRR usados para crear el índice.

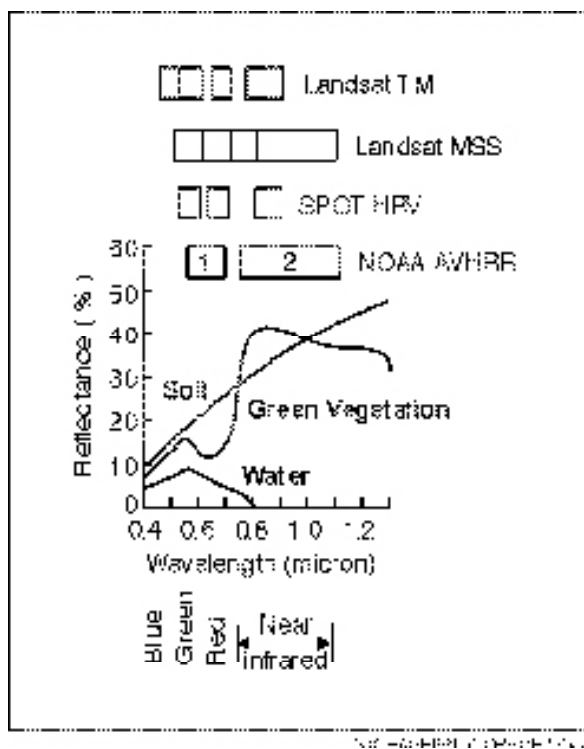


Figura 9. Características espectrales de la reflexión de los materiales comunes de la superficie de la tierra

El índice de vegetación utilizado en el presente estudio, para el análisis de las imágenes, es el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) o “Índice de Vegetación Normalizado”, cuya expresión, como ya hemos visto es:

$$NDVI = \frac{NIR - r}{NIR + r}$$

Por último, es necesario mencionar que varios estudios han tratado de relacionar directamente la producción y los valores de NDVI acumulados a lo largo de una campaña agrícola. Los resultados obtenidos presentan una dispersión bastante fuerte. Esta dispersión se atribuye a los efectos atmosféricos variables en el tiempo y en el espacio y a las diferencias de reflectancia de los diversos tipos de suelo que afectan fuertemente al NDVI. Por ello, puede afirmarse que la utilización directa de la relación producción- NDVI con fines operacionales no presenta, en la actualidad, una fiabilidad suficiente.

En función de lo anteriormente mencionado podemos concluir esta fundamentación científica diciendo que en la actualidad la aportación de la Teledetección al estudio de fenómenos como la deforestación está en un estado aun cualitativo, es decir, su aportación principal es la de ofrecer criterios objetivos de descripción sobre el estado de los bosques, permitiendo comparaciones entre zonas y comparaciones temporales, así como aportar información sobre la variabilidad geográfica del fenómeno, hecho que escapa generalmente a los recursos meteorológicos tradicionales.

## IV. Objetivos

### 4.1 Objetivo General

Evaluar la disminución porcentual de los bosques en el área delimitada, mediante el análisis de imágenes bitemporales de los satélites Landsat que cubren la región del caribe, para valorar cual a sido el porcentaje de deforestación durante el período de 15 años, de correspondiente al 1985 y 2000.

### 4.1.1 Objetivos Particulares

- Clasificar las imágenes Landsat TM y +EMT del 1985 y del 2000.
- Determinar la tendencia del cambio de la cobertura vegetal del área de estudio por la variación de la reflectancia mediante comparación porcentual.
  - Utilizar la técnica de detección de cambio más adecuada para reconocer las áreas deforestadas del área de estudio.
  - Usar el software Idrisi como herramienta de trabajo, para el análisis de las imágenes satelitales.
  - Proporcionar los valores porcentuales de deforestación, para que pueda ser usado por instituciones gubernamentales y particulares en la planificación de acciones a favor del medio ambiente.
  - Despertar el interés de las autoridades de UNAPEC, para la creación de un Laboratorio de Percepción remota donde se puedan realizar investigaciones científicas importantes para el país.

## V. Materiales y Metodología

### 5.1 Materiales, Equipos, Software y Hardware utilizados

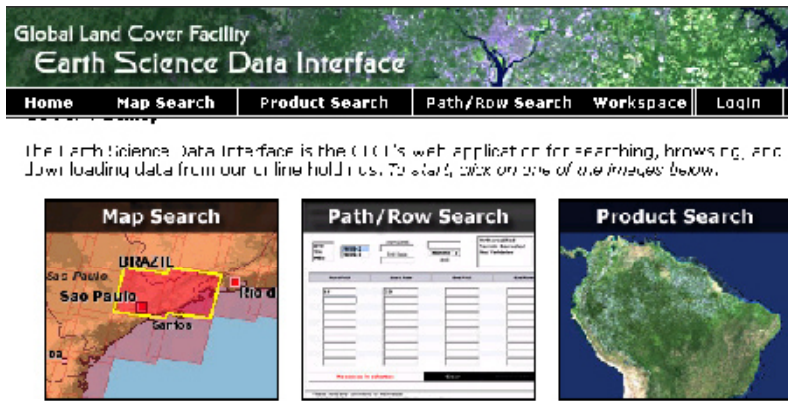
Se usaron dos imágenes de satélite Landsat, una de fecha 1985 y otra 2000, las cuales se procesaron con:

- Software IDRISI Kilimanjaro
- Software Utilitarios, excel, word...
- Hardware, PC PENTIUM VI, DELL, Monitor Color SVGA
- IMPRESORA HP,

## 5.2 Adquisición de las Imágenes LANDSAT

Las imágenes satelitales con las cuales se realizó este estudio, fueron cortesía de Earth Science Data Interface, de la Facultad de la universidad de Maryland

Las imágenes fueron descargadas en la dirección de Internet.  
<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>



A continuación mostramos una descripción gráfica del proceso de obtención.

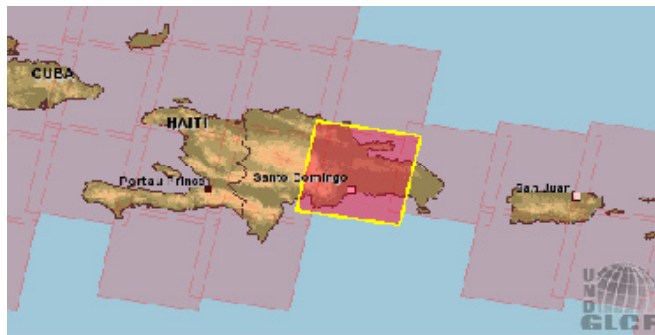


Figura 10. Imágenes Landsat disponibles del área del caribe.

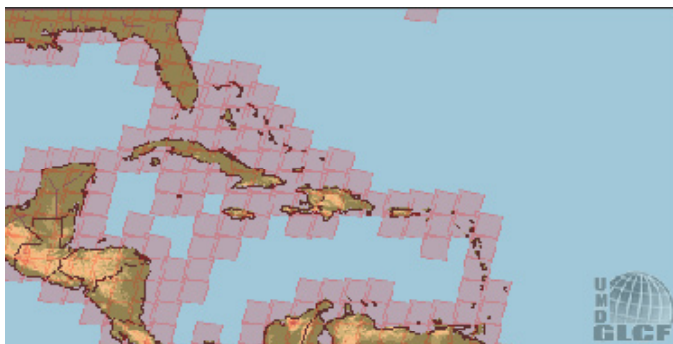


Figura 11. Imagen Landsat objeto de estudio

## Hojas Técnicas de las Bandas TM / +ETM. ( ver anexo) Clasificación Digital

La Clasificación Digital corresponde a la etapa más importante del trabajo, y consiste, básicamente, en dividir el conjunto de píxeles que componen la imagen, en clases temáticas previamente definidas o por definir, según sea el método clasificatorio que se decida utilizar. Durante la clasificación digital se requiere la adopción de unos métodos que incorporen reglas de decisión, los cuales se pueden agrupar en dos grandes categorías; los supervisados y los no supervisados

La diferencia fundamental entre ambos tipos de métodos es que, en el caso de los primeros, se requiere necesariamente un conocimiento previo y muy preciso de las clases informacionales a clasificar, mientras que en los no supervisados la segmentación de las clases espectrales se obtiene en base a un procedimiento estadístico, lo cual genera clases estadísticas, las que posteriormente, deberán ser asignadas a clases o categorías de

información de acuerdo con antecedentes de terreno. A continuación se describe el método de clasificación supervisada.

## Clasificación Supervisada

Este proceso implica la realización de dos etapas fundamentales:

- Fase de Entrenamiento
- Fase de Asignación

### Fase de Entrenamiento

Consiste en la caracterización de las clases informacionales de acuerdo con patrones de reconocimiento del terreno. Se trata de delimitar parcelas de muestreo (polígonos), en donde los píxeles que las componen se suponen representativos de cada una de las categorías de información que se desea identificar y que, en este trabajo, corresponden a las siguientes:

<u>CLASE CATEGORIA</u>	<u>DESCRIPCION</u>
1	Bosque
2	Agua
3	Pasto-Suelo
4	Fondo imag.

## Descripción de las Categorías

Pasto/Suelo: Comprende una formación vegetal caracterizada por la baja altura de los individuos que la componen, con un rango de variación entre los 15 y 60 cms. También presenta como rango sobresaliente una densa cobertura.

Bosques: A diferencia de la anterior, aquí predominan individuos cuya altura puede variar entre los 5 metros y los 30 metros, con una cobertura vegetal cuya densidad presenta en términos generales valores entre un 60 y 80%.

Cuerpos de agua: Comprende presas, lagos, lagunas y ríos.

## Fase de Asignación

Definidas las clases y sus respectivas parcelas de muestreo, es necesario encontrar una función matemática dentro de los métodos supervisados, para proceder a la asignación de los píxeles de la imagen a cada una de las categorías. El método por el cual nos hemos decidido corresponde al comando MINDIST de IDRISI.

El MINDIST lleva a cabo una clasificación de las mínimas-distancias-al-promedio. Basado en los sitios de entrenamiento de datos; el MINDIST caracteriza cada clase por su posición promedio en cada banda.

Para clasificar un pixel desconocido, MINDIST examina la distancia de ese pixel a cada clase y le asigna la identidad de la clase más cercana.

Durante la determinación de la mínima distancia al promedio, se producen problemas relacionados con la variabilidad de cada una de las bandas; para superar este problema el módulo MINDIST en el IDRISI



ofrece una opción de distancias estandarizadas. Esta transformación se logra con la siguiente ecuación:

Distancia normalizada = (distancia original - promedio) / desviación normalizada.

## Clasificación No Supervisada

Tal como se indicó, este método no implica conocimientos previos del área de estudio, de modo que la intervención del investigador se orienta hacia la interpretación de los resultados; por tanto, en esta estrategia se asume que los ND de la imagen forman una serie de grupos o conglomerados (clusters) de relativa nitidez según sea el caso.

Estos grupos de píxeles serían equivalentes en términos de su comportamiento espectral más bien homogéneo y, por tanto, deberían definir clases temáticas de interés. Desafortunadamente, la experiencia demuestra que no siempre es factible asociar estos clusters con categorías informacionales relevantes para los objetivos. El algoritmo utilizado para llevar a cabo esta clasificación corresponde a CLUSTER del software IDRISI.

### 5.3 Descripción de la Metodología Usada

A continuación se describen brevemente las actividades realizadas y se muestran de manera esquemática en la Figura.

Las actividades realizadas se pueden dividir en tres etapas:

Etapas 1.- Inicial:

\* Adquisición de las imágenes Landsat de 1985 y 2000.

Etapas 2.- Clasificación:

\* Preclasificación de las imágenes Landsat de 1985 y 2000.

- \* Clasificación de las imágenes Landsat de 1985 y 2000.
- \* Evaluación de las clasificaciones anteriores.
- \* Comparación «Post-clasificación» de las imágenes Landsat de 1985 y 2000.

Etapa 3.- Detección:

- \* Elección del método de detección de cambio más idóneo visualmente.
- \* Evaluación de los porcentajes de deforestación registrados en este período.

## 5.4 Etapa 1: Inicial

### 5.4.1 Selección de las Imágenes Satelitales

Durante esta etapa se procedió a la búsqueda y selección de dos imágenes satelitales de la porción más boscosa de la rep. Dominicana, de diferentes fechas, con el objetivo de poder evaluar el nivel de degradación o incremento forestal, en el intervalo.

## 5.5 Etapa 2: Clasificación

### 5.5.1 Preclasificación de las Imágenes LANDSAT

Se llevó a cabo mediante la observación visual de las imágenes en formato jpg. Se pudo apreciar en estas imágenes una ligera mejora en la clase bosque vegetación del país.

### 5.5.2 Verificación DE CAMPO

En el proceso de asignación de las clases ciertas respuestas espectrales dan dificultad para su discriminación digital y no es del todo posible separarlas con certeza, ya que se requieren de una mayor información de tales respuestas espectrales. Por lo tanto, siempre es necesario levantar puntos de verificación mediante sistema de posicionamiento global satelital (GPS) y toma de fotografías para el mejor reconocimiento de las comunidades de estudio con la finalidad de verificar la clasificación de las imágenes de satélite. Es importante mencionar aquí que una intención explícita del presente trabajo fue prescindir de la aplicación de los muestreos debido a la dificultad para llegar a las diferentes zonas del área analizada, de ahí que el estudio sea más a nivel de reconocimiento que de caracterización.

### 5.5.3 Clasificación de las Imágenes LANDSAT

Con el conocimiento disponible sobre la zona de estudio se procedió a mejorar la preclasificación mediante la aplicación de una clasificación supervisada donde fue posible delimitar sobre la imagen áreas de entrenamiento, que son pixeles que corresponden a patrones representativo de clases previamente ubicadas, reconocidas o corregidas en campo y que el computador procederá a calcular sus estadísticas en cada una de las bandas que tenga la imagen, completando y logrando una clasificación mejorada.

Se realizó la clasificación de cada una de las imágenes originales de manera independiente, obteniéndose la clasificación de la imagen del 1985 y la clasificación de la imagen del 2000.

### 5.5.4 Detección de Cambio Post-Clasificación

La detección de los cambios se realizó mediante la computación de los porcentajes de áreas correspondientes a cada una de las clases seleccionadas, y así mediante una simple operación de comparación obtener el valor porcentual de la degradación o aumento de la vegetación.

También, se usó para los mismos fines el cálculo de los índices de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) de ambas imágenes. Mediante observación se pudo determinar cuál de las imágenes tenía píxeles de mayor intensidad, reflejando esto un mayor nivel de vegetación.

Apartir de los histogramas correspondientes a cada uno de las imágenes resultantes de cada NDVI, también se comprobó lo anterior.

Finalmente, las imágenes NDVI fueron reclasificadas, apartir del concimiento del nivel de los índices de las áreas conocidas, para luego obtener las áreas correspondientes que permitan la comparación de los niveles de vegetación de ambos años.

## 5.6 Etapa 3: Detección

### 5.6.1 Elección de la Técnica de Detección de Cambio

Se probaron en las imágenes preprocesadas del 1985 y 2000 las aplicaciones de las técnicas de detección de cambio referidas como exitosas para la detección de deforestación y se seleccionó la técnica que reveló la mejor detección visual de las zonas deforestadas en las imágenes Landsat.

Las técnicas de detección de cambio que se probaron en las imágenes

Landsat fueron:

- Índice (NDVI)
- Clasificación supervisada y cálculo de áreas

## VI. Resultados Obtenidos

Mediante el uso del módulo *vegindex* de Idrisi, se obtubieron las imágenes de los NDVI de los años 1985 y 2000. Estas imágenes fueron reclasificadas con el propósito de solo obtener las clases preseleccionadas. A continuación las imágenes y gráficas resultantes con sus histogramas correspondientes.

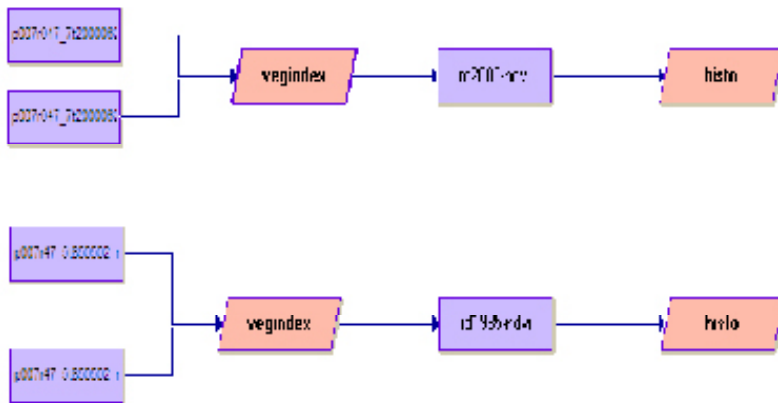


Figura 12 Macro NDVI e Histograma

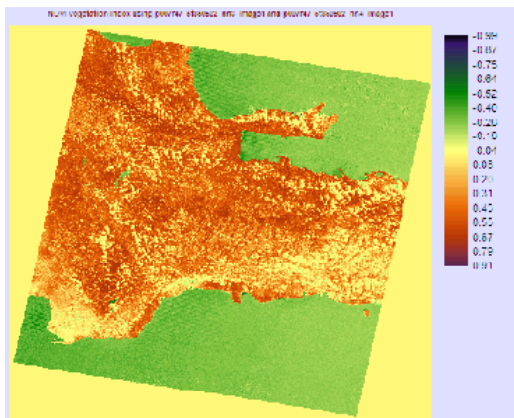


Figura 13 . NDVI-1985

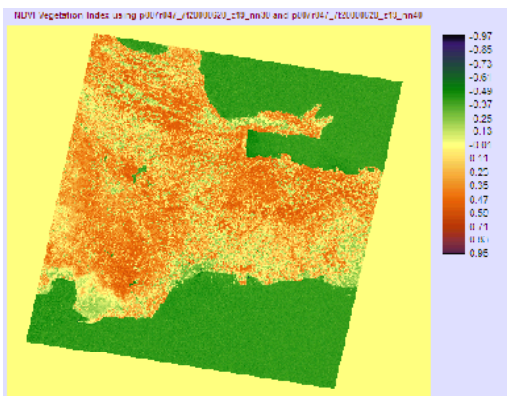
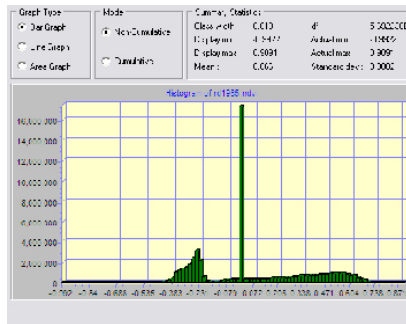


Figura 14 NDVI-2000

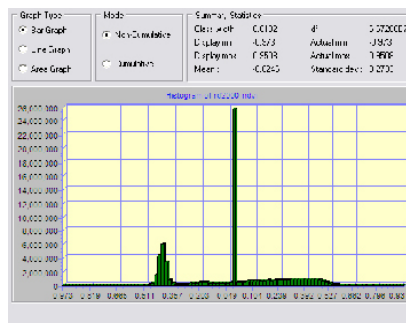
## 6.1 Histogramas

Un paso importante y necesario a realizar antes del procesamiento digital de la escena, es el análisis de las estadísticas e histogramas de cada una de las imágenes de NDVI, a objeto de poder determinar las informaciones correspondientes a la vegetación.

A este respecto, la visualización del histograma del ndvi-2000 nos permite apreciar mayores niveles en los NDVI, con respecto a los niveles del 1985.



Histograma-1985



Histograma-2000



Figura 15 . Reclass-1985

Area on file: C:\Documents and Settings\Ruben\Escritorio\tesis\reclass-1985.rst

Categoría en Por ciento

34.4% Bosque

45.8% Agua

19.8 Pasto-sueloAgua

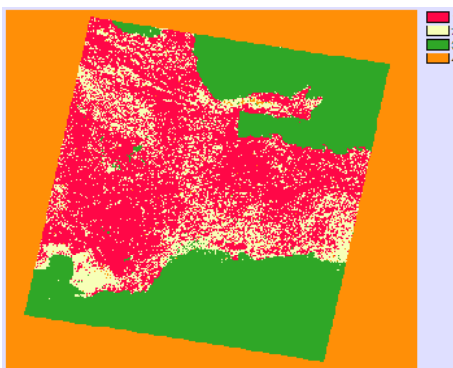


Figura Reclass- 2000

Area on file: C:\Documents and Settings\Ruben\Escritorio\tesis\reclass-2000.rst

Categoría en Por ciento

38.19% Bosque

40.00% Agua

21.81% Pasto-suelo



## 6.2 Clasificación Supervisada

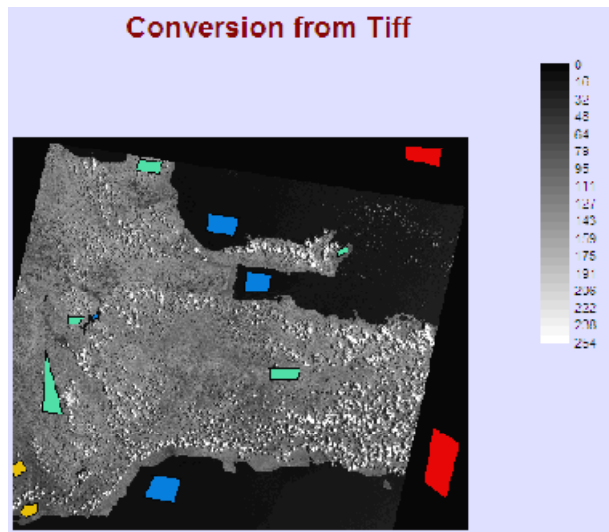


Figura 17 Entrenamiento 1985

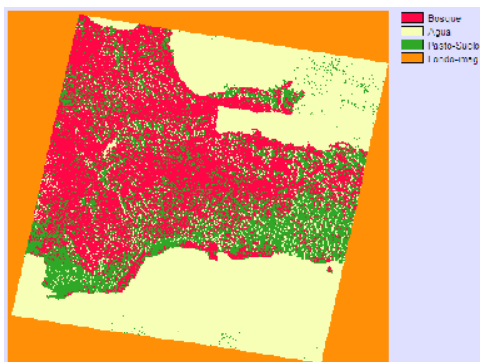


Figura 18 - Mindist 1985

Area on file: C:\TESIS\1985-mindist.rst

Area-1985-mindist

Categoría en Por ciento

- 1 34.7% Bosque
- 2 45.4% Agua
- 3 19.9% Pasto-Suelo

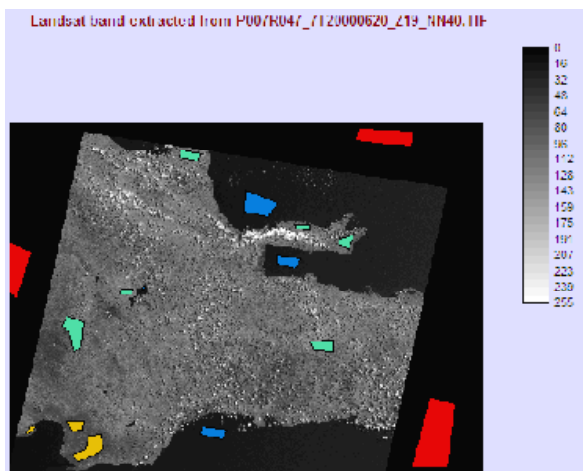
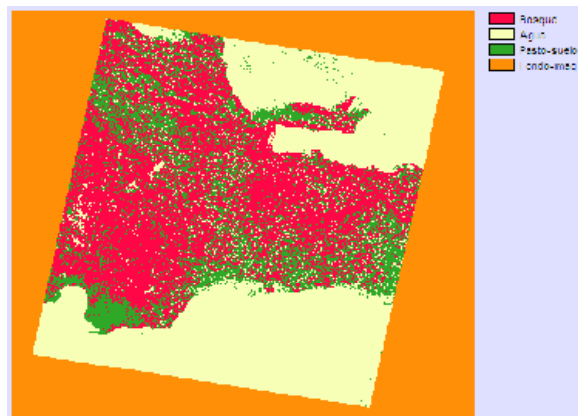


Figura 19- Entrenamiento -2000



Area on file: C:\TESIS\2000-mindist.rst

Area-2000-Mindist

Categoría en Por ciento

- 1 37.5% Bosque
- 2 43.5% Agua
- 3 19.0% Pasto-suelo

### 6.3 Resultados Tabulados

<b>Area on file: C:\TESIS\mindist-año-2000.rst</b>		
<b>Area-año-2000</b>		
<b>Cluster</b>	<b>asignación</b>	<b>Porcentaje(%)</b>
1	<b>bosque</b>	37.5
2	agua	43.5
3	pasto-suelo	19

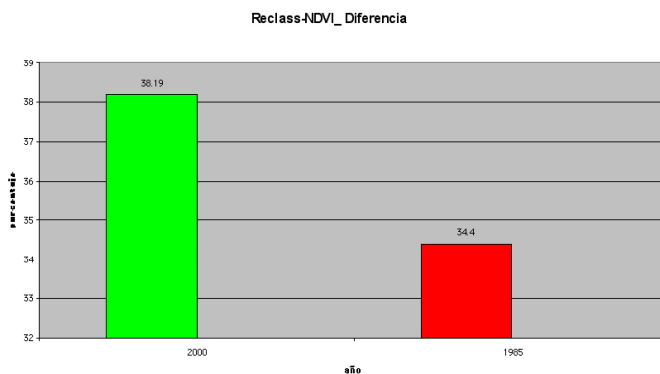
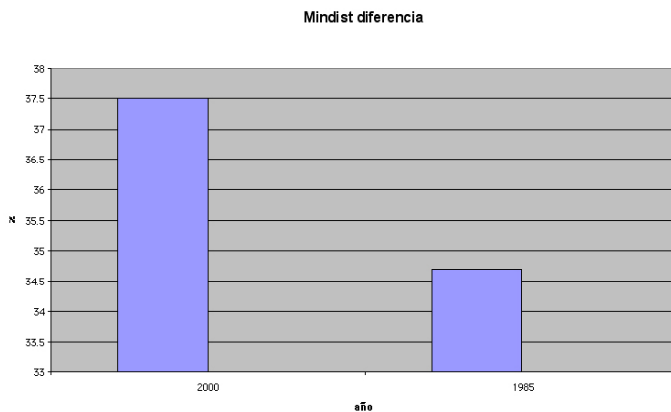
<b>Area on file: C:\TESIS\mindist-año-1985.rst</b>		
<b>Area-año-1985</b>		
<b>Cluster</b>	<b>asignación</b>	<b>Porcentaje(%)</b>
1	<b>bosque</b>	34.7
2	agua	45.4
3	pasto-suelo	19.9

<b>Area on file: C:\TESIS\reclass-año-2000.rst</b>		
<b>Area-año-2000</b>		
<b>Cluster</b>	<b>asignación</b>	<b>Porcentaje(%)</b>
1	<b>bosque</b>	38.19
2	agua	40
3	pasto-suelo	21.81

<b>Area on file: C:\TESIS\reclass-año-1985.rst</b>		
<b>Area-año-1985</b>		
<b>Cluster</b>	<b>asignación</b>	<b>Porcentaje(%)</b>
1	bosque	34.4
2	agua	45.8
3	pasto-suelo	19.8

<b>Area on file: C:\TESIS\mindist Diferencia</b>	
-	
<b>Ano</b>	<b>% Porcentaje de forestación</b>
2000	37.5
1985	34.7
diferencia	2.8

<b>Area on file: C:\TESIS\Reclass Diferencia</b>	
-	
<b>Ano</b>	<b>% Porcentaje de forestación</b>
2000	38.19
1985	34.4
diferencia	3.79



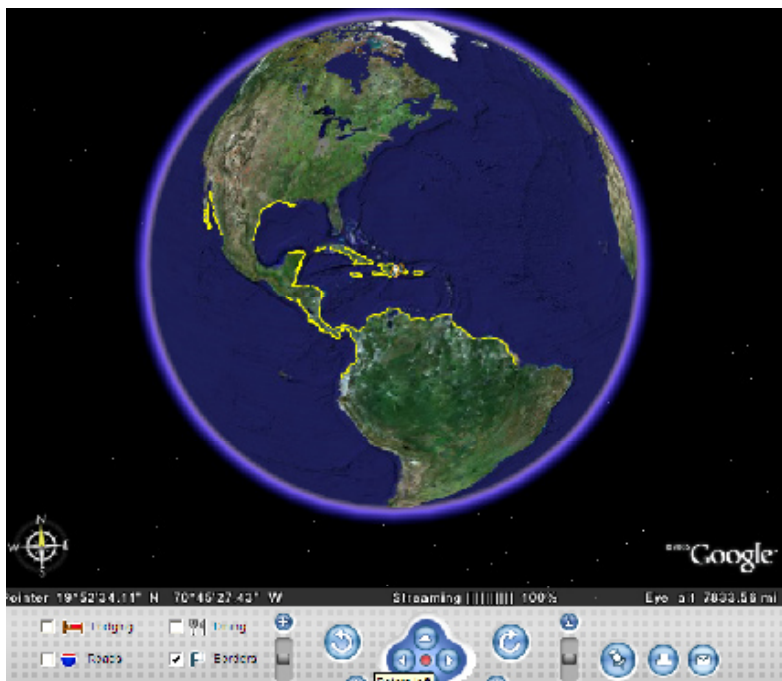
## 6.4 Validación de los Resultados

Para la validación de los resultados obtenidos en la clasificación supervisada, correspondiente a la clase BOSQUE, utilizamos imágenes actualizadas, de la porción del país, objeto del presente estudio, provenientes del Google Earth.

El procedimiento utilizado en este proceso de validación es el siguiente:

1. Identificación en la imagen de la República Dominicana, suministrada por Google Earth, y mediante placemark de las áreas consideradas bosque en la clasificación supervisada.
2. Ampliación de cada área elegida, a los fines de inspeccionar visualmente el contenido de vegetación.
3. Discriminar la existencia de bosque en las áreas antes mencionadas.

Las imágenes para validación fueron descargadas, vía Internet, desde el programa Google Earth.



Imágenes de la República Dominicana con los placemark BOSQUE.

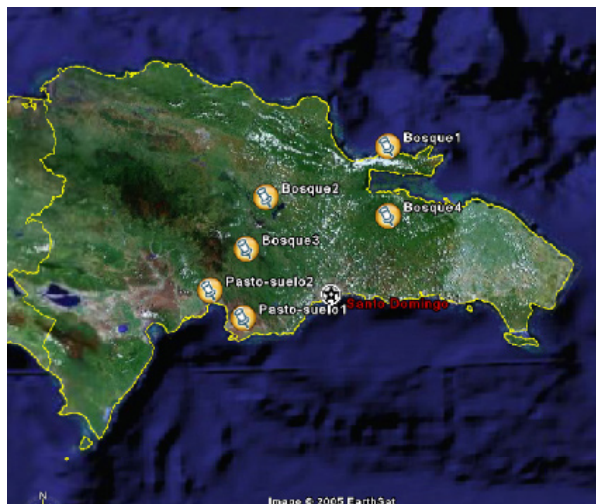


Imagen Bosque 1, correspondiente a la zona de Samaná.



Imagen Bosque 2, correspondiente a la zona de la Presa de Hatillo, en la Provincia Sánchez Ramírez.



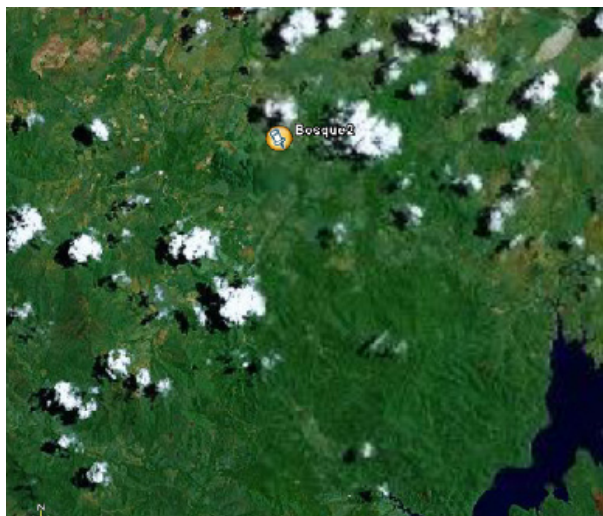


Imagen Bosque 3, correspondiente a la zona alta de la Provincia de San Cristóbal, (presas de Higüey y Aguacate).

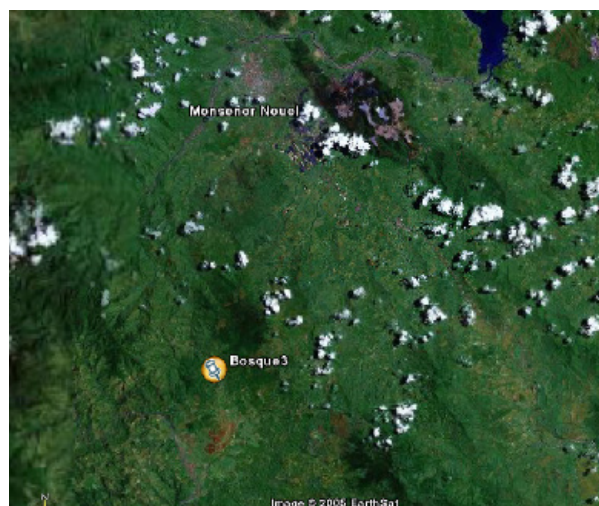


Imagen Bosque 4, correspondiente al Parque Nacional de los Haitises.



Estas imágenes inspeccionadas, evidencian la presencia de bosque en las áreas que mediante clasificación supervisadas practicada en el estudio, resultaron ser BOSQUES.

## VII. Conclusiones

El presente estudio comprende la aplicación de un análisis multitemporal para evaluar porcentualmente la deforestación en la República Dominicana, empleando diferentes técnicas de interpretación sobre imágenes de satélites LANDSAT. El período analizado comprendió 15 años (1985 al 2000). Para la data o información correspondiente a los años 1985 - 2000 se empleó una imagen TM y otra +ETM de LANDSAT en formato digital.

El estudio desarrollado, ha permitido detectar y mostrar los cambios sobre la cubierta de bosques en el periodo 1985-2000, mediante el uso de técnicas de Percepción Remota. Podemos considerar que la operación del módulo Vegindex del software es buena para detectar cambios. Mediante el uso del mismo pudimos establecer que tanto cambió, el área de bosques. En general, para el período analizado, la RD aumento su superficie boscosa en un 2.8%, pasando de 34.7 %en el año a 37.5% en el 2000.

La técnica de la clasificación supervisada fue la que discriminó mejor los cambios de bosques.

El presente estudio podría ser útil como una propuesta metodológica de aplicación preliminar, ágil y de bajos costos para la detección de zonas afectadas por la deforestacion.

## VIII. Recomendaciones

### 8.1 Recomendaciones Generales

El uso de una técnica de detección de cambio por comparación post-clasificación tiene como principal desventaja que los cambios detectados pueden no deberse a cambios reales, sino debido a debilidades en la técnica de clasificación utilizada, por lo que se recomienda la realización de clasificaciones mixtas con un mayor trabajo de campo.

Para trabajos de caracterización de zonas deforestadas es recomendable el uso de una imagen donde esté garantizada una mayor resolución del sensor satelital.

Desde el punto de vista tecnológico, es recomendable el software IDRISI, porque posee ambas aplicaciones (Percepción Remota y SIG) y herramientas útiles como Cross operation, Attribute Map, que permiten hacer todo tipo de trabajo y establecer un correcto análisis de las imágenes. Otras recomendaciones son:

Incentivar el uso de percepción remota a través de investigaciones científicas auspiciadas por las universidades dominicanas.

Incrementar la educación medioambiental en la población para hacer un mejor manejo de los recursos naturales.

Exhortar a las autoridades para que planifiquen y tomen las medidas necesarias para que se produzcan las condiciones que garanticen la preservación de los recursos naturales para poder brindarles una buena calidad de vida a las futuras generaciones.

## 8.2 Recomendaciones de Líneas de Futuras de Investigación

A continuación señalamos algunas líneas futuras de investigación, las cuales visualizamos a partir del presente estudio:

- a. Preparación de un proyecto de presupuesto de instalación del Laboratorio de Sensado Remoto UNAPEC.
- b. Creación de una Unidad Consultora del Laboratorio de RS de UNAPEC para dar apoyo a la secretaría de Medio Ambiente.
- c. Creación de un banco de firmas espectrales para tipos de vegetación propias del país.
- d. Trabajo de investigación de las fuentes acuíferas del país.
- e. Creación del registro anual de los índices de vegetación.

## IX. Bibliografía

BADENHOP, M B y RODRÍGUEZ, N, (1970), Land Tenure in the Dominican Republic, Santo Domingo.

CEARA DE, I A, (1986), Land Tenure and Agroforestry in the Dominican Republic, Social Forestry Network Paper 3d, Overseas Development Institute, Londres.

CRIES, (1984), A National Forest Management Plan for the Dominican Republic, Santo Domingo.

CENTRO DE ORIENTACIÓN ECONÓMICA, (1988), 'Integración de las Instituciones Vinculadas a la Foresta en la República Dominicana', Informe al Congreso, No 35.

DARROW, K W, (1990), 'Hispaniolan Pine (*Pinus occidentalis* Swartz) a Little Known Sub-Tropical Pine of Economic Potential, Commonwealth Forestry Review, 69 (3).

DE MOYA, J, (1988), Problemática de la Agricultura de Laderas y los Sistemas Agroforestales como Alternativa de Soluciones, Documento presentado al congreso, 'Plan de Acción Forestal para la República Dominicana. Análisis y Recomendaciones', Santo Domingo, abril 13-15 1988.

DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL, (1985), Memoria Anual, Santo Domingo.

FAO, (1948), Silvicultura y Productos Forestales, Santo Domingo.

FAO, (1986), Forest Industries in Socio-Economic Development, *Unasylva*, 38 (153).

FAO, (1987), Plan de Acción Forestal República Dominicana, Versión Preliminar, Proyecto DOM/86/002, Santo Domingo.

FAO, (1990), Plan de Acción Forestal Tropical, República Dominicana, International donors round table, Santo Domingo, November 6-9 1990.

FERGUSON, J, (1982), The Dominican Republic: Beyond the Lighthouse, The Latin American Bureau, Londres.

GUTIÉRREZ-SAN MARTÍN, A T, (1988), Agrarian Reform Policy in the Dominican Republic, University Press of America, Lanham, New York, Londres.

HARTSHORN, G et al, (1981), Country Environmental Profile. A Field Study, McLean, Virginia 22102.

LIRIANO, A, (1981), Resumen Sobre la Situación Forestal en la República Dominicana, Documento presentado durante la Semana Profesional Agrícola, September 25 - 4 October 1981, Santo Domingo.

MARTÍNEZ, E, (1990), Los Bosques Dominicanos, Santo Domingo.

MORELL, M G, (1988), second edition, Situación Forestal en República Dominicana, Santo Domingo, Progressio.

RUSSEL, A F, (1988), Uso del Suelo y Degradación Ambiental en la zona Occidental de la República Dominicana durante el período 1972-86: Una Evaluación Cuantitativa de las Variaciones de la Cobertura Vegetal con la Ayuda de Imágenes de Satelites LANDSAT, PUCCM, Santiago, República Dominicana.

CHUVIECO, E. (1990), Fundamentos de Teledetección. Ed. RIALP S.A., Madrid, España.

MATHER, P.M. (1999), Computer Processing of Remotely-Sensed Images.

## Direcciones del Internet Consultadas

- 1- <http://biogeo.nos.noaa.gov/products/benthic/htm/data.htm> NOAA, fotos aéreas de las costas y otros datos.
- 2- <http://www.digitalglobe.com/> compañía digital globe, imágenes de satélites.
- 3- [http://arcdata.esri.com/data/tiger\\_puertorico.cfm](http://arcdata.esri.com/data/tiger_puertorico.cfm) GIS, data gratis para Puerto Rico, rios, barrios, carreteras, otros.
- 4- <http://www.epa.gov/region2/gis/data/thematicdata.htm> EPA, data geográfica de algunas especies.
- 5- <http://www.esri.com/> compañía ESRI, data, programas, información, tutoriales, campus virtual, educación, otros.
- 6- <http://data.geocomm.com/> GIS data depot, data del USGS para Puerto Rico.
- 7- <http://mapmart.com/> data, fotos y mapas digitales.
- 8- <http://biogeo.nos.noaa.gov/products/data/photos/usvi.shtml> NOAA, fotos aéreas 1999 costas de Puerto Rico, mosaico.
- 9- <http://terraserver-usa.com> fotos aéreas de Puerto Rico y USA.
- 10- <http://www.webgis.com> GIS data, DRG, DOQ, otros.
- 11- <http://www.spaceimaging.com> IKONOS, galerías de fotos.
- 12- [http://www.businessmap.com/library/brochures/pdfs/latam\\_telecom\\_bro\\_g619\\_4-01.pdf](http://www.businessmap.com/library/brochures/pdfs/latam_telecom_bro_g619_4-01.pdf) in formaciones sobre aplicaciones de GIS en infraestructuras.
- 13- [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj_f.html) proyecciones y sistemas de coordenadas.
- 14- <http://geog.hkbu.edu.hk/RS/rs.htm> laboratorio virtual de RS y GIS.
- 15- <http://www.nasa.gov/home/> misiones, data, imágenes, otros.
- 16- [http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter1/chapter1\\_6\\_e.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter1/chapter1_6_e.html) fundamentos de RS



## X. Anexos

### Hojas Técnicas de las Bandas TM / +ETM.

#### Año 1985

```

NDF_REVISION=2.00; DATA_SET_TYPE=EDC_TM;
PRODUCT_NUMBER=01400022800140004; PIXEL_FORMAT=BYTE;
PIXEL_ORDER=NOT_INVERTED; BITS_PER_PIXEL=8; PIXELS_PER_LINE=6917;
LINES_PER_DATA_FILE=6299; DATA_ORIENTATION=UPPER_LEFT/RIGHT;
NUMBER_OF_DATA_FILES=7; DATA_FILE_INTERLEAVING=BSQ;
TAPE_SPANNING_FLAG=1/1; START_LINE_NUMBER=1; START_DATA_FILE=1;
LINES_PER_VOLUME=44093; BLOCKING_FACTOR=1; RECORD_SIZE=6917;
UPPER_LEFT_CORNER=0703132.9671W,0194230.5068N,17927576.882,198279.355;
UPPER_RIGHT_CORNER=0684008.2071W,0192621.5654N,17940385.977,394968.709;
LOWER_RIGHT_CORNER=0685600.7325W,0175015.6230N,18119499.562,383304.209;
LOWER_LEFT_CORNER=0704624.0652W,0180615.3885N,18106690.467,186614.855;
REFERENCE_POINT=SCENE_CENTER;
REFERENCE_POSITION=0694331.0391W,0184629.2286N,18023538.222,290791.787,3459.0
0,3150.00; REFERENCE_OFFSET=-217.28,-0.55; ORIENTATION=-86.273961;
MAP_PROJECTION_NAME=SPACE_OBLIQUE_MERC;
USGS_PROJECTION_NUMBER=22;
USGS_PROJECTION_PARAMETERS=6378137.000000000000000,6356752.3141400004000
00,5.000000000000000,7.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.0000
00000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000
0,0.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000
0,0.000000000000000,1.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000;
HORIZONTAL_DATUM=WGS84; EARTH_ELLIPSOID_SEMI-
MAJOR_AXIS=6378137.000; EARTH_ELLIPSOID_SEMI-MINOR_AXIS=6356752.314;
EARTH_ELLIPSOID_ORIGIN_OFFSET=0.000,0.000,0.000;
EARTH_ELLIPSOID_ROTATION_OFFSET=0.000000,0.000000,0.000000;
PRODUCT_SIZE=FULL_SCENE; PIXEL_SPACING=28.5000,28.5000;
PIXEL_SPACING_UNITS=METERS; RESAMPLING=CC;
PROCESSING_DATE/TIME=2000-02-28T11:03:11;
PROCESSING_SOFTWARE=NLAPS_4_1_1e; NUMBER_OF_BANDS_IN_VOLUME=7;
WRS=007/047; ACQUISITION_DATE/TIME=1985-05-02T14:32:45Z;
SATELLITE=LANDSAT_5; SATELLITE_INSTRUMENT=TM; PROCESSING_LEVEL=08;
SUN_ELEVATION=61.29; SUN_AZIMUTH=92.36; BAND1_NAME=TM_BAND_1;
BAND1_FILENAME=LT5007047008512210.I1; BAND1_WAVELENGTHS=0.45,0.52;
BAND1_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.6024314,-1.5200000;
BAND2_NAME=TM_BAND_2; BAND2_FILENAME=LT5007047008512210.I2;
BAND2_WAVELENGTHS=0.52,0.60; BAND2_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=1.1750981,-
2.8399999; BAND3_NAME=TM_BAND_3; BAND3_FILENAME=LT5007047008512210.I3;
BAND3_WAVELENGTHS=0.63,0.69; BAND3_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.8057647,-
1.1700000; BAND4_NAME=TM_BAND_4; BAND4_FILENAME=LT5007047008512210.I4;
BAND4_WAVELENGTHS=0.76,0.90; BAND4_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.8145490,-
1.5100000; BAND5_NAME=TM_BAND_5; BAND5_FILENAME=LT5007047008512210.I5;
BAND5_WAVELENGTHS=1.55,1.75; BAND5_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.1080784,-
0.3700000; BAND6_NAME=TM_BAND_6; BAND6_FILENAME=LT5007047008512210.I6;
BAND6_WAVELENGTHS=10.40,12.50;
BAND6_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.0551584,1.2377996;
BAND7_NAME=TM_BAND_7; BAND7_FILENAME=LT5007047008512210.I7;
BAND7_WAVELENGTHS=2.08,2.35; BAND7_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.0569804,-
0.1500000; END_OF_HDR;

```

## Año 2000

```

GROUP = METADATA_FILE PRODUCT_CREATION_TIME = 2004-02-12T15:10:26Z
PRODUCT_FILE_SIZE = 668.7 STATION_ID = "EDC" GROUND_STATION = "EDC"
GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA SPACECRAFT_ID = "Landsat7" SENSOR_ID
= "ETM+" ACQUISITION_DATE = 2000-06-20 WRS_PATH = 007 WRS_ROW = 047
SCENE_CENTER_LAT = +18.7914024 SCENE_CENTER_LON = -69.8118956
SCENE_UL_CORNER_LAT = +19.7270358 SCENE_UL_CORNER_LON = -70.4889613
SCENE_UR_CORNER_LAT = +19.4755086 SCENE_UR_CORNER_LON = -68.7626148
SCENE_LL_CORNER_LAT = +18.1015308 SCENE_LL_CORNER_LON = -70.8527037
SCENE_LR_CORNER_LAT = +17.8533535 SCENE_LR_CORNER_LON = -69.1422607
SCENE_UL_CORNER_MAPX = 343966.500 SCENE_UL_CORNER_MAPY = 2181960.000
SCENE_UR_CORNER_MAPX = 524913.000 SCENE_UR_CORNER_MAPY = 2153460.000
SCENE_LL_CORNER_MAPX = 303952.500 SCENE_LL_CORNER_MAPY = 2002381.500
SCENE_LR_CORNER_MAPX = 484927.500 SCENE_LR_CORNER_MAPY = 1973967.000
BAND1_FILE_NAME = "p007r047_7r20000620_x19_rm10.tif" BAND2_FILE_NAME =
"p007r047_7r20000620_x19_rm20.tif" BAND3_FILE_NAME =
"p007r047_7r20000620_x19_rm30.tif" BAND4_FILE_NAME =
"p007r047_7r20000620_x19_rm40.tif" BAND5_FILE_NAME =
"p007r047_7r20000620_x19_rm50.tif" BAND61_FILE_NAME =
"p007r047_7r20000620_x19_rm61.tif" BAND62_FILE_NAME =
"p007r047_7r20000620_x19_rm62.tif" BAND7_FILE_NAME =
"p007r047_7r20000620_x19_rm70.tif" BAND8_FILE_NAME =
"p007r047_7p20000620_x19_rm80.tif" GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
REFERENCE_DATUM = "WGS84" REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"
GRID_CELL_ORIGIN = "Center" UL_GRID_LINE_NUMBER = 1
UL_GRID_SAMPLE_NUMBER = 1 GRID_INCREMENT_UNIT = "Meters"
GRID_CELL_SIZE_PAN = 14.250 GRID_CELL_SIZE_THM = 57.000
GRID_CELL_SIZE_REF = 28.500 FALSE_NORTHING = 0 ORIENTATION = "NUP"
RESAMPLING_OPTION = "NN" MAP_PROJECTION = "UTM" END_GROUP =
PROJECTION_PARAMETERS GROUP = UTM_PARAMETERS ZONE_NUMBER = +19
END_GROUP = UTM_PARAMETERS SUN_AZIMUTH = 74.7124629 SUN_ELEVATION =
64.7556592 QA_PERCENT_MISSING_DATA = 0 CLOUD_COVER = 0
PRODUCT_SAMPLES_PAN = 17450 PRODUCT_LINES_PAN = 15296
PRODUCT_SAMPLES_REF = 8725 PRODUCT_LINES_REF = 7648
PRODUCT_SAMPLES_THM = 4363 PRODUCT_LINES_THM = 3824 OUTPUT_FORMAT
= "GEOTIFF" END_GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA GROUP =
L1G_PRODUCT_METADATA BAND_COMBINATION = "123456678" CPF_FILE_NAME
= "L7CPF20000401_20000630_09" GROUP = MIN_MAX_RADIANCE LMAX_BAND1 =
191.600 LMIN_BAND1 = -6.200 LMAX_BAND2 = 196.500 LMIN_BAND2 = -6.400
LMAX_BAND3 = 152.900 LMIN_BAND3 = -5.000 LMAX_BAND4 = 241.100
LMIN_BAND4 = -5.100 LMAX_BAND5 = 31.060 LMIN_BAND5 = -1.000 LMAX_BAND61
= 17.040 LMIN_BAND61 = 0.000 LMAX_BAND62 = 12.650 LMIN_BAND62 = 3.200
LMAX_BAND7 = 10.800 LMIN_BAND7 = -0.350 LMAX_BAND8 = 243.100 LMIN_BAND8
= -4.700 END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QCALMAX_BAND1 = 255.0 QCALMIN_BAND1 = 1.0 QCALMAX_BAND2 = 255.0
QCALMIN_BAND2 = 1.0 QCALMAX_BAND3 = 255.0 QCALMIN_BAND3 = 1.0
QCALMAX_BAND4 = 255.0 QCALMIN_BAND4 = 1.0 QCALMAX_BAND5 = 255.0
QCALMIN_BAND5 = 1.0 QCALMAX_BAND61 = 255.0 QCALMIN_BAND61 = 1.0
QCALMAX_BAND62 = 255.0 QCALMIN_BAND62 = 1.0 QCALMAX_BAND7 = 255.0
QCALMIN_BAND7 = 1.0 QCALMAX_BAND8 = 255.0 QCALMIN_BAND8 = 1.0
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND1 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND2 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND3 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND4 = "CPF"

```

```

CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND5 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND61 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND62 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND7 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND8 = "CPF" CORRECTION_METHOD_BIAS = "TC"
BAND1_GAIN = "H" BAND2_GAIN = "H" BAND3_GAIN = "H" BAND4_GAIN = "L"
BAND5_GAIN = "H" BAND6_GAIN1 = "L" BAND6_GAIN2 = "H" BAND7_GAIN = "H"
BAND8_GAIN = "L" BAND1_GAIN_CHANGE = "0" BAND2_GAIN_CHANGE = "0"
BAND3_GAIN_CHANGE = "0" BAND4_GAIN_CHANGE = "0" BAND5_GAIN_CHANGE
= "0" BAND6_GAIN_CHANGE1 = "0" BAND6_GAIN_CHANGE2 = "0"
BAND7_GAIN_CHANGE = "0" BAND8_GAIN_CHANGE = "0"
BAND1_SL_GAIN_CHANGE = "0" BAND2_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND3_SL_GAIN_CHANGE = "0" BAND4_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND5_SL_GAIN_CHANGE = "0" BAND6_SL_GAIN_CHANGE1 = "0"
BAND6_SL_GAIN_CHANGE2 = "0" BAND7_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND8_SL_GAIN_CHANGE = "0" END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS GROUP =
CORRECTIONS_APPLIED STRIPING_BAND1 = "NONE" STRIPING_BAND2 = "NONE"
STRIPING_BAND3 = "NONE" STRIPING_BAND4 = "NONE" STRIPING_BAND5 =
"NONE" STRIPING_BAND61 = "NONE" STRIPING_BAND62 = "NONE"
STRIPING_BAND7 = "NONE" STRIPING_BAND8 = "NONE" BANDING = "N"
COHERENT_NOISE = "N" MEMORY_EFFECT = "N" SCAN_CORRELATED_SHIFT = "N"
INOPERABLE_DETECTORS = "N" DROPPED_LINES = N END_GROUP =
CORRECTIONS_APPLIED END_GROUP = LIG_PRODUCT_METADATA END_GROUP =
METADATA_FILE END

```