

Portal Webgis de alerta forestal temprana en áreas boscosas protegidas

Autor: William Ernesto Camilo Reynoso et. al. - 20-06-2011

[https://vinculando.org/educacion/portal_webgis de alerta temprana forestal en areas boscoss.ht
ml](https://vinculando.org/educacion/portal_webgis_de_alerta_temprana_forestal_en_areas_boscoss.html)

Título original: Portal Webgis de alerta temprana forestal en áreas boscosas protegidas; usando: sensado remoto satelital , redes neuronales y el tratamiento digital de señales (DSP)

Nuestro trabajo trata sobre la implementación de las fases de un **Sistema de Información Geográfica**, para el diseño de un portal Gis a través de la Web.

El proyecto está orientado al diseño de un Software para el cliente o usuario; de manera que éste pueda desplegar las opciones de un GIS local en nuestro caso para el "**estudio y análisis de los bosques, y foresta**" desde una plataforma informática de la WebGIS.

La metodología de trabajo para lograr dicho objetivo; está basada en la utilización de las herramientas obtenidas de la Ingeniería del Software en SDI (Infraestructuras de Datos Espaciales).

El trabajo de divide en tres partes:

I) El estudio y el Análisis temporal de la deforestación en la República Dominicana; para que esta información nos sirva como fuente y base de datos (database) actualizados del tema; así como de referencia para la elaboración de la metadata requerida para resaltar informaciones focalizadas de puntos de coordenadas geográficas específicas bajo un interés particular o especializado del usuario.

II) La preparación y el acopio de los datos del proyecto o trabajo usando la matriz de la clasificación de las posibles soluciones a los requerimientos de un cliente; luego se presenta una matriz gráfica de cómo sería un posible flujograma para el algoritmo de trabajo en el diseño del software requerido para la automatización de la interacción entre el usuario y el sistema GIS.

III) La presentación de los pasos para llegar al programa o algoritmo para un Software del Sistema de Información Geográfica de alerta forestal dominicana.

LISTA DE ABREVIATURAS

- DN Digital Number
- Dv Suelo desprovisto de vegetación

- EM Energía electromagnética
- GIS Geographic Information System
- GPS Geoposicionador Satelital
- I R Banda Infrarroja del espectro electromagnético
- km Kilómetro
- M Metro
- Mm Milímetro
- MSS Landsat Multispectral Scanner
- NASA National Aeronautics and Space Agency
- ND Nivel Digital
- Nm Nanómetro
- PR Percepción remota
- PRS Percepción remota por satélite
- R Banda roja del espectro electromagnético
- RD República Dominicana
- RBV Return Beam Vidicom
- RGB Red-Green-Blue composition
- RMS Root Mean Square
- TC Tasseles cap
- TM Thematic Mapper

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 gran todos los 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 periodo 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 a la agricultura, a la cría de ganado, la urbanización y la construcción de infraestructuras y la minería.

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

DESARROLLO:

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.

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 m³ 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.

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).

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 kms² aproximadamente) y 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 Isla Cabritos El Parque Nacional Isla Cabritos ocupa los terrenos de una pequeña isla situada dentro del Lago Enriquillo, ubicada al suroeste del país, entre la Sierra de Neyba y la de Bahoruco. Tiene una extensión aproximada de 24 kilómetros cuadrados. La vegetación está constituida por especies propias de la zona de vida que la cubre (bosque seco subtropical y bosque espinoso), cuya característica principal es la baja pluviometría, que se registra durante todo el año.

DEFORESTACION 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).

EVALUACIÓN DE LA DEFORESTACION 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.

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 multiespectral 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 Republica 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.

ÁREA DE ESTUDIO

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 Km² (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 Km²), las Lagunas Cabral (30 Km²) y Oviedo (28 Km²) y 108 cuencas hidrográficas (entre ellas tres grandes cuencas: Río Yaque del Norte con 7050 Km², Río Yuna con 5070 Km² y Río Yaque del Sur con 5340 Km² 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 Km²) 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.

INDICE DE VEGETACION

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 2. Clasificación de índices de Vegetación

Figura 3. Características espectrales de la reflexión de los materiales comunes de la superficie de la tierra

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 píxeles 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 píxeles 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.

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 descargas en la dirección de Internet.

A continuación mostramos una descripción gráfica del proceso de obtención.

Figura 4. Imágenes Landsat disponibles del área del caribe.

Figura 5. Imagen Landsat objeto de estudio

CLASIFICACION 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,

Tabla 1

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.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA USADA

A continuación se describen brevemente las actividades realizadas y se muestran de manera esquemática. Las actividades realizadas se pueden dividir en tres etapas:

Etapa 1.- Inicial:

- Adquisición de las imágenes Landsat de 1985 y 2000.

Etapa 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 periodo.

ETAPA 1: INICIAL

SELECCION DE LAS IMÁGENES LANDSAT.

Durante esta epata se procedió a la búsqueda y selección de dos imágenes saleltales de la porción mas boscosa de la Rep. Dominicana, de diferentes fechas, con el objetivo de poder evaluar el nivel de degradación o incremento forestal, en el intervalo.

ETAPA 2: CLASIFICACIÓN. 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 mejoría en la clase bosque vegetación del país.

VERI FICACIÓN 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.

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 píxeles 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.

DETECCIÓN DE CAMBIO POST-CLASIFICACIÓN.

La detección de los cambios se realizo 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 uso para los mismos fines el calculo de los índices de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) de ambas imágenes. Mediante observación se pudo determinar cual 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, a partir del conocimiento del nivel de los índices de las área conocidas, para luego obtener las áreas correspondientes que permitan la comparación de los niveles de vegetación de ambos años.

ETAPA 3: DETECCIÓN. 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.

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.

Fig.6 Macro NDVI e Histograma

Figura 7 . NDVI-1985

Figura 8 NDVI-2000

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

Fig. 9

Histograma-2000

Fig. 10

RESULTADOS TABULADOS.

VALIDACION 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**

Fig.11 Imágenes de la República Dominicana con los **placemark BOSQUE**.

Fig. 12 **Imagen Bosque 1**, correspondiente a la zona de Samaná.

Fig. 13 **Imagen Bosque 2**, correspondiente a la zona de la Presa de Hatillo, en la Provincia Sánchez Ramírez.

Fig. 14 **Imagen Bosque 3**, correspondiente a la zona alta de la Provincia de San Cristóbal, (presas de Higuey y Aguacate).

Fig. 15

A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN LOS ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE NUESTRO PORTAL WEBGIS.

Elaboración de la matriz con los elementos de clasificación y posibles soluciones a los posibles requerimientos a través de la WebGIS

Los componentes de un GIS son : La data geográfica y no geográfica + recursos humanos, organizaciones + Infraestructuras + Software + Hardware+ Objetivos, etc.

GIS = ICT (comunicaciones) + trabajos geográficos y desarrollos.

La GIS tiene unos 30 años de existencia; mientras que la WebGIS cuenta con unos 10 años.

Las fases para hacer un proyecto de GIS:

Se utilizan tres fases o pasos para hacer un proyecto de un Sistema de Información Geográfica " GIS" :

a) Necesidades del usuario:

1. Records, surveys, etc ; con la lista de las especificaciones cualitativas, y el estudio de factibilidad económica del proyecto.
2. Meta general del proyecto (se quiere tener un control sobre lo que se está desarrollando)
3. Detalles del proyecto, especificaciones (RVB) detalles y especificaciones de la manera

de cómo se produce y se desarrolla el software de nuestro proyecto de GIS: funciones buffers, overlays o solapamientos de imágenes,etc.)

4. especialidad del personal y las horas-hombre requeridas para la realización de dicho proyecto
5. Testing : puntos de funciones; cuantas funciones yo puedo medir, para una llamada sobre el software..., cuantos inputs y outputs files produce este personal desarrollador de algoritmos,etc.

b) Funciones basadas en las aplicaciones GIS:

1. Necesito un Sistema de Información Geográfica que permita la aplicación para conocer algunas de las particularidades para mi País, etc.
2. Requiero disponer de las herramientas necesarias en orden que me permitan realizar mi propio proyecto (ESRI, IDRISI KILIMANJARO, ETC.)

c) Necesito conocer los estándares de trabajo para el SDI en el GIS:

1. WMS, WFS, GML, SOAP, XML, etc.
2. Uso inteligente de la estandarización: Sw engineering process, framework (RVP), Sw measurement metrics " FP".
3. Los componentes SDI son usados para el diseño modular y la construcción
4. Infraestructura de datos especiales: porque antes ya alguien los ha desarrollado; estos pueden ser: complejos (complex, compound).

Fig. 16 detalles sobre una matriz para el diseño de un GIS

Las celdas de esta matriz entonces se pueden numerar en unos 20 componentes que se describen a continuación:

1. Browser para el cliente con un mapa estático desde el servidor
2. Browser + applets para el cliente con un mapa estático desde el servidor
3. Browser + plug-in para el cliente con un mapa estático desde el servidor
4. Thick client con un mapa estático desde el servidor
5. Browser para el cliente con un mapa estático en la Web
6. Browser + applets " " "
7. " + plug-in " "
8. -
9. -
10. t)* 20 Thick client con acceso a datos desde la GIS.

Fig.17 Matriz gráfica de una clasificación de las posibles soluciones en una WebGIS Modelado de un Sistema de Información Geográfica a través de SDI

Fig. 18 Modelo de un buscador automático en la WebGIS

Fig. 19 Flowchart de un automatismo alusivo al caso

```
; WebGIS Program
; Program for internal PICAXE-28 x
symbol thick = 7
symbol plug-in = 5
symbol applets = 5
symbol browser = 4
symbol mapa estático = pin0
symbol webmapping estático = pin6
symbol interactive Webmapping = pin7
symbol dati GI = pin2

main:
low 5 ' saca fuera mapa para browser applets
high 4 ' despliega mapa para browser
if pin0 = 1 then estatico-fuera
goto main

Estatico-fuera:
pause 1000
high 5 ' despliega browser applets
low 4 ' sacar fuera el browser

test1:
high 4 ' browser dentro
pause 500
low 4 ' browser fuera
loop1: if pin6 = 1 then webmapping
if pin7 = 1 then interactive
if pin2 = 1 then test2
goto loop1

test2:
high 4 ' browser dentro
pause 500
low 4 ' browser fuera
loop2: if pin2 =1 then dati GI
if pin6 = 1 then webmapping
if pin7 = 1 then test3
```

goto loop2

test3:

21

high 4

pause 500

low 4

loop3: if pin2 = 1 then dati GI

if pin7 = 1 then interactive

if pin6 = 1 then webmapping

goto loop3

plug-in:

high 4

low 5

if pin0 = 1 then

pause 500

goto main

webmapping:

high 4

pause 500

low 4

interactive: high 4

low 5

if pin0 = 1 then

pause 500

goto main

dati-GI:

high 7 ' despliega mapa thick client

pause 1000

low 7 ' saca fuera al mapa thick client

goto loop1

OPERABILIDAD DE LA RED PARA INTERCONEXIÓN E INTERCAMBIO DE WEBGIS

Fig. 20 Arquitectura convencional de búsqueda en la Web

Fig.21 Arquitectura de búsqueda GeoWeb

Fig. 22 Diagrama del proceso de un requerimiento de transformación XML

Fig.23 Interoperabilidad de Cliente/Servidor

Fig. 24 Interoperabilidad de sobreposición de mapas

Fig. 25 Comunicaciones WMS (cortesía de CSC PloenzkeAG).

Fig.26 La interface de la Web abierta para el Servicios de Mapas

Fig.27 OGC Web Service Architecture Diagram.

Fig. 28 Interoperabilidad de Servicios " Stack" (Modelo de referencia ISO)

Fig. 29 Creación de una hoja de un mapa de estilo

Fig. 30 Algunos softwares para pasar GML

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 modulo Vegindix 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.

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*. 2° ed. Ed. John Wiley &Son. N.Y. USA.

Notas:

Autores: Ing. William Ernesto Camilo Reynoso, DEA, Msc.(1), Dr. Mauro Salvemini (2) e Ing.

Yrvin Rivera,Msc.(3)

(1) ITLA-CREA, Rep. Dominicana, wcamilo@itla.edu.do

(2) Univ. LaSapienza, Italia, mauro.salvemini@uniroma1.it

(3) UNAPEC, Rep. Dominicana, Yrivera@unapec.edu.do