



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Análisis y cartografía de cambios del uso del suelo de la Reserva de la Biosfera del Noroeste (Perú) mediante técnicas de teledetección

Autor: Juan Pedro Rigol Sánchez

Institución: Universidad de Jaén

e-mail: jprigol@ujaen.es

Otros Autores: Gerardo Ortiz Castro(Universidad Nacional de Tumbes)

RESUMEN

El análisis multitemporal de las imágenes de satélite Landsat TM 1990 y ETM+ 2000 aplicando distintas técnicas de teledetección ha permitido conocer la extensión superficial e intensidad de los procesos de degradación del bosque seco tropical de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera del Noroeste, Perú. Los cambios del uso del suelo en el periodo 1990-2000 corresponden esencialmente a una degradación de las cubiertas del bosque a suelo con poca vegetación, suelo agrícola o suelo desnudo, afectando al 10% del área estudiada (aproximadamente 15,000 ha). Estos procesos se localizan en 4 zonas plenamente identificadas, siendo la principal el poblado de Rica Playa, cercano al área de amortiguamiento, donde se está incrementando la presencia de poblaciones sin infraestructuras y poco sensibilizadas con la conservación de la biodiversidad. La puesta en marcha de la carretera de penetración hasta Rica Playa se constituye, en particular, en una seria amenaza para la Reserva.

Palabras Clave: Análisis multitemporal, cambios de uso del suelo, bosque seco tropical, imágenes Landsat TM y ETM+.

1. INTRODUCCIÓN

Es innegable que los procesos de degradación de bosques han ido en aumento durante las últimas décadas, condicionando aún más los efectos del cambio climático, y los bosques secos de la Reserva de la Biosfera del Noroeste del Perú no son la excepción. Estos bosques constituyen ecosistemas frágiles y proclives a sufrir cambios antropogénicos que pueden llevar a la pérdida de flora y fauna nativa con alta probabilidad de estar en peligro de extinción. La problemática que se deriva de esa situación nos ha servido como justificación para llevar a cabo este estudio, cuyo objetivo básico ha sido el desarrollo de una metodología que permita el tratamiento y posterior análisis de datos de teledetección de los bosques tropicales secos de la Reserva de la Biosfera del Noroeste con el fin de evaluar las áreas con riesgo de cambios en el uso del suelo que implican una deforestación y que pueden conducir a la desertificación.

La Reserva de la Biosfera del Noroeste (RBNO) se encuentra en las ecorregiones del Mar Tropical, donde se destaca la zona de los manglares y zona marina correspondiente a las 5 millas, Bosque Seco Ecuatorial y Bosque Tropical del Pacífico y es denominada Bosques Secos de Tumbes/Piura, Ecuador - Perú. Aquí se han definido las siguiente clasificación de zonas de vida: bosque muy seco Tropical, bosque seco Tropical, bosque seco premontano Tropical, matorral desértico Tropical, monte espinoso Tropical, desierto pacífico y una transicional entre el matorral desértico premontano Tropical a matorral desértico Tropical. A su vez, RBNO se encuentra en el núcleo de la región de Endemismo Tumbesino, región que incluye una angosta faja de bosque seco que se extiende desde el norte del Golfo de Guayaquil a lo largo de la costa, hasta el departamento de La Libertad. A pesar de que cubre una extensión relativamente pequeña, alberga un número significativo de taxa endémica (Cracraft, 1985) y está calificada como sobresaliente a nivel global por su distintividad biológica. En ese contexto, la zona de Tumbes ha sido calificada como Prioritaria, siendo el sector de El Caucho - Campoverde, dentro de la Zona Reservada de Tumbes, calificado con la máxima prioridad: Prioridad Muy Alta (CDC-UNALM, 1994). La RBNO incluye ecosistemas que están considerados dentro de los más severamente amenazados en el mundo, por el alto grado de pérdida de su distribución original. Esta región ha sido identificada por el Smithsonian Institute como zona prioritaria de conservación e investigación en cuanto a centros de diversidad de plantas (INRENA, 1995).

El estudio reviste importancia debido a que la RBNO se constituye en un refugio para la vida silvestre y en un importante centro de biodiversidad, donde la naturaleza ha evolucionado sin interrupciones produciendo especies únicas y adaptadas a la vida en condiciones de calor y humedad propias de los trópicos, y, sin embargo, rodeado de desierto. Esta presenta una serie de amenazas entre las que destacan: la extracción de madera, extracción de material de acarreo, extracción de productos del bosque, presencia desordenada de ganado, contaminación e incendios forestales. Dichas dificultades se agudizan por una falta de capacidad de control efectivo en el campo y por descoordinaciones interinstitucionales, y sobre todo porque no se han definido con claridad los límites de las áreas reservada y de amortiguamiento, y porque no se tiene estudios precisos que identifiquen o cuantifiquen los daños ambientales que viene sufriendo dicha Reserva, en consecuencia, la prioridad de conservación que se asigna a esta ecorregión es de máxima prioridad regional e internacional.

En esta investigación se ha estudiado el cambio de usos del suelo de la Zona Reservada de Tumbes y del Parque Nacional Cerros de Amotape, áreas principales que dieron lugar a la creación de la Reserva de la Biosfera del Noroeste del Perú, a partir de imágenes Landsat ETM+ del año 2000 y Landsat TM del año 1990, con el fin de presentar resultados que permitan determinar con un alto grado de aproximación las variaciones ambientales que servirán para que los responsables de la gestión de esta reserva formulen estrategias no sólo biológicas sino sociales a fin de conservar estos ecosistemas frágiles y desarrollar actividades compatibles con los objetivos de su creación.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La Región de Endemismo Tumbesina (RET) es uno de los lugares de mayor importancia a nivel mundial en cuanto a endemismo en aves. Comprende la parte occidental del Ecuador y noroccidental del Perú y tiene una extensión de 135.000 Km². En el Perú, abarca los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y parte de los territorios de Cajamarca y La Libertad (Fig. 1), siendo una zona con uno de los mayores índices de deforestación e intervención humana de la región. La clasificación de diversos territorios en áreas de endemismo es válida esencialmente para aves y es utilizada por BirdLife International. El Bosque Seco Ecuatorial es la ecorregión predominante en la RET. Asimismo, se encuentran el Bosque Tropical Pacífico, el Desierto del Pacífico y el Mar Tropical. Estas cuatro ecorregiones albergan los hábitats de esta área de endemismo y se encuentran entre los 0 y 3,000 msnm. Los principales hábitats son: el desierto, el páramo, los bosques húmedos siempre-verdes, los bosques de neblina, los manglares y el bosque seco. La gran variedad de especies de esta zona incluye también a la flora. Se han identificado 5.000 especies, de las cuales 1.000 son endémicas. Gran parte de la flora de esta zona pierde sus hojas durante la época seca (mayo a diciembre). Este mecanismo le permite ahorrar a la planta agua y energía. Ambos elementos son utilizados en la época lluviosa para producir semillas (INRENA, 1995).



Figura 1. Localización geográfica de la Región de Endemismo Tumbesina (RET).

Los problemas ambientales de las reservas naturales en general, comprenden un conjunto de situaciones asociadas al medio físico y ecológico, la producción, la sociedad, la política y la economía de un país o región. Se relacionan intrínsecamente con los valores culturales, conocimientos, reglas y comportamientos sociales que rigen el sistema. Esta gran complejidad ha llevado a una transformación del enfoque científico para tratar los temas ambientales. Emerge al debate la interdisciplinariedad, la creación de nuevas áreas temáticas (por ejemplo economía ecológica y desarrollo sostenible) y el rescate del conocimiento y usos tradicionales como insumos a la toma de decisiones (Santiago et al., 2001).

Es importante además reseñar los antecedentes legales y administrativos que permitan comprender la naturaleza y situación de la Reserva de la Biosfera del Noroeste y su gestión:

- En 1957, se crea el Bosque Nacional de Tumbes (actual Zona Reservada de Tumbes), como medio para asegurar el abastecimiento permanente de madera, como materia prima para la industria Nacional, así mismo para la utilización y conservación de los recursos forestales del departamento.(DS. 007-57).
- En 1992, se elabora el Diagnóstico de Uso del Bosque Nacional de Tumbes, el que planteaba como uno de sus objetivos regular el uso de las Recursos Naturales de acuerdo a planes de aprovechamiento racional e integral, bajo investigación y monitoreo. Se considera como una acción prioritaria el ordenamiento de las áreas de

pasturas, lo que implicó una intensidad adecuada para el aprovechamiento de los pastos, descansos periódicos para su recuperación, mejoramiento del ganado y del sistema de producción ganadera. Así mismo se planteó la necesidad de una zonificación adecuada incluyendo la Zona de Pasturas que la ubica en el extremo sur del bosque Nacional, entre Cóndor Flores, Balseadero, Bocana Murciélagos y Zapallal.

- En el Plan de Manejo Sostenible del Bosque Nacional de Tumbes (BNT) y Áreas de Influencia elaborado en 1994, se tenía clara la definición del establecimiento de un “área natural protegida de recursos manejados” y se proponía dentro de la zonificación del BNT, establecer los sectores de Cóndor Flores y Zapallal, donde se ubica la zona de pastizales, como zona de uso directo, y se contemplan acciones concretas para su implementación tal como delimitación de áreas de pasturas usadas, determinar capacidad de carga de las áreas usadas como pastizales, hacer estudios de los sistemas de producción actuales, entre otros.
- En el estudio de Capacidad de Carga de los Pastizales de la Zona Reservada de Tumbes (Atto y Requejo, 1996), se establece la necesidad de hacer estudios sobre la capacidad de carga de los pastizales para conocer la soportabilidad de los pastos bajo el uso actual. Así mismo, en las recomendaciones finales se plantea establecer un plan de manejo del área de pastizales de la Zona Reservada de Tumbes, con el objeto de aumentar la producción de carne, pero sin afectar la condición del pastizal y tratando de preservar la diversidad biológica.
- La propuesta de Plan Maestro de la Reserva Nacional de Tumbes (PRO NATURALEZA, 1998), informa que en el año 1996 existían 2700 cabezas de ganado vacuno y 240 de equinos aprovechando los pastizales de los sectores de Cóndor Flores y Zapallal, en una extensión aproximada de 4180 Has. Esta elevada concentración de ganado vacuno permite asegurar que la mayor actividad de uso de recursos en la Zona Reservada de Tumbes es la ganadería. El mismo documento establece que para el uso de los recursos naturales renovables de la RNT tienen prioridad los usuarios locales que exhiban su voluntad de respetar los planes de manejo y tengan capacidad de respuesta para emprenderlos. Así mismo se plantea la necesidad de elaborar planes de aprovechamiento de pastos naturalizados, de acuerdo a la zonificación de área y de su correspondiente capacidad de carga, exigir planes de producción pecuaria a los ganaderos acordes con los planes de aprovechamiento de los pastos que apruebe el área y de probada rentabilidad, para asegurar la capacidad de respuesta del ganadero a sus compromisos con la RNT.
- El Plan de Desarrollo Sostenible para el Uso de Pasturas en la Reserva de Biosfera del Noroeste (INRENA, 2002), establece como estrategias la actualización del diagnóstico de pastos y forrajes en la RBNO, así como promover los planes de manejo como instrumento de gestión en las áreas de pasturas que conlleve a la recuperación del germoplasma nativo forrajero y pastizal.
- El expediente técnico de categorización de la Zona Reservada de Tumbes (INRENA, 2002) determina incluir dentro de la zona de uso especial de la futura Reserva Nacional de Tumbes, los espacios ocupados por la ganadería intensiva y extensiva que se ubica en una franja a lo largo del río Tumbes, y en las partes bajas de la

Quebrada Jurupe, Pan de Azúcar, el Guabo, Jardín Trapazola, Mal Paso, Luren, Don Pablos, así como a orillas de la Qda. Trapazola. Ocupa una superficie de 9319.64 has. Así mismo concluye que se debe categorizar la ZRT a Reserva Nacional de Tumbes, donde la convivencia de prácticas y usos tradicionales de los ganaderos permiten el desarrollo y el uso sostenible de los recursos naturales.

Concretamente, el área seleccionada para el estudio se encuentra en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera del Noroeste del Perú (Fig. 2): el Parque Nacional Cerros de Amotape - PNCA (91 300 ha) y la Zona Reservada de Tumbes - ZRT (75 102 ha). La Reserva de la Biosfera del Noroeste está situada en el extremo norte del Perú, en los departamentos de Tumbes (provincias de Contralmirante Villar, Tumbes y Zarumilla) y Piura (provincias de Talara y Sullana) entre los 3° 43' y 4° 23' de latitud Sur y los 80° 07' y 80° 54' de longitud Oeste. Cubre una superficie de 231,402 hectáreas (que comprende a la zona de amortiguamiento denominada Coto de Caza El Angolo con 65,000 ha. que no se incluye en el trabajo).



Figura 2. Área de estudio: Reserva de Biosfera del Noroeste (RBNO): Parque Nacional Cerros de Amotape (PNCA) y Zona Reservada de Tumbes (ZRT) (INRENA).

El territorio de la zona de estudio presenta una topografía regularmente plana y ondulada a colinas y empinada, de quebradas susceptibles a la erosión en mayores elevaciones, con dominio de suelos arcillosos. Es atravesada por la Cordillera de los Amotapes, que en la zona alcanza su máxima altitud en el Cerro Carrizal con 1613 msnm (INRENA, 2001). Esta Cordillera esta formada por estribaciones y contrafuertes de la Cordillera de los Andes. Tres ríos de flujo permanente atraviesan el área de la RBNO: el río Zarumilla, río Tumbes y río Chira. El clima tropical de la región se caracteriza por ser una zona de transición entre el clima desértico de la costa peruana y el tropical sub-húmedo del Ecuador. Está fuertemente influenciado por las aguas frías de la Corriente de Humboldt, las aguas cálidas de la Corriente El Niño, el anticiclón del Pacífico Sur y la Cordillera de los Andes. Existe poca información meteorológica para la región ya que son pocas las estaciones que registran datos y es difícil hacerse una idea clara de lo que pasa a niveles locales. En la Estación Experimental “Los Tumpis” (80° 19’S y 3° 31’W, altitud: 18 msnm; SENAMHI 2003), se han registrado temperaturas medias de 30 °C, variando por encima de 35 °C en el mes de febrero y alrededor de 15 °C en los meses de julio y agosto. La humedad relativa promedio osciló entre 70 % y 80 %.

El área de estudio presenta dos estaciones climáticas bien marcadas: una seca (de mayo a noviembre) y una lluviosa (de diciembre a abril). En general, las precipitaciones disminuyen de norte a sur y de este a oeste. Así, encontramos zonas de alta precipitación (alrededor de 1500 mm anuales) hacia el lado oriental de la Cordillera de los Amotapes, como en el sector de El Caucho – Campo Verde, y de escasa precipitación (alrededor de 50 mm anuales) hacia el lado sur occidental, como en el área de Talara. El clima peruano está determinado por un conjunto de factores modificadores del clima del Pacífico Sur, entre ellos la Corriente Peruana o de Humbolt, la Corriente El Niño, la Zona de Convergencia Intertropical y el Anticiclón del Pacífico Sur. Adicionalmente a estos factores, el relieve también influye en las variaciones climáticas. La Cordillera de Los Andes atraviesa la parte occidental del continente americano, paralela a la Costa, con altitudes que en algunos casos sobrepasan los 6,000 m. Constituye una barrera natural que impide, en el territorio peruano, el libre paso de las masas de aire húmedo del Atlántico al Pacífico. Ello origina fuertes precipitaciones en los flancos orientales, en contraposición con las vertientes occidentales caracterizadas por escasas lluvias. Sin embargo, en la parte norte, cerca del Ecuador, la cordillera presenta elevaciones relativamente bajas, permitiendo que una extensión considerable de la zona de selva tropical avance hacia el Pacífico, siendo justamente esta zona donde se configura la Reserva de la Biosfera del Noroeste del Perú y la cual es motivo de estudio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio comparativo temporal se han utilizado imágenes de los satélites Landsat 5 y Landsat 7, gestionados por la NASA, y portadores de los sensores TM (Thematic Mapper) y ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), respectivamente. Este último desde su lanzamiento en abril de 1999, mejora la calidad técnica de observación de su predecesor el sensor TM; ambos están especialmente diseñados para la cartografía temática de recursos naturales. Sus características técnicas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas de los sensores Landsat.

Satélite	Sensor	Banda	Anchura	Resolución	Cobertura	Frecuencia
Landsat-4/5 (1982-1987) (1984-2001)	TM	1	0.45-0.52	30 m	185 km	16 días
		2	0.52-0.60	30 m	185 km	16 días
		3	0.63-0.69	30 m	185 km	16 días
		4	0.76-0.90	30 m	185 km	16 días
		5	1.55-1.75	30 m	185 km	16 días
		6	10.4-12.5	120 m	185 km	16 días
		7	2.08-2.35	30 m	185 km	16 días
	MSS	1	0.5-0.6	75 m	185 km	16 días
		2	0.6-0.7	75 m	185 km	16 días
		3	0.7-0.8	75 m	185 km	16 días
Landsat-7 (1999-...)	1 ETM+	4	0.8-1.1	75 m	185 km	16 días
		1	0.45-0.52	30 m	185 km	16 días
		2	0.52-0.60	30 m	185 km	16 días
		3	0.63-0.69	30 m	185 km	16 días
		4	0.76-0.90	30 m	185 km	16 días
		5	1.55-1.75	30 m	185 km	16 días
		7	2.08-2.35	30 m	185 km	16 días
		6	10.4-12.5	60 m	185 km	16 días
		PAN	0.5-0.90	15 m	185 km	16 días

Respecto a las imágenes TM, las mejoras añadidas al ETM+ son la adición de una banda pancromática con resolución espacial de 15 m, especialmente adecuada para la temática urbana; una mejora en el sistema de calibración radiométrica con precisión absoluta del 5%; mayor perfeccionamiento en la geometría de captura; se mantiene la resolución espacial (30 m) de las bandas del espectro visible e infrarrojo mientras que las bandas del térmico (6L y 6H) pasan de 120 m a 60 m, además de la banda pancromática ya citada. Landsat proporciona datos espaciales que se encuentran entre los más importantes y universalmente utilizados y representan una información ambiental clave para una gran variedad de investigaciones científicas. El objetivo de la teledetección es la determinación de las características y fenómenos que ocurren en la superficie terrestre a través de la firma espectral (Chuvienco, 1996). Las imágenes utilizadas se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las imágenes Landsat utilizadas en el estudio.

Fecha	Satélite y Sensor	Cobertura espacial	Resolución	Projection
20-01-1990	Landsat 5TM	8192 x 7200 x 7 [BSQ]	Pixel: 28.5 m.	UTM, Zone 17 South Datum : WGS-84
25-12-2000	Landsat 7 ETM+	7766 x 7244 x 8 [BSQ]	Pixel: 28.5 m.	UTM, Zone 17 South Datum : WGS-84

Sobre la base de la hipótesis de trabajo y las posibilidades de análisis que ofrecen los datos digitales captados por los sensores remotos, se realizó la investigación siguiendo las etapas típicas de los estudios de teledetección del medio natural (Lillesand y Kieffer, 1999; Jensen, 2007). En primer lugar, se realizó una optimización de los datos satelitales, incluyendo correcciones geométricas y atmosféricas. Cuando se realizan estudios

multitemporales, es necesario reducir las distorsiones provocadas por la interferencia de la atmósfera en la radiación reflejada por la superficie, para ello se llevan a cabo correcciones radiométricas que tratan de acercar los niveles digitales originales a los que habría en caso de una recepción ideal. Se utilizó el método del objeto oscuro. La imagen Landsat TM 1990 presentó un desbalanceo perceptible visualmente, para ello se hizo previamente un ajuste geométrico entre las imágenes bajo estudio, usando el método de puntos de control tomando como imagen base a la imagen Landsat ETM +, ortogeoreferenciada, del 25 de diciembre de 2000; el sistema de referencia corresponde a la proyección cartográfica UTM, zona 17 sur, con Datum WGS84 (Fuente USGS/GLCF). Previamente se comprobó en gabinete la precisión de su georeferenciación con la posición antes señalada a través de puntos de control obtenidos de la ubicación de la Reserva de Poechos, cruces de caminos o de la Carretera Panamericana Norte con posición GPS conocida. Finalmente, se concluyó el tratamiento con la interpolación o la asignación de los ND a posiciones corregidas a través del criterio del vecino más próximo para no distorsionar los valores originales de los ND.

Seguidamente, se extrajeron sub imágenes de las imágenes TM 1990 y ETM +2000 limitando las coordenadas al área de estudio, quedando las imágenes con una visualización y realce limitado al área de estudio, resaltándose la zona núcleo de la Reserva de la biosfera del Noroeste: el Parque Nacional Cerros de Amotape y la Zona Reservada de Tumbes. Para mejorar la interpretación de la imagen, se generaron nuevas bandas (por combinación de las originales) que facilitan la extracción de información temática de la imagen. Se usaron las transformaciones más comunes con buenos resultados, especialmente los índices de vegetación. El índice de vegetación utilizado fue el cociente normalizado: NDVI, que es apropiado para medir la pérdida de forestación como la de los bosques secos tropicales, y es una variante del cociente simple: ρ_{IRC}/ρ_R . Se define como: $NDVI = (\rho_{IRC} - \rho_R)/(\rho_{IRC} + \rho_R)$, donde ρ_{IRC} y ρ_R indican las reflectividades del píxel i en la banda del infrarrojo cercano y del rojo, respectivamente. Las ventajas del NDVI es que realzan la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de las superficies, atenúan otros factores como suelo, atmósfera, iluminación, topografía, sirven como variable de entrada para modelos biogeofísicos (rendimiento de cultivos, estrés hídrico, cobertura verde del suelo), permiten el seguimiento multitemporal de la vegetación: cambios y dinámica fenológica, y permiten la síntesis de la información (Jensen, 2007). Esquemáticamente, el NDVI permite cuantificar la calidad de vegetación de una superficie. Por otra parte, disponer de imágenes con resolución espacial y temporal que permitan un gran potencial para la obtención de parámetros biogeofísicos con el fin de clasificar grandes áreas es esencial y, por lo tanto, identificar los cambios que tienen lugar en el espacio y escalas temporales.

Se realizaron diversas clasificaciones de las imágenes, con el objetivo de asignar los píxeles a distintas clases temáticas en función de sus ND. En nuestro caso, se aplicaron los dos tipos de clasificación existentes: supervisada y no supervisada. Para la segunda, se usó la técnica del agrupamiento (o *clustering*), donde la imagen fue segmentada en clases desconocidas que posteriormente se etiquetaron. El algoritmo empleado fue el de K-medias, realizándose experimentos con 5 y con 8 clases. La clasificación supervisada se basó en una leyenda previamente elaborada con las clases informacionales.

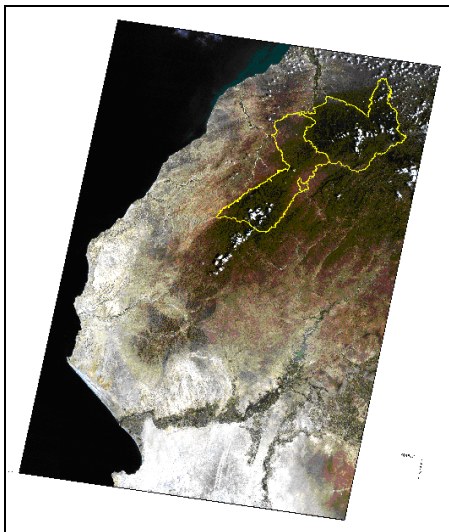
Finalmente, se aplicaron distintos métodos de análisis de cambios. Se seleccionó la técnica de diferencia entre imágenes, que permite detectar los cambios que se denotan

en una imagen generada por diferencia aritmética entre los valores de niveles digitales; en este caso la diferencia es el índice de vegetación NDVI entre las imágenes. Los rangos en los que se encontró cada uno de los píxeles de las imágenes van desde -1 a 1. Se realizaron experimentos categorizando las imágenes de cambios utilizando 4 y 8 clases.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las imágenes Landsat (TM y ETM+) fueron corregidas atmosféricamente y corregistradas (Fig. 3).

a. TM 20-01-1990 – UTM Huso 17



b. ETM + 25-12-2000 – UTM Huso 17

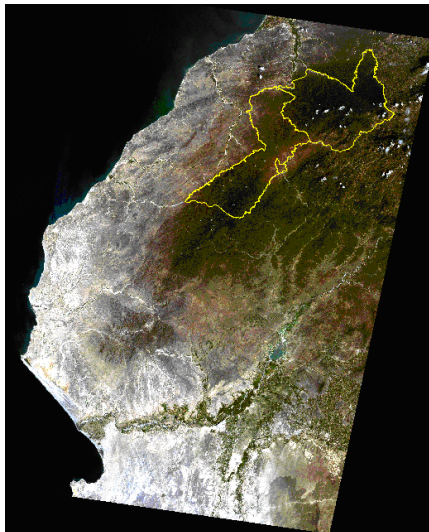


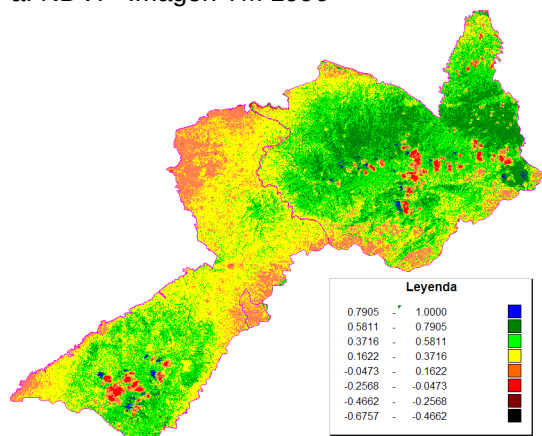
Figura 3. Imágenes satelitales Landsat en color verdadero corregidas radiométricamente.

La aplicación de diversos realces de la imagen permitió mejorar la calidad visual de la imagen, facilitando su análisis visual. La interpretación visual permite indicar que, por un lado, la cobertura vegetal y la composición de los bosques no son uniformes y varían según las condiciones climáticas, hidrológicas y edáficas. El área de estudio presenta dos zonas, la localizada al norte y noreste conformada por la Zona Reservada de Tumbes, donde predomina el bosque tropical (húmedo) y la localizada en el sur oeste conformada por el Parque Nacional Cerros de Amotape donde predomina el bosque semi-húmedo, semi-seco o seco, y la imagen del 2000 presenta visualmente una mayor cobertura boscosa. Esto puede atribuirse parcialmente a que la vegetación del bosque seco tropical en 1990 tenía el antecedente de haber registrado las últimas lluvias torrenciales hacía 77 meses, producto del Fenómeno El Niño de 1982-1983, mientras que el bosque seco tropical en el 2000 registraba hacía apenas 18 meses lluvias intensas producidas por el Fenómeno El Niño de 1997-1998. El Fenómeno El Niño es un fenómeno geogénico atípico en el tiempo, que amplía de forma natural la capacidad regenerativa del bosque.

Las imágenes de los NDVI indican que en 1990 (Fig. 4), el área de vegetación sana y vigorosa, propia del bosque húmedo es muy pequeña, aprox. 0,41%, correspondiente a

valores de NDVI superiores a 0.7905; mientras que para niveles de vegetación media-alta (NDVI entre 0.5811 a 0.7905, y coloración verde oscuro) el área es de 14.02% y para la vegetación media-baja (NDVI entre 0.3716 a 0.5811, coloración verde claro) el área es apreciable en el 32.22% del área de estudio y que configura el bosque tropical semi-húmedo y semi-seco, respectivamente, con predominancia en el noreste del área de estudio.

a. NDVI - Imagen TM 1990



b. Distrib. Frecuencias NDVI ETM + 2000

ND	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Nº Ptos.	Area (Ha.)	%
0			52	4.22	0.0028%
1	-0.6757	-0.4662	362	29.40	0.0193%
2	-0.4662	-0.2568	1,264	102.67	0.0672%
3	-0.2568	-0.0473	21,434	1,740.98	1.1402%
4	-0.0473	0.1622	241,906	19,648.81	12.8684%
5	0.1622	0.3716	737,858	59,932.52	39.2510%
6	0.3716	0.5811	605,627	49,192.05	32.2169%
7	0.5811	0.7905	263,642	21,414.32	14.0247%
8	0.7905	1.0000	7,699	625.35	0.4096%
			1,879,844	152,690.33	100.0000%

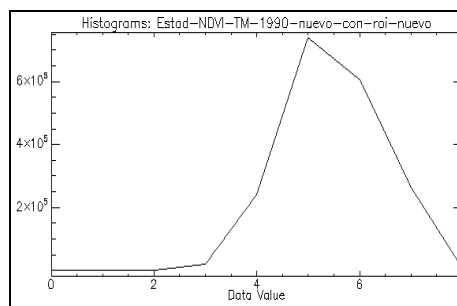
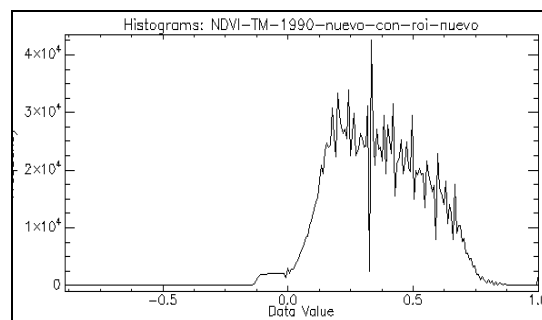
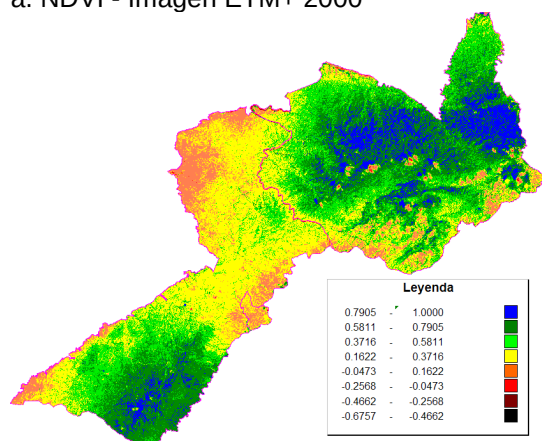


Figura 4. Índice de vegetación NDVI de la imagen de 1990.

El 39.25% del área está conformada por coberturas vegetales propias del bosque seco (NDVI entre 0.1622 a 0.3716), que en el extremo evidencian estrés vegetal por ausencia de humedad o sequía, dichas cubiertas vegetales se localizan principalmente en el centro y sudoeste del área de estudio, esencialmente en el Parque Nacional Cerros de Amotape y cercanas a límites de nuestra área estudiada. El término "stress vegetal" hace referencia al descenso de la actividad clorofílica de las plantas, bien por efecto de la escasa disponibilidad de agua asociada al aumento de la temperatura en épocas estivales, bien por el daño que causan en las plantas enfermedades, plaga, etc., en nuestro caso, se da por la escasa disponibilidad de agua. Por otro lado, 12.87% del área analizada de la vegetación en el 2000 corresponde a cubiertas vegetales que han sobrepasado el umbral crítico o evidencian la presencia de suelo desnudo. Otras zonas o cubiertas, son porciones muy pequeñas y corresponden a las nubes y su sombra (coloración anaranjado) y representan menos del 1.22%.

Respecto a los NDVI de la imagen ETM+ 2000, (Fig. 5), se observó que 9.16% del área presenta una vegetación con un índice de vegetación superior a 0.7905, región propia del bosque húmedo, localizada en la zona central de bosques vírgenes de la Zona Reservada de Tumbes y en menor escala en la zona del sudeste. Ello se explicaría porque el Fenómeno El Niño de 1997-1998, ocurrido 18 meses anteriores a la toma de la imagen en el 2000, posibilitó que la vegetación sea más sana y vigorosa respecto a 1990. La zona en mención se localiza por encima de los 500 msnm y hasta los 1200 msnm., donde se haya por un lado un estrato arbóreo de baja altura que se mezcla con un herbazal efímero y con algunos arbustos. Se presentan árboles caducifolios casi siempre cubiertos por epifitas. En lugares con mejores condiciones de humedad, el bosque aumenta de altura y densidad, apareciendo incluso especies perennifolias (Inrena, 2002). Valores del NDVI entre 0.5811 a 0.7905, corresponden a cubiertas con vegetación medio-alto propias del bosque semi-húmedo (26.90%) y cubiertas vegetales medio densas (NDVI entre 0.3716 a 0.5811), propias del bosque semi-seco (35.34%), se hacen más visibles en el sudeste, que evidencian la mejora o la recuperación del bosque seco tropical y por tanto, asegura la capacidad regenerativa o de conservación de los bosques vírgenes semi-húmedos y semi-secos. La porción de bosque seco con vegetación “enferma” (NDVI entre 0.1622 a 0.3716) representa el 30.80% del área de estudio. Finalmente, el área con NDVI menor a 0.1622 (color naranja) presenta una región con vegetación que es escasa o contiene suelo desnudo (9.63%). Otras cubiertas no son significativas.

a. NDVI - Imagen ETM+ 2000



b. Distrib. Frecuencias NDVI ETM+2000

ND	Lim.Inf.	Lim.Su p.	Nº Ptos.	Area (Ha.)	%
0			24	1.95	0.0013%
1	-0.6757	-0.4662	183	14.86	0.0097%
2	-0.4662	-0.2568	1,104	89.67	0.0587%
3	-0.2568	-0.0473	5,390	437.80	0.2867%
4	-0.0473	0.1622	181,052	14,705.95	9.6312%
5	0.1622	0.3716	578,995	47,028.87	30.8002%
6	0.3716	0.5811	435,129	35,343.35	23.1471%
7	0.5811	0.7905	505,758	41,080.19	26.9043%
8	0.7905	1.0000	172,209	13,987.68	9.1608%
			1,879,844	152,690.33	100.0000%

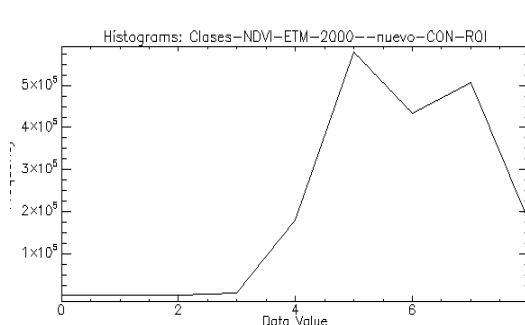
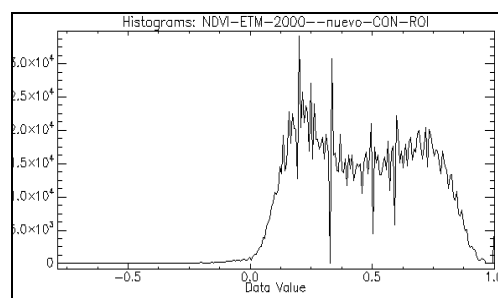


Figura. 5. Índice de vegetación NDVI de la imagen de 2000.

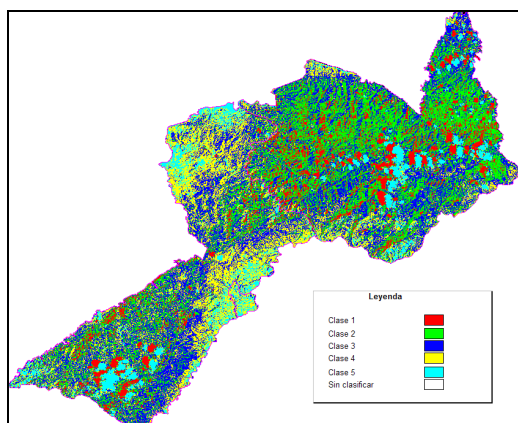
Así, el análisis de los NDVI confirma que en 1990 era limitada la presencia de vegetación sana correspondiente a coberturas de bosques húmedos en la zona de bosques vírgenes, debido principalmente a la sequía de 77 meses que sucedió al Fenómeno El Niño de 1982-83, que trajo como consecuencia que 1990 sea un periodo con condiciones agroclimáticas extremas: variación de la evapotranspiración y la limitada humedad del ecosistema del bosque seco tropical, escasa precipitación en los años anteriores al 90 y menores a la media en años normales (excluyendo los periodos atípicos), reservas del agua en subsuelo muy limitadas; mientras que en el 2000 las condiciones agroclimáticas eran normales, lo que permitió que la cobertura de la vegetación del bosque seco tropical sea más húmeda, densa y sana, aunado a la evapotranspiración del bosque y las reservas de agua del subsuelo que sucedieron al Fenómeno El Niño de 1997-1998, y que permitieron la conservación, recuperación o regeneración natural de los ecosistemas de la Reserva. Pese a ello, el NDVI comprendido entre los valores de -0.0473 a 0.1622 muestra una significativa degradación de bosque producto de vegetación poco densa, suelo desnudo, pequeñas parcelas y zonas agrícolas, en un 10% de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera, precisamente en zonas donde la acción antrópica es intensa, puesto que ante la imprecisión de los límites de la Reserva, las poblaciones y su acción agrícola, pecuaria o forestal propia de la zona de amortiguamiento, van lentamente adentrándose y deforestando el bosque.

Esto se hace palpable en cuatro zonas que bordean la parte central de la Reserva y en orden de importancia (representadas con coloración anaranjada en las Figs. 4 y 5): 1) la zona-corredor que determinan los poblados de El Huásimo, Casitas, San Marcos, Rica Playa, La Capitana, Higuerón, Quebrada del Bruno y Huarapal, por el extremo norte y noroeste; 2) el corredor existente en plena zona núcleo de la Reserva, entre los poblados frontera con Ecuador: Cabo Inga, Teniente Astete y Cabo Córdova, localizado en la periferia del centro - sur de la Reserva, 3) el corredor entre los poblados de Canovitas – Papayal – Quebrada Fernandez, en el extremo sur occidental; y 4) el corredor desde Cabo Inga hasta Quebrada Linda Chacra que configuraba un área que llegaba hasta el límite internacional Perú Ecuador, determinado por la margen derecha del Río Puyango (en Ecuador) o Tumbes (en Perú), en el sur-este de la zona núcleo de la Reserva. Siendo la presencia de la población ubicada en esta zona, y dedicada a la ganadería intensiva pero no tecnificada la que haya logrado un recorte de la zona núcleo de la Reserva, formalizado con el Decreto Supremo N° 046-2006-AG, en el 2006, creándose la Reserva Nacional de Tumbes, como zona de amortiguamiento y donde se destinan 19,266.72 ha de la ex Reserva como área para uso directo de la población aledaña, principalmente para conservación de la diversidad biológica y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales; que ha operado por la presión política, el populismo gubernamental, lo que finalmente configura un retroceso para la conservación de la Reserva.

La clasificación digital de las imágenes resultó un tema particularmente complejo al tratar la definición de coberturas vegetales en regiones con una alta diversidad y condiciones agroclimáticas extremas, como la que presenta la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera del Noroeste. Los resultados de los distintos experimentos de clasificación no supervisada utilizando distintos parámetros y algoritmos (k-medias, isodata) sugieren que no hay una correspondencia biunívoca entre las clases espectrales y las categorías como era de esperarse, de allí que la agrupación no es controlada por el método, al asignar un tipo de cubierta vegetal en varias clases espectrales o cuando dos o más categorías comparten una sola clase espectral.

A modo de ejemplo, en la Fig. 6 se presentan los resultados de la clasificación no supervisada por el método k-medias con 5 medias. La clase 1, con el 10.68% (coloración en rojo) agrupa píxeles que corresponden a la sombra de nubes pero también agrupa otros valores espectrales que pueden corresponder a sombras de la luz solar registradas al momento de la captura de la imagen o por errores del método en la asignación de píxeles a esta clase. La clase 2 (de coloración verde) con un área del 30%, asocia píxeles de dos tipos de bosque (la pequeñísima porción de bosque húmedo y la significativa porción de bosque semi-húmedo), más una porción de bosque semi-seco. La clase 3 (coloración en azul), que es la más representativa con 31.83%, asigna píxeles que pueden corresponder por un lado al bosque semi-húmedo y bosque seco, así como vegetación poco densa y con estrés vegetativo. La clase 4 con 18.92% (coloración de amarillo) ha clasificado valores espectrales del suelo con muy poca vegetación, pequeñas áreas agrícolas y suelo desnudo, esto es, una aproximación del bosque degradado. La clase 5 (cyan) asocia píxeles de las nubes, y por estas características también asocia a suelo desnudo, y corresponde al 8.57% del área de estudio. En la Fig. 8 se muestra la clasificación no supervisada por el método k-medias con 5 medias, aplicado a la imagen ETM+ 2000. Se observa en la clase 1 con 16.01% (rojo) agrupamiento de píxeles que corresponden a la sombra de nubes, otras sombras vegetales, pero también otros píxeles de áreas boscosas oscuras, lo que distorsiona el agrupamiento en esta clase. La clase 2 con 26.18% (verde), asocia píxeles obtenidos del bosque húmedo y a una parte de vegetación del bosque semi-húmedo. La clase 3 (azul), con 24.43%, asigna píxeles que pueden corresponder al bosque semi-húmedo. La clase 4 con 17.03% (coloración amarilla) contiene áreas del bosque seco o vegetación con estrés. La clase 4 (cyan) con 16.35% ha clasificado valores espectrales de vegetación poco densa, suelo con muy poca vegetación, pequeñas áreas agrícolas, suelo desnudo, esto es, bosque degradado en un 18.92%.

a. K-means: 5



b. Tabla de distribución de frecuencias – Método K-means: 5

Nombre de clase	Nº Ptos	Ha.	%	
Clase 1	200,839	16,313	10.684%	
Clase 2	563,853	45,799	29.995%	
Clase 3	598,260	48,594	31.825%	
Clase 4	355,749	28,896	18.924%	
Clase 5	161,143	13,089	8.572%	
Sub total clases	1,879,844	152,690	100.000%	33.921%
Sin clasificar	3,662,044	297,450		66.079%
Total Imagen	5,541,888	450,140		100.000%

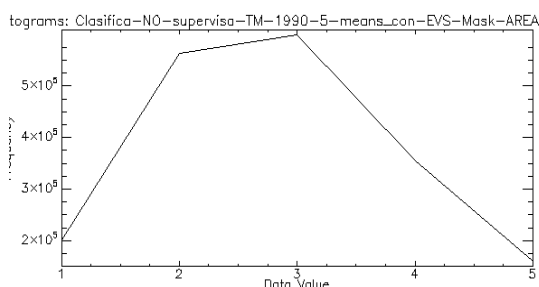
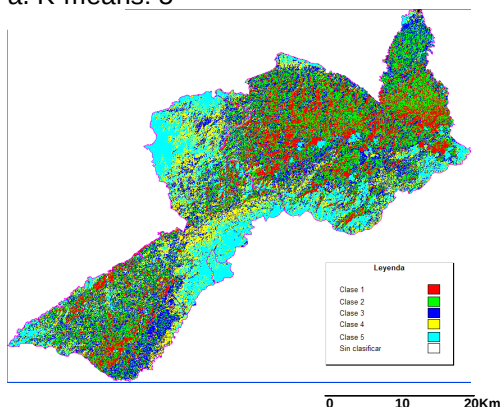


Figura 6. Clasificación de imágenes no supervisada – Imagen TM 1990

a. K-means: 5



b. Tabla de distribución-Método K-means: 5

Nombre de clase	Nº Ptos	Ha.	%
Clase 1	300,928	24,443	16.008%
Clase 2	492,169	39,976	26.181%
Clase 3	459,223	37,300	24.429%
Clase 4	320,100	26,000	17.028%
Clase 5	307,424	24,971	16.354%
Sub total clases	1,879,844	152,690	100.000%
Sin clasificar	3,662,044	297,450	66.079%
Total Imagen	5,541,888	450,140	100.000%

Figura 7. Clasificación de imágenes no supervisada – Imagen ETM + 2000.

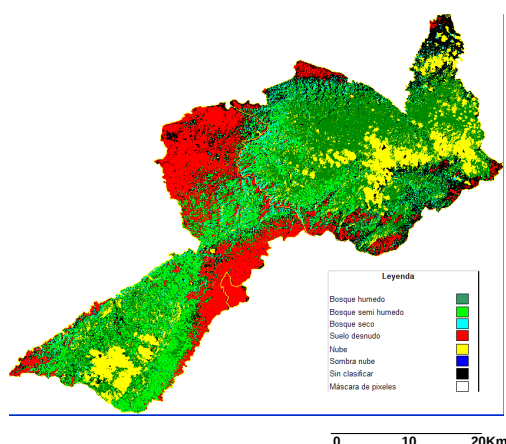
En términos generales, la clasificación no supervisada presenta un tipo de suelo relativamente homogéneo cercano a la zona de amortiguamiento, que se constituye en una amenaza dado que esta extensión es significativa frente a otras clases de suelo. En gran parte de estas zonas se presentan amenazas de extracción de madera, extracción de material de acarreo, extracción de productos del bosque, presencia desordenada de ganado, contaminación e incendios forestales. Las dificultades se agudizan por imprecisiones en los límites, que condiciona una falta de capacidad de control efectivo en el campo y por descoordinaciones interinstitucionales.

La clasificación supervisada, junto con el conocimiento relativo de la zona y la asesoría de técnicos de la Reserva, permitió identificar en las imágenes zonas conocidas correspondientes a seis clases: 1) bosque húmedo, 2) bosque semi-húmedo, 3) bosque seco, 4) suelo desnudo y vegetación agrícola, 5) nubes y 6) sombras; con visitas in situ en algunos casos y con ayuda de peritos forestales y funcionarios de Inrena, responsables de la Reserva, se logró definir una región de interés para cada clase, que se aplicó en ambas imágenes para ser utilizadas con distintos métodos de clasificación supervisada. En las Figs. 8 y 9 se muestran a modo de ejemplo las imágenes clasificadas mediante el algoritmo del paralelepípedo las imágenes de 1990 y 2000, respectivamente. En el primer caso, no se logró clasificar 16.81% del área estudiada, agrupando en la clase bosque húmedo al 25.03% de los píxeles, en la clase bosque semi-húmedo al

20.02% de los píxeles que comprendía este tipo de cubierta. El bosque seco se clasificó tan solo el 5.98% de los píxeles que correspondían al bosque seco; en la clase suelo desnudo se agrupó al 19.05% de los píxeles, en la clase nubes se asignó al 13.10% de los píxeles que correspondían al área de nubosidad y otros puntos espectrales de similares características; no se asignó píxeles a la clase sombra de nube. Utilizando el método de mínima distancia, se logró asignar el 100% de los píxeles a una clase determinada. Agrupando en la clase bosque húmedo al 22.08% de los píxeles, en la clase bosque semi-húmedo se logró agrupar al 35.39% de los píxeles que comprendían cubiertas de vegetación propia del bosque semi-húmedo. El bosque seco se clasificó tal solo el 26.45% de los píxeles que correspondían al bosque seco; la clase Suelo desnudo con 12.05% agrupó a los píxeles de suelos sin vegetación o suelo desnudo; en la clase Nubes se agrupó al 2.47% de los píxeles que correspondían al área de nubosidad, y a la clase sombra de nube, correspondió 1.56% del total de píxeles.

En el caso de la imagen de 2000 (Fig. 9), con el método de paralelepípedo se observó que 34.42% de los píxeles no fueron agrupados a clase alguna. En la clase bosque húmedo se asignó al 25.92% de los píxeles, en la clase bosque semi-húmedo se logró agrupar apenas al 2.62% de los píxeles que comprendían cubiertas de vegetación propia del bosque semi-húmedo. En el bosque seco se clasificó 24.94% de los píxeles que correspondían al bosque seco, pero probablemente al bosque semi-húmedo; la clase Suelo desnudo con 11.47% agrupó a los píxeles de suelos sin vegetación o suelo desnudo; en la clase Nubes se agrupó al 0.35% de los píxeles que correspondían al área de nubosidad, y a la clase sombra de nube, correspondió 0.28% del total de píxeles. Mediante el método de mínima distancia se logró clasificar al 100% del área estudiada. Se asoció en la clase bosque húmedo al 27.00% de los píxeles, en la clase bosque semi-húmedo se agrupó a 10.73% de los píxeles que comprendía este tipo de cubierta. El bosque seco se clasificó al 45.77% de los píxeles que correspondían al bosque seco; en la clase suelo desnudo se agrupó al 14.71% de los píxeles, en la clase Nubes se asignó al 0.32% de los píxeles que correspondían al área de nubosidad; y se asignó 0.28% de los píxeles a la clase sombra de nube.

a. Metodo: Paralelepipedo

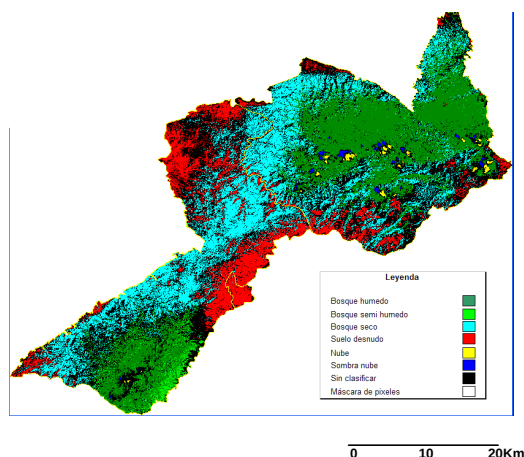


b. Tabla de Distribución Frecuencias – Método Paralelepípedo

Nombre de clase	Nptos	Ha.	%
Sin clasificación	316,049	25,671	16.813%
Bosque húmedo	470,481	38,215	25.028%
Bosque semi húmedo	376,388	30,572	20.022%
Bosque seco	112,460	9,135	5.982%
Suelo desnudo	358,094	29,086	19.049%
Nube	246,372	20,012	13.106%
Sombra nube	-	-	0.000%
Sub total clases	1,879,844	152,690	100.000%
Mascara pilaxes	3,662,044	297,450	
	5,541,888	450,140	

Figura 8. Clasificación de imágenes supervisada – Imagen TM 1990.

a. Metodo: Paralelepipedo



b. Tabla de Distribución Frecuencias – Método Paralelepípedo

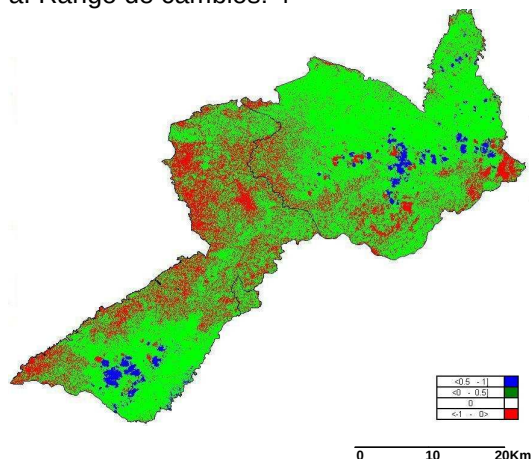
Nombre de clase	Nptos	Ha.	%
Sin clasificación	647,114	52,562	34.424%
Bosque húmedo	487,212	39,574	25.918%
Bosque semi húmedo	49,209	3,997	2.618%
Bosque seco	468,844	38,082	24.941%
Suelo desnudo	215,621	17,514	11.470%
Nube	6,541	531	0.348%
Sombra nube	5,303	431	0.282%
Sub total clases	1,879,844	152,690	100.000%
Mascara pixeles	3,662,044	297,450	
	5,541,888	450,140	

Figura 9. Clasificación de imágenes supervisada – Imagen ETM + 2000.

En relación a la clasificación supervisada, la diferenciación espectral de coberturas se fundamentó en principios estadísticos ampliamente usados en la literatura, sin embargo, en la validación del método los resultados indican que no se converge de forma totalmente satisfactoria a las coberturas de la clasificación supervisada con base en las imágenes que representan el caso estudio.

El análisis de cambios realizado mediante el estudio multitemporal de los índices de vegetación (NVDI) en 1990 y 2000 con 4 rangos (Fig. 10) indica, excluyendo los píxeles con nubes, que los cambios significativos en el uso del suelo o degradación de la vegetación del bosque seco tropical, corresponde a una porción del 69.97% del espectro analizado (coloración verde). Dichos cambios identifican la dinámica que sufre la zona comprendida por el bosque tropical húmedo, bosque semi-húmedo y bosque seco, empero, la aproximación a 4 clases, es genérica, se torna en restrictiva y conlleva a uniformizar en un solo segmento las características de la dinámica de cambios negativos que han operado en el bosque, razón por la que no es posible observar con precisión o detalle las áreas donde se presentan los mayores cambios. Sólo en el 0.63% no ha evidenciado cambios significativos, y mantiene los niveles del uso del suelo de 1990 a los mismos que se dan en el 2000. Por otro lado, se corrobora que el 26.15% del bosque seco tropical se han dado cambios “positivos”, esto es, se ha operado un mejoramiento de la calidad del suelo del bosque, sobre todo en las zonas donde se considera que la intervención humana es cada vez más importante; esta mejora se explicaría porque en 1990 las condiciones agroclimáticas fueron extremadamente inclementes contra el bosque, y ya en el 2000, el bosque al contar con mejores condiciones de clima y humedad, provocó una sensible mejora del suelo con poca vegetación, suelo desnudo, el mismo hecho de recuperación del suelo a vegetación poco densa o a la agricultura. Estos cambios se localizan en zonas cercanas al área de amortiguamiento, y potencialmente muy sensibles a la degradación del bosque por acción antropogénica.

a. Rango de cambios: 4



b. Estadísticas – Rango de cambios 4

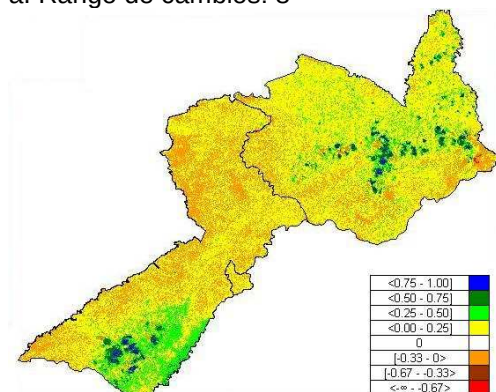
Basic Stats	Min	Max	Media	Desv. Estandar
Band 1	1	4	2.496824	0.915369

Histograma	DN	Nº Ptos	Nº Ptos Acum	Area (ha)	%
Band 1	1	61,050	61,050	4,958.79	3.2476%
	2	1,315,331	1,376,381	106,837.76	69.9702%
	3	11,924	1,388,305	968.53	0.6343%
	4	491,539	1,879,844	39,925.26	26.1479%
		1,879,844		152,690.33	100.0000%
No definido		3,662,044			
		5,541,888			

Figura 10. Análisis de cambios utilizando el índice de vegetación: NDVI – TM 1990 – ETM+ 2000.

El análisis de cambios considerando un rango de 8 clases (Fig. 11) permite identificar zonas más precisas. Así, cambios de cobertura del suelo del orden de valores de 0.75 a 1 en su NDVI, sólo se ha dado en el 0.82%. Cambios o degradación de coberturas vegetales en el orden de 0.50 a 0.75 del NDVI se ha dado sólo en el 2.43%, y que corresponden a la zona de nubes y sombras. Cambios del uso del suelo, del orden de variación de 0.25 a 0.5 en el NDVI son muy importantes de destacar y corresponden al 11.41% del bosque (coloración verde claro), y se dan en algunos puntos o zonas importantes del bosque virgen de la Reserva, aquí estriba la importancia de esta técnica, porque identifica zonas (que equivalen a la décima parte de la zona núcleo de la Reserva) donde se operan cambios en la cobertura vegetal. Esta zona, muestra una deforestación que difícilmente es apreciada de forma directa, porque el acceso a ciertas zonas del bosque, y los lugares de tala se hacen en puntos focales cercanos a quebradas o ríos, o pequeños caminos.

a. Rango de cambios: 8



b. Estadísticas – Rango de cambios 8

Basic Stats	Min	Max	Media	Desv. Estandar
Band 1	1	8	4.348886	1.18507

Histograma	DN	Nº Ptos	Nº Ptos Acum	Area (ha)	%
Band 1	1	15,460	15,460	1,255.74	0.8224%
	2	45,590	61,050	3,703.05	2.4252%
	3	214,515	275,565	17,423.98	11.4113%
	4	1,100,816	1,376,381	89,413.78	58.5589%
	5	11,924	1,388,305	968.53	0.6343%
	6	479,563	1,867,868	38,952.50	25.5108%
	7	11,028	1,878,896	895.75	0.5866%
	8	948	1,879,844	77.00	0.0504%
		1,879,844		152,690.33	100.0000%
No definido		3,662,044			
		5,541,888			

Figura 11. Análisis de cambios utilizando el índice de vegetación: NDVI – TM 1990 – ETM+ 2000.

Por otro lado, los cambios o disminución del índice de vegetación menor a 0.25 se ha dado en el 58.56% del bosque, que corrobora el hecho de identificar una degradación progresiva del bosque, no intensa, pero que de persistir en esta dinámica, degradará inevitablemente el bosque seco. Considerando 4 u 8 rangos en la valoración de los cambios negativos que ha sufrido el bosque seco tropical, medido con la técnica de detección de cambios usando el NDVI, se observa que más de la mitad del bosque (mínimo del 58.56%) viene perdiendo capacidad regenerativa o clorofílica propia de un bosque sano, pese a la presencia del Fenómeno de El Niño que permitió que en el 2000, el bosque mejorará notablemente su cubierta vegetal. Cambios negativos muy significativos valorados como muy importantes, se evidencian en ambos resultados con aproximadamente 11.41% del bosque, y lamentablemente se sitúan en partes que denominamos bosque virgen y donde se localiza el bosque húmedo o semi-húmedo. Finalmente, la cuarta parte del bosque, presenta zonas con uso suelo degradado, suelo desnudo o suelo agrícola, que visualiza en el 2000 una mejora en la vegetación existente respecto de 1990.

El análisis espacio multitemporal muestra que la Zona Reservada de Tumbes se mantiene con mejores condiciones ambiental respecto al Parque Nacional Cerros de Amotape, porque además de sus mejores condiciones agroclimáticas, existe limitaciones para el acceso de la acción humana, con caminos poco accesibles (extremo noreste). Contrariamente, en la parte sur y la parte este de la zona reservada que limita con el Ecuador, se conoce de una serie de accesos hasta el área protegida, lo cual representan un peligro por las facilidades para la tala ilegal, demandada por ciudadanos ecuatorianos. Por ello, a pesar de su cercanía –pocos kilómetros de la ciudad de Tumbes, en plena costa peruana– y su relativamente buena accesibilidad, estos bosques, aún con los cambios ambientales observados, mantienen una considerable porción casi inalterada.

4. CONCLUSIONES

El área de estudio definida, que representa la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera del Noroeste (Perú) y a su vez el centro de la Región de endemismo Tumbesino, se caracteriza por ser una región boscosa frágil, con ecosistemas únicos, e influenciada por la acción geogénica y antropogénica. La primera ocasiona que los principales problemas de pérdida de calidad del suelo son debidos al incremento de la temperatura y la ausencia de lluvias por efecto del cambio climático, pero a su vez, se condiciona periódicamente la mejora de la calidad del bosque por la presencia del Fenómeno El Niño. La acción antropogénica a través de la tala indiscriminada, el incremento de la población en la periferia de la zona núcleo y la ganadería intensiva son factores determinantes en la deforestación de los bosques y por ende en la degradación de los suelos.

El análisis multitemporal de las imágenes de satélite realizado con las técnicas de teledetección ha permitido conocer la extensión superficial e intensidad de los procesos de degradación del bosque seco tropical (zona núcleo de la Reserva de la Biosfera del Noroeste). Dicho cambio del uso del suelo en el periodo de 1990 al 2000 comprende una degradación de las cubiertas del bosque a suelo con poca vegetación, a suelo agrícola o

a suelo desnudo, y representa el 10% del área estudiada (aprox. 15,000 ha). Se localiza en 4 zonas plenamente identificadas, siendo la principal el poblado de Rica Playa, cercano al área de amortiguamiento, donde se está incrementando la presencia de poblaciones pobres y poco sensibilizadas con la conservación de la biodiversidad, y que se incrementará con la puesta en marcha de la carretera de penetración hasta Rica Playa.

En el área estudiada los satélites Landsat resultan especialmente útiles para hacer un seguimiento de las pérdidas de vegetación, actividad pecuaria, tala ilegal y control de áreas en riesgo o inundables. Sin embargo, los resultados presentados son limitados y en el futuro se pretende incluir en los análisis fechas variadas a lo largo de distintos años y en diferentes estaciones, por ejemplo, midiendo en un periodo determinado antes y después de la presencia de un Fenómeno El Niño, así como fenómeno contrario: la Niña.

5. REFERENCIAS

ATTO A y REQUEJO S. 1996. Capacidad de Carga de los Pastizales de la Zona Reservada de Tumbes, Lima, Perú.

CDC-UNALM 1994, Zonas Prioritarias para la Conservación de la Diversidad Biológica del Perú. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria. 211 p.

CHUVIECO E. 1996. Fundamentos de la teledetección espacial. 3° Ed. Revisada. RIALP S., Madrid, 570 pp.

CRACRAFT S. 1985. Las ecorregiones en América Latina y el Caribe. Informe Especial del Banco Mundial y el Fondo Mundial para la Naturaleza. México.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES. 1995. Mapa ecológico del Perú. En: Guía explicativa, Instituto Nacional de Recursos Naturales. Lima, Perú.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES 2001. Estrategia de Conservación de desarrollo sostenible de la Reserva de Biosfera del Noreste 2001-2010. Tumbes; Perú.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES 2002. Compendio de Legislación de Áreas Naturales Protegidas. INRENA y Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. Perú.

JENSEN, J. R., 2007. Remote sensing of the environment. Prentice Hall, New Jersey, USA (608 pp.).

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., 1999. Remote sensing and image interpretation, 4th ed. John Wiley & Sons, New York, USA (736 pp.).

PRO NATURALEZA 1998. Propuesta de Plan Maestro de la Reserva Nacional de Tumbes. Tumbes; Perú.

SANTIAGO C, DANIELE C Y RODRIGUEZ L 2001. Las Reservas de Biosfera y el rol de la investigación científica.