

EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES DE SATELITE EN PIURA - PERÚ

ASSESSING LAND COVER & LAND USE CHANGES WITH SATELITE IMAGERY IN PIURA – PERU

Percy Zorogastúa Cruz^{1,2}, Roberto Quiroz Guerra³ y Jaime Garatuza Payán⁴

Resumen

Se realizó el estudio del bosque seco localizado en la región Piura, Perú con el objetivo de evaluar el cambio de la cobertura y el uso de la tierra. Se utilizó el procesamiento digital de imágenes del satélite LANDSAT 5 registradas entre 1999 y el 2001, a través de una clasificación supervisada, usando el algoritmo de máxima verosimilitud. Los resultados se compararon con el mapa de bosques secos elaborado por INRENA con interpretación visual de imágenes LANDSAT 5 registradas entre 1986 y 1994. Las imágenes de 1999 y 2001 fueron clasificadas con un acierto del 89 % y al compararlas con la clasificación de INRENA, permitieron evaluar la dinámica espacio temporal de los bosques secos, cuantificando los retrocesos y mejoras de los mismos. El 38% del área del bosque seco permaneció sin variación, mientras que 13% mejoró su condición y el otro 23% tiende a la reducción de su cobertura. El procesamiento digital de imágenes de satélite permite agilizar el proceso y ser más precisos que la interpretación visual utilizada en el estudio de línea de base del INRENA.

Palabras clave: bosque seco, cambios en la cobertura y uso de la tierra, proceso digital de imágenes

Abstract

A study was conducted in the dry forests of the Piura Region, Peru, in order to assess changes in land cover and land use. Digital image processing of LANDSAT 5 satellite images registered from 1999 to 2001 was used, through a supervised classification using a maximum likelihood algorithm. Results from the process were compared with a land cover & land use map made by INRENA with visual interpretation of LANDSAT 5 images registered from 1986 to 1994. Imagery from 1999 and 2001 were classified with 89 % of success when compared with INRENA's classification. This comparison allowed the assessment of spatial and temporal dynamics of dry forests and to quantify deterioration and/or improvements. 38% of the dry forest remained unvaried, 13 % improved their condition, and 23% tended to reduce their coverage. Digital image processing can speed up the process and is more accurate than the visual interpretation used in INRENA's baseline study.

Key words: dry forest, land cover and land use changes, digital image processing

Introducción.

La Región Piura, en el Perú, alberga en su territorio una formación vegetal característica de zonas áridas, conocida con el nombre de bosque seco. La biomasa de esta formación vegetal es aprovechada por la población de Piura para alimentar al ganado caprino y obtienen productos como madera, combustible, forraje, algarroba y sombra, utilizándose la mayor parte de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas. Además, contribuye con la belleza del paisaje. La zona en la que se desarrolla, hace del bosque seco, con las especies que lo conforman, un ecosistema único.

Los bosques ecuatoriales estacionalmente secos del Pacífico (Linares-Palomino *et al.*, 2010) o bosques

tropicales estacionalmente secos (Pennington *et al.*, 2000; Linares-Palomino, 2004) cubren la franja costera de 100 a 150 km de ancho y abarcan parte de los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad, en altitudes menores a 1000 msnm. Los suelos en que se desarrollan tienen pH y nutrientes de moderados a altos y niveles bajos de aluminio. Es un ecosistema que recibe lluvia de diciembre a marzo, con una temporada seca de cinco a seis meses en los cuales la precipitación totaliza 100 mm y está expuesto a una temperatura media anual de 23 °C. La vegetación es principalmente xerófila, con hojas pequeñas, con escamas o espinosas. Entre las especies que se encuentran están el palo verde (*Parkinsonia aculeata*), el palo santo (*Bursera graveolens*);

CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES DE SATELITE EN PIURA-PERÚ

Enero - Agosto 2011

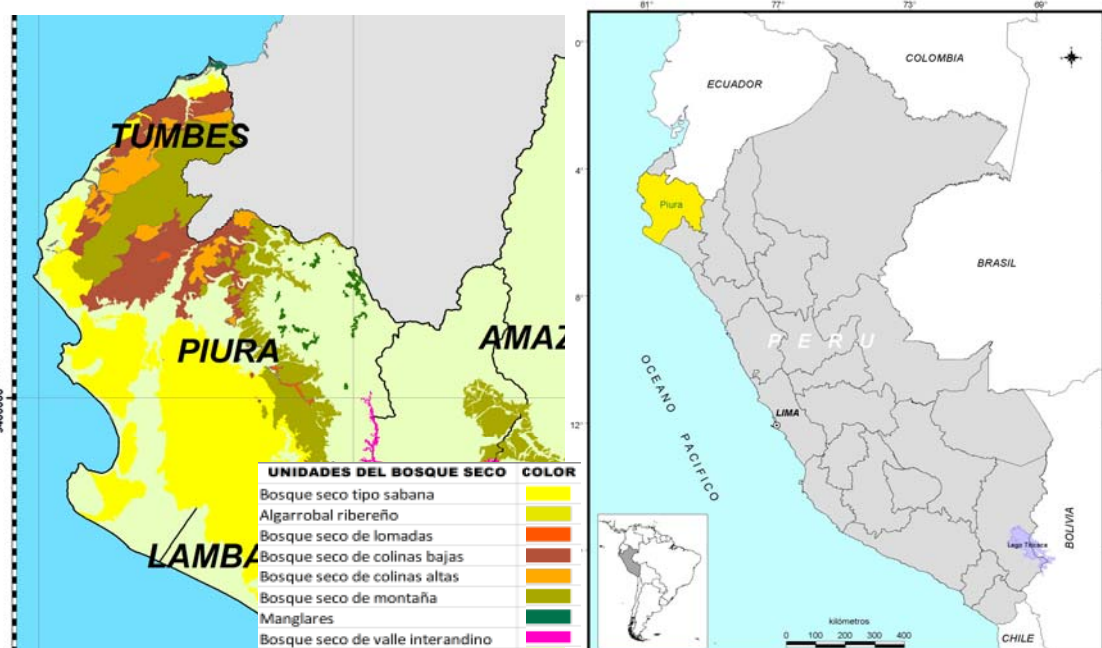


Figura 1. Mapa de ubicación de los bosques secos en la Región Piura.

cactáceas como el cardo (*Armatocereus* spp.) y el gigantón (*Neoraimondia* sp.); bosques de algarrobo (*Prosopis* sp.), ceibo (*Ceiba trichistandra*), zapote (*Capparis angulata*), el charán (*Caesalpinia paipai*), el porotillo o huayruro (*Capparis eucalyptifolia*) y plantas epífitas como la salvajina (*Tillandsia usneoides*), las achupallas (*Pitcairnia furfuracea*) y las orquídeas (*Cattleya* sp., *Oncidium* sp.) (Ferreira, 1983; Pennington *et al.*, 2000; Linares-Palomino, 2004). Las asociaciones de vegetación representativas de este ecosistema se describen con mayor detalle más adelante.

A través de la historia, el bosque seco ha pasado por procesos de retracción y avance debido a períodos favorables o desfavorables de clima y a la presión de actividades económicas como la agricultura y ganadería, la minería, la industria y la actividad forestal (Hocquenghem, 1999). Desde los años 70's se ha observado una explotación intensa del bosque a través del pastoreo nómada del ganado caprino, así como la extracción de árboles para leña y elaboración de parquet y carbón, lo que ha aumentado la intensidad de la conversión, destrucción y degradación de este ecosistema, debido a la expansión de la población y a la inmigración (Linares Palomino *et al.* 2010). La determinación, en forma fiable, precisa y dinámica del estado de este ecosistema, los cambios que han venido sufriendo tanto positiva como negativamente y la tendencia- a fin de elaborar una estrategia para el manejo sustentable de los recursos que lo componen- requiere de nuevas metodologías de seguimiento, que sean de costos efectivos, rápidos y eficientes. Sin embargo, esta dinámica es compleja y

los métodos convencionales, como los que utilizan la interpretación analógica y delimitación de las asociaciones forestales en las fotografías aéreas para estudios de inventarios, son costosos en términos monetarios y tiempo para elaborarlos (Castilla *et al.*, 2008). Esto limita la periodicidad y el alcance espacial para cuantificar el impacto de los cambios sobre las comunidades vegetales y los pobladores de la región Piura y sus posibilidades de desarrollo.

La Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (CSD) en su programa de trabajo indicó la necesidad de contar con indicadores de sostenibilidad relacionados con cada uno de los temas discutidos en la Agenda 21 (UNCED, 1993). Estos indicadores son sobre cambio en el uso de la tierra y cambio de las condiciones de la tierra (FAO, 2001)

Para evaluar la cobertura y el uso de la tierra en el bosque seco se han utilizado métodos como los inventarios forestales, basados en el uso e interpretación analógica de fotografías aéreas e imágenes de satélite para elaborar un mapa base, sobre ellos se trazan las unidades a muestrear y en el campo se realizan transectos, en donde se detallan de las asociaciones y/o formaciones vegetales cuyas respectivas descripciones se basan en criterios florísticos, fisonómicos, fisiográficos, densidad de la población y composición de la vegetación (Malleux 1975, 1982; Mateucci & Colma, 1982; INRENA 1996, 1998; Figallo, 1997; Pennington *et al.*, 2000; Linares-Palomino, 2004; Pennington *et al.*, 2006)

Una de las formas de evaluar los cambios en la cobertura y el uso de la tierra, es a través del uso de

las escenas registradas por los satélites que están orbitando la tierra (Brown *et al.*, 2000; Nagendra *et al.*, 2004). Esta alternativa se ha utilizado para analizar otras coberturas y asociaciones vegetales (Walker, 2004; Mas *et al.*, 2004; Britos & Barchuk, 2008). Sin embargo, para su aplicación al ecosistema de bosque seco requiere de afinamiento específico. Hay que responder a interrogantes como qué productos son los más adecuados y cuáles son las resoluciones espacial, espectral y temporal. El objetivo de la investigación fue resolver las interrogantes asociadas al uso de procesamiento digital de imágenes de satélite para determinar el cambio de uso de la tierra entre los años 1990 y 2000 en el Nor-Oeste del Perú (Piura). Para ello se utilizó imágenes de diferentes momentos, registradas a través de la percepción remota.

Zona de estudio

El estudio se circunscribe a la Región Piura, la cual está incluida en la zona árida de la costa norte del Perú, e incluye el ecosistema de bosque seco, el cual se extiende sobre las cuencas de los ríos Tumbes, Chira y Piura en el Pacífico y la del río Huancabamba en la cuenca Amazónica (Figura 1).

El ecosistema de bosque seco

Este ecosistema ha sido estudiado desde varios enfoques. Los trabajos realizados por Ferreyra (1979, 1987), INRENA (1996, 1998), Figallo (1997), Linares-Palomino (2004) y Pennington *et al.* (2006) presentan un conjunto de asociaciones y/o formaciones vegetales cuyas respectivas descripciones se basan en criterios florístico, fisonómicos, fisiográficos, densidad de la población y composición de la vegetación. La descripción de estas asociaciones se resume a continuación:

- Bosque seco semidenso de montañas (Bss m).- En este tipo de bosque se encontró 29 especies arbóreas con una Densidad a la Altura del Pecho (DAP > 5 cm) con una población promedio de 167,13 árboles/ha. Las principales especies son *Eriotheca ruizii* (18,3%), *Bursera graveolens*, *Erythrina smithiana*, *Caesalpinia paipai*, *Terminalia valverde*, y *Piscidia carthagenensis* con 12,1 árboles/ha; *Tillandsia usneoides* y *Tillandsia* spp. sobre las ramas de los árboles (INRENA, 1998). En el estrato inferior se encuentran arbustos con 184 individuos/ha. Siendo los más importantes *Cordia lutea*, *Grabowskia boerhaviifolia* y la *Bougainvillea pachyphilla* (INRENA, 1998).
- Bosque seco ralo a muy ralo de montañas (Bs r-m).- En esta asociación INRENA (1998) señala que predominan las especies arbóreas de porte bajo (< 8 m.) así se tienen, *Eriotheca ruizii*, *Loxopterygium huasango*, *Capparis angulata*, *Cercidium praecox*, *Acacia macracantha* y entre las arbustivas *Cordia lutea* *Bougainvillea pachyphilla*. Se observaron algunas cactáceas columnares como *Neoraimondia gigantea*,

Armatocereus cartwrightianus, *Haageocereus versicolor* y *Browningia microsperma*.

- Bosque seco semidenso de colinas (Bss c).- Con 12 especies con 171 árboles/ha. Las especies más abundantes fueron *Tabebuia crysantha*, *Tecoma* sp. y de menor importancia, *Eriotheca ruizii*. La población de arbustos incluía 6 especies y una suculenta dominando *Ipomoea carnea* y *Cordia lutea*.
- Bosque seco ralo de colinas (Bsr c).- Presenta 6 especies arbóreas y abunda el *Loxopterygium huasango*, *Prosopis* sp., en menor cantidad *Capparis angula*, *Bursera graveolens* y *Capparis eucalyptifolia*. Entre las arbustivas se tuvo *Cordia lutea* y *Capparis ovalifolia*. Otras especies incluidas son *Caesalpinia paipai*, *Bursera graveolens*, *Acacia macracantha*, *Lantana* sp., *Coccoloba ruiziana*, *Capparis avicenniifolia*, *Ipomoea carnea*, *Bougainvillea pachyphylla*, *Prosopis pallida*, *Capparis mollis*, *Melocactus peruvianus*, *Cercidium praecox*, *Psittacanthus* sp. y *Eriotheca ruizii* (INRENA, 1998).
- Bosque seco ralo de lomadas (Bsr l).- De acuerdo a INRENA (1998) existen 8 especies arbóreas, las más importantes fueron *Prosopis pallida*, *Loxopterygium huasango*, *Caesalpinia paipai*. En esta asociación se tienen 6 especies arbustivas y una suculenta, entre ellas *Cordia lutea* e *Ipomoea carnea*.
- Bosque seco muy ralo de lomadas y colinas (Bsmr lc).- En este grupo predominan *Prosopis pallida* y *Caesalpinia paipai* en menor proporción *Loxopterygium huasango*. En las arbustivas predominan *Cordia lutea*, *Ipomoea carnea* (INRENA, 1998). Otras especies presentes *Encelia canescens*, bichayo *Capparis avicenniifolia*, *Psittacanthus* sp., *Capparis crotonoides* y *Lantana* sp.
- Bosque seco muy ralo de superficies disectadas (Bsmr sd).- Según INRENA (1998) es un bosque seco achaparrado, predominando los siempre verdes, con 8 especies arbóreas, abunda *Capparis scabrida*, *Acacia huarango*, *Loxopterygium huasango*, *Bursera graveolens*, *Cercidium praecox* y *Caesalpinia paipai*. En arbustos se tiene *Cordia lutea*, *Capparis avicenniifolia*, *Lantana* sp. y una cactácea. El estrato herbáceo es temporal y depende de las lluvias de verano.
- Bosque seco ralo de llanura aluvial (Bsr lla).- INRENA (1998) menciona que predominan las especies espinosas, siempre verdes de porte bajo, con tres especies arbóreas: *Prosopis pallida*, *Capparis scabrida*, *Loxopterygium huasango*. Abunda *Cordia lutea*, *Encelia canescens* y *Capparis avicenniifolia*.
- Bosque seco ralo de llanura eólica (Bsr lle).- Presenta especies espinosas de porte bajo con un

CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES DE SATELITE EN PIURA-PERÚ

Enero - Agosto 2011

estrato arbustivo y herbáceas efímeras. Tiene 4 especies arbóreas: *Prosopis pallida*, *Capparis scabrida*. El charamusco *Encelia canescens* domina en las arbustivas le sigue *Cordia lutea* y dos especies más (INRENA, 1998). También se presentan especies como *Acacia macracantha*, overo *Cordia lutea* y *Alternanthera* spp.

- Bosque seco muy ralo de llanura eólica (Bsmr lle).- INRENA (1998) señala que este grupo presenta una vegetación de porte achaparrado, siempreverdes, espinosas. Tiene tres especies, siendo *Acacia huarango* la más abundante; *Capparis scabrida* y *P. pallida*. Otras especies reportadas son *Acacia macracantha*, *Capparis avicennifolia*, *Encelia canescens*, *Cercidium praecox*, *Scutia spicata* y *Pisonia* sp.
- Algarrobal ribereño (A r).- El género *Prosopis* es dominante con un mayor vigor y porte (12 m)
- Manglar (Mg).- El mangle negro *Avicennia germinans*, forma rodales densos con alturas hasta de 8 m.
- Matorral (Ma).- Lo componen *Capparis avicennifolia*, *Capparis scabrida*, *Prosopis pallida* y *Neoraimondia* sp.
- Área de cultivos (C).- En este grupo se tienen cultivos en limpio y permanentes, como el algodón, maíz, plátano, arroz, limón, naranja y mango entre otros.
- Suelo desnudo (S d).- Comprende aquellas áreas sin vegetación la mayor parte del año, con la presencia de algunas herbáceas esporádicas, efímeras.

Un aspecto crucial del cambio de la cobertura y uso de la tierra en este ecosistema es la deforestación; de cobertura forestal pasó a ser no forestal (urbano, agrícola, etc.). Además se ha registrado una degradación forestal, que es la reducción de la capacidad del bosque de producir bienes y servicios (Martín, 2008).

Materiales y métodos.

La metodología empleada se basó en la capacidad de los satélites de recursos terrestres para dar seguimiento a los cambios de la vegetación, productividad primaria y otros atributos de la vegetación como lo describen varios autores (Tucker, 1979; Mas, 1999; Tucker & Sellers, 1986).

La primera parte del trabajo consistió en el acondicionamiento del Mapa de la cobertura y el uso de la tierra del INRENA (1998) el cual fue elaborado por INRENA a partir de la interpretación visual de escenas del mapa planimétrico del Perú a escala 1:250000 (elaborado en base a escenas LANDSAT 1, 2 y 3 entre 1972 y 1982 y publicado en 1984) correspondientes a las hojas SB 17-2, SB 17-3, SB 17-4, SB 17-7, SB 17-8, y SB 17-11. Tal trabajo fue complementado con el proceso digital-analógico (interpretación en el monitor de la computadora) de la combinación de las bandas 2,3 y 4, y 3, 4 y 5 de las imágenes del mapeador temático del satélite LANDSAT 5, de 30 metros de resolución espacial, correspondientes a las escenas de órbitas (vía – línea) 11-63 del 21-04-94, 11-64 del 31-05-91, 10-64 del 24-05-91 y 10-63 del 02-11-86. Posteriormente el mapa en papel (INRENA, 1998) fue digitalizado con el programa ArcGIS.

La segunda parte, consistió en el procesamiento digital de las bandas 1,2,3,4,5 y 7 con una resolución de 30 m, de imágenes registradas por el satélite LANDSAT 5 entre 1999 y el 2001 (11-63 del 31/05/2000, 10-63 del 29/10/1999, 11-64 del 11/02/2001 y 10-64 del 29/01/1999). Los efectos atmosféricos fueron corregidos utilizando la técnica de la substracción de los objetos oscuros, en la cual se utilizaron los valores de los píxeles de los cuerpos de agua (reservorios y lagunas), y transformados a valores de reflectancia, de acuerdo al modelo propuesto por Chávez (1988, 1996) y a lo recomendado por Coppin *et al.* (2004) ya que los algoritmos más complicados no necesariamente conducen a una mayor precisión.

Las escenas fueron georeferenciadas utilizando entre 15 y 20 puntos de control por escena, usando como base cartográfica la Carta Fotogramétrica Nacional a la escala 1:100 000 y fueron procesadas digitalmente utilizando el programa Environment for Visualization (ENVI) y graficadas con el ArcGIS, la raíz cuadrada del error promedio para las escenas fue de 1 pixel.

Posteriormente, se imprimió un mapa base realizado con las bandas 7,4 y 2 en el cual se graficaron las asociaciones del bosque seco anteriormente definidas por INRENA (1998) y actualizadas en las imágenes.

El muestreo para obtener la información de campo se realizó entre marzo y agosto de los años 2003 y 2004, cada muestra se localizó con ayuda de un GPS, y sumaron un total de 50 transectos perpendiculares a las vías de acceso (caminos, carretera o trochas), de 200 m de largo x 10 m de ancho, considerando las asociaciones presentes en las imágenes registradas entre 1999 y el 2001. En ellos se identificaron y contó el número especies y los diámetros de los tallos y se elicó en cada sitio a dos personas de edad que viven en áreas cercanas a los sitios de muestreo si la vegetación había permanecido sin cambios entre 1993 y el año 2001.

Con las bandas (1, 2, 3, 4, 5 y 7) del satélite LANDSAT 5 se utilizó el método de clasificación supervisada en las que inicialmente se localizaron las muestras georeferenciadas obtenidas en campo y se graficó el área de entrenamiento con muestras con características espectrales homogéneas de 4 a más píxeles; posteriormente fueron agrupadas usando el clasificador de máxima verosimilitud (Richards & Jie, 2006) incluido en el ENVI.

Por otro lado, se utilizaron las bandas roja e infrarroja cercana de las escenas LANDSAT mencionadas, para calcular el Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI), el cual fue utilizado para comparar el estado de la asociación vegetal (Tucker, 1979)

La variación entre dos épocas se realizó utilizando una matriz de doble entrada (tabulación cruzada) para comparar y evaluar las variaciones de la cobertura boscosa a tierras agrícolas o sucesiones secundarias y su desplazamiento o principales tendencias a lo largo del territorio.

Resultados y discusión.

Distribución y cambios espaciales en la vegetación

La línea base utilizada fue desarrollada por el INRENA (1998), a través de la interpretación visual de una combinación del Mapa Planimétrico del Perú y escenas de LANDSAT registradas desde 1986 hasta 1994. Esta generalización de las asociaciones de áreas cubiertas por el bosque seco cubrió una zona de 3.6 millones de hectáreas. Las principales asociaciones vegetales reportadas fueron bosque seco ralo, bosque seco muy ralo y bosque seco semi-denso. Estas asociaciones constituyeron algo más del 50 % del área estudiada. Las áreas bajo cultivos fueron cerca de 8 % (Figura 2 y Tabla 1).

Tabla 1. Superficie cubierta por el bosque seco en los períodos 1986-1994 y 1999-2001 y los cambios estimados

Categoría	INRENA (86-94)		Clasificación (99-01)		CAMBIO	
	Ha	%	ha	%	ha	%
Area de cultivos	277213	7.62	141321	3.88	(135,892)	-3.73
Bosque seco ralo a muy ralo	818698	22.49	1268030	34.83	449332	12.34
Bosque seco ralo	784640	21.55	529082	14.53	(255,558)	-7.02
Bosque seco semidenso	471210	12.94	436566	11.99	(34,644)	-0.95
Algarrobal	6911	0.19	26404	0.73	19,493	0.54
Matorral	84112	2.31	60880	1.67	(23,232)	-0.64
Sin vegetación	438519	12.05	406552	11.17	(31,967)	-0.88
Otros	759046	20.85	771513	21.19	12467	0.34
TOTAL	3640348	100	3640348	100		0.00

Evidentemente, un procesamiento digital de las escenas registradas por el satélite LANDSAT 5, permite obtener información a mayor detalle de la zona de estudio (Figura 3 y Tabla 1) y sus asociaciones vegetales, así como también estimar el error promedio en la discriminación de las clases que fue del 11 % y el acierto fue 89 %.

Al comparar la interpretación con la clasificación digital supervisada de las escenas entre 1999 y el 2001, se produjo una gran cantidad de clases, las mismas que fueron reducidas a ocho categorías, agrupando las clases de acuerdo a la densidad de plantas en las asociaciones del bosque seco, considerando la proximidad espectral que presentaban por esta característica (Tabla 1), lo cual permite un adecuado análisis.

De acuerdo a estos resultados, la asociación bosque seco ralo a muy ralo fue la que presentó mayor variación en área. Es interesante notar que esta asociación fue la única que aumentó substancialmente; obviamente a expensas de otras asociaciones (Figura 4 y Tabla 1). La capacidad de resolver diferencias entre asociaciones vegetales, de una manera más fina, puede haber sesgado la estimación de áreas. Por lo tanto es importante resaltar que una proporción de los cambios registrados se deban a la diferencia en la metodología de clasificación. Debido a que las características espectrales de los bosques secos muy ralos de llanuras, lomadas y de montañas eran muy similares, por la densidad y composición de especies, estas categorías se consolidaron en una sola, bosque seco ralo a muy ralo, para el análisis comparativo.

Los cambios con respecto a la línea base fueron variados (Figura 4) y la hipótesis usada es que los cambios substanciales fueron reales y no solamente debido a la mayor resolución espacial de clasificación provista por la interpretación digital de la imagen. La

CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES DE SATELITE EN PIURA-PERÚ

Enero - Agosto 2011

Tabla 2. Matriz de cambio en la cobertura y uso de la tierra en el bosque seco de Piura.

INRENA (1998)	Clasificación (99-01)							
	Sv	Ma	bsmr	bsr	bss	Ar	Otros	Total
Sin vegetación (Sv)	56.22	1.84	25.54	0.33	0.00	0.17	15.91	11.86
Matorral (Ma)	9.10	57.08	31.99	0.80	0.00	0.11	0.92	2.33
Bosque seco ralo a muy ralo (Bsmr)	16.28	0.33	72.94	51.85	3.72	0.39	16.77	21.99
Bosque seco ralo (Bsr)	6.32	0.41	63.25	24.56	3.88	0.12	1.45	21.81
Bosque seco semidenso (Bss)	0.13	0.00	6.70	26.44	62.34	0.13	4.27	13.15
Algarrobal (Ar)	21.00	0.00	47.60	16.43	0.03	8.63	6.30	0.20
Otras formaciones	2.79	0.11	9.85	9.29	10.88	2.09	65.00	28.66
Total	11.54	1.73	35.98	15.01	12.39	0.75	22.60	100.00

diagonal principal del Tabla 2, muestra la proporción de cada asociación que no varió en el período de tiempo estudiado. Los valores a la derecha de la diagonal principal indican la proporción de mejoras de cada asociación. Lo que se encuentra a la izquierda de la diagonal, por el contrario, indica el retroceso. Por ejemplo aproximadamente un 56 % del total de áreas que han cambiado, han retrocedido a asociaciones de menor valor económico y ecológico. Respecto a la extensión total, 16 % ha sufrido disminución y casi el 13 % ha aumentado. En realidad esto último sólo significa una mejora en los algarrobales, sin embargo,

casi un 36 % de la asociación de bosque seco ralo se convirtió a bosque seco ralo a muy ralo. Por otro lado, algo más de un 40 % de las zonas sin vegetación y de los matorrales evolucionaron positivamente, principalmente a bosque seco muy ralo.

Durante el período evaluado se encontró que el 38 % del área del bosque seco permanece sin variación, mientras que el 13 % ha mejorado su condición y el otro 23 % tiende a la reducción de su cobertura vegetal (Tabla 3 y Figura 4). Estos cambios en poco tiempo se deben, en primer lugar a razones antropogénicas por un lado y a eventos climáticos

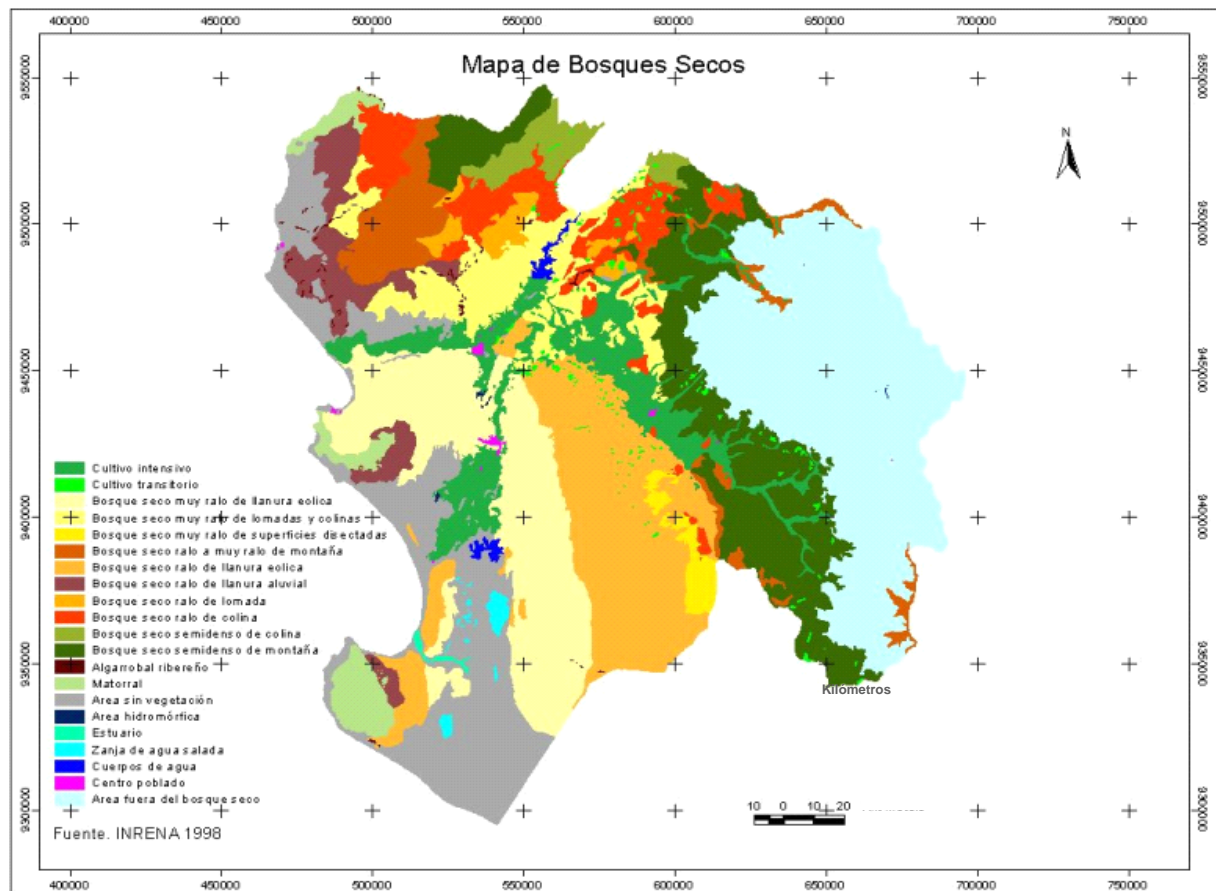


Figura 2. Mapa de bosques secos de Piura (1986 – 1994).

extremos por el otro. La labor de los extractores de leña se localiza en lugares no cercanos a zonas transitadas, sin embargo, el desplazamiento de los camiones por las principales vías no es tan discreto, siendo evidente la tala ilegal indiscriminada. Los usos son varios, incluyendo madera para fabricación de parquet y la elaboración de carbón, además de la leña. Además, la factibilidad de controlar el transporte de madera extraída ilegalmente, podría constituirse en una medida de frenado del deterioro que se viene causando a este ecosistema. La segunda actividad humana, que tiene un efecto negativo directo sobre los bosques secos es el uso indiscriminado por el ganado caprino, de pastores trashumantes, que ramonean el bosque seco a través del año.

En ecosistemas naturales como el Bosque seco, las variaciones climáticas, especialmente con la precipitación, tiene un efecto muy marcado en la regeneración y fisonomía del bosque seco. En los años que ocurrió el Niño (1997-1998) hubo una respuesta positiva de la vegetación ante la enorme cantidad de agua que precipitó. El promedio multianual de las lluvias para marzo, el mes más lluvioso en la cuenca, registra un total mensual de 20 a 350 mm. El valor

mayor se registra en la zona alta, en los alrededores de las localidades de Santo Domingo, Quinchayo, Pampa

Tabla 3. Cambio en la cobertura y uso de la tierra en el bosque seco de Piura.

Cambios en el bosque seco	Ha.	%
Sin variación	1388967	38.2
Mejora en el bosque seco	454028	12.5
Retroceso en el bosque seco	839597	23.1
Centros poblados	8932	0.2
Cuerpos de agua	31950	0.9
Manglar	71	0.0
Estuario	2036	0.1
Sales	65054	1.8
Areas hidromórficas	930	0.0
Otras formaciones vegetales	679165	18.7
Nubes	53070	1.5
Otros	116548	3.2
Total	3640348	100.0

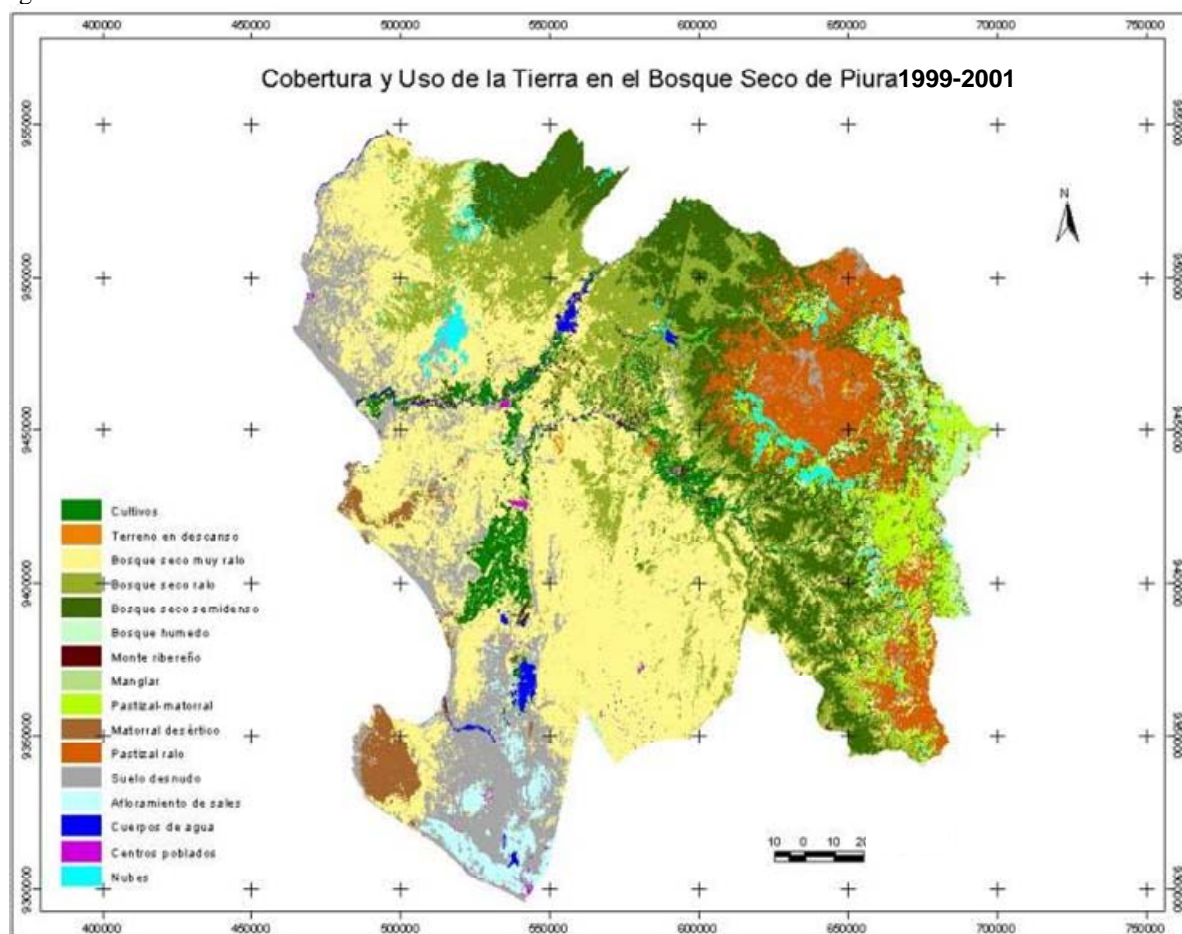


Figura 3. Cobertura y uso de la tierra en Piura 1999 – 2001

CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES DE SATELITE EN PIURA-PERÚ

Enero - Agosto 2011

Ramada, entre otras. En marzo de los años 1983 y 1998 (años de FEN muy intensos), la cantidad de lluvias en la cuenca media del río Piura registró 280 y 1100 mm y 200 y 1000 mm respectivamente. Los valores mayores se registraron en los alrededores de las localidades de Chulucanas, Palo Parado, Sancor, Río Seco, Solsol, entre otras (AACHCP/CONAM 2005). Esto fue evidente con los cambios en la productividad primaria, determinada por los índices de vegetación. La cantidad de biomasa fue grande y la respuesta en las asociaciones fue muy diferenciada. Sin embargo, en los pastizales casi no hubo mayor variación, excepto en las asociaciones menos densas, en donde la vegetación efímera emergió vigorosa, y en los suelos los cuales la mayor parte de tiempo están desnudos. Una de las razones por las cuales es difícil evidenciar cambios substanciales en los pastizales, sino se hace un análisis dinámico, es por la alta carga animal que aprovecha el repunte en la vegetación.

área. No obstante, se estima que la disminución ha sido mayor y que el cálculo puede estar enmascarado por efecto del método de interpretación. En el primer caso se tiene la interpretación visual hecha por INRENA (1998) en la cual se han generalizado muchas áreas y en el segundo, se tiene una mayor precisión, ya que la identificación de los campos de cultivo se realiza al nivel de píxeles (Figura 5).

Conclusiones.

Las imágenes del satélite LANDSAT 5 permitieron evaluar la dinámica espacio temporal de los bosques secos, y a través de ellas cuantificar los retrocesos y mejoras de los mismos. El 38% del área del bosque seco permanece sin variación, mientras que 13% ha mejorado su condición y el otro 23% tiende a la reducción de su cobertura. El procesamiento digital permite agilizar el proceso y ser más precisos que la interpretación visual utilizada en el estudio de línea de

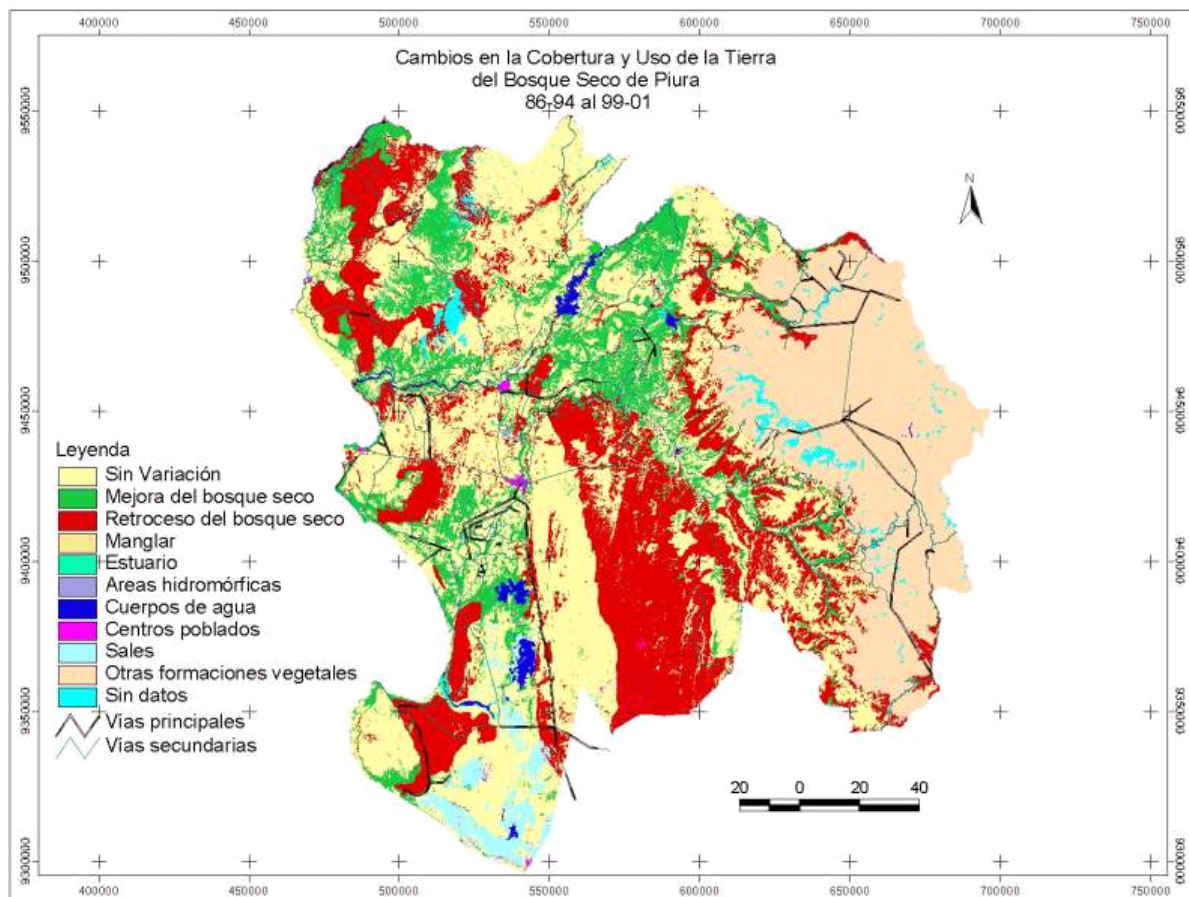


Figura 4. Cambios en la cobertura y uso de la tierra en el bosque seco de Piura 86-94/99-01.

En cuanto a las áreas de cultivo, INRENA en el 1998 estimó una cifra de 277,213 ha (7,62 %) mientras que el proceso digital de la escena LANDSAT del 2001 se ha obtenido una superficie de 141,321 ha (3,88 %). Esto arroja una disminución aparente de -3,74 % del

base del INRENA. Existen actualmente imágenes de satélite a muy bajo costo o de libre disposición en la Internet, que permitiría mantener un seguimiento de la dinámica del ecosistema de bosque seco en la región Piura.

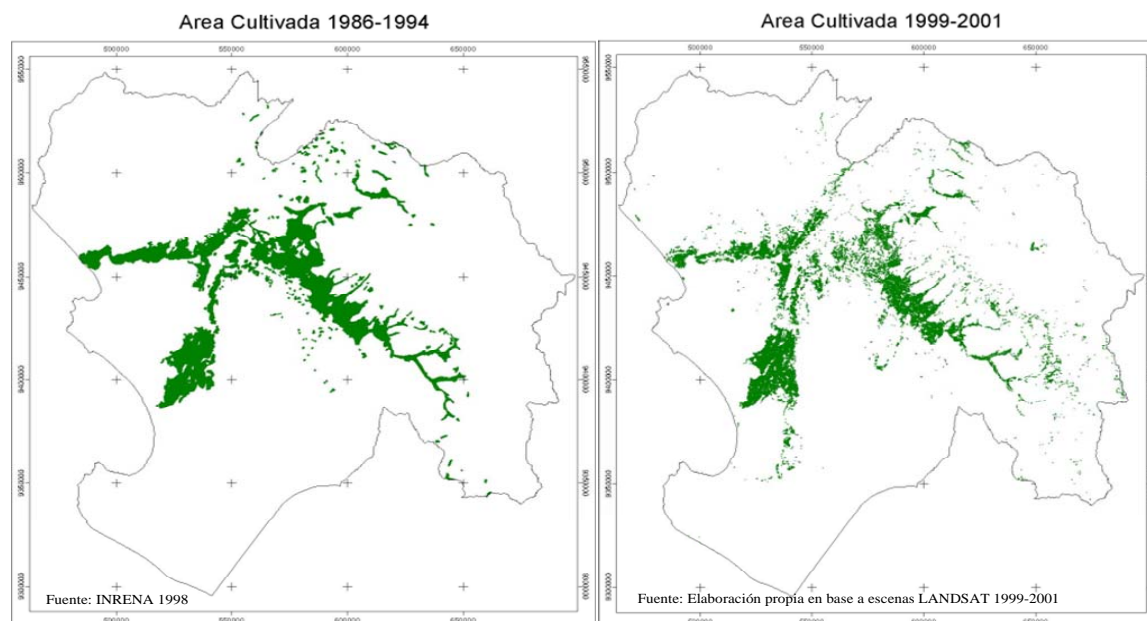


Figura 5. Mapas de áreas cultivadas en 1986-1994 y 1999 -2001.

Agradecimientos.

A las personas que hicieron posible este trabajo, al Ing. R. Sevilla de la Secretaría Técnica del CGIAR (STC-CGIAR) del Ministerio de Agricultura, Secretaría que financió la investigación. A C. Barreda y a J. de la Cruz por el proceso de los datos y elaboración de gráficos.

Literatura citada.

- Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira Piura y Consejo Nacional del Ambiente (AACHCP/CONAM). 2005. Evaluación Local Integrada y Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca del Río Piura. Edit. CONAM - Consejo Nacional del Ambiente, Lima.
- Britos A.H. & Barchuk A.H. 2008. Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Arido del noroeste de Córdoba, Argentina. *Agriscientia*. 25(2): 97-110.
- Brown D.G., Pijanowski B.C. & Duh J.D. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*. 59(4): 1-17.
- Castilla G., Hay G. J. & RUIZ-GALLARDO J.R. 2008. Size-constrained Region Merging (SCRM): An Automated Delineation Tool for Assisted Photointerpretation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 74(4):409-419.
- Chávez Jr. P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24(3): 459-479.
- Chávez Jr. P. S. 1996. Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 62(9): 1025-1036.
- Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B. & Lambin E. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Int. J. of Remote Sensing* 25(9): 1565-1596.
- Ferreya R. 1979. El algarrobal y manglar de la costa norte del Perú. *Bol. de Lima* 1: 12-18, 31 pp.
- Ferreya R. 1983. Los tipos de vegetación de la costa peruana. *Anales Jard. Bot Madrid*. 40(1): 241-256.
- Ferreya R. 1987. Estudio sistemático de los algarrobos de la costa norte del Perú. Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional Forestal y de Fauna.
- Figallo C. 1997. Análisis digital de imágenes de satélite para la clasificación del bosque seco del nor-oeste peruano. Tesis Ing. Forestal Universidad Nacional Agraria la Molina, Fac. CC Forestales, Lima, 119 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. *Boletín de Tierras y Aguas de la FAO* N° 5. Ed. FAO, Roma.
- Hocquenghem A.M. 1999. Una historia del Bosque Seco. En: *Bosques secos y desertificación. Memorias del seminario internacional*. INRENA – Proyecto Algarrobo. Lima. p 231-254
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 1996. Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995, Ministerio De Agricultura, Instituto Nacional De Recursos Naturales, Edit. INRENA, Lima.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 1998. Mapa de Bosques Secos del Departamento de Piura. Memoria Descriptiva. Ministerio De Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales, Proyecto Algarrobo y Gobierno de los Países Bajos. Edit. INRENA, Lima.
- Linares-Palomino R. 2004. Los bosques tropicales estacionalmente secos: I. El concepto de los bosques secos en el Perú. *Arnaldoa*, 11(1): 85-102.
- Linares-Palomino R., Kvist L.P., Aguirre-Mendoza Z. & Gonzales-Inca C. 2010. Diversity and endemism of woody plant species in the Equatorial Pacific seasonally dry forests. *Biodivers. Conserv.* 19:169-185.
- Malleux J. 1975. Mapa Forestal del Perú. Memoria Explicativa. UNA La Molina, Lima.

CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES DE SATELITE EN PIURA-PERÚ

Enero - Agosto 2011

- Malleux J. 1982. Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. UNA La Molina, Lima.
- Mas J.F. 1999. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of remote sensing*. 20(1): 139-152
- Mas J.F., Velasquez A., Reyes J., Mayorga-Saucedo R., Alcántara C., Bocco G., Castro R., Fernandez T. & Pérez-Vega A. 2004. Assessing land use/cover: a Nationwide multivariate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4): 249-261.
- Mateucci S. & Colma A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Prog. Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C.
- Nagendra H., Munroe D.K., Southworth J. 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of the land use/land cover change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 101(3):111-115
- Pennington R.T., Prado D.E. & Pendry C.A. 2000. Seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography Neotropical* 27(2): 261-273.
- Pennington T., Lewis G.P. & Ratter J.A. (editors) 2006. Neotropical savannas and dry forests: Diversity, biogeography, and conservation. Systematics Association Special Volume Series n° 69. CRC Press, Taylor and Francis Group. Florida.
- Tucker C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2):127-150.
- Tucker C.J. & Sellers P.J. 1986. Satellite remote-sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing* 7(11):1395-1416.
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). 1993. Agenda 21. Programme of action for sustainable Development. United Nations, New York. 294 pp.
- Walker R. 2004. Theorizing Land-Cover and land use change: The case of tropical deforestation. *International Regional Science Review* 27(3): 247-270.

¹ División de Sistemas de Producción y Ambiente. Centro Internacional de la Papa (CIP) Lima, Perú. p.zorogastua@cgiar.org.

² Facultad Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima Perú percyz@lamolina.edu.pe.

³ División de Manejo de Cultivos y Sistemas de Producción. Centro Internacional de la Papa (CIP) Lima, Perú. r.quiroz@cgiar.org.

⁴ Ciencias del Agua y del Medio Ambiente. Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Ciudad Obregón, Sonora. México. garatuza@itson.edu.mx.