

## **Detección de cambios forestales en la Reserva Forestal Pathri. Distrito de Haridwar. Uttarakhand, India**

Forest Change Detection in Pathri Forest Reserve. Haridwar District. Uttarakhand, India

---

**Jesús Jordán Marquina\***

Recibido: 25-05-09 / Aceptado: 09-09-09

### **Resumen**

Los bosques son los recursos con mayor valor ecológico de interés mundial. Los mismos son las fuentes de muchos de nuestros requerimientos básicos, tales como: madera para combustible, usos domésticos e industriales, pulpa para papel, entre otros. Adicionalmente, los bosques juegan un rol importante en el balance de CO<sub>2</sub> en la tierra. Los bosques también es el hábitat de numerosas especies animales. En este sentido, los sensores remotos es una herramienta para el monitoreo de los bosques, facilitando el monitoreo *in situ* de los mismos. La detección de cambios forestales es la primera tarea en cualquier trabajo de monitoreo. El estudio de detección de cambios forestales fue realizado para la Reserva Forestal Pathri en la India, debido a que la misma presenta varios problemas de deforestación. La degradación de sus bosques ha sido muy acelerada en los últimos años, por lo tanto, el frecuente monitoreo de la misma es muy importante para su preservación a futuro. En este trabajo se intenta aplicar la técnica de Detección de Cambios para calcular la deforestación entre los años 2000 y 2007, y estimar la futura deforestación con métodos de estimación lineal y exponencial.

**Palabras clave:** detección de cambios forestales, sensores remotos, sistemas de información geográfica, reserva forestal.

---

\* Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Geografía. E-mail: jordanmarquina@yahoo.es

### **Abstract**

Forests are the most valuable ecological resources of global interest. They are the source for many of our basic requirements such as fuelwood, timber, raw materials for paper, etc. In addition, forests play an important role in balancing the Earth CO<sub>2</sub> supply and exchange. Forests also provide habitat for numerous animal species. In this sense, remote sensing is very important for the forest monitoring. The remote sensing provides potential to improve the conventional *in situ* monitoring. Change detection is the first task in any monitoring work. This study was made to the Pathri Forest Reserve in India, because this area has several deforestation problems. The degradations of the forest has been very fast in the last years, reason why the frequent monitoring of this area is very important for its in the future protection. This work intent to apply the Forest Change Detection Technique for calculate the deforestation between 2000 and 2007 years, and estimate the future deforestation whit the lineal and exponential estimations methods.

**Key words:** forest change detection, remote sensing, geographic information system, forest reserve.

## **Introducción**

Los bosques en el mundo están actualmente desapareciendo a una tasa alarmante. Se estima que el decrecimiento de la cobertura boscosa está creando una innumerable serie de problemas, tales como: la erosión de suelos, inundaciones, sequías, incremento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, cambios climáticos locales y globales, entre otros, afectando seriamente la biodiversidad en los diferentes continentes del mundo. Desafortunadamente, en el pasado, la tendencia de degradación no se ha venido tomando muy en serio. Con la conferencia de río en 1992, se fundó un lugar en el eco-conocimiento en las naciones a nivel mundial, de manera que el desarrollo y manejo de nuestros recursos naturales han venido cobrando importancia en el contexto mundial.

El mayor énfasis se presta a las estimaciones de cambio, las cuales requieren inventarios periódicos del recurso forestal. Los sensores remotos proveen los potenciales para monitorear *in situ* los diferentes cambios de cobertura en la tierra (Joseph, 2005). El manejo sustentable del bosque requiere confiable información en el tipo, densidad y extensión de la cobertura del bosque, volumen de madera y biomasa, incendios forestales, plagas y enfermeda-

des, deduciendo también pérdidas, invasiones, entre otros. Por eso, es necesario el manejo de información confiable en el proceso de toma de decisiones.

Actualmente, se ha venido estudiando el efecto de la rápida urbanización de los terrenos en los Himalayas, en las áreas alrededor de Dehradun y Mussorie, en el estado de Uttar Pradesh. Estos centros poblados son visitados frecuentemente por miles de turistas cada año, lo cual ha resultado en el incremento de actividades antropogénicas, en términos de construcción de carreteras y edificios. El resultado de todo esto es que la cobertura del bosque ha sido seriamente afectada. El problema también ha sido los usos inapropiados de la tierra e invasiones a expensas de la degradación de áreas forestales y, en el caso de la Reserva Forestal de Pathri (R.F. Pathri), ésta es afectada por dichos procesos (Panikkar, 2006).

Los bosques son elementos dinámicos en la superficie terrestre. A diferencia de otras coberturas, los bosques cambian en el tiempo y en el espacio. Estos cambios pueden ser positivos, por ejemplo: crecimientos naturales o plantaciones, o negativos, tales como: talas, desplazamientos por cultivos agrícolas, incendios forestales, entre otros. La precisión en la información de la cobertura forestal es necesaria para la administración local, regional y nacional, como también para varios propósitos de manejos. Por ejemplo, en áreas bajo rápidos procesos de deforestación y cambios de uso. Agencias de investigación tales como *Forest Survey of India*, conducen estudios relacionadas con estos procesos (FSI, 1993, citado por IIRS, 2007), evaluando también las pérdidas indefinidas de estos valiosos recursos.

La detección de los cambios, sin embargo, tiene que ser una importante actividad en el monitoreo forestal. Los tipos de cambios pueden variar en fenómenos de corto plazo, tales como: limpiezas por tala, ataques de enfermedades, como también, por fenómenos de largo tiempo, tales como: cambios sucesionales, en estructura y densidad, entre otros. La frecuencia de la detección de cambios depende de una larga dinámica natural del bosque bajo observación. La dinámica de las áreas forestales (cambios rápidos experimentados) son frecuentemente monitoreados (IIRS, 2007).

Debido a la continua situación de los bosques, existe una vigente necesidad de proveer datos y tiempos para la evaluación del estado de los bosques del mundo, para tener acceso a los cambios del pasado y presente en su funcionalidad y supervivencia, usando estos para predecir cambios futuros.

Es esencial un análisis de la naturaleza y tasas de los cambios ambientales sobre las décadas recientes, para un adecuado entendimiento, del porque surgen los problemas ambientales en el presente. Esto es también necesario para una serie de formulaciones de modelos predictivos de cambios ambientales. En este sentido, la información en los patrones existentes de uso de la tierra y cobertura, distribución espacial y cambios en el uso de la tierra es un pre-requisito para la planificación, utilización y formulación de políticas y programas, como también, para la formulación de planes de desarrollo en micro y macro niveles (Sahadevan, 2005).

La detección de los cambios de uso, utilizando datos obtenidos a partir de los sensores remotos y su posterior análisis usando Sistemas de Información Geográfica es una aplicación tanto para áreas rurales y urbanas. Este método es muy eficiente para analizar cambios o calcular tendencias de una región.

## Área de estudio

La Reserva Forestal Pathri fue declarada legalmente en el año 1940, en el acta de Bosques de la India (cláusula 20). Las reservas forestales en la India están compuestas por plantaciones de árboles que fueron sembrados y traídos de áreas vecinas, durante el período 1955-1997, bajo el sistema *Taungya*. Esta área es el soporte de una variedad de especies plantadas, tales como; *Acacia catechu*, *Dalbergia sisso*, *Terminalia arjona*, plantaciones de Eucaliptos, *Phoenix SD*, *Dutea monosperma*, *Terminalia tormentosa*, entre otras, las cuales son de importancia comercial.

Tal es la presión biótica con el incremento de tierras bajo usos antrópicos, conservación y manejo de recursos naturales, que ha dado paso a invasiones y degradaciones ambientales. A finales de los años noventa, algunas porciones de esta reserva fueron otorgadas a las poblaciones desalojadas con la construcción de una represa para suministro de agua para cultivos. De continuar estos acontecimientos, la población en los alrededores de la Reserva Forestal sería indudablemente una difícil tarea de reubicación. Dentro de la R.F. existen dos centros poblados, Kamalanagar y Purusshottamnagar;

sus habitantes dependen directa o indirectamente del bosque para su subsistencia. A pesar de que el bosque fue plantado apropiadamente, motivado y financiado por el Departamento de Bosques, su situación puede ser recuperada por el Estado en un corto lapso de tiempo y con escasos fondos (Roy, 2006).

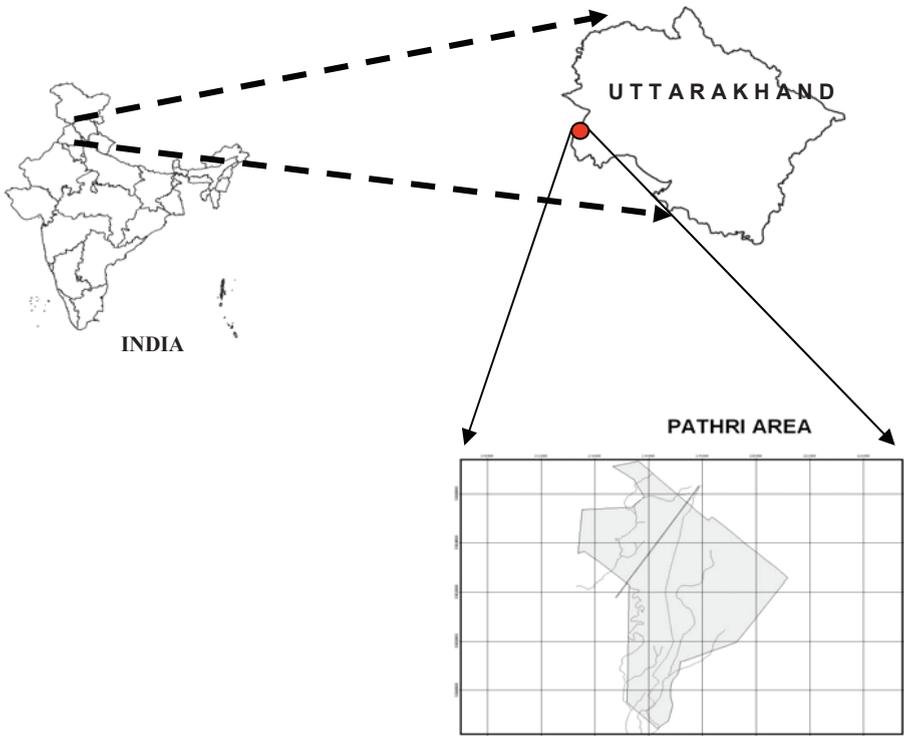
La Reserva Forestal Pathri, se localiza en el distrito de Haridwar, el cual forma parte del estado de Uttarankand, al norte de la India. El distrito de Haridwar fue creado durante la década 1981-1991, dentro de la bifurcación del distrito de Shaharampur de Uttar Pradesh, funcionando también pequeñas porciones de los distritos Muzaffarnagar y Bijnor.

El distrito se emplaza justamente bajo las montañas de Siwalik y lo atraviesan numerosos torrentes de aguas que drenan al río Ganga y sus tributarios. Esta es una zona sub-montana que fue deforestada y que ahora está casi desnuda, debido a la expansión de la agricultura y los centros poblados. La mayor parte de la superficie del distrito está compuesta por planicies y tierras llanas, la cual consta de anchos valles aluviales del río Ganga, siendo el principal río que atraviesa dicho distrito. Otro río importante del distrito es el río Solaní.

El canal del Ganga atraviesa el distrito jugando un rol importante, ocasionando la ampliación de las áreas bajo uso agrícola, con cultivos, tales como: trigo, caña de azúcar, arroz, maíz, legumbres, maní y algodón, localizándose en áreas de bancos formados por el río Ganga.

El clima de el distrito se caracteriza por sequía general (excepto durante la estación del Monzón), con un estimulante frío en invierno y muy caliente en la estación de verano. Las precipitaciones anuales en el distrito son de 949,3 mm. Los meses de mayo y junio son los más cálidos, con temperaturas medias diarias de 35° C. Durante la estación fría, las temperaturas disminuyen drásticamente debido a las perturbaciones que provienen del oeste, los cuales afectan notablemente al distrito.

El área de estudio (R. F. Pathri) está localizada en el distrito de Haridwar del estado de Uttarankand, entre las coordenadas 29° 45' 36" y 29° 51' 00" de latitud y de 78° 01' 48" a 78° 07' 12" de longitud (Figura 1), con un área aproximada de 78,41 Km<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Área de estudio.

### **Relieve**

El relieve es pobremente drenado con escasez de agua, al menos por 6 meses. Esta área posee pendientes generalmente orientadas hacia el sur. La altitud en el norte, cerca de la estación de tren Pathri, es alrededor de 244 m y 241 m. El área de la reserva es drenada por tres cauces: Pathri Rau, Phir Khala y Patherway Nadir (Figura 2).

### **Geología**

El área está formada por materiales del Sub-Himalaya terciario, similar a las planicies del Ganga-Yamuna.

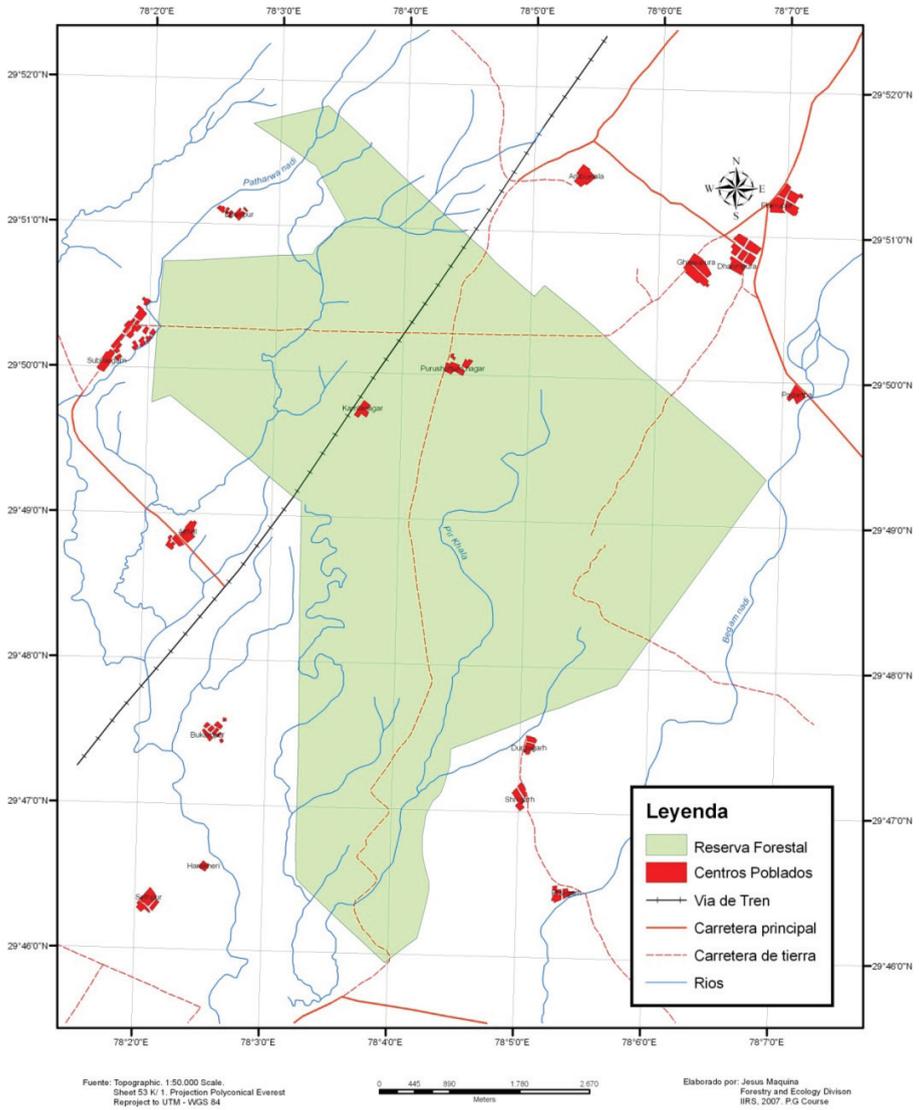


Figura 2. Mapa base. Reserva Forestal Pathri, 1972.

## **Suelos**

El área consiste fundamentalmente en suelos arcillosos con altos contenidos de hierro, muy buenos para la producción agrícola vegetal, destacando los cultivos de caña de azúcar (Figura 3).



**Figura 3.** Campos agrícolas en la R. F. Pathri, 2007.

## **Estado de los recursos forestales**

La Reserva Forestal Pathri consiste en plantaciones establecidas dentro del sistema Taungya, sistema que consiste principalmente en: *Dalbergia sisso*, *Acacia catechu*, *Terminalia arjuna*, *Ceiba pentandra*, entre otras. Esta área también tiene pequeñas plantaciones de Eucaliptos y plantaciones mixtas con *Zyzygium cumini*, *Terminalia tormentosa* y *Eucaliptus sp*, en etapas iniciales de crecimiento, se encuentran también presentes en el extremo norte de la reserva.

La detección de cambios requiere al menos de dos períodos de datos. En el presente estudio, los datos satelitales para el área del proyecto provienen de dos diferentes períodos a saber:

- Imagen Landsat ETM+, 25-11-2000, resolución espacial de 30 x 30 m, Path 146, Row 39, formato .BIL, Satélite Landsat 7.
- Imagen LISS-III, 04-11-2007, resolución 23.5 x 23.5 m, Path 96, Row 50, Formato .BIL. Satélite IRS-P6.
- Mapa topográfico a escala 1:50.000

Equipo: Procesador Intel Pentium IV, disco duro 120 GB, Memoria Ram 512 mb.  
Programas: ArcView 3.2, ArcGis 9.1, Erdas 9.1, Microsoft Office 2004.

## Metodología

Los cambios en los paisajes forestales pueden ser generalmente positivos o negativos, dependiendo del tipo de intervención que el hombre haga sobre los mismos, por ejemplo, invasiones hechas por la intervención humana y las deforestaciones; adicionalmente, el número de actividades, tales como: actividades de desarrollo para la construcción de represas, refugios, carreteras, entre otros, están causando cambios detectables en los paisajes, especialmente en la Reserva Forestal Pathri. Una metodología generada en el 2007 por el Instituto Indio de Sensores Remotos (IIRS) y la División de Ecología y Forestal (FED), para dos períodos, con invasiones y deforestaciones, con mapeo de áreas en blanco, se describe como sigue:

- Selección de los datos a utilizar, por ejemplo: La creación de una composición de falso color (CFC), para las invasiones y el mapeo de las áreas, como también el uso de una escala adecuada, son pasos muy importantes en esta metodología.
- Adquisición de los datos en el tiempo 1 (T1) y el tiempo 2 (T2), en el caso de observaciones de tendencia.

- Interpretación de T1 con CFC (en sobreposición teniendo detalles de base) usando una tabla de interpretación de imágenes.
- Con el T1, se superpone a la imagen del T2, se delimitan las invasiones o los espacios en blanco, generados después del T2.
- Finalmente, generar una composición de mapas mostrando los cambios durante el T1 y el T2, que se pudieran generar, y sobre el área de cambios que puede ser analizada.
- Usando imágenes multitemporales se pueden hacer predicciones, basándose en análisis de tendencias. Sin embargo, es recomendable un mínimo de 4 fechas diferentes para realizar dichos análisis.
- Al terminar la composición del mapa debe realizarse, la verificación de la interpretación en el terreno, realizándose con el fin de entender los cambios o fenómenos presentes en el área, y tener una estimación precisa, siempre y cuando se seleccione el mismo período de tiempo.
- En el caso de observaciones de cambios en reservas forestales u otras áreas boscosas, los límites del bosque son también delimitados en la sobreposición de mapas.

### ***Procesamiento digital de imágenes***

La representación numérica en las imágenes permite la aplicación de una gran variedad de procesamientos computarizados y técnicas de análisis de datos. Los resultados de los procesamientos de datos son confiables, con una nueva estructura de números, la cual representa el mejoramiento de imágenes y de clasificaciones temáticas, siendo una técnica fundamental el procesamiento digital de imágenes.

### ***Rectificación y registro de imágenes***

Estas operaciones son principalmente para corregir distorsiones o degradación de los datos en la imagen y así poder crear una representación espacial confiable de la escena original. Esto típicamente incluye el procesamiento inicial de datos en las filas de las imágenes para corregir distorsiones geométricas, calibrando la imagen radiométricamente, y para eliminar los ruidos pre-

sentos en las mismas. De esta manera, la naturaleza de cualquier proceso de restauración de cualquier imagen es altamente dependiente de las características de cualquier sensor usado para adquirir los datos de la misma.

La rectificación de imágenes y los procesos de restauración son a menudo operaciones de pre-procesamiento, porque normalmente se procede más que todo a la manipulación y análisis de la imagen para extraer información específica.

### ***Correcciones geométricas***

Esto es necesario para corregir geoméricamente las imágenes en un sistema de coordenadas espaciales, para corregir sistemáticamente los errores de posición de píxeles o registrar imagen a imagen o imagen a mapa. Para este trabajo se usó, en primera instancia, de mapa a imagen y, posteriormente, de imagen a imagen. Este es un procedimiento de dos pasos, dónde el primero es una transformación de coordenadas y después la interpolación, correspondiéndose a puntos de control, localizados en la imagen son deformadas espacialmente en un sistema de coordenadas de referencias (tales como mapas o cualquier otra imagen). Para ambas técnicas de registro bien sea manualmente o numéricamente, la transformación de coordenadas entre puntos de control son modelados por series de polinomios de la siguiente forma:

$$x=a_0 + a_1 + a_2x'-a_3x+\dots+a_5y'^2$$

$$y=b_0 + b_1 + b_2x'-b_3x+\dots+a_5y'^2$$

Donde las primeras coordenadas son colocadas buscando que las mismas estén en la salida de la imagen (sistema de referencia), en las que no son las principales de la imagen original distorsionada. Se han calculado la interpolación de la imagen procesada y las coordenadas correspondientes a la imagen original. Los procesos para calcular la interpolación de píxeles por transformaciones geométricas, es usando la técnica del vecino cercano, asignando el valor de los nuevos píxeles al píxel vecino original. Otras transformaciones son bi-lineal e interpolaciones cúbicas (Jitendru, 2004).

### ***Realzamiento de la imagen***

El objetivo del realzamiento de la imagen es mejorar el contraste en la interpretación visual de una imagen incrementando la distinción aparente entre los elementos en la escena; entonces el proceso de realzamiento de imágenes para la interpretación visual optimiza las habilidades complementarias de la mente humana y el computador (Lillesant *et al.*, 2007).

Para mejorar la imagen se realizó las siguientes técnicas:

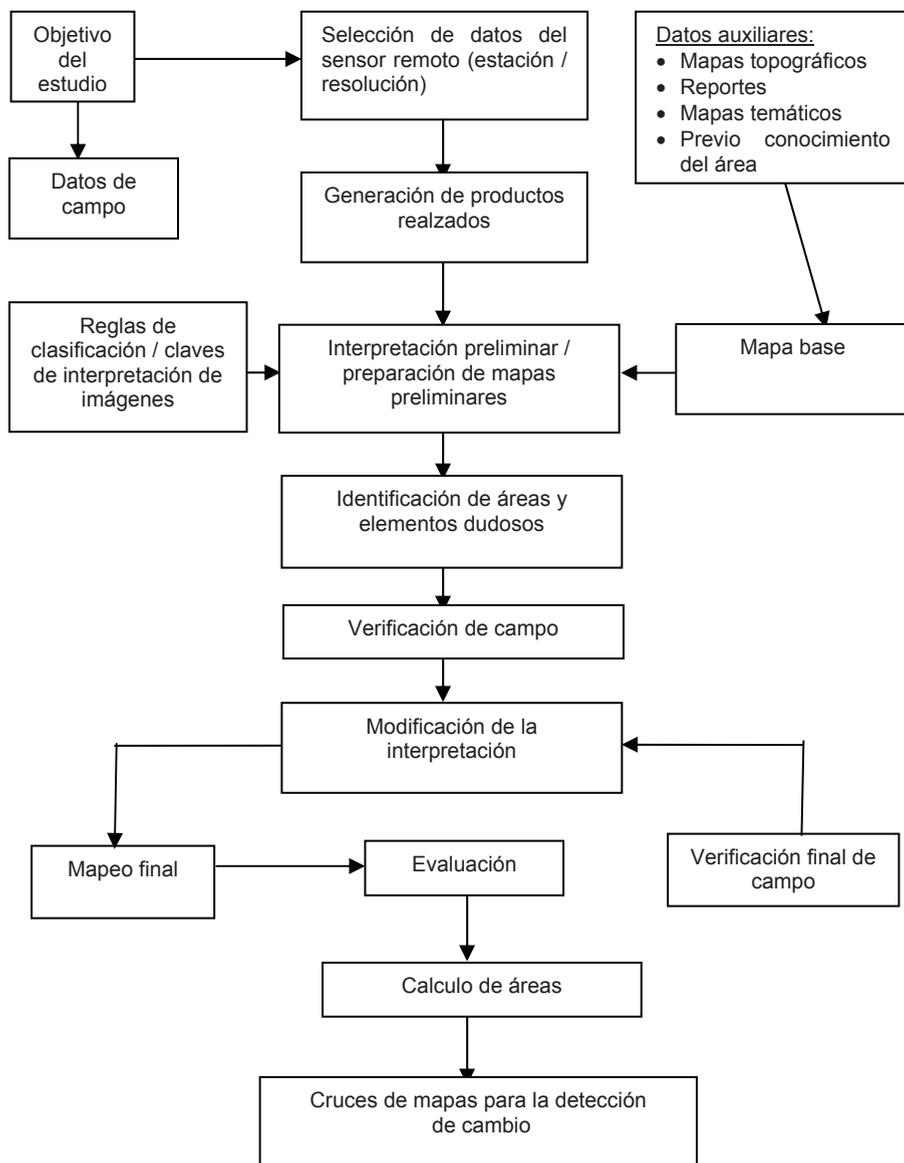
- Realzamiento del constraste
- Realzamiento de Bordes
- Filtros Espaciales

### ***Interpretación visual de imágenes***

Una imagen es un registro de los tipos de coberturas en el terreno para el tiempo o data registrado. Se puede analizar la imagen en diferentes niveles de detalles de una amplia categoría (al menos complejidad para identificación), pudiendo ser cuerpos de agua y cobertura de la tierra. Las clases de tierras se pueden categorizar debido a descubrimientos de detalles particulares, tales como: tierras agrícolas, tierras de barbecho, superficies bajo bosques, entre otras. Los detalles por los cuales se puede analizar una imagen depende de la resolución espacial de la misma (Figura 4).

## **Resultados y discusión**

Se puede definir la detección de cambios como el “proceso de identificación de diferencias en el estado de un objeto o fenómeno, el cual es estudiado en tiempos diferentes” (Singh, 1989, citado por IIRS, 2007). Debido a las posibilidades de los satélites para repetir coberturas de una misma superficie de área en cortos períodos de intervalos de tiempo y consistente calidad de la imagen, la detección de cambios está comenzando a tener una mayor aplicación en el campo de los sensores remotos. Pero si se aplica la detección de cambios sobre las mismas áreas de estudio, es necesario usar siempre

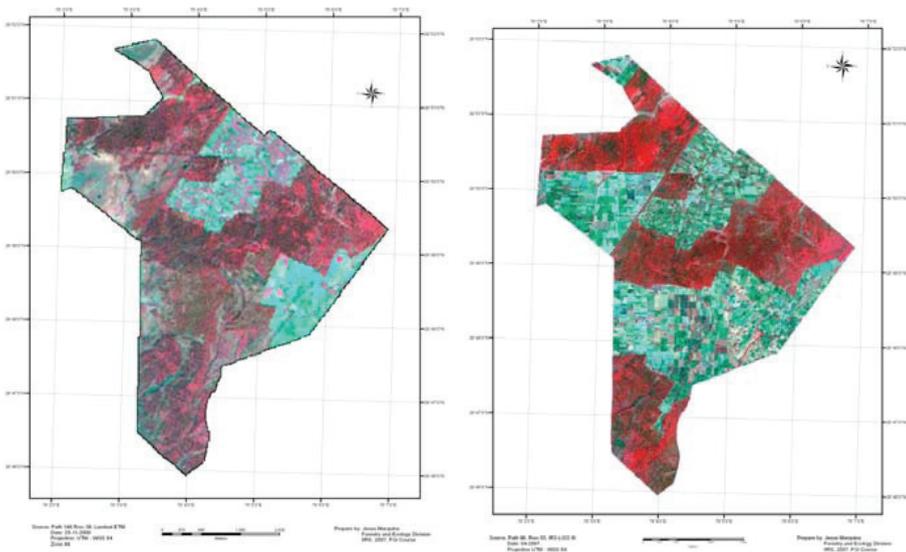


**Figura 4.** Metodología de la interpretación visual.

métodos diferentes de análisis, como también una evaluación de resultados. Por lo tanto, es una indicación, que varios procedimientos de detección de cambios producen diferentes mapas de cambios.

En los cambios de paisajes forestales, estos pueden ser negativos o positivos generalmente, bien sea por invasiones de bosques hechas por la intervención humana y las deforestaciones. Adicionalmente, el número de actividades como el desarrollo agrícola, carreteras, sistemas de ciudades, desarrollos turísticos, entre otras, están causando también cambios detectables en los paisajes.

En este caso, se realizó la Composición de Falso Color (FCC), para dos años 2000 y 2007 (Figura 5), con sus respectivas técnicas de realzamiento y correcciones geométricas y espectrales.



**Figura 5.** Composición de falso color (FCC). Reserva Forestal Pathri. 2000 (Izquierda) y 2007 (Derecha).

## Análisis de cambio forestal

La Reserva Forestal Pathri fue un área muy densa con especies diferentes, tales como: *Dalbergia sisso*, *Acacia catechu*, *Terminalia arjuna*, *Ceiba pentandra*, entre otras. En este lugar también hay plantaciones de *Eucalyptus*, en una pequeña área. Las plantaciones mixtas consisten en *Syzigium cumini*, *Terminalia tormentosa* y *Eucalyptus sp.* Se encuentran en etapa inicial de crecimiento en la parte norte de la reserva.

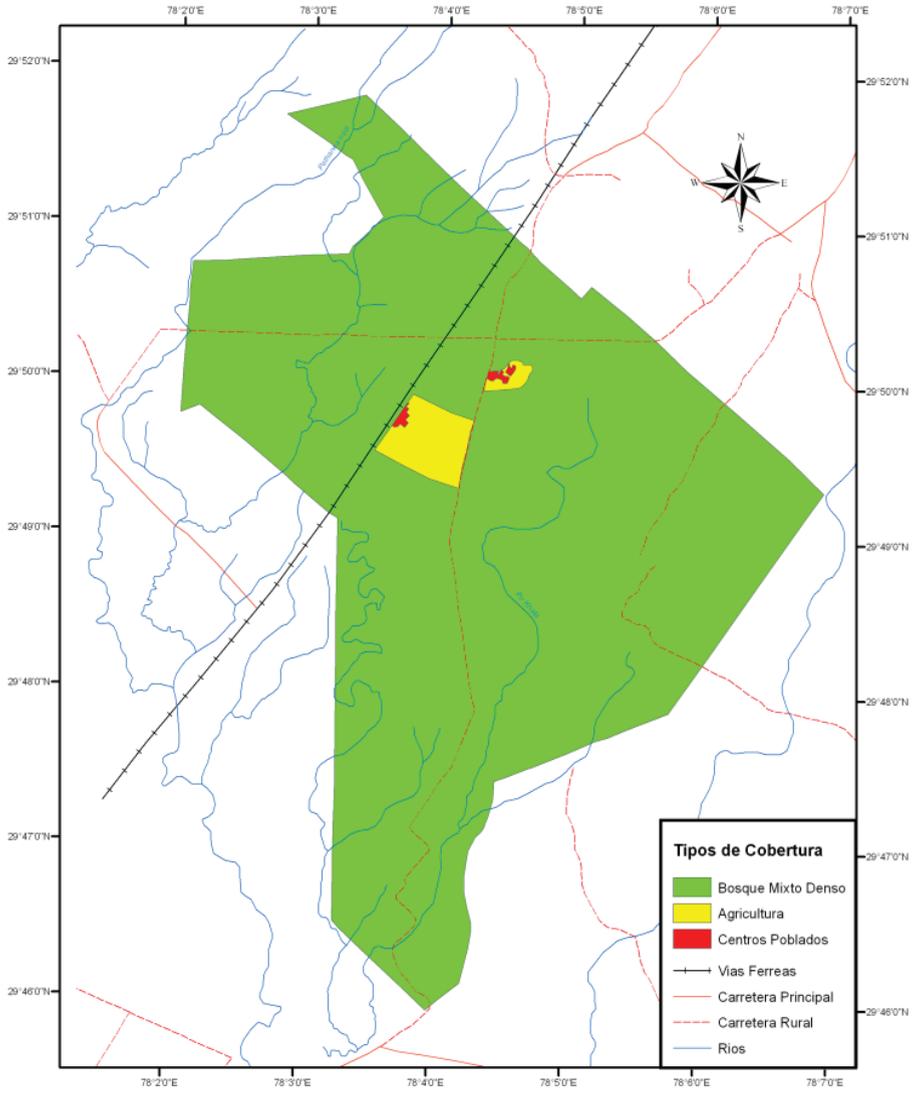
El análisis del mapa de cambio del área de estudio se presenta en tablas y gráficamente en diagramas. Estos indican que existen cambios significativos en la cobertura de la tierra y el uso de la misma, el total de área para esta Reserva es de 38,41 Km<sup>2</sup>.

La Tabla 1 muestra que, para el año 1972, esta área tenía un 97% de su superficie cubierta por bosques; alrededor del año 2000, su superficie fue reducida a un 69,17%, y para el 2007 sólo tenía un 48,17% del bosque original. Mientras las áreas agrícolas están en constante crecimiento con un 2,40% en 1972, para el año 2000, pasó a 19,93% y, finalmente, en el año 2007, el área para uso agrícola se expandió a un 48,99%, ocupando casi la mitad del área de la reserva.

**Tabla 1.** Cobertura de la tierra en la Reserva Forestal Pathri, período 1972–2007.

Cobertura de la Tierra	1972		2000		2007	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Cobertura Forestal	37,26	97,00	26,58	69,17	18,50	48,17
Matorrales	0,06	0,15	3,67	9,56	0,06	0,16
Sin Cobertura	0,06	0,15	0,15	0,38	0,11	0,27
Agricultura	0,92	2,40	7,66	19,93	18,82	48,99
Plantación	0,12	0,30	0,37	0,96	0,93	2,42
Total	38,41	100,00	38,42	100,00	38,41	100,00

Las figuras 6, 7 y 8 muestran el proceso de cambios y la distribución espacial de los diferentes usos de la tierra, pasando de un área para 1972 totalmente cubierta por bosque a un área dividida en tres partes para el año 2007, una parte en el norte, otra en el centro de considerable tamaño y otra al sur más



Fuente: Mapa Topográfico, 1972.  
Escala 1:50,000.

1.110 555 0 1.110 2.220  
Meters

Preparado por: Jesus Marquina  
Forestry and Ecology Division  
IIRS, 2007. P.G Course

Figura 6. Reserva Forestal Pathri. Año 1972.

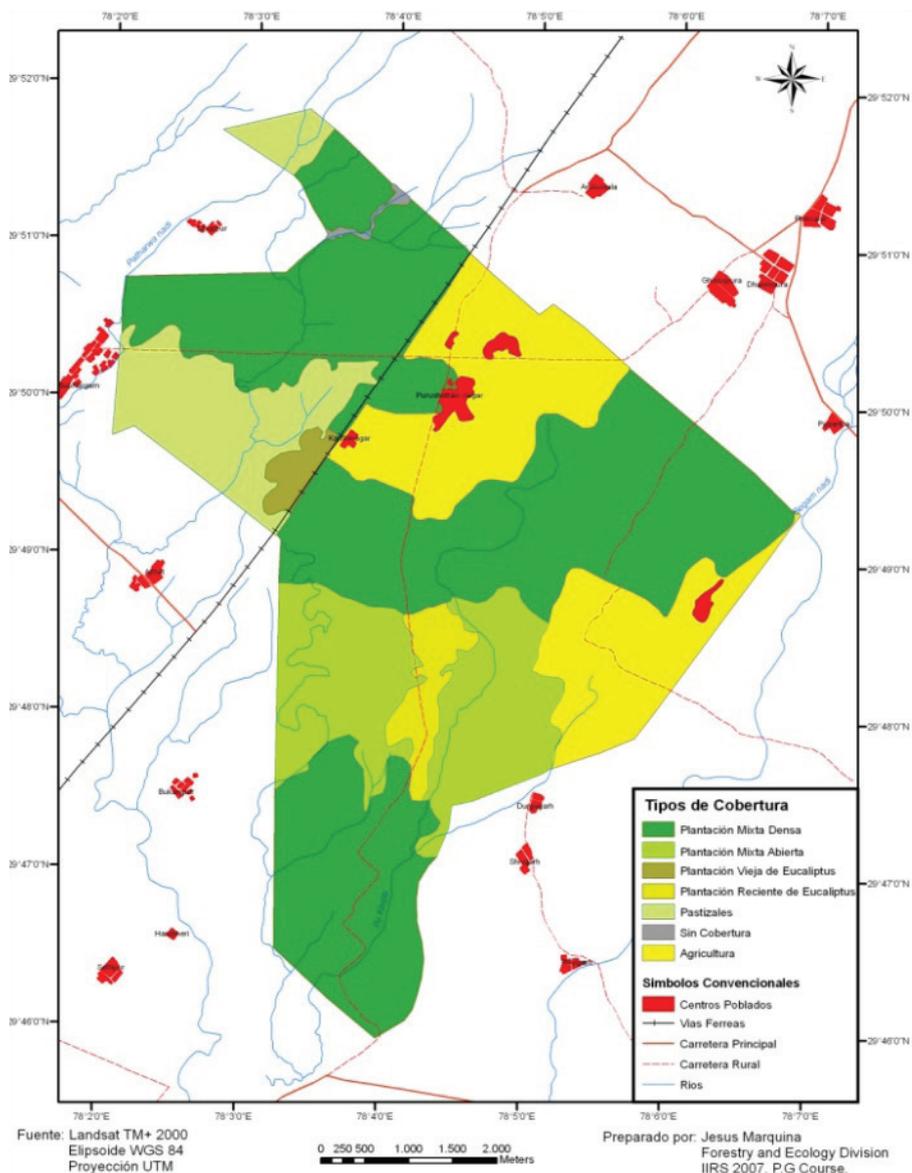


Figura 7. Reserva Forestal Pathri. Año 2000.

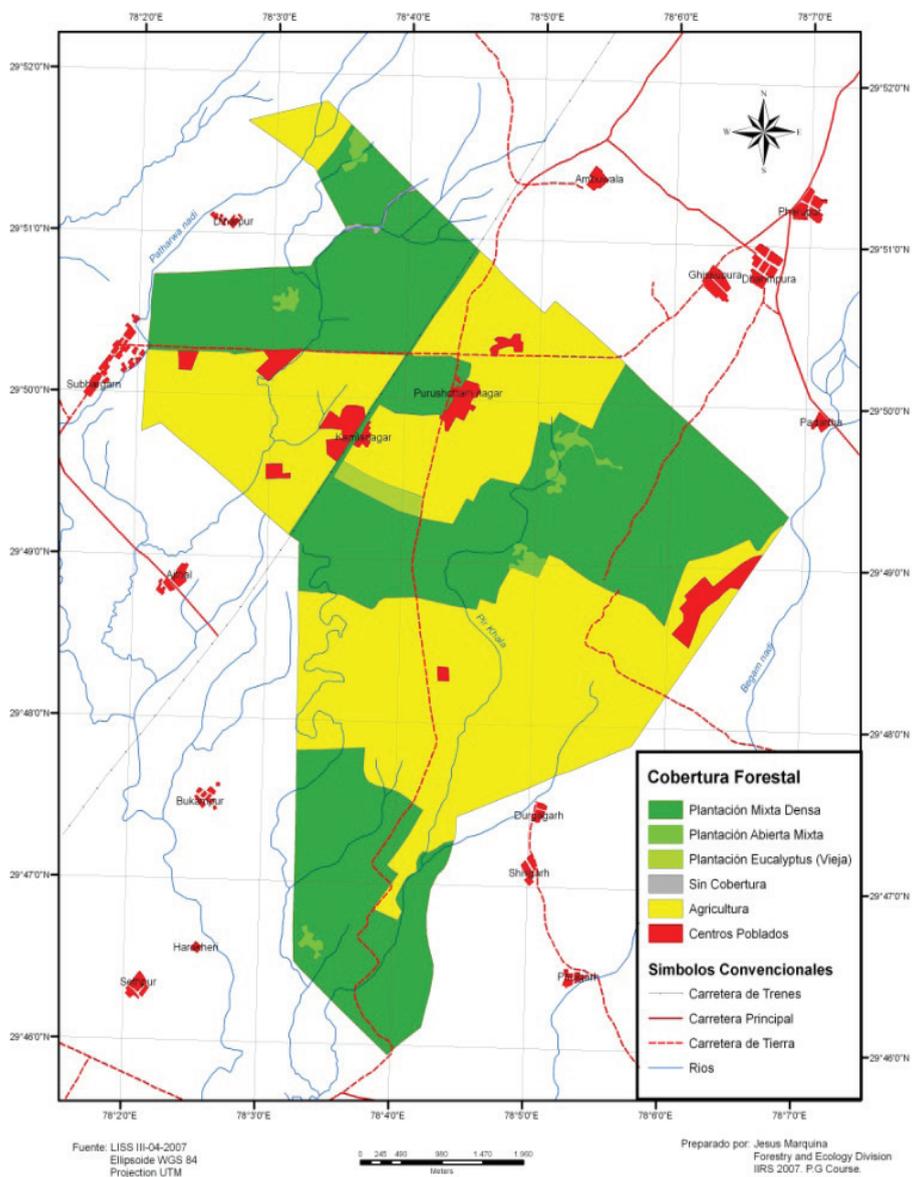


Figura 8. Reserva Forestal Pathri. Año 2007.

pequeña que la anterior, con dos partes claramente identificables en el año 2007, de uso agrícola con pequeñas áreas pobladas.

La integración de los datos en la superposición de mapas, en este caso fue “la habilidad para integrar datos desde dos fuentes usando superposición de mapas, siendo quizá la clave las funciones de análisis del Sistema de Información Geográfica (SIG). Con el SIG es posible tomando dos capas de diferentes mapas temáticos de una misma área y superponiéndolas para formar una nueva capa” (Heywood *et al.*, 2006). Para este trabajo se usó ArcGis 9.1 para generar la nueva capa, donde podemos ver el área que presentó cambios en este período de tiempo 2000-2007.

El mapa de cambios se ha obtenido por comparación post-clasificación (visual); mostrándose tres de las mayores clases: cambios negativos, sin cambios y cambios positivos, relacionadas con la pérdida del bosque durante el período 2000-2007, usado para este estudio. La tabla 2 muestra que en el período 2000-2007, la Reserva Forestal Pathri experimentó un cambio negativo de 31,35%, mientras que un 68,06%, no presentó cambios.

La Figura 9 muestra la distribución espacial de las áreas con cambios y sin cambios. En donde, los cambios más importantes de uso de la tierra ocurrieron próximos a los centros poblados, siendo las áreas forestales reemplazadas por campos agrícolas.

Con la detección de cambios forestales, fue posible identificar las diferencias de la cobertura forestal o del uso que el hombre hace a la tierra, en el tiempo; el análisis de tendencia permite ver una aproximación de la tendencia a futuro sobre la base de las diferencias en superficies de cada elemento de la reserva.

La Figura 10 representa la evolución o cambios de uso de la tierra en tres períodos de tiempo (en Km<sup>2</sup>) 1972, 2000 y 2007, respectivamente. Las figuras muestran que en 1972 cerca del área total estuvo cubierta por bosque, en el año 2000 comenzó a declinar la cobertura forestal, por el reemplazo de los campos agrícolas, y en el 2007 la expansión agrícola sobrepasó el área forestal y la cobertura forestal también fue reemplazada con el crecimiento de los centros poblados, producto de personas que migraron desde la construcción del embalse hacia el norte de la reserva forestal.

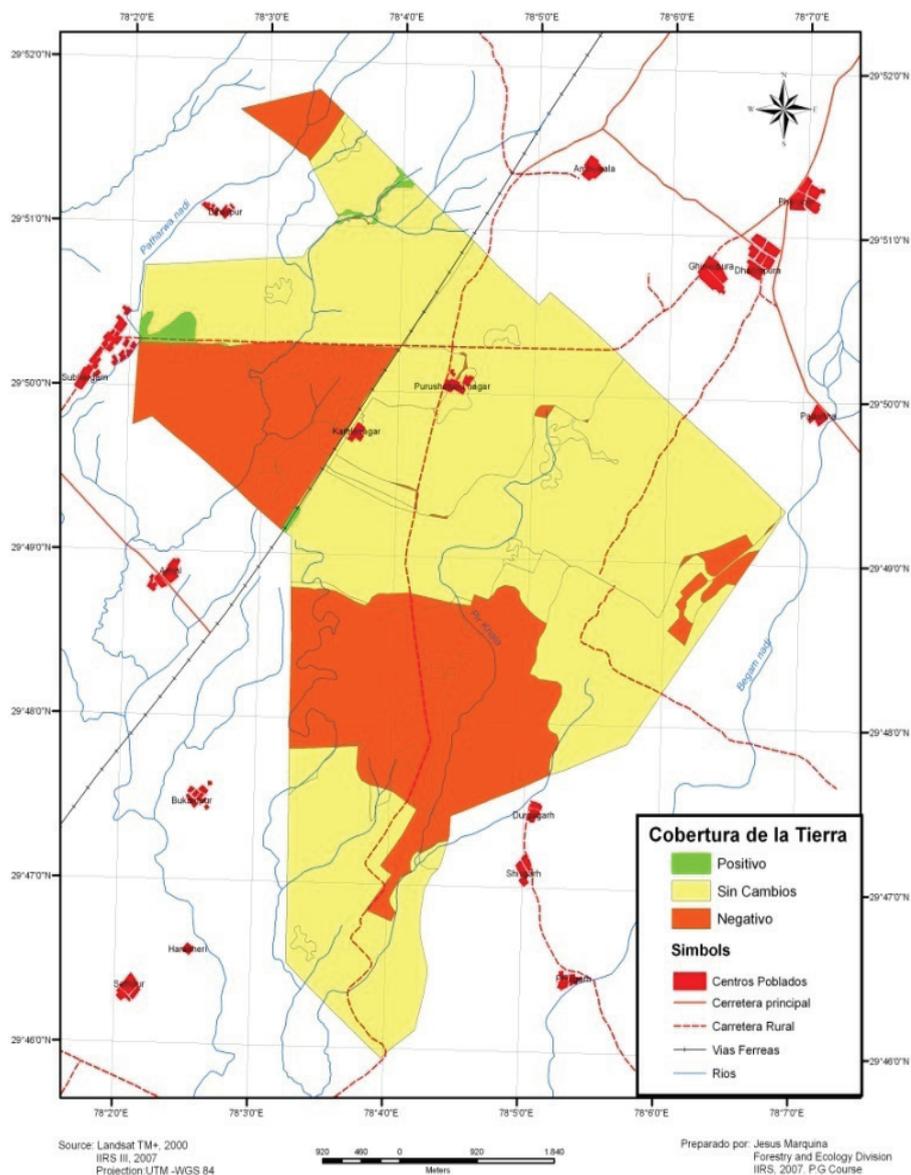
**Tabla 2.** Análisis de cambios en la Reserva Forestal Pathri, entre 2000–2007

<b>Cobertura para el 2000</b>	<b>Cobertura para el 2007</b>	<b>Cambios</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>
Población	Población	Sin cambios	0,27
Sin cobertura	Sin Cobertura	Sin cambios	0,04
Sin cobertura	Plantación Densa Mixta	Positivo	0,05
Plantación de Eucalyptus (Vieja)	Agricultura	Negativo	0,35
Plantación de Eucalyptus (Vieja)	Población	Negativo	0,07
Plantación de Eucalyptus (Vieja)	Plantación densa mixta	Sin cambios	0,05
Plantación de Eucalyptus (Vieja)	Plantación Eucalyptus (vieja)	Sin cambios	0,17
Pastizales	Agricultura	Negativo	3,27
Pastizales	Población	Negativo	0,14
Pastizales	Plantación densa mixta	Sin cambios	0,18
Plantación Abierta Mixta	Plantación densa mixta	Sin cambios	0,35
Plantación de Eucalyptus (joven)	Agricultura	Negativo	5,26
Plantación de Eucalyptus (joven)	Agricultura	Negativo	0,96
Plantación de Eucalyptus (joven)	Población	Negativo	0,02
Agricultura	Agricultura	Sin cambios	7,32
Agricultura	Población	Sin cambios	0,24
Plantación mixta densa	Agricultura	Negativo	1,61
Plantación mixta densa	Población	Negativo	0,14
Plantación mixta densa	Sin cobertura	Positivo	0,00
Plantación mixta densa	Plantación abierta mixta	Negativo	0,42
Plantación mixta densa	Plantación densa mixta	Sin cambios	17,02
Plantación mixta densa	Plantación Eucalyptus (vieja)	Sin cambios	0,08
<b>Cambios</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	
Negativo	12,04	31,35	
Sin Cambios	26,14	68,06	
Positivo	0,23	0,06	
<b>Totales</b>	<b>38,41</b>	<b>100,00</b>	

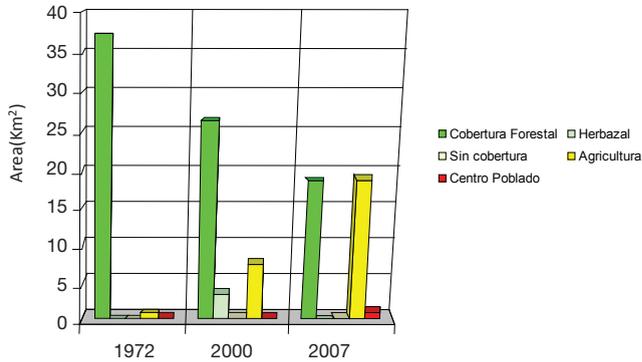
Fuente: Elaboración propia. 2007.

### **Estimación lineal**

El patrón lineal muestra que el crecimiento de la población presenta incrementos por año; este también muestra que el crecimiento estará siguiendo un patrón similar en el futuro. Para la Reserva Forestal Pathri se calculó la tendencia lineal de deforestación, de acuerdo con las estimaciones de años

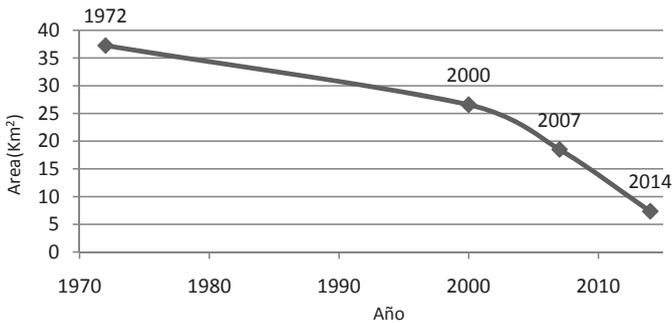


**Figura 9.** Cambios en la cobertura de la tierra y uso. Período 2000-2007. Análisis tendencial del bosque.



**Figura 10.** Cambios en la Cobertura Forestal en la R.F Pathri, en los años 1972, 2000 y 2007.

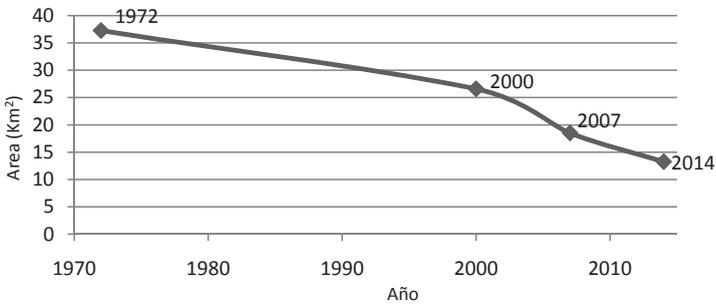
anteriores, las cuales muestran que de continuar este ritmo de deforestación para el año 2014 quedará solo un remanente de 7,35 Km² de bosque. En la Figura 11 se puede observar esta tendencia.



**Figura 11.** Predicción de la cobertura forestal para el año 2014, usando interpolación lineal.

### **Estimación exponencial**

La curva exponencial muestra un patrón de constante a rápida reducción de la superficie total de bosque (Figura 12). Ésta es una línea curva que no tiene límite superior o inferior, este método es apropiado para período corto, para áreas de rápido crecimiento o decrecimiento. El método exponencial de aná-



**Figura 12.** Predicción de la cobertura forestal para el año 2014, usando el método exponencial.

El análisis de tendencia muestra que para el 2014, sólo quedará un área remanente de 13,03 Km<sup>2</sup> en la reserva, si este proceso de deforestación continúa.

Estos dos métodos de estimaciones tendenciales, lineal y exponencial, dependen del ritmo del proceso de deforestación, pero también dependen de factores políticos y sociales, particularmente del crecimiento de la población, el cual puede influir en el futuro de la reserva forestal.

El cambio de uso de la tierra, aunado a la presión ejercida por la actividad agrícola y el crecimiento de la población, están estimulando la deforestación y degradación de áreas forestales; tal es el caso de la Reserva Forestal Pathri, ya que la misma se encuentra rodeada de uso agrícola, que la hace muy susceptible a desaparecer.

## Conclusiones

Las evaluaciones multitemporales de los bosques, en términos de realizar estudios de densidades o tipologías de bosques, brindan la oportunidad de monitorear cambios en las áreas forestales, sobre un período de tiempo considerable. Varios métodos de detección de cambios pueden ser usados para diferentes trabajos de investigación forestal. Éstos varían desde la comparación visual directa hasta la diferenciación de imágenes usando técnicas automatizadas, con las cuales los métodos de detección de cambios facilitan la evaluación de daños por fuego, invasiones y deforestaciones, entre otras aplicaciones.

La técnica de interpretación visual para la detección de cambios se considera el método que provee la mayor precisión, pero el trabajo de campo debe ser el más exhaustivo y científico.

Las técnicas de detección de cambios también ayudan en la evaluación de la degradación forestal, deforestaciones y forestaciones / reforestaciones y manejo en integrado del bosque (MIB) relacionándose con los monitoreos de cambios forestales.

Finalmente, el estado del bosque de la RFP, es satisfactorio siempre y cuando se le de mantenimiento a las barreras que lo protege. Sin embargo, la RFP no está en buenas condiciones, como se mostró en el análisis de detección de cambios para el período 2000 al 2007, detectándose un cambio negativo en la cobertura boscosa de 31,35%, pasando de bosques a tierras agrícolas, y que por medio de los análisis tendenciales para el año 2014 la cobertura forestal disminuirá drásticamente alcanzando valores inferiores al 10% de la cobertura boscosa. Tales causas se deben a que en algunos lugares se rompen las barreras de roca —que protege al bosque de la Reserva—, para acceder al mismo, donde se extrae la madera para los hogares. Se observa la degradación del bosque en muchos lugares, siendo uno de los factores causantes de la baja sucesión de plantaciones, el fuego inducido para la cría de ganado, causando que la regeneración natural del bosque sea prácticamente ausente. Por lo tanto, es necesario que el Gobierno de la India, sobre todo el Ministerio del Ambiente y su Departamento de Bosque, tomen de nuevo la iniciativa de estimular las plantaciones forestales y la preservación de los remanentes de bosques como generadores de semillas, de no ser así, estos remanentes de bosques van a desaparecer en un corto plazo de tiempo.

## Referencias bibliográficas

- CHANG, KANG-TSUNG. 2007. *Introduction to Geographic Information Systems*. Fourth edition. New Delhi, India: Tata McGraw-Hill Edition.
- CROXTON, FREDERICK E., COWDEN, DUDLEY J. y KLEIN, SIDNEY. 1967. *Applied General Statistics*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- HEYWOOD, I., CORNELIUS, SARA, CARVER, STEVE y SRINIVASA, RAJU. 2006. *An Introduction to Geographical Information Systems*. India: Dorling Kinderley.
- IIRS. 2007. *Remote Sensing and Geographical Information System Application for Natural Resources Management*. Dehradun: Indian Institute of Remote Sensing. Forestry and Ecology Division. Kalidas Roas N.4.
- JIENDRUDU, L. R. B. 2004. *Digital Change Detection Techniques on Multi Spectral Imagery*. Dehradun: IIRS. Human Settlement Analysis Group. India.
- JOSEPH, GEORGE. 2005. *Fundamentals of Remote Sensing*. Second edition. Ahmedabad, India: Universities Press.
- KUSHWAHA, S.P.S. 1990. Forest-type mapping and change detection from satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 45, 175-181.
- KUSHWAHA, S. PS. y HAZARIKA, R. 2004. Assessment of habitat loss in Kameng and Sonitpur Elephant Reserves. *Current Science* 87 (10): 1447-1453.
- LILLESAND, THOMAS, KIEFER, RALPH y CHIPMAN, JONATHAN. 2007. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Fift Edition. Wiley India.
- PANIKKAR, S. V. 2006. Manager, Business Development, Mapping /GIS Group Rolat India Ltc.
- ROY, P. K. 2006. *Forest Cover Monitoring in Pathri Reserve Forest*. Dehradun: IIRS. Forestry and Ecology Division. Kalidas Road N 4.
- SAHDEVAN, SUNIL. 2005. *Land Use/Land Cover Change Analysis in Pampa Range of Periyar Tiger Reserve*. Dehradun: IIRS. Forestry and Ecology Division.
- SAUMITRA, MUKHERJEE. 2004. *Environmental Remote Sensing*. New Delhi: Macmillan India LTD.