

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS CON MAYOR CAMBIO DEBIDO A LOS PROCESOS DE DEFORESTACIÓN EN EL MUNICIPIO DE URIQUE CHIHUAHUA DEL PERIODO 1992-2011 MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y SIG

Cesar Arturo GUTIERREZ RAMOS^{*a}, Luis Carlos ALATORRE CEJUDO^b

^{*a}Estudiante de la Lic. En Geoinformática, División Multidisciplinaria de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en Cd. Cuauhtémoc, Km 3 carretera a Anáhuac, CP: 31600, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México, E-mail: *al128731@alumnos.uacj.mx

^bProfesor investigador de tiempo completo, Lic. Geoinformática-UACJ, email: luis.alatorre@uacj.mx

RESUMEN

La disminución de los bosques en Chihuahua ha ido en aumento en las últimas décadas por diferentes razones de las cuales destacan la explotación forestal, incendios forestales y tala ilegal, entre otros. En este trabajo se utilizó la teledetección y procesamiento digital de imágenes para cuantificar la pérdida de área forestal en el municipio de Urique, Chihuahua. Se utilizaron dos imágenes satelitales, Landsat TM-4 del año 1992 y Landsat TM-5 del año 2011. Se realizó una clasificación supervisada para cada uno de los años y se cuantificaron los cambios en las distintas coberturas. Finalmente se determinó la tasa de cambio del área forestal y hectáreas que se perdieron. Los resultados demuestran cambios significativos en otras categorías importantes (cuerpos de agua, suelo desnudo y no forestal). En cuanto a la tasa de pérdida de área forestal se encontró que ha sido de orden de magnitud media, en torno a $1.879\% \text{ año}^{-1}$. Esta pérdida de área forestal se tradujo en el aumento de las áreas de cuerpos de agua, suelo desnudo y área no forestal. Cabe destacar que este trabajo se realizó para la materia introductoria de “Fundamentos de Percepción Remota”.

Palabras clave: Deforestación, Degradación forestal, Landsat TM, Clasificación supervisada, Fotointerpretación

ABSTRACT

The decline of forests in Chihuahua has been increasing in recent decades for reasons which include logging, forest fires and illegal logging. In this work remote sensing and image processing was used to highlight the loss of trees in the municipality of Urique Chihuahua. Two satellite images were used, one Landsat TM4 of 1992 and other Landsat 5 for the year 2011. Supervised classification was made for each year and the changes for the different coverages were quantified. Finally the rate of change and the hectares of forest that were lost was determined. The results show significant changes in other major categories (water bodies, bare soil and non-forest). As for the rate of loss of forest area has found that it's average magnitude, around $1.879\% \text{ yr}^{-1}$. This loss of forest area resulted in the increase in the areas of water bodies, bare soil and non-forest area. Note that this work was done for the introductory course of “Fundamentals of Remote Sensing”.

Keywords: Deforestation, Forest degradation, Landsat TM, Supervised Classification, Photointerpretation

1 INTRODUCCIÓN

Chihuahua cuenta con una extensión territorial de 24.7 millones de hectáreas (ha), de los cuales hay aproximadamente 7.3 millones de ha de bosques y

selvas y 9.1 millones de ha de otros ecosistemas forestales (Madrid et al., 2009). Chihuahua en el año 2011 tuvo una producción forestal de 1,006,824 metros cúbicos de madera que representa el 18% del total nacional (SEMARNAT, 2011). El

71% del territorio estatal se considera apto para actividades forestales. Chihuahua es el estado con mayor superficie arbolada, 13% del total nacional (Ruelas-Monjardin & Dávalos-Sotelo, 1999).

Cabe hacer una distinción entre los conceptos deforestación y degradación, debe entenderse por “deforestación” a la eliminación total de la vegetación o su reemplazo por usos no forestales de la tierra, y por otra parte la “degradación” consiste en la gradual reducción de la biomasa, cambios en la composición de especies y el deterioro correlativo del suelo (Gill-Hernández, 2013).

El proceso de deforestación ha sido particularmente dramático a partir de los años 60. Tanto en esta década como en la de los 70, “Proyectos de desarrollo” (muchos de ellos financiados por agencias multilaterales), así como subsidios importantes a la ganadería sentaron bases para la conversión extensiva de las áreas forestales. La deforestación continuó durante los años 80, en buena medida fomentada por la crisis económica del país y la profunda pobreza rural (Masera et al., 1992).

La deforestación es un fenómeno complejo que depende de muchos factores relacionados con las actividades humanas (Francois-Mas et al., 1996). Los bosques son de suma importancia ya sea a nivel nacional como internacional. Altas tasas de deforestación tienen consecuencias severas como son la contribución: al cambio climático, pérdida de biodiversidad, ocurrencia de inundaciones y la degradación de los suelos; así también la deforestación afecta a los seres vivos y la integridad cultural de la gente que depende directamente de los bosques (Kanninen et al., 2007).

2 OBJETIVO

El objetivo de este estudio es obtener mediante técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), zonas en las cuales

han sucedido los cambios más notables en la cubierta forestal en el municipio de Urique, Chihuahua, entre los años 1992-2011.

3 ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo se realizó sobre el municipio de Urique el cual está situado al suroeste del estado de Chihuahua México, en la Sierra Tarahumara (Figura 1). Tiene como coordenadas $27^{\circ} 3' 15''$ N, $106^{\circ} 15' 58''$ O. Este municipio tiene un área aproximada de 2,968.6 km². Su altitud máximas es de 2,700 msnm y la mínima de 200 msnm. Urique cuenta con una población de 29,386 habitantes.

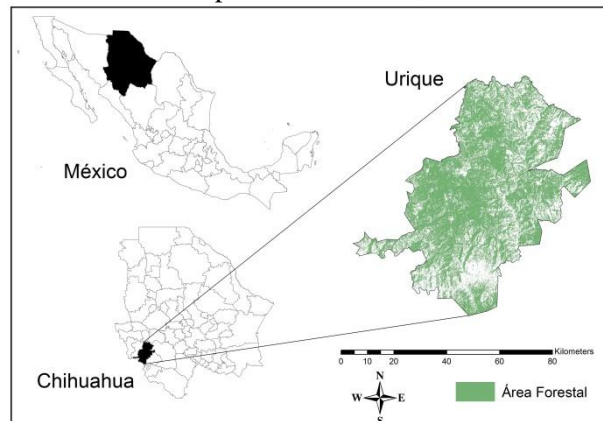


Figura 1. Área de estudio. Ubicación del Municipio de Urique, Chihuahua, México y su área forestal

4 MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se utilizaron dos imágenes multiespectrales una del satélite Landsat TM 4 y otra de Landsat 5, de 1992 y otra del 2011, y de los meses de abril y noviembre, respectivamente. Se eligió un lapso de 19 años para observar cambios significativos y notables en las cubiertas. Estas imágenes cuentan con una resolución espacial de 30 metros. Las dos imágenes fueron obtenidas de la página WEB <http://glovis.usgs.gov/>, la cual pertenece a United States Geological Survey (United States Geological Survey, 2015) (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadro de información las imágenes

Imagen de 1992				
Sensor	Path	Row	Fecha de Toma	ID Referencia
Landsat TM 4	33	41	4/1/1992	LT40330411992092XXX02
Imagen de 2011				
Sensor	Path	Row	Fecha de Toma	ID Referencia
Landsat TM 5	33	41	11/8/2011	LT50330412011312EDC00

Las imágenes del satélite Landsat TM, son imágenes de 8 bits en siete bandas espectrales: tres visibles (1 a 3), una en el infrarrojo próximo (4), dos en el medio (5 y 7) y una en el térmico (6); con una resolución espectral de 30 m en las reflectivas, estas imágenes son especialmente adecuadas para hacer estudios de la temperatura de la superficie y el análisis multitemporal (Pérez Cabello & De La Riva Fernández, 1998).

Primeramente se le dio tratamiento a las imágenes utilizando el software IDRISI Selva en su versión 17. Los efectos atmosféricos pueden ser sustanciales por lo que se ofrecen varios enfoques para su corrección. En el programa IDRISI el módulo más elaborado es el ATMOSC (Eastman, 2003). Se usó el módulo antes mencionado en las imágenes utilizando la reflectancia aparente y L_{min}/L_{max} de cada banda. Todos los datos necesarios fueron encontrados en los metadatos de las mismas (Tabla 2).

Tabla 2. Cuadro de información utilizada en el módulo Atmosc

Banda	DN Max	Band center	Landsat TM 4		Landsat TM 5	
			Lmax	Lmin	Lmax	Lmin
1	255	0.485	171	-1.52	193	-1.52
2	255	0.56	336	-2.84	365	-2.84
3	255	0.66	254	-1.17	264	-1.17
4	255	0.83	221	-1.51	221	-1.51
5	255	1.65	31.4	-0.37	30.2	-0.037
7	255	2.215	16.6	-0.15	16.5	-0.15

Se continuó con la determinación de las áreas de entrenamiento de las diferentes clases de cobertura de suelos mediante fotointerpretación a partir de conocimiento previo y el Inventario Forestal Nacional y de Suelos (CONAFOR, 2009), para lograr esto se realizó una combinación de bandas RGB. La combinación utilizada fue la de falso color 4, 3, 2 ya que con ella es más fácil detectar los lugares con vegetación. Por ejemplo la vegetación vigorosa y bosques aparecerán en rojo-magenta, en rosa las áreas vegetales menos densas y/ o vegetación en temprano estado de crecimiento, en blanco las áreas de escasa o nula vegetación y en azullas cubiertas total o parcial por agua

(National Aerospace Laboratory NLR and the Geomatics Business Park, 2015). El proceso de clasificación mediante análisis multiespectral habitualmente presentan imprecisiones debido a que el algoritmo de clasificación no logra discriminar la confusión radiométrica de las coberturas de suelo (Gill-Hernández, 2013), por lo mismo se realizó la clasificación con clases generalizadas para evitar la confusión con clases más significativas. El área de estudio se clasificó en cuatro categorías generales: I) Forestal, la cual incluye todo tipo de bosque; II) Cuerpos de agua, la cual está conformada por toda superficie de agua ya sean lago, ríos, presas etc.; III) Suelo desnudo,

esta categoría la forma todo territorio sin vegetación o áreas de asentamientos humanos, esta última inclusión es porque las poblaciones son tan dispersas y pequeña, generalmente rurales, y su discriminación del suelo desnudo resultó ser muy

Clasificador o Código	Cobertura y uso de Suelo
1	Forestal
2	Agua
3	SueloDesnudo
4	No Forestal

difícil; y finalmente IV) No Forestal, la cual incluye matorrales, pastizales, (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías de coberturas y uso de suelo utilizadas en IDRISI selva

Lo siguiente que se realizó fueron las firmas espectrales mediante el módulo Makesig de las categorías antes mencionadas. Ya con ello se puede realizar la clasificación supervisada mediante los clasificadores, por ejemplo, Maxlike, Mindist, Piped, etc.

Se utilizó el módulo Sigcomp para determinar la separabilidad de las firmas espectrales para cada una de las categorías.

Para la clasificación se utilizó el módulo MAXLIKE el cual es una clasificación de Máxima Verosimilitud. MAXLIKE representa la intercorrelación entre bandas. Al incorporar información acerca de la covarianza entre bandas así como también de su varianza inherente. En realidad calcula la probabilidad de que cada píxel pertenezca a cada categoría, donde la probabilidad es más alta en la posición de la media de la clase, y disminuye en un patrón elíptico de la media. (Eastman, 2012).

Una vez que tuvimos las cartografías se utilizó el software ArcGIS en su versión 10.2 para calcular el área de las diferentes categorías obtenidas por la clasificación. Con ello se calculó la tasa de cambio del área forestal (TD) expresada en porcentaje del área de cubierta vegetal disminuida por tiempo (% año⁻¹), se calculó mediante la ecuación:

$$TD = (A1 - A2) / (A1 * n) * 100$$

Donde A1 es la superficie en hectáreas de la cubierta vegetal en el primer año, A2 es la superficie en hectáreas de la cubierta vegetal en el segundo año, n es el lapso de tiempo entre A1 y A2. Para comparar los resultados se utilizó la clasificación propuesta por Catalán (1991) (Tabla

Deforestación (%/Año)	Calificativo
< 0.5	Baja
0.5-2.0	Media
2.0-3.0	Alta
>3.0	Muy Alta

4) y utilizado en el trabajo de (Hernández & Ennio, 2002).

Tabla 4. Propuestas de clasificación de las tasas de deforestación

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar la deforestación y su consecuente tasa de cambio de la cubierta vegetal se realizó cartografías de cobertura y usos de suelo para cada año (1992 y 2011) (Figuras 2 y 3). Como una medida de la confiabilidad de estas cartografías se obtuvieron medidas de separabilidad espectral con el método de divergencia transformada, mostrando una buena discriminación entre las cubiertas empleadas en el estudio.

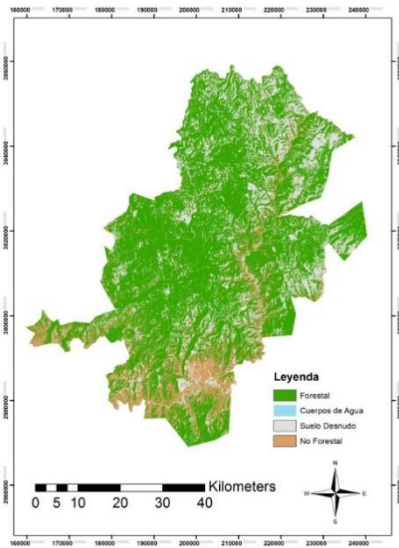


Figura 2. Mapa de cobertura y uso de suelo en 1992

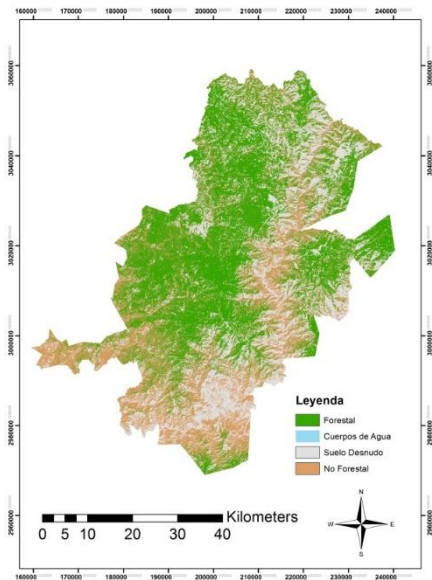


Figura 3. Mapa de cobertura y uso de suelo en 2011

En la cartografía de 1992 se observa fácilmente como la gran parte del municipio de Urique estaba cubierta por área forestal.

Mientras que en el año 2011 esta área sufre un gran disminución y aumentan las demás clases (Cuerpos de Agua, Suelo desnudo y No forestal).

Para una mejor visualización de los cambios se realizó un gráfico en el cual se comparan las hectáreas de cada cobertura de los años 1992 y

2011 (Figura 4). Además se tabularon las hectáreas y transformándolas en porcentaje de la cobertura total (Tabla 5 y 6).

La categoría no forestal en 1992 tenía un área de 47,594.43 ha (14.29 %), en el 2011 tuvo un área de 103,675.59 ha (31.13%). Esta categoría aumentó en el periodo de 19 años 56,081.16 ha, es decir, aumentó 117.83%.

Finalmente y para complementar nuestro objetivo, se calculó para el área forestal una tasa de cambio de 1.879 % año⁻¹ y al compararla con los clasificadores propuestos por Catalan (1991) esta tasas de cambio se sitúa en un orden de magnitud medio

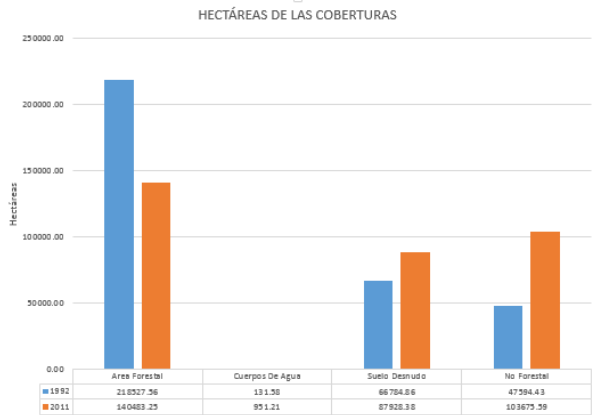


Figura 4. Gráfico de comparación de las coberturas

El área forestal constaba de 218,527.56 ha en el año 1992, representando aproximadamente el 65.6 % de la cobertura total del área de estudio, mientras que en el 2011 cubría 140,483 ha, 42% de cobertura. Estos datos nos demuestran que el municipio de Urique perdió 78,044.31 ha, es decir, el 35.7% del área forestal en un lapso de 19 años.

Los cuerpos de agua en 1992 tenían 131 ha (0.039 %) y en el 2011 aumentaron a 951.21 hectáreas (0.29%), lo que se tradujo en un aumento del 622.9 %.

El suelo desnudo también sufrió un aumento, en 1992 constaba de 66,784.86 ha (20%), mientras que en el 2011 aumentó a 87,928.38 ha (26%), en general esta categoría aumentó 211,143 ha, es decir, 31.65%.

Tabla 5. Tabulación de las hectáreas y porcentaje de coberturas por año

Tabla 6. Hectáreas cambiadas y su porcentaje con respecto al año 1992

Cambio(ha)	%de cambio
-78,044.31	-35.71
819.63	622.91
21,143.52	31.65
56,081.16	117.83

6 CONCLUSIÓN

El estudio realizado nos permitió observar la gran pérdida de área forestal sufrido en el municipio de Urique, Chihuahua, obteniendo así datos espacialmente distribuidos y representados en mapas de coberturas y usos de suelo para cada uno de los años de estudio (1991-2011). Lo cual

permitió cuantificar los cambios en las áreas ocupadas por cada una de las categorías mediante la comparación de los dos años. Los mapas que se generaron muestran que 218,527.56 ha del territorio de Urique en el año 1992 estaban cubiertas por áreas forestales y en el 2011 solo con 140,483.25 ha, estos cambios se tradujeron en una tasa de cambio de la cubierta forestal de 1.879 % año⁻¹, considerada como una clasificación media en orden de magnitud. Los resultados aquí presentados fueron suficientes para determinar el grado de deforestación en la zona de estudio, logrando con ello realizar las cartografías del área, e identificando con ello las partes donde sufrió la mayor pérdida forestal.

7 REFERENCIAS

- Chihuahua Gobierno del Estado. Chihuahua Gobierno del Estado. Obtenido de Forestal: http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/sdr/canales/Adjuntos/CN_2424CC_3362/forestal.pdf (accesado 7 de julio de 2015).
- Comisión Nacional Forestal (2009). Inventario nacional forestal y de suelos México 2004-2009. Guadalajara: SEMARNAT.
- Eastman, J. (2003). IDRISI Kilimanjaro. Worcester: Clark Labs.
- Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva: Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Clark Labs.
- Francois Mas, J., Sorani, V., & Alvarez, R. (1996). Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. Investigaciones Geográficas (Mx), 43-57.
- Gill Hernández, M. I. (2013). Tesis: Determinación de procesos de deforestación en el bosque templado de la región noroeste del municipio

de Madera Chihuahua, México: usando técnicas de teledetección y sig. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

- Hernández, E., & Ennio, P. (2002). Tasas de deforestación en cuatro cuencas montañosas del occidente de Venezuela. Rev. Forest. Venezuela, 35-42.
- Kanninen, M., Murdiyarsu, D., Seymour, F., Angelsen, A., Wunder, S., & German, L. (2007). Do Trees Grow on Money? The implications of deforestation research for policies to promote REDD. BogorBarat: Center for International Forestry Research.
- Madrid, L., Núñez, J. M., Quiroz, G., & Rodríguez, Y. (2009). La propiedad social forestal en México. Revista de Investigación ambiental Ciencia y Política Pública, 179-196.
- Masera, O., Ordoñez, M., & Dirzo, R. (1992). Emisiones de Carbono a partir de la deforestación en México. Ciencia, 151-153.
- National Aerospace Laboratory NLR and the

Cobertura	Área en 1992 (ha)	%	Área en 2011 (ha)	%
Forestal	218,527.56	65.61	140,483.25	42.18
Cuerposde agua	131.58	0.039	951.21	0.29
Suelodesnudo	66,784.86	20.05	87,928.38	26.40
No forestal	47,594.43	14.29	103,675.59	31.13
Total	333,038.43	100.00	333,038.43	100.00

- Geomatics Business Park. Geospatial Data Service Centre. Obtenido de Band Combinations:
http://gdsc.nlr.nl/gdsc/en/information/earth_observation/band_combinations (accesado 7 de julio de 2015).
- Pérez Cabello, F., & De La Riva Fernández, J. (1998). El empleo de imágenes de Landsat TM para la detección y cartografía de áreas incendiadas en FALTA
- Ruelas Monjardin, L. C., & Dávalos Sotelo, R. (1999). La industria forestal del Estado de Chihuahua. *Madera y Bosques*, 79-91.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2011*. México D.F: SEMARNAT.
- United States Geological Survey. United States Geological Survey. Obtenido de USGS: <http://glovis.usgs.gov> (accesado 11 de julio de 2015).