

CARTOGRAFÍA DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO DE LA SIERRA DE QUILA, JALISCO, MÉXICO

Raymundo VILLAVICENCIO GARCIA^{*a}, Rosaura AVILA CORIA^a,
Eduardo TREVIÑO GARZA^b, Miguel MUÑIZ CASTRO^a

^{*a}Universidad de Guadalajara –CUCBA–, Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Nextipac, C. P. 44600
Zapopan, Jal., E-mail: vgr02072@cucba.udg.mx

^bUniversidad Autónoma de Nuevo León –Facultad de Ciencias Forestales–, Carretera Nacional No. 85,
Km. 145. Linares, Nuevo León

RESUMEN

Se cartografió la cobertura vegetal y el uso actual del suelo en la Sierra de Quila y su zona de influencia en el estado de Jalisco. El área de estudio cubre 67,625 ha. Se utilizó una imagen Landsat 8 OLI del 20 de enero de 2014. Como pre-proceso, la imagen se recortó, se le aplicó una normalización topográfica, se le extrajo información temática (NDVI, PC, *Tasseled Cap*) y finalmente se compuso una imagen de 11 bandas; a la cual se le realizó un análisis discriminante. Se utilizó el método de máxima probabilidad para la clasificación supervisada y posterior reclasificación basada en reglas de decisión. Se definieron 10 clases de cobertura y se consideraron 29 reglas de decisión para la reclasificación. Se obtuvo una fiabilidad global de la imagen reclasificada de 79.4%. La cobertura forestal cubre el 65% del área de estudio; predominan la selva baja caducifolia con 30%, el bosque de pino – encino con 14.1% y el bosque de encino con 13.6%. El proceso de mapeo resultó complejo, la topografía, heterogeneidad de las coberturas y su respuesta espectral demandan no sólo el conocimiento técnico del procesamiento de la imagen, sino también un amplio y minucioso reconocimiento de las mismas en campo.

Palabras clave: Máxima probabilidad, reglas de decisión, clasificador experto, análisis discriminante

ABSTRACT

Vegetation cover and current land use in the Sierra de Quila and its zone of influence in the state of Jalisco was mapped. The study area covers 67.625 ha. A Landsat 8 OLI image dated January 20, 2014 was used. As a pre-process, the image was cropped and a topographic correction was applied. From the image thematic information was extracted (NDVI, PC, *Tasseled Cap*) to finally compose an image of 11 bands. Subsequently, a discriminant analysis was performed. The maximum likelihood method to the supervised classification and subsequent reclassification based on decision rules was used. 10 kinds of coverage were defined and 29 decision rules were considered for reclassification. An overall accuracy of 79.4% reclassified image was obtained. Forests cover 65% of the study area; tropical deciduous forests predominate with 30%, the pine-oak forest with 14.1% and oak forest with 13.6%. The mapping of vegetation cover and land use was complex. The topography, the heterogeneity of the forest cover and its spectral value demand not only the technical knowledge of image processing but also a thorough and comprehensive study of the vegetation in the field.

Keywords:- Maximun likelihood, decision rules, expert classifier, discriminant analysis

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la percepción remota se ha convertido en la herramienta esencial para

describir el estado y la dinámica de las coberturas forestales, recursos naturales asociados y otros usos del suelo a diversas escalas. La clasificación de los datos de los sensores remotos y la

elaboración del mapa temático, representan un desafío debido a la complejidad del paisaje del área de estudio, la selección de los datos del sensor remoto, el proceso de la imagen y los criterios tomados para su clasificación, los cuales pueden influir en el éxito del proceso (Lu y Weng, 2007).

Los estudios de los ecosistemas terrestres de México ofrecidos en los trabajos clásicos (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1978) están enfocadas al análisis de la vegetación en su estado natural o primario, sin embargo, los mapas de vegetación incluidos en las obras representan una distribución hipotética de los ecosistemas terrestres, quizá representados en condiciones previas a la afectación humana, o bien, son una reconstrucción de la vegetación potencial (Sánchez et al. 2008).

Actualmente existen varios métodos para clasificar las cubiertas vegetales y otros recursos de la tierra, éstos utilizan diversos criterios y tienen distintas características; por ejemplo, Lu y Weng (2007) enfocan la clasificación de imágenes en cuatro grupos: la supervisada y no supervisada, las paramétricas y no paramétricas, las clasificaciones dura y suave y, la clasificación basada por píxel, subpíxeles y por campo. La clasificación basada en objetos es otra de las alternativas que ha incursionado rápidamente en el medio de la percepción remota (Tadeo, 2015). No obstante, sea cual fuere el método de clasificación, Chuvieco (2010), sugiere que éstas deban ser exactas, reproducibles (dadas las mismas variables de entrada), robustas, exhaustivas (que cubra todo el territorio de estudio) y, objetivas (no sujeta por las decisiones del intérprete). En este contexto, el objetivo de este trabajo es obtener una carta de vegetación y del actual uso del suelo a partir de la clasificación de una imagen satelital Landsat 8 OLI del área protegida y su zona de influencia utilizando el clasificador experto de Erdas.

2 MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en el área protegida “Sierra de Quila” y su zona de influencia, la cual está definida por la unión territorial de 39 microcuencas que se derivan del sistema montañoso de la sierra. El área de estudio comprende una superficie de 67,625 ha

y se ubica en el occidente del estado de Jalisco entre las coordenadas 20° 08' y 20° 27' N y 104° 13' y 103° 52' W; a 100 kilómetros al suroeste de la ciudad de Guadalajara. Su límite altitudinal varía de 1135 a 2560 m (Figura 1).

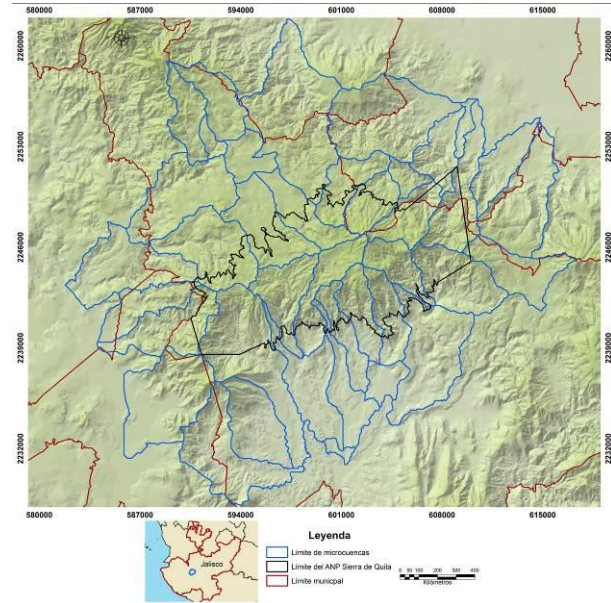


Figura 1. Ubicación del área protegida “Sierra de Quila”, estado de Jalisco, México y delimitación de microcuencas.

En el área de estudio predominan dos climas; en la parte alta y la meseta de la sierra prevalece el clima templado húmedo con lluvias en verano, mientras que en la vertiente sur de la montaña destaca una franja caliente húmeda. La precipitación pluvial promedio anual es de 886 mm (Avila et al. 2014). Los principales tipos de vegetación están representados por el bosque de pino-encino, el bosque de encino, el bosque mesófilo de montaña, el bosque de galería, el bosque espinoso y la selva baja caducifolia (Guerrero y López, 1997).

Las microcuencas se delimitaron con el criterio de obtener superficies no menores a 1000 ha (Villavicencio et al. 2014); se utilizó un modelo de elevación del terreno (MET) con resolución de 20m de las cartas topográficas F13D73 Atengo, F13D74 Cocula, F13D83 Tecolotlán y F13D84 Atemajac de Brizuela del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); se

usó la extensión HEC-GeoHMS v.4.2, para ArcMap.

2.1 MATERIAL RASTER Y VECTORIAL

La clasificación de la cobertura vegetal y uso del suelo se realizó con base en la escena multispectral Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) capturada por el satélite el día 20 de enero de 2014. La imagen LC8-029046-2014020-LGN00 obtenida del portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos, tiene un nivel de procesamiento primario (Level 1T), con una corrección geométrica, radiométrica y ortorectificación aplicados al sistema de referencia cartográfica con Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando el Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84) (USGS, 2014); la resolución espacial de las bandas espectrales es de 30×30 m y no refleja la presencia de nubes sobre el área de estudio. De manera complementaria, se consultaron imágenes de alta resolución *Basemap* de 2014 predispuestas en el módulo de consulta del programa ArcMap; otras imágenes de alta resolución empleadas fueron las históricas de 2005, 2007, 2011, 2012 y, actuales de 2014 y 2015 del programa Google Earth (Google Inc., 2004).

Para el procesamiento de la imagen, la definición de clases de coberturas y clasificación, se utilizaron como información referente datos cartográficos vectoriales: de la carta de vegetación y uso de suelo de la Serie V de INEGI en escala 1:250 000 (INEGI, 2013), el atlas de caminos y carreteras del estado de Jalisco del Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco (IITEJ, 2011) a escala 1:250,000; el conjunto de datos vectoriales de las cartas topográficas F13D73, F13D74, F13D83 y F13D84; por último, se utilizó el MET en formato raster.

2.2 CLASIFICACION

El proceso de agrupar los píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de datos con base en sus niveles digitales se definió con una clasificación supervisada. El método requirió del conocimiento del terreno y los tipos de coberturas, además con el uso de fotografías aéreas, informes técnicos, referencias profesionales y locales. Como pre-procesamiento de la imagen,

ésta fue recortada con base al polígono del área de estudio utilizando sólo las bandas: 2 (azul), 3 (verde), 4 (rojo), 5 (infrarrojo cercano, NIR), 6 (infrarrojo medio 1, SWIR1) y 7 (infrarrojo medio 2, SWIR2); posteriormente se realizó un apilamiento de capas, se aplicó una corrección topográfica utilizando el modelo de iluminación de Minnaert (García, 2008) y finalmente se extrajo información temática como una banda del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), una banda de principales componentes y tres bandas (brillo, verdor y humedad) de una transformación *Tasseled Cap*. Todas las bandas fueron apiladas y clasificadas con el algoritmo de máxima probabilidad (*Maximum Likelihood*). Se definieron 10 clases de cobertura y uso de suelo y se recolectaron 405 áreas de entrenamiento; con las cuales se realizó un análisis discriminante a fin de resumir las diferencias espectrales entre coberturas definidas (Rouges, 2008).

2.3 RECLASIFICACION EXPERTA

La imagen clasificada pasó a un proceso de valorización jerárquica, es decir, con el fundamento de que el mapeo de la vegetación se sustenta tanto en su distribución espacial y altitudinal; para lograr la jerarquización, se combinó el resultado preliminar de la clasificación supervisada con un MET e información de campo (registro de puntos de control terrestre, PCT). La reclasificación se deriva de la creación de un esquema de reglas de decisión basada en las cotas altitudinales de distribución de los tipos de vegetación; el esquema se definió con el módulo de “Knowledge Engineer” del programa Erdas Imagine 2014 (Figura 2).

La Tabla 1 describe las reglas o criterios de decisión establecidas para la reclasificación; la columna “Cobertura” especifica el tipo de vegetación o uso de suelo asignado, pudiendo ser representado por una clase o más, aunque éste contenga diferente valor espectral. La columna “Regla (s)” condiciona principalmente la distribución espacial de la cobertura con base a la clasificación preliminar o bien, especifica los rangos altitudinales de desarrollo de la cobertura.

Por último, a la carta reclasificada se le aplicó un filtro mayoritario con arreglo de matriz de 3x3, con el objetivo de reducir el “ruido” y/o “efecto sal y pimienta” de los pixeles clasificados de manera aislada.

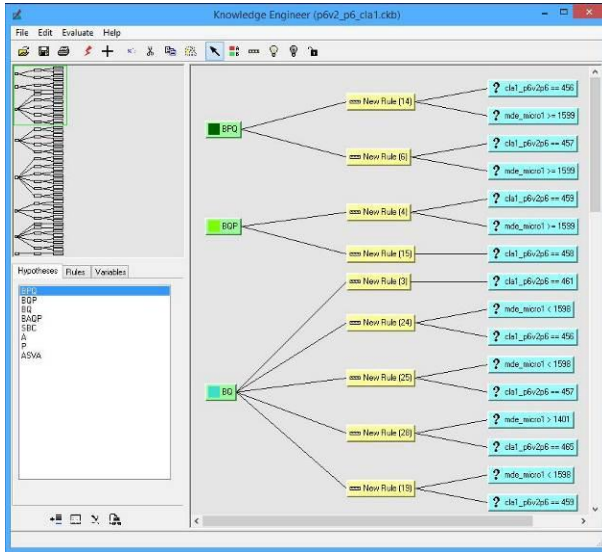


Figura 2. Interface del módulo *Knowledge Engineer* del clasificador experto de Erdas Imagine. Árbol de decisión jerárquica.

Tabla 1. Reglas de decisión para la reclasificación de la carta de vegetación y uso del suelo del área protegida Sierra de Quila y zona de influencia.

Cobertura	Regla (s)
1.- Bosque de Pino – Encino (BPQ) y (BPQ1)	BPQ y BPQ1 se desarrolla ≥ 1599 m.
2.- Bosque de Encino – Pino (BQP) y (BQP1)	BQP se mantiene igual a la clasificación preliminar. BQP1 se desarrolla ≥ 1599 m.
3.- Bosque de Encino (BQ)	BQ se mantiene igual a la clasificación preliminar. BPQ clasificado < 1598 m. BQP clasificado < 1598 m. A2 clasificada > 1401 m.
4.- Bosque abierto de Encino – Pino (BAQP)	BAQP se desarrolla > 1900 m. SBC y SBC1 clasificadas > 2001 m. P clasificado > 2000 m.
5.- Selva Baja	SBC y SBC1 se desarrollan < 2000

Caducifolia (SBC) y (SBC1)	m. BAQP clasificado < 1899 m. BPQ y BPQ1 clasificados ≤ 1598 m. BQP1 clasificado ≤ 1598 m.
6.- Agricultura (A1), (A2) y (A3)	A1 clasificada < 2020 m. A2 clasificada ≤ 1400 m. A3 clasificada < 2020 m.
7.- Pastizal (P) y (P1)	P y P1 se mantienen igual a la clasificación preliminar. A1 y A3 clasificadas > 2021 m A2 clasificada > 1401 m.
8.- Cuerpo de agua (CA)	Se atribuye a dato vector de la imagen reclasificada con imágenes de alta resolución.
9.- Zona urbana (ZU)	Se atribuye a dato vector de la imagen reclasificada con imágenes de alta resolución.
10.- Área sin vegetación aparente (ASVA)	La cobertura se mantiene igual a la clasificación preliminar.

3 RESULTADOS

El análisis discriminante de la imagen apilada por 11 bandas (grupo de variables) mostró a partir del paso 5 de 8, un valor del cociente igual a 0, es decir, que demostraron una gran separabilidad espectral entre los grupos. Después de realizar diversas clasificaciones seleccionando las bandas indicadas de cada paso (5 al 8); estas fueron reclasificadas de manera jerárquica y validadas. Para este estudio se seleccionó la reclasificación compuesta por las bandas señaladas en el paso 6, las bandas son: 1 (azul), 3 (rojo), 4 (NIR), 5 (SWIR1), 7 (NDVI) y 10 (verdor) ya que composición presentó el valor más alto de fiabilidad global (79.4%). El índice estadístico de Kappa (k) total fue de 0.75, es decir, que la clasificación es 75% mejor de lo esperable al azar; de acuerdo a Chuvieco (2010), el índice evalúa el que la clasificación haya discriminado las categorías de interés con exactitud de manera significativa mayor a las que hubiera obtenido con una asignación aleatoria.

La matriz de confusión (Tabla 2) muestra en forma diagonal la distribución de puntos de verificación correctos por tipo de cobertura, los cuales suman 300 de los 378 utilizados para el cálculo de la precisión de la reclasificación. Las

principales clases que mostraron mayor confusión con otras clases son la selva baja caducifolia y el bosque abierto de encino-pino, este último, supera el 50% la fiabilidad del usuario, por lo tanto, la mitad de estas zonas clasificadas como esta clase lo representan en la realidad.

Tabla 2. Matriz de confusión de la reclasificación de la carta de vegetación y uso del suelo y del ANP Sierra de Quila y zona de influencia. C: Clasificación; R: Referencia; 1: Bosque de Pino –Encino; 2: Bosque de Encino-Pino; 3: Bosque de Encino; 4: Bosque abierto de Encino-Pino; 5: Selva Baja Caducifolia; 6: Agricultura; 7: Pastizal; 8: Área sin vegetación Aparente; T: Total; PC: Número de puntos correctos; P: Precisión del productor; U: Precisión del usuario

C	R										P C	P %	U %
	1	2	3	4	5	6	7	8	T				
1	51	3	11	2	3	0	1	0	71	51	89.5	71.8	
2	1	25	0	0	0	0	1	0	27	25	86.2	92.6	
3	0	0	25	1	2	2	1	0	31	25	50	80.6	
4	4	1	1	9	1	0	1	0	17	9	69.2	52.9	
5	1	0	10	0	97	1	3	0	112	97	88.9	86.6	
6	0	0	0	1	0	18	6	3	28	18	72	64.3	
7	0	0	3	0	3	3	61	3	73	61	82.4	83.6	
8	0	0	0	0	3	1	0	14	18	14	70	77.8	
T	57	29	50	13	109	25	74	20	378	300			

En total se definieron cinco coberturas vegetales, las cuales representan el 65% (43,935.1 ha) de la superficie de la zona de influencia; predominan la selva baja caducifolia con 30% (20,307.3 ha), seguido del bosque de pino – encino con 14.1% (9,538.3 ha), el bosque de encino con 13.6% (9,173.1 ha), el bosque de encino – pino con 4.6% (3,107.6 ha) y el bosque abierto de encino – pino con 2.6% (1,808.6 ha). Por el contrario, la cobertura no forestal abarca el 35% y concentra principalmente las áreas de pastizal inducido con 25.5% (17,226.7 ha), agricultura con 7.4% (4,976.3 ha), cuerpos de agua con 0.2% (128.8 ha), centros de población con 1.3% y áreas sin vegetación aparente con 0.7% (443.4 ha) (Figura 3).

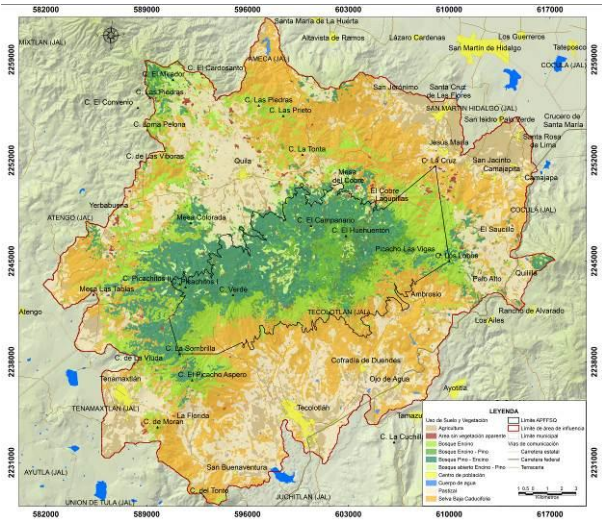


Figura 3. Carta de vegetación y uso del suelo del área protegida “Sierra de Quila” y zona de influencia. Clasificación supervisada y posterior reclasificación con reglas de decisión de imagen Landsat 8 OLI; 20 de enero de 2014.

4 DISCUSION Y CONCLUSIONES

En este trabajo se definieron diez clases de cobertura; sin embargo, sólo se consideraron ocho para la clasificación automática, las otras dos (cuerpo de agua y zona urbana) fueron reasignadas una vez se vectorizó la imagen reclasificada. La utilización de un menor número de clases empleando imágenes Landsat obedece a reducir la confusión espectral entre grupo de clases y aumentar la fiabilidad global, tal como Tadeo (2015) también sugiere, que se definan menos de 15 clases en paisajes con alta heterogeneidad a fin de obtener valores de precisión mayores a 60%.

A pesar de que Guerrero y López (1997) sugieren la cota altitudinal máxima de 1850 m para la distribución de la selva baja caducifolia en la Sierra de Quila, esta comunidad vegetal se identificó representada por varias especies hasta los 2000 m, motivo de la definición de una regla de decisión para esta cobertura, además esta circunstancia puede considerarse como una respuesta independiente de las especies al cambio gradual a través de un gradiente ambiental o geográfico (González, 2004).

Las coberturas mixtas basadas en la dominancia de un género u otro, como es el caso del bosque de pino-encino y el bosque de encino-pino, presentaron límites de cobertura indeterminados; por lo tanto, comprometido al momento de definir las áreas de entrenamiento; tal como lo refiere Congalton (1991, cit. en Tadeo, 2015), en este tipo de coberturas es muy probable encontrar confusión entre una clase y otra, ya que la delimitación de las clases en campo es gradual y el criterio botánico es arbitrario al no presentarse un límite natural que pueda ser representado en el mapa.

El proceso de mapeo de las coberturas vegetales y uso del suelo resultó complejo, la condición topográfica, la heterogeneidad de las coberturas y su respuesta espectral demandan no sólo el conocimiento técnico del procesamiento de la imagen sino también un amplio y minucioso reconocimiento de las mismas en campo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guadalajara y el Comité Regional de Protección, Promoción y Fomento de los Recursos Naturales de la Sierra de Quila, A. C por el financiamiento del proyecto. A la Comisión Nacional Forestal por el acceso a la información del Inventario Nacional Forestal y Suelos. A Efrén Jiménez Luquín y Rafael Sevilla Pérez por los recorridos de campo. A los estudiantes Esteban Hernández Martínez, Luis Vicente Jiménez Plascito y Jorge Castillo Dueñas.

REFERENCIAS

- Avila, C. R. Villavicencio, G. R. y Ruiz, C. J. A. 2014. Distribución potencial de *Pinus herrerae* Martínez en el occidente del estado de Jalisco. *Rev. Méx. Cien. For.* Vol. 5 Núm. 24. pp. 92-108.
- Chuvieco, S. E. 2010. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel Ciencia. España. 590 p.
- García, G. E. 2008. Aplicación de la corrección del sombreado topográfico para la identificación y delimitación de cuerpos de agua en la región andina del Peru dentro de un SIG raster. *GeoFocus (Artículos)*, No. 8. pp. 1-17.
- Google Inc. 2004. Google Earth. Tomado de: <http://www.google.com/earth/> Consulta: 20 de abril de 2015.
- González, M. F. 2004. *Las comunidades vegetales de México*. INE-SEMARNAT. México. 82 p.
- Guerrero, N. J. J. y López, C. G. 1997. La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco. Universidad de Guadalajara. México. 91 p.
- IITEJ. 2011. Conjunto de datos vectoriales del Atlas de Caminos y Carreteras del Estado de Jalisco. Escala 1:250,000. Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco. Tomado de: <http://sitel.jalisco.gob.mx/portal2/index.php/top-descargas> Consulta: 12 noviembre de 2014.
- INEGI. 2013. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250000, Serie V. México. Tomado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/usuarios/Default.aspx> Consulta: 2 de enero de 2014.
- Lu, D. y Weng, Q. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *Int. J. Remote Sens.* 28 (5): 823-870.
- Miranda, F. G. y Hernández, X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Méx.* pp. 29-179.
- Rouges, M. 2008. Ecología de paisaje y regiones. Principios de estadística multivariada y su aplicación a ecología del paisaje. Tomado de: <https://curso-ruah2009.wikispaces.com/1.+Componentes+principales> Consulta: 26 abril de 2015.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, S. A. 504 p.
- Sánchez, C., S., M. Arturo, Cruz, L. I. y Velázquez, A. 2008. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: Dirzo, R., González, R. y March, I. (Eds.). *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México.
- Tadeo, De La T. M. 2015. Heterogeneidad y percepción remota. Evaluación de métodos para clasificar la cobertura vegetal en el occidente de México. Tesis de Maestría. CUCSUR. Universidad de Guadalajara. pp. 118.
- USGS. 2014. Landsat Missions. U.S. Geological Survey (USGS). Tomado de: http://landsat.usgs.gov/descriptions_for_the_levels_of_processing.php
- Villavicencio, G. R., Martínez, R. B. R., Toledo, G. S. L., Guevara, G. R. D. y Avila, C. R. 2014. Infiltración de agua y medición del caudal de arroyos en la Sierra de Quila. *Rev. Méx. Cien. For.* Vol. 5. Núm. 24. pp. 184-201.

