Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM
ISSN 2448-7279, núm. 91, 2016, pp. 7-24, dx.doi.org/10.14350/rig.49203

Evaluación de la aptitud natural de los paisajes físico-geográficos en la cuenca del río Grande, Oaxaca, México

Recibido: 29 de abril de 2015. Aceptado en versión final: 29 de enero de 2016.
Publicado en línea (pre-print): 18 de abril de 2016.

Marco Antonio Pablo Pablo*
José Ramón Hernández Santana**

Resumen. El objetivo central de la evaluación de los paisajes físico-geográficos para optimizar su uso demanda el análisis de su aptitud natural o vocación con vistas a proponer patrones de ocupación adecuados a sus condiciones intrínsecas. Esta evaluación constituye una herramienta metodológica clave a partir de la cual es posible seleccionar formas óptimas de uso para cada unidad de paisaje, como unidad de análisis espacial. En el estado de Oaxaca son escasos los estudios científicos integrales, sobre todo aquellos enfocados a la evaluación de la vocación natural de sus unidades de síntesis natural –los paisajes físico-geográficos–. En este sentido se aborda la aptitud natural en la cuenca del río Grande, mediante la evaluación de los atributos naturales de sus paisajes, tomando algunos criterios de la metodología de la evaluación de tierras (FAO, 1976, 1993), enfocados a los requerimientos para las actividades agrícola, pecuaria, forestal, de conservación y sus combinaciones. El área con las mejores condiciones para la práctica de actividades agropecuarias equivale al 15.6% de la cuenca (152 km²); para la actividad pecuaria se identificó un 12.5 % (122 km²); la aptitud óptima para la conservación con actividades agropecuarias ocupa 6.5% (64 km²); la actividad mixta de conservación-pecuaria abarca 11% (108 km²); la actividad de conservación-forestal posee 11.7% (114 km²) y la actividad de conservación alcanza 17.1% (167 km²). Finalmente, 25.6% de la cuenca (250 km²) posee condiciones para el desarrollo agropecuario, de conservación-pecuario y de conservación, pero no clasifican con una aptitud óptima.

Palabras clave: aptitud natural, paisaje físico-geográfico, cuenca de río Grande, Oaxaca, México.

* Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México. E-mail: pablopablo.m.a@gmail.com
** Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México. Email: santana@igg.unam.mx, hernandezsantanajr@hotmail.com

Cómo citar:

Pablo P., M. A. y Hernández S. J. R. (2016), "Evaluación de la aptitud natural de los paisajes físico-geográficos en la cuenca del río Grande, Oaxaca, México", *Investigaciones Geográficas,* núm. 91, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-24, dx.doi.org/10.14350/rig.49203.

© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Natural Landscapes and Optimal Resource Use at the Rio Grande Drainage Basin, Oaxaca, Mexico

Abstract. Environmental conservation depends largely on the appropriate management and rational use of natural resources. The assessment of natural landscapes and their suitability for human occupation is key to ensure optimal resource use. The criteria for establishing land-use potentials vary according to the type of activity concerned. For example, in determining the most suitable areas for growing grapes in Cuyo, Argentina, Valpreda (2005) focused on topography, soil quality and water availability, whereas in their study on the oil-producing region of northern Chiapas, Mexico, Bollo *et al.* (2010) applied markedly different criteria. Soil components and their variability were key to the multi-purpose study of Ovalles and Núñez (1994), while morphometric criteria have been used by Bocco *et al.* (2010) on farming; for cattle raising, Travieso-Bello *et al.* (2013) added soil quality and moisture, similar to Rodríguez-Gallego, *et al.* (2012). In the state of Oaxaca, scientific studies on the feasibility of human activity in different natural landscapes are yet to be undertaken. This study assesses the natural landscapes and resources of the Río Grande drainage basin aimed at establishing optimal locations for agriculture, livestock farming, forestry, wildlife conservation and their combinations. Following the FAO studies (1976, 1993), geomorphological and morphoclimatic systems have been considered as landscape units for analysis. The methodology was adapted from the following studies: The Revised Universal Soil Loss Equation (Ouyang, 2002); an estimate of soil pH based on Landsat imagery (López-Granados *et al.*, 2005); a calculation of potential livestock carrying capacity (LCC) (Semarnat, 2003; Vergara and Ortiz-Espinoza, 2010); and a land use and vegetation cover analysis for forestry suitability and the potential distribution of two cat species (*Lynx rufus* and *Panthera onca*) (Chávez y Ceballos, 2006; Medellín-Legorreta and Bárcenas, 2009; Semarnat 2010; Semarnat-Conanp, 2010). Our analysis shows that 15.6% of the total area (152 km²) has optimal conditions for agriculture; 12.5% (122 km²) for livestock farming; 6.5% (64 km²) for conservational agricultural activities; 11% (108 km²) for conservational livestock production; 11.7% (114 km²) for conservational forestry activities; and 167 km² (17.1%) for conservation alone. Finally, 25.6% of the territory (250 km²) is suitable (but not optimal) for agriculture, conservational livestock activities and conservation. This methodology based on physical-geographical landscapes allows to identify vocational land-use patterns across the Río Grande drainage basin as a means to optimize the management of the various economic activities. The identification and evaluation of productive and conservation potentials in the various geomorphologic and morphoclimatic systems of the river basin were governed by two basic geographic principles: spatial analysis of physical and geographic constraints with a holistic approach, and the mapping of natural resources as inputs for territorial analysis and the development of optimal management strategies. Both principles allowed the establishment of sectorial planning under the magnifying glass of natural aptitude and optimum land use. The same exercise may be carried out to benefit other Oaxacan regions, as well as other regional and national projects.

Keywords: Natural landscapes, human occupation, suitability, conservation, Río Grande drainage basin, Oaxaca, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del uso optimizado de los paisajes físico-geográficos se enmarca dentro de los aportes conceptuales y metodológicos realizados por la FAO (1976, 1993) para definir el proceso analítico que permite la selección de las formas óptimas de uso de la tierra, considerando fundamentalmente su realidad biofísica (Velázquez-Montes *et al.,* 2002; Hernández-Santana *et al.,* 2006).

Para la evaluación de los potenciales naturales en una cuenca hidrográfica, como la del río Grande, Oaxaca, es imprescindible el conocimiento de las variables e indicadores básicos que caracterizan a cada uno de los componentes de su medio natural (constitución geológica, condiciones geomorfológicas, características climáticas, cobertura edáfica y fertilidad del suelo, tipos de vegetación, fauna, etc.) (Hernández-Santana *et al.*, 2006; Bollo *et al.*, 2010; Bocco *et al.,* 2010) y, a su vez, identificar los atributos que son clave para las actividades productivas y de conservación, como base para la definición de su aptitud natural.

Existen múltiples criterios para la evaluación de los potenciales naturales para diferentes actividades socio-productivas. Entre los autores cuyos trabajos se enfocan en la determinación de vocaciones naturales de uso del suelo se encuentran los siguientes. Bollo *et al.* (2010), para su estudio de la zona petrolera del norte del estado de Chiapas, toman en cuenta atributos e indicadores de factores naturales favorables a diversas actividades productivas y de

conservación del patrimonio natural. Valpreda (2005) considera el relieve, el suelo y la disponibilidad de agua entre los principales criterios para la determinación de las tierras idóneas para el cultivo de la vid, en Cuyo, Argentina. Ovalles y Núñez (1994) toman en consideración la variabilidad de los atributos del suelo para identificar capacidades de uso. Bocco *et al.* (2010) mencionan algunos criterios morfométricos para la actividad agropecuaria, según el Instituto Nacional de Ecología y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT). Travieso-Bello *et al.* (2013) emplean criterios morfométricos, edáficos y de humedecimiento en la evaluación de la compatibilidad del uso actual de suelo con su potencial natural para la actividad ganadera (bovina). Rodríguez-Gallego *et al.* (2012) utilizan el análisis de imágenes de satélite para la determinación de aptitudes de tierra para la agricultura, ganadería, actividad forestal, conservación y turismo en cuatro cuencas en la costa atlántica de Uruguay.

Para la evaluación de la aptitud natural de los usos agrícola, pecuario, forestal y de conservación del suelo en la cuenca del río Grande, estado de Oaxaca, México, si bien se adoptan algunos de los criterios mencionados, también se incluyen otros, e incluso algunos se modifican metodológicamente y evalúan de manera ponderada en los paisajes físico-geográficos, asumidos como unidades de análisis espacial. Se incluye la evaluación de la pérdida de suelo, por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE, por sus siglas en inglés) (Ouyang, 2002); una estimación del pH del suelo con base en imagen de satélite Landsat (López-Granados *et al.,* 2005) y el cálculo de la carga animal potencial (CA) (SEMARNAT, 2003; Vergara y Ortiz-Espinoza, 2010) para la aptitud natural agropecuaria; un análisis de coberturas de uso de suelo y de vegetación para la aptitud forestal y, para la actividad de conservación, el estudio de la distribución potencial de dos especies de felinos (*Lynx rufus* y *Panthera onca*), con base en su estado de conservación en el país, según la NOM-059-SEMARNAT-2001, la IUCN y CITES, (Chávez y Ceballos, 2006; Medellín-Legorreta y Bárcenas, 2009; SEMARNAT, 2010; SEMARNAT-CONANP, 2010).

En general, el principal aporte del trabajo se orienta hacia las potencialidades naturales de los paisajes físico-geográficos de la cuenca del río Grande para la planeación de las actividades agrícolas, pecuarias, forestales y de conservación, y como enfoque metodológico extensivo a otras regiones oaxaqueñas y nacionales. Los alcances del trabajo, aunque locales, descansan en la política de optimización de uso del suelo. Otros estudios organizados por las autoridades gubernamentales municipales deberán contemplar el análisis del grado de compatibilidad entre el uso actual del suelo de la cuenca y los resultados sobre la aptitud natural de los paisajes físico-geográficos, ofrecidos en este trabajo como aplicación directa para la optimización de uso.

ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza dentro de la vertiente norte de la cuenca del río Atoyac-B y, a su vez, dentro del colector principal de la subcuenca Sordo Peñoles, donde se seleccionó un área compuesta por ocho áreas urbanas: San Juan Yucuita, San Francisco Chindúa, Asunción de Nochixtlán, San Francisco Nuxaño, San Mateo Etlatongo, San Juan Diuxi, Magdalena Jaltepec y El Venado.

Las coordenadas extremas del área son 17°37'00" y 17°11'00", de latitud norte; y 97°26'00" y 97°09'00", de longitud oeste, y cubre una superficie de 977 km² (Figura 1). Esta cuenca es drenada por el río Grande, colector principal, que en su porción sur toma el nombre local de río Culebra. El nivel altitudinal mínimo de la cuenca es de 1 950 msnm, localizado en la parte sur, y el máximo de 3 140 msnm, hacia el oeste.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación de la aptitud natural en la cuenca del río Grande se clasificaron y emplearon los paisajes físico-geográficos (Verstappen y Van Zuidam, 1991; García-Romero y Muñoz-Jiménez, 2002; García-Romero *et al.,* 2005; Bocco *et al.*, 2009; González-Trueba, 2012) (Figura 2), y se seleccio-

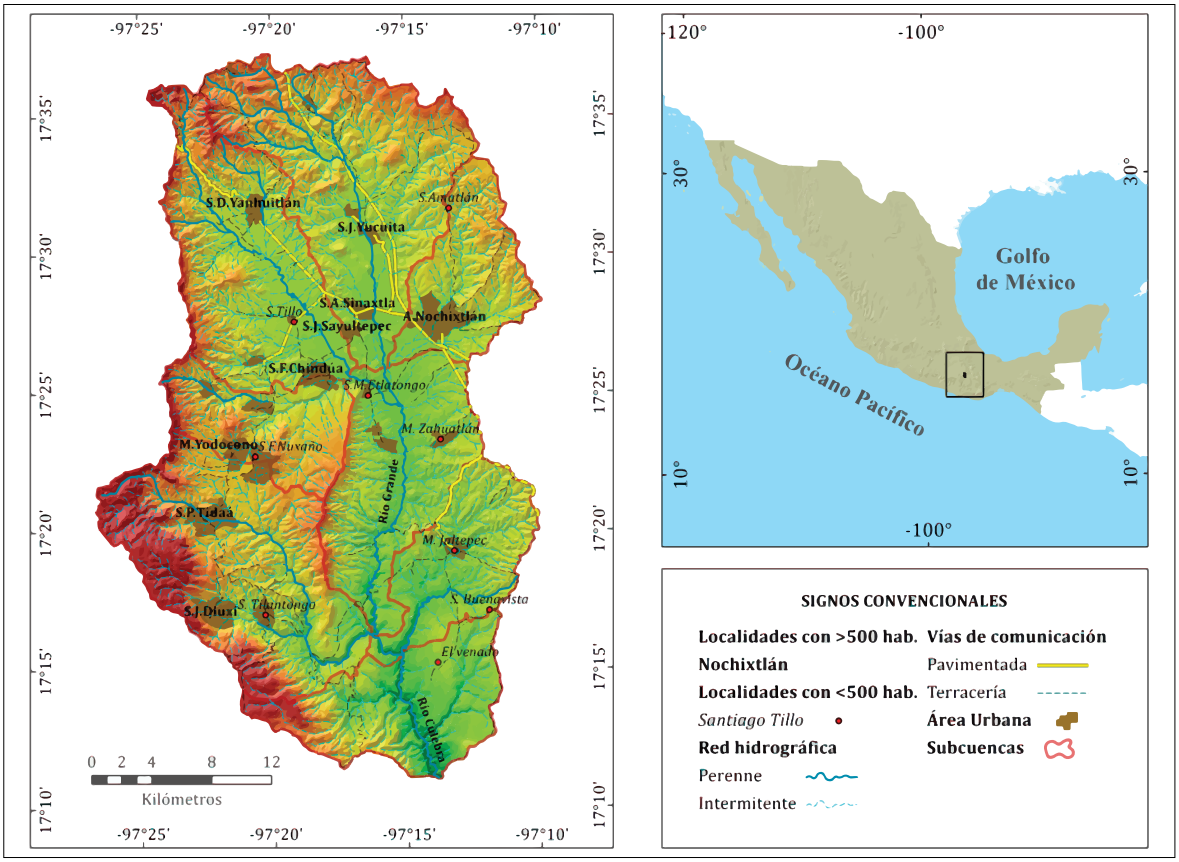


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

naron y evaluaron indicadores biofísicos básicos en cada uno de ellos para determinar el uso óptimo del suelo para las actividades agrícola, pecuario, forestal, de conservación y sus combinaciones.

Los mapas derivados se realizaron empleando cartografía vectorial del INEGI, a escala 1: 250 000; cartografía del Servicio Geológico Mexicano (SGM), a escala 1: 250 000; el Sistema de Integración Territorial (ITER, 2010); el conjunto topográfico vectorial, a escala 1: 50 000, cartas E14D25, E14D26, E14D35, E14D36, E14D45 y E14D46; y una imagen de satélite SPOT 5 (18-04-2010) principalmente. La edición de los mapas se realizó a una escala de 1:300 000 (Pablo, 2014).

Potencial natural agrícola (PA)

En relación con el potencial natural agrícola es necesario evaluar la fertilidad así como el ángulo de inclinación de las laderas, la susceptibilidad a procesos erosivos o bien cuantificar la tasa de erosión anual, el grado de pedregosidad en los primeros 30 cm del suelo (capa arable) y el pH (Gallegos, 1997; Zhang *et al.,* 2004; Bollo *et al.,* 2010).

La fertilidad del suelo (F) depende de la estructura, la textura del suelo y de su contenido de humus. Se evaluó según la Guía Edafológica del INEGI (2004) y WRB (2014). Se partió del principio de que a mayor fertilidad, mayores son las potencialidades de uso en la agricultura. ***El ángulo de inclinación de las laderas (I)*** refleja el potencial energético de las condiciones morfológicas y morfométricas del relieve para propiciar la intensidad de los procesos de su modelado exógeno, tanto del sustrato, del suelo, y de la cobertura vegetal y de uso de suelo. Para ello se relacionaron los ángulos de inclinación de las laderas y su influencia en la mecanización

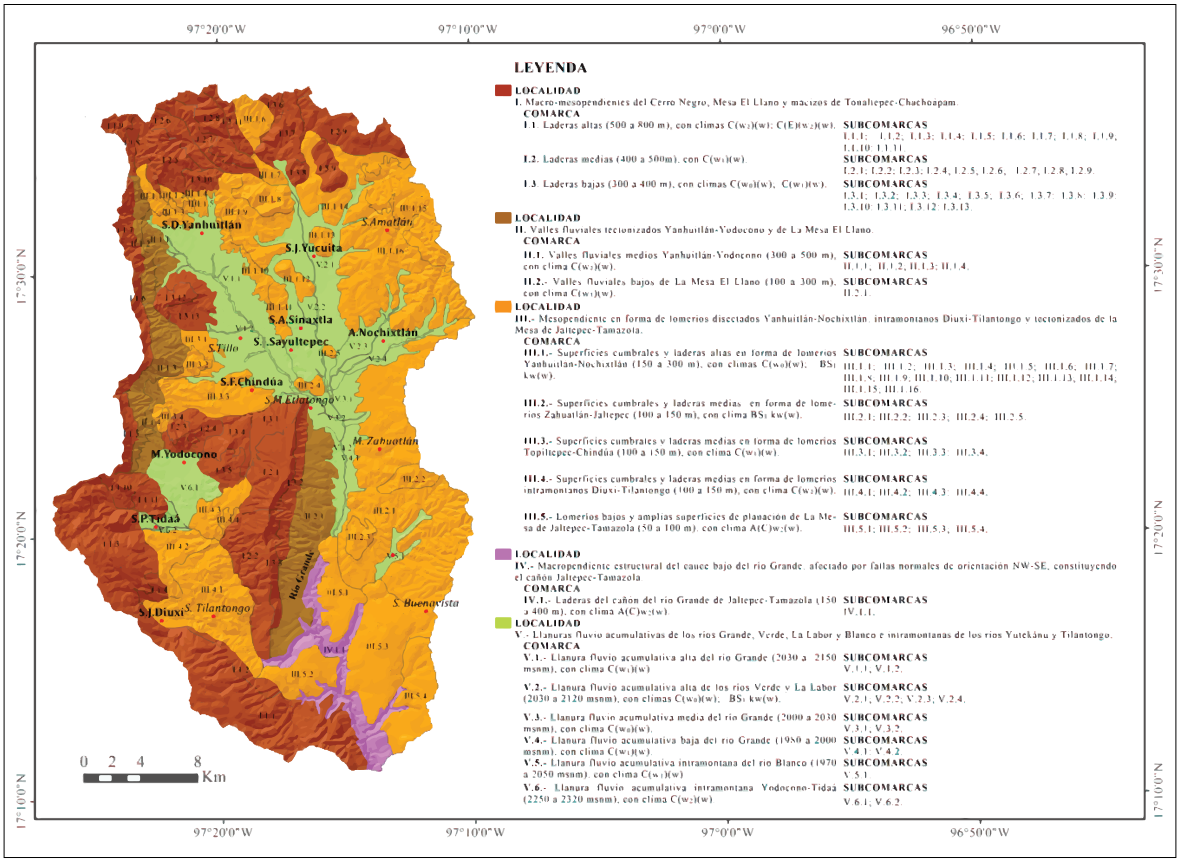


Figura 2. Paisajes físico-geográficos (localidades, comarcas y subcomarcas) de la cuenca hidrográfica de río Grande, Oaxaca.

agrícola (Kuyler, 1978, en Seco, 1998). ***El grado de pedregosidad del suelo (P)*** disminuye la posibilidad de su uso en la actividad agrícola (Gallegos, 1997). Este criterio se evaluó con base en la Guía Edafológica del INEGI (2004). Con respecto a ***la pérdida de suelo (PS)*** se partió del principio de que a mayor erosión, menor posibilidad de uso en la actividad agrícola. Para su evaluación se realizó un análisis de pérdidas anuales de suelo, empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) (Ouyang, 2002). Finalmente, para ***la acidez del suelo (A)*** se partió de la relación entre el pH y la disponibilidad potencial de nutrientes para los cultivos. Para su determinación, se tomaron muestras en los primeros 30 cm de suelo y, posteriormente, una estimación (Chen *et al.,* 2000; Varvel *et al.,* 2000; Bishop y McBratney, 2001; López-Granados *et al.*, 2005; Panagopoulos *et al.,* 2006) mediante la correlación entre el pH y el contenido de humedad, este último se obtuvo de la transformación *Tasseled Cap* en una imagen Landsat ETM (Chuvieco-Salinero, 2002). Cabe mencionar la ausencia de cuerpos de agua en la zona, así como errores por fenómenos atmosféricos en las imágenes de satélite, cuestiones relevantes en lo que se refiere a las estimaciones de este elemento.

De esta manera, la potencialidad para el uso agrícola del suelo (PA) se obtuvo mediante la expresión:

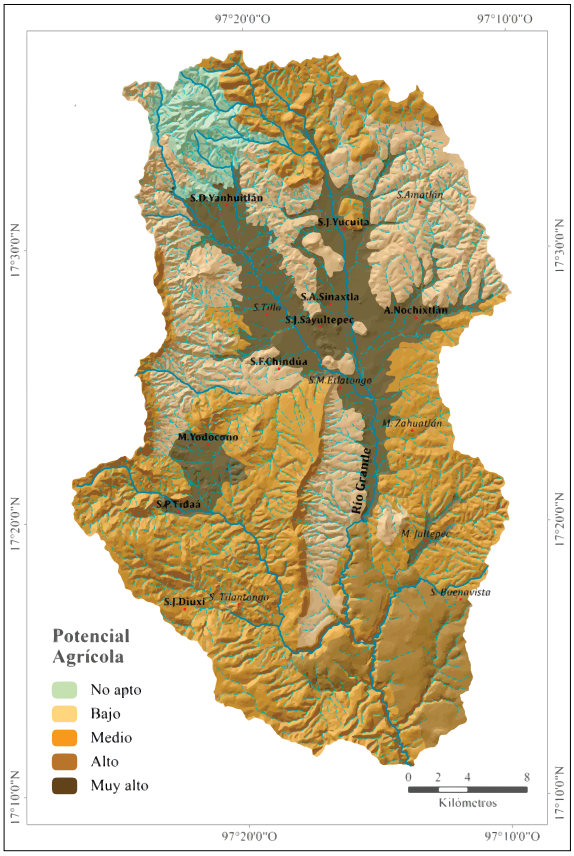
$$PA = F + I + P + PS + A$$

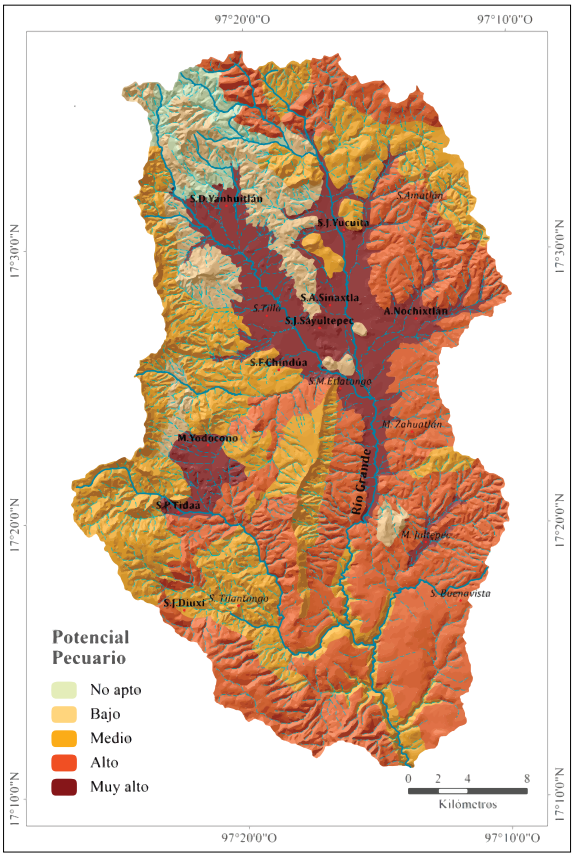
Las clases y resultados del potencial natural agrícola se muestran en la Tabla 1 y Figura 3.

Tabla 1. Variables y criterios adoptados para la evaluación de las potencialidades territoriales para la actividad agrícola.

Fertilidad del suelo (según INEGI, 2004; Bollo *et al.*, 2010; WRB, 2014)		
Clases	Tipo de suelo	Valor asignado
Alta	Vertisol	5
Alta a media	Vertisol y Fluvisol	4
Media	Feozem o Luvisol	3
Media a baja	Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2
Baja	Feozem y Litosol o Luvisol y Regosol	1
Baja a muy baja	Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0
Ángulo de inclinación de las laderas y la mecanización agrícola (según Kuyler, 1978, en Seco, 1998)		
Clases	Significado	Valor asignado
De 0° a 2°	Sin dificultades para la mecanización	4
De 2.1° a 6°	Existe dificultad para la mecanización	3
De 6.1° a 12°	Dificultad para la introducción de cosechadoras	2
De 12.1° a 18°	Restringe el uso de Tractores	1
Mayor a 18°	No es posible el uso de cualquier maquinaria	0
Grado de pedregosidad del suelo (INEGI, 2004; Bollo *et al.*, 2010; WRB, 2014)		
Clases	Tipo de suelo	Valor asignado
Muy baja a baja	Vertisoles	5
Baja	Vertisoles y Fluvisoles	4
Baja a media	Feozem o Luvisol	3
Media	Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2

Grado de pedregosidad del suelo (INEGI, 2004; Bollo *et al.*, 2010; WRB, 2014)		
Clases	Tipo de suelo	Valor asignado
Media a alta	Feozem y Litosol o Luvisol y Regosol	1
Alta	Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0
Pérdida de suelo (Según FAO-PNUMA-UNESCO, 1980; Ouyang, 2002)		
Clases	Ton/ha/año	Valor Asignado
Nula a ligera	Menor o igual a 10	3
Moderada	11 a 50	2
Alta	51 a 200	1
Muy alta	Mayor a 200	0
Acidez del suelo (Según USDA, 1971)		
Clases	pH	Valor asignado
Muy fuertemente ácido	Menor o igual que 5	0
Fuertemente ácido	De 5.1 a 5.5	1
Medianamente ácido	De 5.6 a 6.0	2
Ligeramente ácido	De 6.1 a 6.5	3
Neutro	De 6.6 a 7.3	3
Medianamente básico	De 7.4 a 7.8	2
Básico	Mayor o igual que 7.9	0





Figuras 3 y 4. Potencial natural agrícola y pecuario de la cuenca.

LOCALIDAD:
I. Macro-mesopendientes del Cerro-Negro, Mesa El Llano y macizos de Tonaltepec-Chachoápam.

COMARCA:
I.1. Laderas altas (500 a 800 m), con climas C(w_2)(w) y C(E)(w_2)(w)
SUBCOMARCAS:
I.1.1. Cimas y pendientes de las montañas altas (Monte Negro) de Santiago Tilantongo, con bosque de encino, mixto (pino-encino) y chaparral; I.1.2. Pendientes de las montañas altas (Monte Negro) de Santiago Tilantongo, con bosque de chaparral, suelo desnudo y prácticas agropecuarias; I.1.3. Cimas y pendientes de las montañas altas (Cerro Negro) de San Pedro Tidaá y San Juan Diuxi, con bosque de encino y mixto (pino-encino); I.1.4. Pendientes de las montañas altas de San Juan Diuxi y Santiago Tilantongo, sumamente perturbadas (formación de cárcavas y abarrancamientos) con remanentes de chaparral y pastizal inducido; I.1.5. Cimas y pendientes de las montañas altas de Magdalena Yodocono y Santiago Nejapilla, con bosque de encino y mixto (pino-encino); I.1.6. Cimas y pendientes de las montañas altas de Santiago Nejapilla, San Pedro Topiltepec y Santo Domingo Yanhuitlán, con bosque de chaparral y mixto (pino-encino); I.1.7. Cimas y pendientes de las montañas altas de San Bartolo Soyaltepec y Santo Domingo Yanhuitlán, con bosque de chaparral; I.1.8. Pendientes de las montañas altas de San Juan Teposcolula, con actividades agropecuarias y suelo desnudo; I.1.9. Cumbres de las montañas altas de San Juan Teposcolula en forma de valles, con bosque de chaparral; I.1.10. Cimas y pendientes de las montañas altas de Magdalena Yodocono y San Pedro Tidaá, con bosque de encino y mixto (pino-encino);

I.1.11. Cimas y pendientes premontañosas en forma de lomeríos de San Pedro Tidaá y Magdalena Yodocono, con chaparral y prácticas agropecuarias.

COMARCA:
I.2. Laderas medias (400 a 500 m), con clima $C(w_1)(w)$
SUBCOMARCAS:
I.2.1. Cimas y pendientes de las montañas medias (Mesa El Llano) de San Miguel Tecomatlán, con bosque de chaparral; I.2.2. Cimas y pendientes de las montañas medias (Mesa El Llano) de Santiago Tilantongo, con pastizal y suelos desnudos; I.2.3. Cimas y pendientes orientales de las montañas medias (Cerro Tlatayápam) de Santo Domingo Tlatayápam, con bosque de chaparral; I.2.4. Pendientes de las montañas medias (Cerro Tlatayápam) de Santo Domingo Tlatayápam, con pastizal y actividades agropecuarias; I.2.5. Cimas y pendientes de las montañas medias de Yanhuitlán-Soyaltepec-Tonaltepec-Teposcolula, con bosque de chaparral y mixto (pino-encino); I.2.6. Arco erosivo en pie de laderas de montañas medias de Yanhuitlán-Soyaltepec-Tonaltepec-Teposcolula, con suelo desnudo, manchones de pastizal inducido y actividades agropecuarias; I.2.7. Pendientes de las montañas medias en forma de rampas y lomeríos de Yanhuitlán-Soyaltepec-Tonaltepec, con suelo desnudo y pastizales; I.2.8. Superficies cumbrales de las montañas medias en forma de lomas de Soyaltepec-Tonaltepec, con pastizal y prácticas agropecuarias en forma de terrazas; I.2.9. Cimas y pendientes de las montañas medias en forma de lomas de Soyaltepec-Chachoápam, con chaparral.

COMARCA:
I.3. Laderas bajas (300 a 400 m), con climas $C(w_0)(w)$ y $C(w_1)(w)$
SUBCOMARCAS:
I.3.1. Rampa de ladera baja y valles de La Mesa El Llano de San Francisco Chindúa-San Mateo Etlatongo, con bosque de chaparral; I.3.2. Laderas bajas del flanco oriental de la Mesa El Llano de San Francisco Jaltepetongo-San Miguel Tecomatlán-San Mateo Etlatongo, con pastizal y suelo desnudo; I.3.3. Laderas bajas del flanco oriental de la Mesa El Llano de Magdalena Jaltepec-San Francisco Jaltepetongo, con chaparral; I.3.4. Cimas y pendientes de las montañas bajas de Santo Domingo Tlatayápam, con bosque de chaparral y pastizal; I.3.5. Cimas y pendientes de las montañas bajas de San Francisco Nuxaño, con pastizal y actividades agropecuarias; I.3.6. Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de San Bartolo Soyaltepec, con bosque de chaparral, matorral y pastizal; I.3.7. Superficies cumbrales de las montañas bajas en forma de lomeríos de San Bartolo Soyaltepec-Santa María Chachoápam, con pastizal, suelos desnudos y actividades agropecuarias; I.3.8. Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santa María Chachoápam, con matorral y chaparral; I.3.9. Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santa María Chachoápam, con chaparral; I.3.10. Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santo Domingo Yanhuitlán, con bosque de chaparral; I.3.11. Cimas y pendientes de las montañas bajas en forma de lomeríos de Santo Domingo Tonaltepec-San Bartolo Soyaltepec, con pastizal; I.3.12. Laderas y superficies cumbrales de las montañas bajas (Cerro El Jazmín), de Santo Domingo Yanhuitlán-San Pedro Topiltepec, con bosque de chaparral y matorral; I.3.13. Pendientes de las montañas bajas (Cerro El Jazmín), en forma de lomeríos de Santo Domingo Yanhuitlán-San Pedro Topiltepec, con actividades agrícolas y suelo desnudo.

LOCALIDAD:
II. Valles fluviales tectonizados Yanhuitlán-Yodocono y de la Mesa El Llano

COMARCA:
II.1. Valles fluviales medios Yanhuitlán-Yodocono (300 a 500 m), con clima $C(w_2)(w)$.
SUBCOMARCAS:
II.1.1. Valles erosivos medios de San Bartolo Soyaltepec, en forma de piedemonte, asimétricos, marginales a la llanura fluvial del río Grande, con suelo desnudo y pastizal; II.1.2. Valles fluviales medios a altos de Santo Domingo Yanhuitlán-San Bartolo Soyaltepec, asimétricos, con chaparral; II.1.3. Valles fluviales medios a altos de San Pedro Topiltepec-Santiago Nejapilla-Magdalena Yodocono, con bosque mixto (pino-encino) y chaparral; II.1.4. Valles erosivos medios de Santiago Nejapilla-Magdalena Yodocono, con actividad agrícola y suelo desnudo.

COMARCA:
II.2. Valles fluviales bajos de la Mesa El Llano (100 a 300 m), con clima $C(w_1)(w)$.
SUBCOMARCA:
II.2. 1. Valles erosivos bajos Tecomatlán-Jaltepec marginales a la llanura fluvio-acumulativa baja del río Grande, con pastizal y suelo desnudo.

LOCALIDAD:
III. Mesopendiente en forma de lomeríos disectados Yanhuitlán-Nochixtlán, intramontanos Diuxi-Tilantongo y tectonizados de la Mesa Jaltepec-Tamazola

COMARCA:
III.1. Superficies cumbrales y laderas altas en forma de lomeríos Yanhuitlán-Nochixtlán (150 a 300 m), con climas $C(w_0)(w)$ y $BS_1kw(w)$.
SUBCOMARCAS:
III.1.1. Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuitlán, con chaparral y suelo desnudo; III.1.2. Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuitlán, con chaparral y matorral; III.1.3. Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuitlán, con suelo desnudo; III.1.4. Pendientes de lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuitlán, con suelo desnudo y matorral; III.1.5. Lomeríos altos de Santo Domingo Yanhuitlán, con suelo desnudo; III.1.6. Lomeríos altos elongados, de San Bartolo Soyaltepec, con suelo desnudo y actividades agropecuarias; III.1.7. Lomeríos altos Soyaltepec-Chachoápam en forma de terrazas, con agricultura; III.1.8. Lomeríos altos Yanhuitlán-Chachoápam, con matorral y pastizal; III.1.9. Lomeríos altos Yanhuitlán-Chachoápam, con matorral y agricultura; III.1.10. Lomeríos altos Yanhuitlán-Sinaxtla-Tillo, con suelo desnudo y matorral; III.1.11. Lomeríos altos Tillo-Sinaxtla, con matorral, pastizal y actividades agropecuarias; III.1.12. Lomeríos altos Yanhuitlán-Yucuita, con pastizal y matorral; III.1.13. Lomeríos altos de San Juan Yucuita, con matorral y pastizal; III.1.14. Lomeríos medios a altos Yucuita-Chachoápam, con pastizal y actividad agrícola; III.1.15. Lomeríos altos de Asunción Nochixtlán sumamente disectados, con bosque de chaparral; III.1.16. Lomeríos altos de Asunción Nochixtlán sumamente disectados, con matorral, pastizal y suelo desnudo.

COMARCA:
III.2. Superficies cumbrales y laderas medias en forma de lomeríos Zahuatlán-Jaltepec (100 a 150 m) con clima $BS_1kw(w)$.
SUBCOMARCAS:
III.2.1. Lomeríos medios Zahuatlán-Jaltepec con suelo desnudo y actividad agrícola; III.2.2. Lomeríos medios Zahuatlán-Jaltepec con chaparral y matorral; III.2.3. Lomeríos medios Zahuatlán-Jaltepec con matorral; III.2.4. Lomeríos medios aislados de San Mateo Etlatongo, con pastizal y actividades agrícolas; III.2.5. Lomeríos medios aislados de San Juan Sayultepec, con pastizal y suelo desnudo.

COMARCA:
III.3. Superficies cumbrales y laderas medias en forma de lomeríos Topiltepec-Chindúa (100 a 150 m), con clima $C(w_1)(w)$.
SUBCOMARCAS:
III.3.1. Lomeríos medios de San Pedro Topiltepec en forma de terrazas, con actividades agrícolas y suelo desnudo; III.3.2. Lomeríos medios de San Pedro Topiltepec, con chaparral y pastizal; III.3.3. Lomeríos medios Nejapilla-Topiltepec-Chindúa, con actividades agrícolas, suelo desnudo y pastizal; III.3.4. Lomeríos medios Nejapilla-Yodocono, con chaparral y bosque mixto (pino-encino).

COMARCA.
III.4. Superficies cumbrales y laderas medias en forma de lomeríos intramontanos Diuxi-Tilantongo (100 a 150 m), con clima $C(w_2)(w)$.
SUBCOMARCAS:
III.4.1. Lomeríos medios disectados Diuxi-Tilantongo, con sistema agrícola en terrazas, actividad pecuaria y suelo desnudo; III.4.2. Lomeríos medios San Pedro Tidaá, con bosque de chaparral fragmentado, actividad agropecuaria y suelo desnudo; III.4.3. Lomeríos medios San Francisco Nuxaño, con bosque de chaparral; III.4.4. Lomeríos medios San Francisco Nuxaño, con pastizal y suelo desnudo.

COMARCA:
III.5. Lomeríos bajos y amplias superficies de planación de la Mesa de Jaltepec-Tamazola (50 a 100 m), $A(C)w_2(w)$.

SUBCOMARCAS:
III.5.1. Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de Magdalena Jaltepec, con actividad agropecuaria y pastizal; III.5.2. Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de Magdalena Jaltepec, con actividad agropecuaria, pastizal y chaparral; III.5.3. Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de Magdalena Jaltepec, con actividad agropecuaria y pastizal; III.5.4. Lomeríos bajos, amplias superficies de planación tectonizadas de San Juan Tamazola, con actividad agropecuaria y chaparral.

LOCALIDAD:
IV.1. Macropendiente estructural del cauce bajo del río Grande (afectado por fallas normales de orientación NE-SW), constituyendo el cañón Jaltepec-Tamazola.

COMARCA:
IV.1. Laderas del cañón de río Grande de Jaltepec-Tamazola (150 a 400 m), con clima $A(C)w_2(w)$.
SUBCOMARCAS:
IV.1.1. Laderas del cañón del río Grande de Jaltepec-Tamazola, con selva baja caducifolia, chaparral, matorral y pastizal.

LOCALIDAD:
V. Llanuras fluvio-acumulativas de los ríos Grande, Verde, La Labor y Blanco e intramontanas de los ríos Yutekánu y Tilantongo.

COMARCA:
V.1. Llanura fluvio-acumulativa alta del río Grande (2 030 a 2 150 msnm), con clima $C(w_1)(w)$.
SUBCOMARCAS:
V.1.1. Llanura fluvio-acumulativa alta del río Grande, con actividad agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria; V.1.2. Cauce alto de la corriente principal del río Grande con vegetación de galería.

COMARCA:
V.2. Llanura fluvio-acumulativa alta de los ríos Verde y La Labor (2 030 a 2 120 msnm), con climas $C(w_0)(w)$ y $BS_1kw(w)$.
SUBCOMARCAS:
V.2.1. Llanura fluvio-acumulativa alta del río Verde, con actividad agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria; V.2.2. Cauce alto de la corriente principal del río Verde, con vegetación de galería; V.2.3. Llanuras fluvio-acumulativas altas de los ríos La Labor y La Cuesta, con actividad de servicios, agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria; V.2.4. Cauce alto de la corriente principal de los ríos La Labor y La Cuesta con vegetación de galería.

COMARCA:
V.3. Llanura fluvio-acumulativa media del río Grande (2 000 a 2 030 msnm), con clima $C(w_0)(w)$.
SUBCOMARCAS:
V.3.1. Llanura fluvio-acumulativa media del río Grande, con actividad agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria; V.3.2. Cauces medios de la corriente principal del río Grande y los ríos Verde y La Labor, con vegetación de galería.
COMARCA:
V.4. Llanura fluvio-acumulativa baja del río Grande (1 980 a 2 000 msnm), con clima $C(w_1)(w)$.
SUBCOMARCAS:
V.4.1. Llanura fluvio-acumulativa baja del río Grande, con pastizal y suelo desnudo; V.4.2. Cauces bajos de la corriente principal del río Grande, con vegetación arbustiva de galería.

COMARCA:
V.5. Llanura fluvio-acumulativa intramontana del río Blanco (1 970 a 2 050 msnm), con clima $C(w_1)(w)$.
SUBCOMARCAS:
V.5.1. Llanura fluvio-acumulativa intramontana del río Blanco con pastizal, actividad agropecuaria y suelo desnudo.

COMARCA:
V.6. Llanura fluvio-acumulativa intramontana Yodocono-Tidaá (2 250 a 2 320 msnm), con clima $C(w_2)(w)$.
SUBCOMARCAS:
V.6.1. Llanura fluvio-acumulativa intramontana de los ríos Yutekánu y Enchoné con actividad agrícola de riego y temporal, así como actividad pecuaria; V.6.2.

Sistema de cauces de los ríos Yutekánu y Enchoné, con vegetación arbórea de galería.

Potencial natural pecuario (PP)

En relación con el potencial natural pecuario, que contempla al ganado bovino, se evaluaron las variables siguientes: la fertilidad del suelo, el ángulo de inclinación de las laderas, la disección vertical, la pedregosidad (Bollo *et al.*, 2010), la erodabilidad o bien cuantificar la tasa de erosión y la carga animal potencial (CA).

La ***fertilidad del suelo (F)*** se evaluó considerando las características de los suelos en la Guía Edafológica del INEGI (2004) y WRB (2014). El ***ángulo de inclinación de las laderas (I):*** los valores elevados en este indicador hacen referencia a condiciones que facilitan la erosión del suelo y dificultan el pastoreo. A menor pendiente habrá mejores potencialidades para la actividad pecuaria. Su evaluación partió de los datos del análisis morfométrico del relieve. La ***disección vertical del relieve (DR)*** constituye la profundidad de corte de las corrientes fluviales por unidad de área, en este caso de 1 km². A mayor profundidad de disección del relieve, menor posibilidad de instrumentar todo tipo de ganadería. El ***grado de pedregosidad del suelo (P):*** a mayor pedregosidad superficial, menor calidad del suelo para la actividad pecuaria. La ***pérdida de suelo (PS)***: al igual que para la evaluación del potencial agrícola, se estimaron las tasas de erosión mediante un análisis de pérdidas anuales de suelo, empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). Y la ***carga animal potencial (CA):*** se utilizó la relación entre consumo de unidad animal (UA) (ton/año) por superficie, derivada del Coeficiente de Agostadero Ponderado (SEMARNAT, 2003; Vergara y Ortiz-Espinoza, 2010). Para el cálculo se determinó la superficie total de pastizales naturales e inducidos por unidad de paisaje físico-geográfico, empleando una clasificación supervisada y multiplicarla por la UA/ha obtenida.

De esta manera, la potencialidad para el uso pecuario del suelo (PP) se obtuvo mediante la expresión:

$$PP = F + I + DR + P + PS + CA$$

Las clases y resultados se muestran en la Tabla 2 y en la Figura 4.

Potencial natural para la actividad forestal (PF)

Según Bollo *et al.* (2010), el potencial forestal depende de la calidad de la madera existente y de su cantidad. La primera se puede clasificar con base en su tasa de crecimiento, su composición, su estructura, su dureza, su resistencia, entre los

Tabla 2. Variables y criterios adoptados para la evaluación de las potencialidades territoriales para la actividad pecuaria.

Fertilidad del suelo (Según Bollo *et al.*, 2010; WRB, 2014)		
Clases	Tipo de suelo	Valor asignado
Alta	Vertisol	5
Alta a media	Vertisol y Fluvisol	4
Media	Feozem o Luvisol	3
Media a baja	Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2
Baja	Feozem y Litosol o Luvisol y Regosol	1
Baja a muy baja	Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0

Ángulo de inclinación de las laderas		
Clases	Significado	Valor asignado
De 0° a 6.0°	Permite pastoreo intensivo	3
De 6.1° a 18.0°	No existen dificultades para el pastoreo extensivo	2
De 18.1° a 30.0°	El pastoreo extensivo está limitado a determinado número de animales	1
Mayor de 30.0°	El pastoreo extensivo provoca deterioro de los suelos por erosión (Bollo *et al.,* 2010)	0

Tabla 2. Continúa.

Disección vertical del relieve (m/km^2)		
Clases	Significado	Valor asignado
De 0 a 20.0	Permite pastoreo intensivo	4
De 20.1 a 50.0	No existen dificultades para el pastoreo extensivo	3
De 50.1 a 100.0	El pastoreo extensivo está limitado por el acceso al agua y los procesos erosivos	2
De 100.1 a 200.0	El pastoreo extensivo está limitado a muy pocos animales	1
Disección vertical del relieve (m/km^2)		
Clases	Significado	Valor asignado
Mayor de 200.0	No es posible el pastoreo más que en las superficies cumbrales del relieve (Bollo *et al.,* 2010)	0
Pérdida de suelo (Según FAO-PNUMA-UNESCO, 1980; Ouyang, 2002)		
Clases	Ton/ha/año	Valor asignado
Nula a ligera	Menor o igual a 10	3
Moderada	11 a 50	2
Alta	51 a 200	1
Muy alta	Mayor a 200	0

Grado de pedregosidad del suelo (Según INEGI, 2004; Bollo *et al.*, 2010; WRB, 2014)		
Clases	Tipo de suelo	Valor asignado
Muy baja a baja	Vertisoles	5
Baja	Vertisoles y Fluvisoles	4
Baja a media	Feozem o Luvisol	3
Media	Feozem y Rendzina o Luvisol y Rendzina	2
Media a alta	Feozem y Litosol o Luvisol y Regosol	1
Alta	Rendzina y Litosol o Rendzina y Regosol	0
Carga Animal (CA) (Según SEMARNAT, 2003; Vergara y Ortiz-Espinoza, 2010)		
Clases	Significado	Valor asignado
De 1 a 10	No Apto	0
De 11 a 50	Bajo	1
De 51 a 100	Medio	2
De 101 a 200	Alto	3
Mayor a 200	Muy alto	4

principales criterios. Según Camacho (1988), en general, estas se pueden dividir en maderas duras y blandas. De esta manera, atendiendo a la calidad, se reclasificaron los datos del mapa de uso del suelo y vegetación, derivado de la imagen de satélite SPOT 5, bajo un criterio de aprovechamiento forestal.

La cantidad se calculó en función de la extensión de la cobertura vegetal.

El tipo de vegetación (TV): se partió de que el mejor potencial lo adquieren aquellos paisajes donde existen árboles de madera dura y blanda (principalmente en comunidades de bosques de encino-pino y pino-encino) y ***cobertura vegetal (CV)***: el mejor potencial lo presentan aquellos paisajes donde el grado de cobertura vegetal de especies maderables es mayor (cobertura cerrada: mayor al 80%).

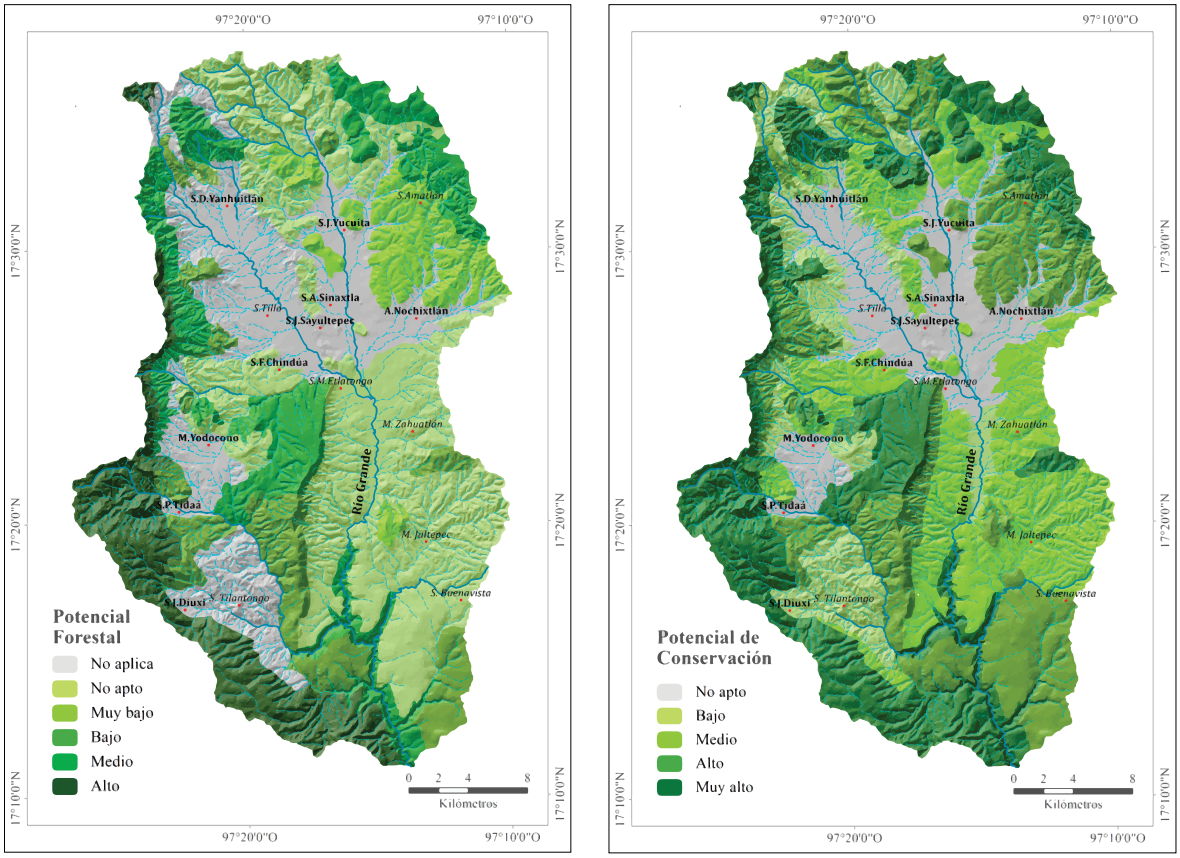
De esta manera, el potencial para la actividad forestal (PF), se obtuvo mediante la expresión:

$$PF = TV + CV$$

Los criterios y resultados se muestran en la Tabla 3 y en la Figura 5.

Tabla 3. Variables y criterios adoptados para la evaluación de las potencialidades territoriales para la actividad forestal.

Potencial natural para la actividad forestal (según Camacho, 1988; Ortiz, *et al.*, 2006)		
Clases	Significado	Valor asignado
Alta	Aquella unidad donde existen árboles cuya madera puede extraerse de manera intensiva (comunidades de bosques de encino-pino y pino-encino, de cobertura cerrada).	4
Media	Aquella unidad que puede utilizarse de manera intensiva, pero parcialmente en la carpintería, además de la extracción de leña (comunidades de bosque de chaparral, pino y selva); de cobertura semicerrada a semiabierta.	3
Baja	Aquella unidad que puede utilizarse de manera extensiva en bajas cantidades para la carpintería (comunidades de chaparral de cobertura abierta y bosques fragmentados).	2
Muy baja	Cuando la biomasa puede ser utilizada únicamente como leña (comunidades de matorral).	1
Nula	Cuando en la unidad predomina el estrato herbáceo.	0



Figuras 5 y 6. Potencial natural para la actividad forestal y de conservación.

Potencial natural para la actividad de conservación (PC)

La potencialidad de conservación se encuentra en aquellos paisajes físico-geográficos que por sus valores de geo-biodiversidad, exclusividad, singularidad, rareza, etc., se consideran como zonas de elevado significado del patrimonio natural (Bollo *et al.*, 2010). Para evaluar el potencial de conservación es necesario determinar la calidad biológica de los territorios para la conservación y su cantidad (grado de perturbación).

Valor biológico (VB). Se realizaron dos análisis en los que se determinó la probabilidad de distribución geográfica del jaguar (*Panthera onca)* y el lince (*Lynx rufus)* para la cuenca (Chávez y Ceballos, 2006; Medellín-Legorreta y Bárcenas, 2009; Briones-Salas *et al.,* 2012; Monroy y Briones-Salas, 2012), partiendo del principio de que la biología de estas dos especies reúne las características morfofisiológicas, conductuales y territoriales, para desarrollar y preservar sus poblaciones sobre grandes extensiones del terreno. De esta manera, al generar acciones para la protección de sus poblaciones, se asegura también a las especies que se encuentren por debajo de su nivel trófico en el ecosistema (Isasi-Catalá, 2011).

Para su determinación se realizó una reclasificación de los rangos de probabilidades de los dos mapas: de 0.0 a 0.30 (0 puntos), de 0.31 a 0.50 (1 punto), de 0.51 a 0.80 (2 puntos) y mayor de 0.81 (3 puntos). De esta manera, se le asignó un valor a cada una de las probabilidades para su posterior sobreposición. Una vez reclasificado cada mapa se combinaron las capas de las dos especies (lince y jaguar) para dar origen a una matriz de dos dimensiones.

De la sobreposición de nichos se tomó el mayor valor al reclasificar, además de considerar algunas variables que pudiesen modificar el patrón de distribución de las especies, tales como la densidad de carreteras pavimentadas y la carencia de cobertura vegetal, debido a la erosión, mismas que merman las interconexiones entre posibles reservorios de biodiversidad.

Perturbación del paisaje (PP). Una de las premisas para la existencia de valores de biodiversidad (riqueza y abundancia de especies) en cada unidad de paisaje físico-geográfico es la presencia de grandes extensiones de cobertura vegetal natural y con poca degradación de sus ecosistemas. La perturbación del paisaje se entiende como el grado de modificación, tanto cualitativa como cuantitativa, de las condiciones naturales (suelos y vegetación) por cualquier actividad humana. Para determinar el nivel de perturbación se empleó un mapa de uso del suelo y vegetación, elaborado por clasificación supervisada y agrupando en una sola las categorías de agricultura de riego-temporal, infraestructura urbano-rural y los suelos desnudos. Posteriormente, se calcularon la superficie y el porcentaje de perturbación por paisaje, obteniéndose cuatro clases: 1. Baja, de 0 a 20%; 2. Media, de 20 a 40%; 3. Alta, de 40 a 60%; y 4. Muy alta, mayor que 60%.

Finalmente, las expresiones cartográficas sobre el valor de la biodiversidad y el porcentaje de perturbación del paisaje fueron correlacionados para obtener el mapa de aptitud para actividad de conservación. De esta manera, el potencial para la actividad de conservación (PC) se obtuvo mediante la expresión:

$$PC = VB + PP$$

Los resultados se muestran en la Figura 6.

Aptitud natural óptima del territorio

Para cada uno de los paisajes se estimaron las potencialidades naturales para los desarrollos agrícola, pecuario, forestal y de conservación y, finalmente, se realizaron las sumatorias de dichos potenciales, con la finalidad de obtener el uso potencial óptimo del territorio (Figura 7), sobreponiendo espacial y matricialmente la información.

La valoración descansó en el principio del mayor potencial; sin embargo, se adoptaron criterios para los casos coincidentes, tales como: a) en los valores de potenciales para los usos agrícola y pecuario se priorizó el primero, por presentar el menor impacto sobre el suelo; b) la coincidencia de potenciales para los usos agrícola o pecuario y la actividad de conservación privilegió a este último, debido al grado de deterioro ambiental en la cuenca; c) a potenciales iguales para las actividades

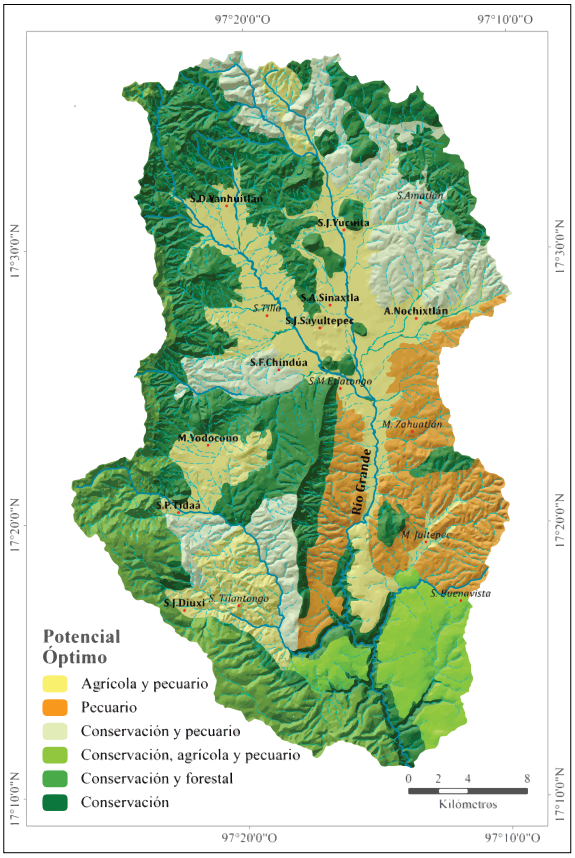


Figura 7. Potencial natural óptimo.

forestal y de conservación se seleccionó la última; d) en el caso de las planicies, terrazas y cauces de los ríos Grande, Verde, La Labor, La Cuesta, Yutekánu y Enchoné, pese a su elevado potencial para uso agropecuario, se determinó clasificarlas en la actividad de conservación por el elevado riesgo para la actividad agrícola durante el período lluvioso y la presencia de procesos de ladera, así como por la riqueza de flora y fauna, asociada con la vegetación de galería.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las aptitudes naturales de los paisajes físico-geográficos para las actividades productivas y de conservación reportaron cierta correspondencia con las categorías geomorfológicas de montañas, lomeríos, llanuras y sus parámetros morfométricos, aspectos que expresan las condiciones de los factores estructurales dentro del paisaje físico-geográfico, de connotación más amplia y sintética, y constituyen junto con las peculiaridades geológicas, el factor rector del comportamiento y distribución de los restantes factores naturales, todos más dinámicos y sujetos a cambios más notables.

En este sentido, la metodología aplicada arrojó que un 14% de la superficie de la cuenca hidrográfica posee una fertilidad del suelo entre media a alta, correspondiendo principalmente a unidades de suelo Vertisol. Las pendientes menores a 2° ocupan 11.7% y no presentan obstáculo alguno para la mecanización agrícola, mientras que el menor grado de pedregosidad se presentó en los Vertisoles de las llanuras fluviales e intramontanas, que ocupan 14% de la superficie.

La pérdida de nula a ligera por erosión del suelo ocupa 61% de la cuenca, mientras que el pH con las mejores condiciones entre 6.1 y 7.3, alcanzó su 41.8%. Estas condiciones de la oferta natural determinaron diferentes potenciales para el desarrollo de la actividad agrícola, representados en la Figura 3.

La evaluación del potencial natural para el desarrollo pecuario también reporta correspondencia con el potencial agrícola, en cuanto a la fertilidad del suelo, concentrándose en 14% de la superficie de la cuenca, que se corresponde con los Vertisoles. La inclinación de las laderas menores a 6°, que abarcan 37.2% del terreno, constituyen el mejor escenario para la ganadería y muestran un alto potencial para dicho uso de suelo.

Por otra parte, los menores rangos de energía del relieve (0 a 100 m), favorables para el fomento pecuario, se presentaron en 10% de la superficie, mientras que las condiciones que van de nula a ligera pérdida de suelo ocuparon 61%. Finalmente, las mejores condiciones para soportar algún tipo de carga animal se concentraron en 33% de la cuenca, lo que determinó la propuesta de la distribución del desarrollo pecuario (Figura 4).

Las mejores cualidades para la actividad forestal (Figura 5) se concentraron en el 30% de la cuenca, que corresponde a los bosques de chaparral de cobertura abierta, los bosques de chaparral y selva

baja caducifolia de cobertura semiabierta a semicerrada y los bosques de encino y bosque mixto de cobertura cerrada.

En el caso de la aptitud de conservación, un valor biológico alto se concentró en 4% de la cuenca, que se corresponde con las laderas altas y con las superficies cumbrales del Cerro Negro, mientras que el menor grado de perturbación del paisaje se distribuyó en 29% de la superficie total (Figura 6).

El análisis espacial de los cuatro escenarios de potenciales naturales permitió realizar la valoración de la aptitud natural óptima de uso, siempre privilegiando el criterio del menor impacto ambiental hacia los recursos naturales. La mayoría de los paisajes físico-geográficos presentaron elevados potenciales, mientras que en otras zonas su evaluación sólo alcanzó potenciales bajos y medios (Pablo, 2014). En estos últimos se debe replantear el modelo de uso para optimizar su oferta natural.

Las mejores condiciones para la práctica de actividades agropecuarias existen en 152 km² (15.6% de la superficie de la cuenca), que se corresponden con el sistema de llanuras fluviales acumulativas alta, media y baja, del cauce principal de la cuenca del río Grande y de los ríos Verde, La Labor, La Cuesta y las llanuras intramontanas de los ríos Blanco, Yutekánu y Enchoné.

En cambio las condiciones para la práctica pecuaria con un alto potencial se presentan en 122 km² (12.5% de la superficie), en los valles fluviales bajos del flanco oriental de la Mesa El Llano y las superficies cumbrales de Zahuatlán-Jaltepec, que albergan pastizales naturales e inducidos.

El 6.5% de la superficie total (64 km²) agrupa los mejores potenciales para el desarrollo de actividades de conservación, conjugadas con agropecuarias, localizadas en los sistemas de los lomeríos bajos y de las amplias superficies de planación de la Mesa de Jaltepec-Tamazola.

Las actividades de conservación en combinación con las pecuarias ocupan 108 km² (11% de la superficie), distribuidas en las cimas y pendientes de las montañas medias de la Mesa El Llano y de Soyaltepec-Tonaltepec, en los lomeríos medios de San Pedro Tidaá y los lomeríos altos de Asunción Nochixtlán, en los bordes de la llanura fluvial de los ríos Verde y La Labor.

El uso óptimo para la conservación y el uso forestal se localiza en 114 km² (11.7% de la cuenca), representados por las montañas altas de Teposcolula, que albergan comunidades de encino y bosque mixto. Sin embargo, debe restringirse a la conservación debido a la erosión en las laderas del corredor Cerro Negro-Yucaño.

Para la actividad de conservación se identificaron 167 km² (17.1% de la cuenca), correspondiéndose con la Mesa El Llano, los cerros de Tlatayapam y los macizos de Tonaltepec, los cerros Nuxaño, El Jazmín y los macizos de Yanhuitlán-Soyaltepec-Chachoápam, el cañón del río Grande Jaltepec-Tamazola y los cauces de los ríos Grande, Verde, La Labor, La Cuesta, Yutekánu y Enchoné.

Finalmente, 25.6% de su superficie (250 km²) se relaciona con los usos de suelo agropecuario, conservación-pecuario y conservación, pero no clasificaron con aptitud óptima. La expresión cartográfica de la aptitud óptima del territorio se presenta en la Figura 7.

CONCLUSIONES

La implementación de la metodología de evaluación de tierras sobre la base de los insumos naturales idóneos para cada actividad productiva y de conservación, reflejada espacialmente en los paisajes físico-geográficos, permitió valorar y ponderar las potencialidades intrínsecas de los atributos naturales de cada unidad espacial, con vistas a identificar las mejores vocaciones para el desarrollo de cada una de ellas, siempre sobre bases optimizadas para el manejo de la cuenca de río Grande, Oaxaca. En este sentido, el principal aporte particular lo representa el diagnóstico de aptitud natural para dicha cuenca hidrográfica y, en un aspecto de carácter más general, en la capacidad de extender y aplicar la metodología en otras regiones oaxaqueñas y a proyectos regionales y nacionales de gran visión.

La identificación y evaluación de potencialidades para actividades productivas y de conservación en esta cuenca se rigieron por dos principios geográficos básicos: el análisis espacial bajo el enfoque holístico de las condicionantes y factores físico-geográficos, como insumos para el desa-

rrollo optimizado, y la necesaria representación cartográfica, en este caso, empleando los paisajes físico-geográficos como unidades de análisis territorial de los recursos naturales disponibles. Ambos principios permitieron la organización de las actividades sectoriales bajo la lupa de la aptitud natural óptima del uso de suelo.

El análisis identificó, de manera priorizada, una marcada vocación natural para la conservación del patrimonio natural (17% de la cuenca); seguida de la agricultura con 16%; la ganadería y conservación-forestal con 12% en cada una de estas actividades; la conservación-ganadería con 11%; conservación-agricultura-ganadería con 6% y, finalmente, 26% con condiciones poco optimizadas para el desarrollo agropecuario, de conservación-pecuario y de conservación.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo económico ofrecido, a través del programa de becas "María Teresa Gutiérrez de MacGregor".

REFERENCIAS

Bishop, T. F A., A. B. McBratney (2001), "A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps", *Geoderma*, vol. 103, pp. 149-160.

Bocco, G., M. Mendoza, A. Priego y A. Burgos (2009), *La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial: Una revisión de la bibliografía.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, México, D. F., 71 p.

Bocco, G., A. Priego-Santander y H. Cotler (2010), "The contribution of physical geography to environmental public policy development in Mexico", *Singapore Journal of Tropical Geography*, number 31, pp. 215-223.

Bollo-Manent, M., J. R., Hernández-Santana y A. P. Méndez-Linares (2010), "Evaluación de potencialidades naturales en el Ordenamiento Ecológico Territorial: noroeste del estado de Chiapas, México", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, núm. 53, pp. 191-218.

Briones-Salas, M., M. C. Lavariega e I. T., Lira (2012), "Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, núm. 83, pp. 246-257.

Camacho, U. D. (1988), *La madera estudio anatómico y catálogo de especies mexicanas*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, 364 p.

Chávez, C. y G. Ceballos (2006), *Memorias del Primer Simposio. El Jaguar Mexicano en el Siglo XXI: Situación Actual y Manejo*, CONABIO-Alianza WWF Telcel-Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Chen, F., D. E. Kissel, L. T. West y W. Adkins (2000), "Field-Scale Mapping of Surface Soil Organic Carbon Using Remotely Sensed Imagery", *Soil Science Society of America Journal*, number 64, pp. 746-753.

Chuvieco-Salinero, E. (2002), *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*, Editorial Ariel Ciencia, Primera edición, España, 586 p.

FAO (1976), *Framework for Land Evaluation*, Soil Bulletin, number 32, Roma, 64 p.

FAO (1993), *Guidelines for land-use planning*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 96 p.

FAO-PNUMA-UNESCO (1980), *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*, Roma, Italia, 86 p.

Gallegos del Tejo, A., (1997), *La aptitud agrícola de los suelos, la pedología aplicada a las actividades agropecuarias*, Editorial Trillas, México, 207 p.

García-Romero, A. y J. Muñoz-Jiménez (2002), *El paisaje en el ámbito de la Geografía*, Temas selectos de Geografía de México, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 130 p.

García-Romero, A., K. I. Mendoza-Robles y L. Galicia-Sarmiento (2005), "Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México", *Investigaciones Geográficas*, núm.56, pp. 77-100.

González-Trueba, J. J. (2012), "Carl Troll y la geografía del paisaje: vida, obra y traducción de un texto fundamental", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, núm. 59, pp. 173-200.

Hernández-Santana, J. R., M. Bollo-Manent y A. P. Méndez-Linares, C. López-Miguel (2006), *Ordenamiento ecológico de la zona petrolera de la Región V Norte de Chiapas*, Instituto de Geografía, UNAM, México, 346 p.

INEGI (2004), *Guía para la Interpretación de Cartografía, Edafología*, México, D. F., 28 p.

ITER (2010), *Sistema de Integración Territorial, manual de usuario*, 15 p.

Isasi-Catalá, E. (2011), "Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación", *Interciencia*, núm. 36, pp. 31-38.

López-Granados, F., M. Jurado-Expósito, J. M. Peña-Barragán y L. García-Torres (2005), "Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties", *European Journal of Agronomy*, vol. 23, number 3, pp. 279-289.

Medellín-Legorreta, R. A. y H. V. Bárcenas (2009), *Estimación de la densidad poblacional y dieta del lince (Lynx rufus) en Aguascalientes y el Distrito Federal, México*, proyecto ES003, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 30 p.

Monroy, G. y M. Briones-Salas (2012), "Primeros datos sobre área de actividad de gato montés (*Lynx rufus*) en Oaxaca, México", *Acta Zoológica Mexicana*, 28, núm. 2, pp. 471-474.

Ouyang, D. (2002) *RUSLE*, *Online soil erosion assessment tool*, Institute of Water Research, Michigan State University [http://35.8.121.139/rusle/: 05-11-2013].

Ovalles, F. A. y M. C. Núñez (1994), "Métodos estadísticos para evaluar la variabilidad de suelos dentro de unidades de capacidad de uso en la depresión del lago de Valencia", *Agronomía Tropical*, vol. 44, núm. 1, pp. 23-40.

Pablo Pablo, M. A. (2014), Caracterización y diagnóstico biofísico para el ordenamiento ecológico territorial en la cuenca del río Grande (Oaxaca) usando percepción remota y sistemas de información geográfica, tesis de Licenciatura, UNAM, México, D. F., 169 p.

Panagopoulos, T., J. Jesús, M. D. C. Antunes y J. Beltraño (2006), "Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce", *European Journal of Agronomy*, vol. 24, number 1, pp. 1-10.

Rodríguez-Gallego, L., M. Achkar y D. Conde (2012), "Land Suitability Assessment in the Catchment Area of Four Southwestern Atlantic Coastal Lagoons: Multicriteria and Optimization Modeling", *Environmental Management*, vol. 50, number 1, pp. 140-152.

Seco-Hernández, R. (1998), Estudio del Relieve para la Actividad Constructiva en Territorios seleccionados del Occidente de Cuba, tesis Doctoral, Universidad de La Habana, 100 p.

SEMARNAT (2003), *Coeficientes de agostadero por entidad federativa*, 1 p., [http://www.semarnat.gob.mx/bibliotecadigital: 18-03-2013].

SEMARNAT (2010), Lista de especies en riesgo. [http://www.profepa.gob.mx: 18-03-2013].

SEMARNAT-CONANP (2010), Ficha de identificación: Especie *panthera onca,* 7 p. [http://www.conanp.gob.mx/: 18-03-2013].

Travieso-Bello, A. C., A. G. Priego-Santander y P. Moreno-Casasola (2013), "Potencial natural del territorio: Base para el ordenamiento de la ganadería bovina", pp. 381-405, en: Sánchez-Salazar, M. T., G. Bocco-Berdinelli y J. M. Casado-Izquierdo (Coord.) *La política de ordenamiento territorial en México: De la teoría a la práctica*. CIGA-UNAM, IG-UNAM, INECC-SEMARNAT, México, 752 p.

USDA (1971), *Guide for interpreting engineering uses of soils*, 85 p.

Valpreda, E. C. (2005), *Evaluación de la aptitud del medio para receptar proyectos agrícolas en áreas de agricultura intensiva. Tunuyan-Valle de Uco, Provincia de Mendoza, Argentina*, Universidad de Gerona, Programa UNIGIS de Postgrado y Master Internacional, 8 p. [http://www.cartesia.org/article.php?sid=19: 26-03-2015].

Varvel, G. E., M. R. Schlemmer y J. S. Schepers (2000), "Relationship Between Spectral Data from an Aerial Image and Soil Organic Matter and Phosphorus Levels", *Precision Agriculture*, number 1, pp. 291-300.

Velázquez-Montes, A., M. A. Ortiz-Pérez, O. Oropeza-Orozco y A. Massiris-Cabeza (2002), *Guía metodológica para el diagnóstico integrado del sistema territorial*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 21 p.

Vergara, J. y I. Ortiz-Espinoza, (2010), *Carga animal y el índice de agostadero*, [http://www.reproduccionanimal.com.mx/: 18-03-2013].

Verstappen, H. Th. y R. van Zuidam (1991), El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, *Publicación ITC*, núm. 10, segunda edición, 15 p.

WRB (2014), World Reference Base for Soil Resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, FAO, number 106, 181 p.

Zhang, B., Y. Zhang, D. Chen, R. E. White y Y. Li (2004), "A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China", *Geoderma*, vol. 123, number 3, pp. 319-331.