Received: 22 Jan. 2022, **Accepted:** 12 Apr. 2022
Published online: 30 Apr. 2022
DOI: https://doi.org/10.22201/igg.25940694e.2022.1.93 **Volume:** 6, **Issue:** 1, **Pages:** 1-9

terra digitalis
international e-journal of maps

Mapa morfogenético del estado de Sonora a escala 1:750,000☆

Morphogenetic map of Sonora state at 1:750,000 scale

Grisel Alejandra Gutiérrez-Anguamea*[a], José Ismael Minjárez-Sosa[a], Alejandra Montijo-González[a], Margarita de la O-Villanueva[a], Francisco Javier Grijalva-Noriega[a], Rogelio Monreal-Saavedra[a], Alba Lucina Martínez-Haros[a], Francisco Martín Durazo-Gálvez[a]

[a]*Departamento de Geología, Universidad de Sonora (UNISON), Blvd. Luis Encinas y Rosales, S/N, Colonia Centro, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000*

Resumen

El mapa morfogenético del estado de Sonora a escala 1:750,000, comprende una superficie aproximada de 180,027 km^2 y el objetivo de esta cartografía es relacionar la litología con el arreglo geomorfológico a través de la interpretación de la génesis del terreno. Los 44 sistemas de terreno morfogenético que componen el mapa fueron interpretados a partir de imágenes Landsat-7 con apoyo de información topográfica y litológica editadas en varios años. Pese a que la principal limitante de esta investigación es la gran cantidad de superficie por confirmar, la corroboración general se ha llevado a cabo en diversas campañas de trabajo de campo. La clasificación de sistemas morfogenéticos desde una perspectiva geológica-geomorfológica puede resultar interesante para una mayor cantidad de usuarios, pues simplifica en ella el origen, el tipo de materiales y el relieve. Este mapa morfogenético puede utilizarse como apoyo para estudiantes y profesionistas en el análisis y estudio del paisaje.

Palabras clave: Mapa Morfogenético; Sistema; Estado de Sonora; México

Abstract

The morphogenetic map of the Sonora state at scale 1:750,000 includes an approximate area of 180,027 km^2 and the objective of this cartography is to relate lithology with the geomorphological arrangement through the interpretation of the terrain genesis. The 44 morphogenetic terrain systems that constitute the map were interpreted from Landsat-7 images with the support of topographic and lithological information edited in several years. Altough the main limitation of this research is the large amount of surface to be confirmed, the general corroboration of the morphogenetic terrain systems has been carried out in several field work campaigns. The classification of morphogenetic terrain systems from a geological-geomorphological perspective can be interesting for a greater number of users, since it simplifies the origin, the type of materials and the relief. This morphogenetic map can be used as a support for students and professionals in the landscape analysis and its study.

Keywords: Morphogenetic map; System; Sonora state; Mexico

1. Introducción

A grandes rasgos, el propósito de toda cartografía es el de representar en dos dimensiones los elementos que componen el terreno; el caso de la geomorfología no es la excepción. En la actualidad, al ejecutar un levantamiento dentro de la tendencia geomorfológica, se recomienda echar mano de las herramientas tecnológicas disponibles para la creación de un mapa base, sobre todo cuando la superficie a cubrir es extensa.

El uso de nuevas tecnologías, como apoyo complementario para la cartografía del medio físico, ha permitido generar un conocimiento y un entendimiento más completo del paisaje. En los últimos 30 años, la cartografía del terreno ha sido asistida con percepción remota, a la vez que se realizan trabajos de exploración y verificación en campo para definir las características del relieve (López-García et al., 2006).

☆© G. A. Gutiérrez-Anguamea, J. I. Minjárez-Sosa, A. Montijo-González, M. de la O-Villanueva, F. J. Grijalva-Noriega, R. Monreal-Saavedra, A. L. Martínez-Haros, F. M. Durazo-Gálvez
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), which permits non-commencial sharing of the work and adaptions, provided the original work is properly cited and the new creations are licensed under identical terms.

**E-mail address:* grisel.gutierrez@unison.mx

En este sentido, llevar a cabo un levantamiento geomorfológico es proveer información sobre las formas que presenta el terreno en estudio, así como los procesos y fenómenos, tanto naturales como aquellos de índole antrópica que modifican el paisaje (Serrano et al., 2002).

En el caso que nos ocupa, la parte fundamental de esta investigación es la identificación de las geoformas y su origen, entendiendo a la geoforma como una porción tridimensional del terreno que se puede definir a partir de sus particularidades físicas. Así, la geoforma es el resultado de la interacción entre los elementos bióticos como la vegetación, la fauna y los suelos, y los abióticos como el agua, el relieve y el clima, donde a su vez, un conjunto de ellas constituye el paisaje (Drdos, 1992; García-Romero y Muñoz, 2002).

En otras palabras, el paisaje es producto de la dinámica interna y externa terrestre (Drdos, 1992; Gutiérrez-Anguamea et al., 2016; Mateo-Rodríguez, 2020), lo que crea el desarrollo de distintas características físicas y composicionales en el terreno. De tal manera que, una porción del terreno puede ser distinguible de otra, ya sea por interpretación in situ o por la utilización de productos de percepción remota (imágenes de satélite o fotografías), por su capacidad de respuesta ante los procesos generadores y agentes modeladores del paisaje, logrando así su individualidad y seguida delimitación como sistema.

2. Descripción del área de estudio

El área de estudio de esta investigación es el estado de Sonora, México, ubicado en el noroeste del País. Cubre una superficie de 180,027 kilómetros cuadrados y su vía de acceso terrestre principal es la carretera federal no. 15 (Figura 1); esta cruza gran parte de México y recorre el Estado de sureste a Norte con una longitud de 697 km.

Otras vías de comunicación terrestres importantes son las carreteras federales no. 2, en el Norte y noroeste, de 705 km y no. 8 de 100 km; la no. 14 de Hermosillo a Moctezuma de 164 km; la no. 16 de Hermosillo a Yécora de 279 km y la no. 17 de Agua Prieta a Moctezuma de 195 km.

En cuanto a su relieve, cuya elevación mínima es de 0 msnm y la máxima es de 2,630 msnm, está diferenciado en cuerpos montañosos ubicados en la porción Este del Estado, disectados por valles intermontanos que se dirigen y unen a las extensas llanuras en el Oeste, que limitan con el Golfo de California.

En el estado de Sonora se registra una variedad geológica y topográfica importante, de aquí surge la inquietud de elaborar un mapa que describa y ordene de manera sistemática los elementos que componen a su territorio, de acuerdo con su origen y geometría, así como los procesos endógenos y exógenos (Tapia-Valera y López-Blanco, 2002).

En un recorrido virtual Este a Oeste, hecho desde Google Earth Pro7.1, en la Entidad se observan manifestaciones de sus imponentes laderas montañosas, valles intermontanos, lomeríos suavizados, amplias bajadas y planicies de decenas de kilómetros cuadrados que desembocan en el Golfo de California. Esta diversidad del paisaje motiva a crear esta primera jerarquización morfológica de todo el territorio sonorense, misma que servirá como base para futuras clasificaciones.

La parte analítica del Sistema ITC (Verstappen, 1983) es universalmente aplicable para la cartografía geomorfológica de todas las escalas y sirve de base para la cartografía morfogenética aplicada en el presente trabajo.

El objetivo de esta investigación es relacionar la composición litológica y la configuración topográfica de Sonora, mediante la construcción de un mapa que explique, por la nomenclatura de sus sistemas de terreno, ambos tipos de información y el origen de las formas del terreno.

En este caso, el mapa morfogenético del estado de Sonora a escala 1:750,000 representa la correspondencia entre la litología y su manifestación en el arreglo topográfico, lo que ayuda a visualizar y comprender el origen del paisaje y sus formas resultantes; de tal manera que, este elemento gráfico puede funcionar como una herramienta de apoyo en futuros trabajos de investigación que involucren información sobre el relieve.

3. Métodos

Los aspectos considerados para la creación de este mapa morfogenético se basan en la metodología del Sistema para el Levantamiento Geomorfológico del ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands) (Verstappen y Van Zuidam, 1981).

Esta cartografía se centra en propiedades físicas del paisaje, donde se involucran aspectos como el desarrollo de la geoforma y su génesis, información que ha sido establecida en el marco de diversos tipos de cartografía geomorfológica y que contribuyen a la representación de las unidades y a la formalización de una metodología de fácil aplicación, a partir de los elementos considerados (Verstappen y Van Zuidam, 1981; Tapia-Varela y López-Blanco, 2002).

3.1. Construcción de sistemas

En el presente trabajo los sistemas morfogenéticos del estado de Sonora están delimitados en función de su origen, el tipo de relieve y la inclinación o pendiente general del terreno, dado que los cimientos para una interpretación morfogenética son la geología y la topografía (Lugo-Hubp, 1991).

En este sentido, el origen está directamente relacionado con la litología y los procesos generadores del paisaje (endógenos y exógenos), así como los agentes modeladores, ya sean naturales, como el clima, o inducidos, como la acción de los organismos vivos, incluida la actividad antrópica (Rodríguez, 2011; Tapia-Valera y López-Blanco, 2002).

En esta investigación se realizó la interpretación de 15 imágenes del satélite Landsat-7, publicadas del 2005 al 2010 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS por sus siglas en inglés (USGS, 2005, 2010; Tabla 1).

También, se emplearon como material de apoyo las Cartas Geológico-Mineras Interactivas a escala 1:250,000 del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 1997, 2003) y la topografía a escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía

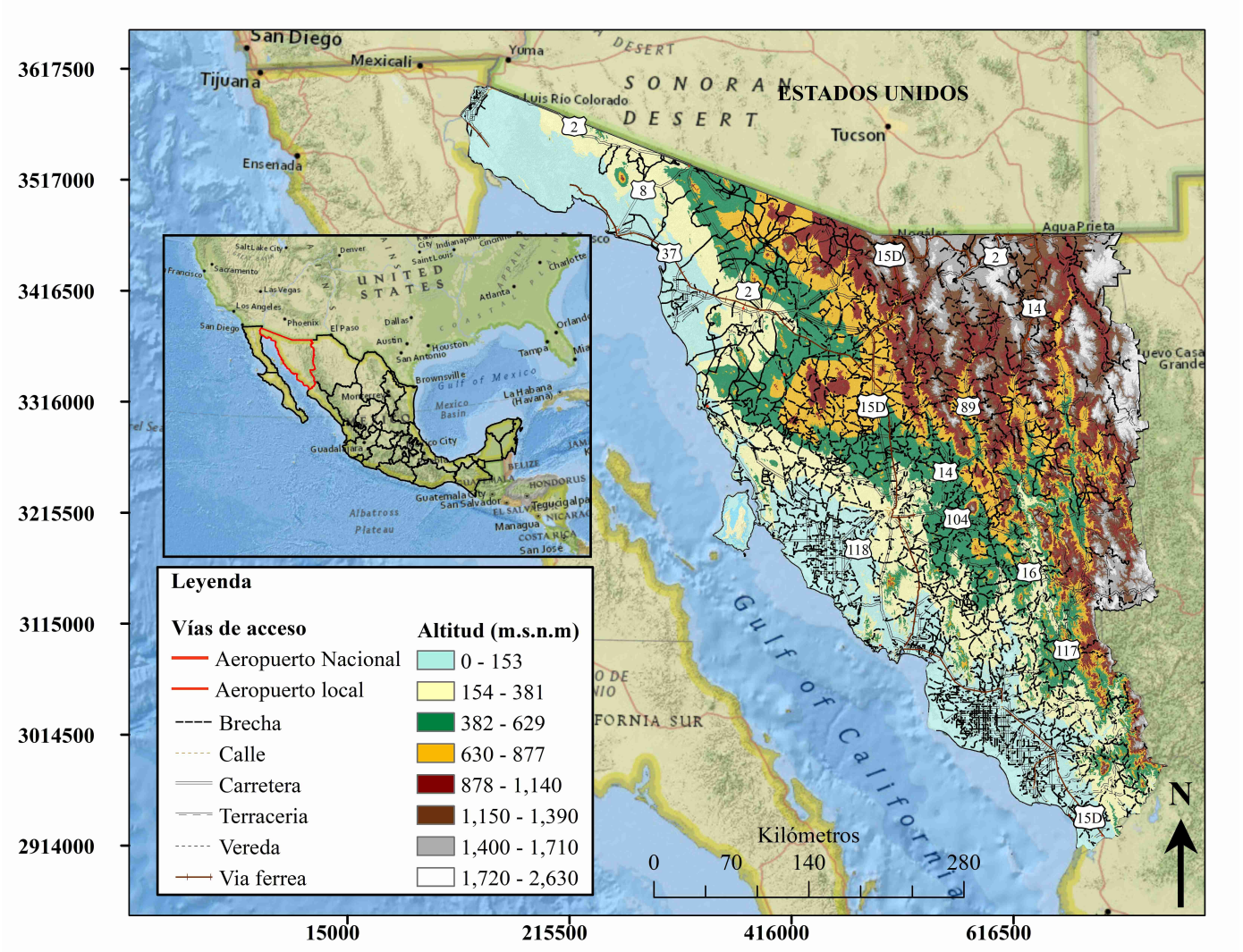

Figura 1: Localización y vías de comunicación. / Figure 1. Location and roads

e Informática (INEGI, 1996, 2020) para identificar los rasgos físicos de las geoformas y así delimitar los sistemas morfogenéticos que comprenden la superficie sonorense (Figura 2).

Por otro lado, se empleó el modelo Aster GDEM v2 Worldwide Elevation Data (NASA & METI, 2009), con una resolución aproximada de 30 metros desde la plataforma de Global Mapper; a partir de este modelo se derivó la pendiente general y se construyó un modelo digital del terreno (MDT). Además, para una mejor visualización, se utilizó un modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 15 metros del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2015).

La creación y edición de archivos en formato shape y ráster se realizó en ArcMap 10.5 y ERDAS IMAGINE 10.

El procedimiento de elaboración de este trabajo inicia con la interpretación de geoformas y la posterior delimitación de sistemas sobre la visualización de las imágenes del satélite Landsat-7 (USGS, 2005-2010) y el material mencionado. Si bien es cierto que, estas imágenes presentan una resolución espacial de 30 metros en su versión multiespectral, el uso conjunto de estas, los archivos de topografía y el MDT, al momento de la digitalización de los sistemas morfogenéticos, favoreció la interpretación y permitió alcanzar un mayor nivel de detalle en cada etapa del procedimiento.

La nomenclatura de los sistemas morfogenéticos del estado de Sonora expresa el origen, el tipo de relieve, la pendiente general del terreno y la litología presentes; lo que permite una práctica percepción de la información mostrada en el mapa.

Durante la elaboración del mapa morfogenético, se realizaron diversas campañas de visitas a campo para corroborar la clasificación y delimitación de los sistemas (Figura 3).

3.1.1. Origen

El relieve está creado por procesos endógenos, exógenos o por la combinación de ambos. Por ejemplo, cuando una montaña es producto de un evento volcánico y aún conserva sus rasgos

Tabla 1. Imágenes del satélite Landsat-7 utilizadas en esta investigación (SGEU, publicadas entre 2005 y 2010). / Images from the Landsat-7 satellite used in this research (USGS, published between 2005 and 2010).

No.	ID	Fecha	Hora inicial	Hora final	Sensor	Area km^2
01	LE70370392005326EDC00	22/11/2005	17:55:17	17:55:44	ETM 7	180x175
02	LE70340382005337EDC00	03/12/2005	17:36:28	17:36:54	ETM 7	180x175
03	LE70350382007344EDC00	10/12/2007	17:42:43	17:43:10	ETM 7	180x175
04	LE70360402007351EDC00	17/12/2007	17:49:50	17:50:17	ETM 7	180x175
05	LE70360392006351EDC00	17/12/2006	17:49:26	17:49:53	ETM 7	180x175
06	LE70360382006351EDC00	17/12/2006	17:49:02	17:49:29	ETM 7	180x175
07	LE70340422009353EDC02	19/12/2009	17:38:18	17:38:45	ETM 7	180x175
08	LE70340412009353EDC00	19/12/2009	17:37:54	17:38:21	ETM 7	180x175
09	LE70340402009353EDC00	19/12/2009	17:37:31	17:37:57	ETM 7	180x175
10	LE70340392010353EDC00	19/12/2010	17:37:07	17:37:33	ETM 7	180x175
11	LE70370382009358EDC00	24/12/2010	17:55:21	17:55:47	ETM 7	180x175
12	LE70350412009360EDC00	26/12/2009	17:44:13	17:44:39	ETM 7	180x175
13	LE70350402009360EDC00	26/12/2009	17:43:49	17:44:16	ETM 7	180x175
14	LE70350392009360EDC00	26/12/2009	17:43:25	17:43:52	ETM 7	180x175
15	LE70380382009365EDC00	31/12/2009	18:01:39	18:02:05	ETM 7	180x175

originales, su origen primario es de tipo endógeno.

Por otro lado, si una montaña no ha sido sustancialmente modificada por el intemperismo y la erosión ni deformada por cambios de presión y temperatura, y preserva su litología, entonces su origen es combinado y se denomina endógeno modelado (Gutiérrez-Anguamea, 2012; Vergara-Tacilla, 2017).

Existen 9 grandes clases morfogenéticas que agrupan a las geoformas en función de su origen y están definidas por una colorimetría específica en tonos sólidos (Tapia-Valera y López-Blanco, 2002). Las formas de origen estructural son representadas en tonos púrpura, volcánico en rojo, denudativo/erosivo en marrón, fluvial en verde, lacustre/marino en azul oscuro, glacial/periglacial en azul claro, eólico en amarillo, kárstico en naranja y antrópico/biológico en gris-negro (Morales et al., 2019).

En la etapa inicial de esta clasificación con un enfoque geológico-geomorfológico, se obtuvo una amplia variedad de elementos morfogenéticos, debido al registro litológico y topográfico del área de estudio.

Posteriormente, se decidió reunir estas porciones del terreno de acuerdo con su origen primario y combinado, empleando gamas de colores que evocan el origen de la geoforma y tramas gráficas que relacionan la litología. Otro propósito de esta modificación fue eliminar la posibilidad de que elementos del mismo origen se confundan ópticamente por su proximidad.

3.1.2. Tipo de relieve

Los tipos de relieve identificados dentro del territorio sonorense están definidos por su altura relativa, tomada por la diferencia de altura de la base a la cima de la geoforma; de manera general, las características de los tipos de relieve están dadas como sigue:

- Ladera montañosa: altura relativa mayor a 200 metros y su creación se debe a procesos endógenos de plegamiento, magmatismo y vulcanismo o a la disección de una estructura de formación endógena modelada (Lugo-Hubp, 1989).
- Lomerío: altura relativa menor a 200 metros; se genera por la nivelación de montañas (endógeno modelado), la disección de una planicie inclinada (exógeno erosivo) o puede ser producto de tectónica cuaternaria (relieve endógeno de baja altura) (Lugo y Córdova, 1990).
- Piedemonte: altura relativa de 0 a 200 metros, se ubica al pie de márgenes montañosas entre cambios de pendiente, compuesto de material detrítico y presencia de drenaje fluvial (Lugo y Córdova, 1990).
- Planicie: es una superficie de poca inclinación y diferencia altitudinal, corresponde al relieve exógeno acumulativo de depósitos aluviales, eólicos y costeros. Se consideró para su identificación el uso de suelo (agrícola y urbano), el cambio de pendiente y el patrón de drenaje (Gutiérrez-Anguamea, 2012).

3.1.3. Pendiente

La clasificación de la pendiente general del territorio sonorense surgió de un primer análisis realizado en el marco de la elaboración de proyectos de índole ambiental (Minjárez-Sosa et al., 2008, 2007), específicamente en referencia a la estabilidad de laderas. Se decidió emplear esta clasificación previa para relacionarla y extenderla hacia una línea de investigación geomorfológica, de tal manera que funcione para describir la inclinación de las laderas en los sistemas morfogenéticos.

En correspondencia con lo anterior, la inclinación de las laderas en las geoformas delimitadas está definida en cuatro cate-

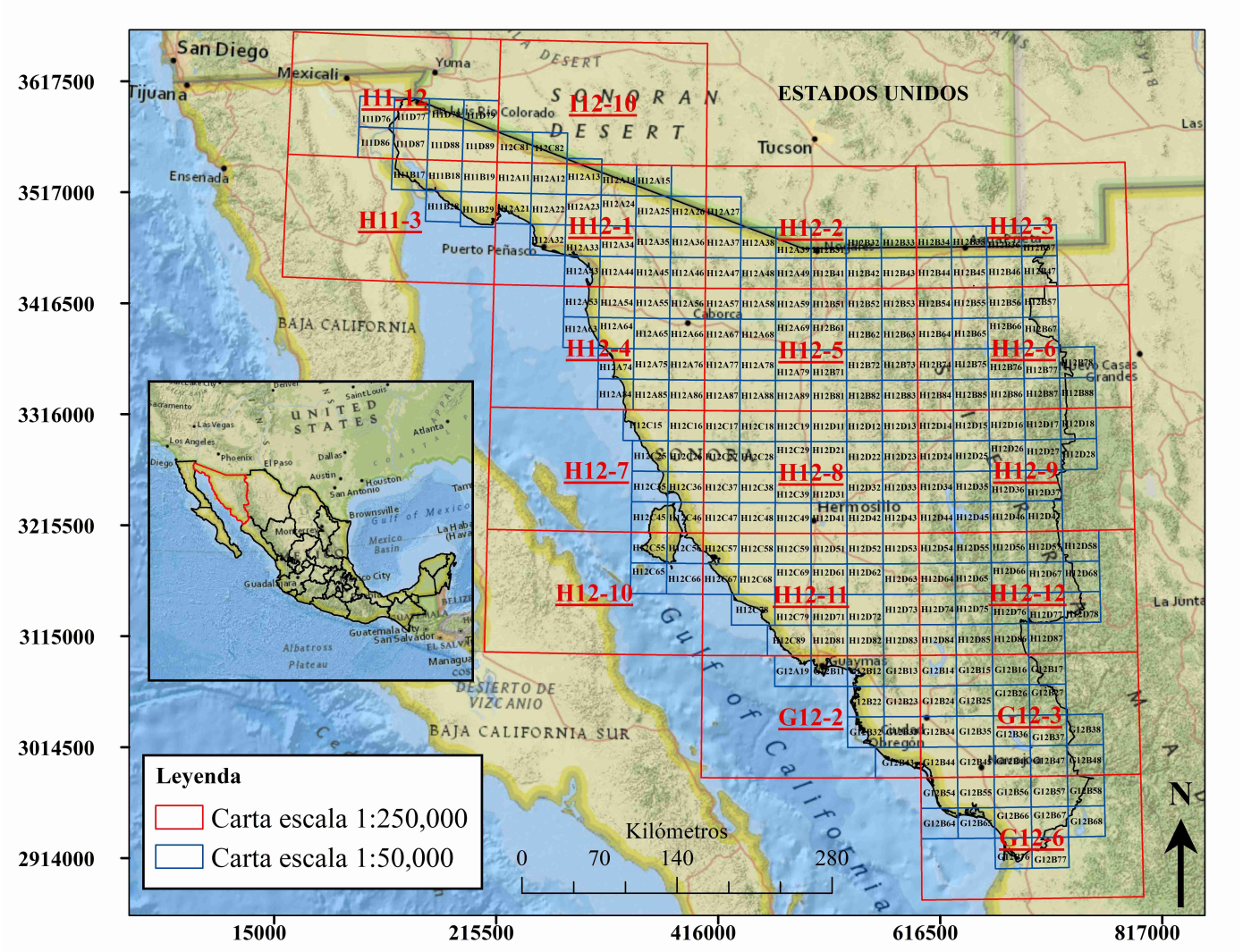

Figura 2: Cartas Geológico-Mineras 1:250,000 (Servicio Geológico Mexicano SGM, publicadas entre 1997 y 2003) y Cartas Topográficas 1:50,000 (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, publicadas entre 1996 y 2020) utilizadas. / Figure 2. Geological-Mining Charts 1:250,000 (Mexican Geological Service SGM, published between 1997 and 2003) and Topographic Charts 1:50,000 (National Institute of Statistics, Geography and Informatics INEGI, published between 1996 and 2020) used.

gorías preestablecidas: estable, metaestable, inestable y abrupta. Todas aquellas porciones del paisaje con una pendiente inferior a los 10 grados fueron identificadas como estables, las que tuvieron una inclinación entre 10.1 y 25 grados se clasificaron como metaestables, cuando la tendencia de la cuesta estuvo dentro del intervalo 25.1 a 35 grados fue categorizada como inestable y por último, las geoformas con una inclinación general superior o igual a los 35.1 se consideraron superficies abruptas.

3.1.4. Litología

La litología juega un papel importante en geomorfología, pues de acuerdo con el tipo de litología, los materiales presentan mayor o menor resistencia ante los agentes modeladores (Gutiérrez-Anguamea, 2012; Gutiérrez-Anguamea et al., 2016). En el estado de Sonora se tiene registro litológico del Precámbrico al Reciente (Calmus et al., 2011; Grijalva-Noriega y Roldan-Quintana, 1998), y su naturaleza es un factor básico en la evolución del terreno.

En síntesis, la clasificación aplicada en este trabajo se puede ejemplificar de manera práctica sobre elementos volcánicos; tal es el caso de las geoformas en escudo, que están construidas por la acumulación de rocas basálticas y debido a ello pertenecen a la categoría de origen volcánico acumulativo.

En este mismo orden de ideas, si dicha acumulación de material volcánico alcanza una altura relativa, es decir de la base a la cima, igual o menor a los 200 metros y una inclinación de su cuesta de 10.1 a 25 grados, entonces el sistema corresponderá a un lomerío metaestable dentro del origen volcánico acumulativo.

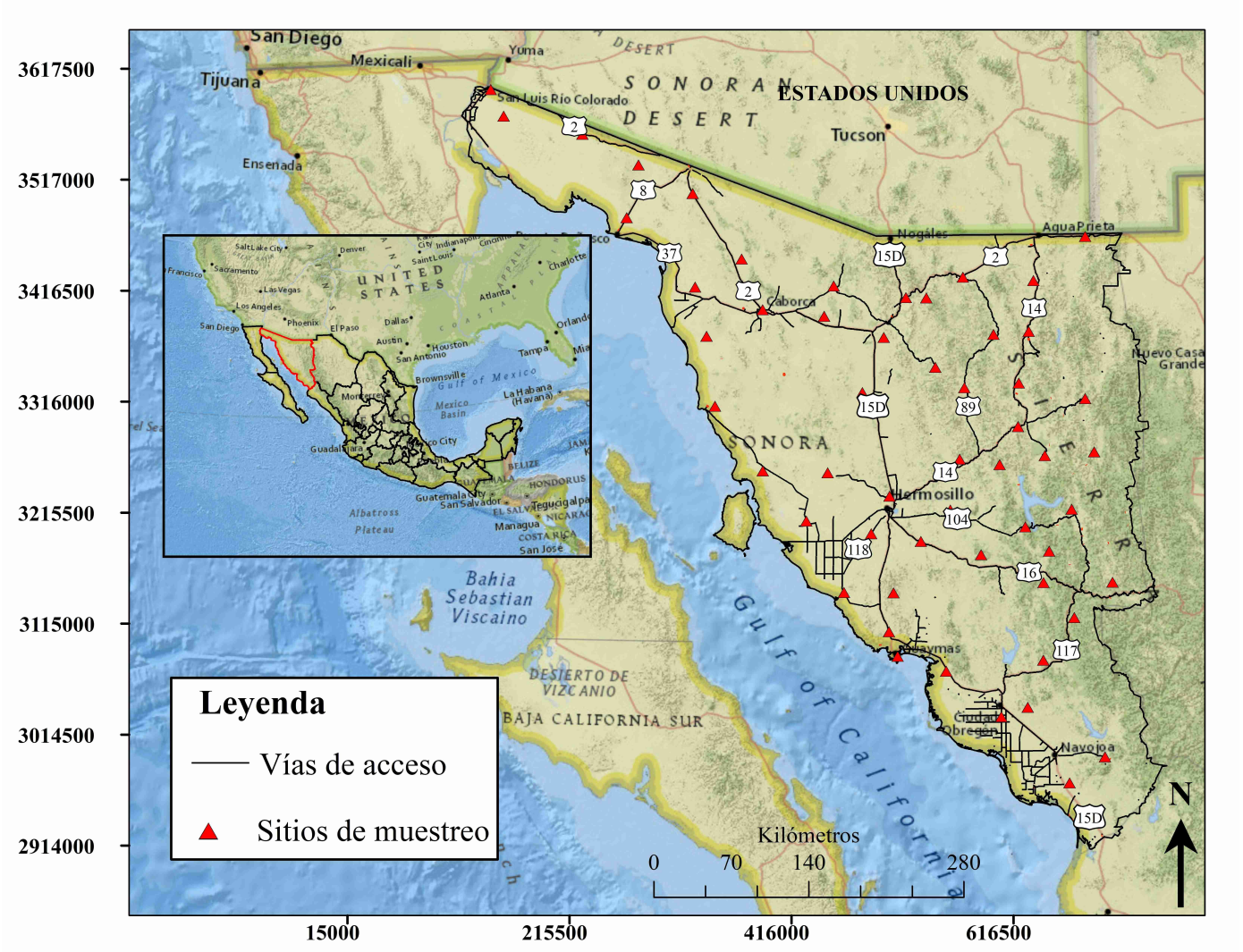

Figura 3: Visitas de campo. / Figure 3. Field work.

4. Resultados

Los sistemas morfogenéticos se construyeron de acuerdo con su génesis de mayor jerarquía y/o complementaria, altura relativa y pendiente.

En el estado de Sonora se identificaron 6,890 polígonos que, con base en sus similitudes físicas y litológicas, fueron clasificados en 44 sistemas morfogenéticos distintos, agrupados por su origen de tipo estructural denudativo, volcánico denudativo, volcánico acumulativo, kárstico denudativo, denudativo volcánico, denudativo, eólico, antrópico, lacustre/marino y fluvial (ver Lámina: Mapa Morfogenético del Estado de Sonora Escala 1:750,000).

A grandes rasgos, los sistemas de origen estructural denudativo corresponden a afloramientos rocosos constituidos principalmente de dolomía-arenisca, esquisto-gneiss, esquisto filita, plutónica intermedia-plutónica ácida, cuarcita, metavolcánica-metasedimentaria.

Por su parte, los sistemas volcánico denudativo están formados de andesita-arenisca, volcánica intermedia y volcánica intermedia-volcánica ácida, los volcánico acumulativo de basaltos y los kárstico denudativo de caliza y arenisca en menor proporción.

En cuanto a los sistemas denudativo volcánico, están compuestos de conglomerado polimíctico, basalto, volcánica ácida, volcanosedimentaria y los denudativo de conglomerado polimíctico, arenisca y lutita.

Por último, los sistemas eólicos se presentan como grandes extensiones de arenas; mientras que, aquellos definidos como antrópico, lacustre/marino y fluvial se caracterizan por ser de gravas, arenas, limos y arcillas.

De manera general, en un recorrido Este-Oeste por el estado de Sonora, en la región limítrofe con Chihuahua se localizan las laderas montañosas altas inestables y metaestables volcánicas denudativas, en la zona central se observa una intercalación de laderas montañosas altas, bajas y lomeríos de pendientes abrup-

Mapa Morfogenético del Estado de Sonora
Escala 1:750,000

Autores: M.C. Grisel Alejandra Gutiérrez-Anguamea, M.C. José Ismael Minjárez-Sosa,
M.C. Alejandra Montijo-González, M.C. Margarita de la O-Villanueva,
Dr. Francisco Javier Grijalva-Noriega, Dr. Rogelio Monreal-Saavedra,
M.C. Alba Lucina Martínez-Haros, Geol. Francisco Martín Durazo-Gálvez.
Institución: Universidad de Sonora, Departamento de Geología

terra digitalis
international e-journal of maps

Sistemas Morfogenéticos

Origen estructural denudativo
- Ladera montañosa alta inestable
- Ladera montañosa alta metaestable
- Ladera montañosa baja inestable
- Ladera montañosa baja metaestable
- Lomerío estable
- Lomerío inestable
- Lomerío metaestable

Origen volcánico denudativo
- Ladera montañosa alta inestable
- Ladera montañosa alta metaestable
- Ladera montañosa baja inestable
- Ladera montañosa baja metaestable
- Lomerío estable
- Lomerío inestable
- Lomerío metaestable

Origen volcánico acumulativo
- Ladera montañosa alta inestable
- Lomerío metaestable
- Piedemonte estable

Origen kárstico denudativo
- Ladera montañosa alta abrupta
- Ladera montañosa alta inestable
- Ladera montañosa alta metaestable
- Ladera montañosa baja metaestable
- Lomerío metaestable
- Lomerío estable

Origen denudativo volcánico
- Ladera montañosa alta inestable
- Ladera montañosa alta metaestable
- Ladera montañosa baja estable
- Ladera montañosa baja metaestable
- Lomerío estable
- Lomerío metaestable

Origen denudativo
- Ladera montañosa alta inestable
- Ladera montañosa alta metaestable
- Ladera montañosa baja estable
- Ladera montañosa baja metaestable
- Lomerío estable
- Lomerío metaestable
- Piedemonte estable
- Piedemonte metaestable

Origen eólico
- Planicie eólica

Origen antrópico
- Zona cultivada
- Zona urbana

Origen lacustre/marino
- Planicie costera activa

Origen fluvial
- Planicie aluvial
- Planicie con patrón divergente inferior
- Planicie con patrón divergente superior

Hidrografía
- Cauce activo
- Cauce episódico

Estructuras
- Eje anticlinal
- Eje sinclinal
- Dique
- Falla inversa
- Falla lateral
- Falla normal
- Falla normal inferida
- Fractura
- Fractura inferida
- Veta

Otros
- Cabecera municipal
- Cuerpos de agua

Datos geográficos

Elipsoide	Clarke de 1866
Proyección	Universal Transversa Mercator
Cuadrícula	UTM a cada 100,000 m
Datum	WGS84

0 — Kilómetros — 100

Referencias cartográficas

Base cartográfica obtenida de cartas geológico-mineras 1:250,000 (SGM, 1997-2003), topográficas 1:50,000 (SGM,1996-2020) e imágenes Landsat-7 (USGS, 2005-2010).

3600000
3500000
3400000
3300000
3200000
3100000
3000000
2900000

200000
300000
400000
500000
600000
700000

San Luis Río Colorado
General Plutarco Elías Calles
Puerto Peñasco
Nogales
Santa Cruz
Naco
Agua Prieta
Sáric
Cananea
Fronteras
Tubutama
Átil
Oquitoa
Caborca
Pitiquito
Altar
Ímuris
Magdalena de Kino
Santa Ana
Bacoachi
Bavispe
Trincheras
Cucurpe
Arizpe
Nacozari de García
Bacerac
Huachineras
Benjamín Hill
Villa Hidalgo
Banámichi
Cumpas
Opodepe
Huépac
San Felipe de Jesús
Huásabas
Granados
Aconchi
Moctezuma
Bacadéhuachi
Rayón
Baviácora
Nácori Chico
Carbó
Divisaderos
Tepache
San Miguel de Horcasitas
Ures
San Pedro de la Cueva
Villa Pesqueira
Sahuaripa
Hermosillo
Mazatán
Bacanora
Arivechi
La Colorada
Soyopa
San Javier
Onavas
Suaqui Grande
Yécora
Empalme
Heroica Guaymas
Rosario Tesopaco
Bácum
Quiriego
Ciudad Obregón
Ejido San Ignacio Río Muerto
Villa Juárez
Navojoa
Álamos
Etchojoa
Huatabampo

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA
BAJA CALIFORNIA
BAJA CALIFORNIA SUR
GOLFO DE CALIFORNIA
CHIHUAHUA
SINALOA
N

tas, inestables y metaestables de naturaleza estructural denudativa, cárstica denudativa, volcánica denudativa, volcánica acumulativa, denudativa volcánica y denudativa.

La franja Oeste está compuesta principalmente de lomeríos y piedemontes metaestables y estables del tipo denudativo volcánico y denudativo acumulativo, respectivamente. Con laderas montañosas dispersas, altas y bajas de origen volcánico denudativo y volcánico acumulativo.

En lo que respecta a sistemas de menor altura relativa, entre los de origen fluvial se distinguen amplias planicies con un patrón divergente superior e inferior, nombradas así por la gran cantidad de escorrentías que surcan su superficie y la posición topográfica. En el caso de las planicies aluviales, éstas se ubican en las riberas de los cursos hídricos y a su vez interseccionan a las planicies costeras activas y eólicas hasta establecer contacto con el Mar de Cortés.

En cuanto a los elementos producto de la actividad antrópica, las localidades, ciudades y rancherías están clasificadas dentro de las zonas urbanas y los campos de agricultura intensiva como zona cultivada.

5. Conclusiones

Las principales ventajas del método aplicado en esta investigación son su practicidad y eficiencia en la visualización, creación y edición de los elementos utilizados para la concepción del mapa morfogenético.

Se reconoce la magnitud del territorio sonorense y el hecho de que el presente trabajo puede presentar incertidumbre derivado de la confirmación de sitios en campo. Sin embargo, pese al reto que esto significó, la corroboración general de los sistemas morfogenéticos se ha llevado a cabo en diversas campañas de trabajo de campo por parte del personal colaborador del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Se considera que los sistemas morfogenéticos pueden emplearse como una herramienta en estudios más detallados como cartografía de peligros geológicos, erosión del suelo, geomorfoambiental, procesos de remoción en masa, fluviales y costeros, ordenamiento territorial y análisis geomorfológico. El interés de este mapa se aprecia a primera vista pues facilita la visualización tridimensional del paisaje, además de que, a través de la jerarquización de los tipos de relieve y pendiente general del terreno, se describen las particularidades de una porción geográfica.

La información morfogenética combinada con la información litológica del sitio y el origen de los materiales presentes constituyen este ejemplo de clasificación morfogenética que puede ser empleado como una herramienta de apoyo por estudiantes, así como por profesionistas involucrados en el análisis y estudio del paisaje.

Otra posible utilidad es su empleo en etapas iniciales de futuras investigaciones dirigidas hacia la conceptualización e interpretación de la historia evolutiva de la región hasta su configuración actual.

La clasificación morfogenética mostrada aquí, refleja el modelado del paisaje y su comportamiento natural e inducido, de tal manera que los 44 sistemas establecidos en el mapa morfogenético del estado de Sonora reflejan la relación entre la topografía y la geología.

Gracias a esta clasificación el usuario podrá interrelacionar de una manera más simplificada la génesis de los materiales, los procesos modeladores del relieve y el paisaje resultante.

Software

Google Earth 7.1, Global Mapper 19, ERDAS IMAGINE 10 y ArcMap 10.5.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento al Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado, al Dr. Juan José Palafox Reyes, al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y a todos sus colaboradores que participaron en las campañas de trabajo de campo.

Financiamiento

El presente mapa fue elaborado con recursos propios de la Universidad de Sonora.

Referencias

Calmus, T., Vega Granillo, R., Lugo Zazueta, R., 2011. Evolución geológica de Sonora durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico. Boletín del Instituto de Geología de la UNAM 118 (7), 227–266.

Drdos, J., 1992. On the carrying capacity of environment. Geografía y Desarrollo 3 (7), 19–24.

García-Romero, A., Muñoz, J., 2002. El paisaje en el ámbito de la Geografía. Instituto de Geografía, UNAM.

Grijalva-Noriega, F.J., Roldan-Quintana, J., 1998. An overview of the Cenozoic tectonic and magmatic evolution of Sonora, northwestern Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 15 (2), 145–156.

Gutiérrez-Anguamea, G. A., 2012. Metodología para la elaboración del mapa hidrogeomorfológico de la cuenca el río Asunción. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora.

Gutiérrez-Anguamea, G. A., Martínez-Haros, A. L., Minjárez-Sosa, J. I., 2016. La utilidad del análisis del relieve en beneficio de la sociedad. EPISTEMUS 10 (21), 68–74, https://doi.org/10.36790/epistemus.v10i21.36.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1996-2020. Cartas topográficas escala 1:50,000. Claves: H12B66; H12D45; H12B65; H12B64; H12D23; H12B75; H12B74; H12D12; H12D22; H12B72; H12A89; H12B71; H12C39; H12C29; H12A79; H12B61; H12A69; H12C19; H12D32; H12D75; H12B62; H12B73; H12B63; H12B53; H12D65; H12D55; H12B38; G12B38; G12B37; H12D64; G12B47; H12D56; H12D52; H12D46; H12D76; H12D14; H12A87; H12D35; H12D54; H12A88; H12D54; H12A78; H12A48; H12A85; H12A77; H12D77; H12B83; H12B52; H2A49; H12A65; G12B48; G12B46; H12D67; H12B82; H12B42; H12D44; H12D74; G12B36; G12B28; G12B58; H12B67; H12D34; H12D25; H12A34; H12A24; H12B86; H12D51; H12A23; H12D63; H12A56; H12D21; H12A43; H12D11; H12A33; H12A45; H12A44; H12D38; G12B17; H12B44; H12B45; H12D16; H12B76; H12A15; H12D57; H12D15; H12B81; H1A35; H11A54; H12A55; H12A64; H12A57; G12B25; G12B26; H12D87; H12B54; H12D66; I11D89; H12D36; H12D24; H12D31;H12D42;

H12D73; H12A14; I12C82; I12C81; H12D85; I12C83; I11D89; H12A13; H12B85; H12D84; G12B68; H12B84; H12B55; H12A36; G12B56; G12B67; H12B41; H12A59; H12B87; H12D83; H12B14; H12A66; H12A74; H12A75;H12A86; H12B46; H12B77; H12D26; H12B51; H12C17; G12B77; G12B15; H12B31; H12B56; H12D33; H12D43; H12D53; H12C47; H12D17; H12D27; H12C18; G12B35; H12C36; H12B43; H12C15; H12C16; H12C37; H12C28; H12A58; H12A68; H12C38; H12C36; H12C35; H12C27.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2015. Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) Sonora a 15m. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/.

Lopez García, M. J., Carmona, P., Ruíz, J. M., Camarasa Belmonte, A. M., 2006. El uso de imágenes Ikonos para la cartografía de riesgo de inundación en pequeñas cuencas mediterráneas. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas, 949–951.

Lugo-Hubp, J., 1989. Diccionario geomorfológico. Instituto de geografía, UNAM.

Lugo-Hubp, J., 1991. Elementos de geomorfología aplicada: Métodos cartográficos. Instituto de geografía, UNAM.

Lugo-Hubp, J., Córdova, C., Aceves Quesada, J.F., García Arizaga, M.T, 1990. Morfometría. En: García Silberman de Fuentes, A. (Ed.), Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM, p. 201.

Mateo-Rodríguez, J.M, 2020. Geografía de los paisajes. Editorial Universitaria, Cuba.

Minjárez-Sosa, J.I., Ramírez, L., Martínez, A., Gutiérrez, G.A., Tapia, E., Montijo, A., 2007. Atlas de Peligros Naturales de Nogales, Sonora. Nogales, Sonora, México.

Minjárez-Sosa, J.I., Ramírez, L., Villa, A., Gutiérrez, G.A., Martínez, A., Tapia, E., Montijo, A., 2008. Atlas de Riesgos para el Estado de Sonora. Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Sonora.

Morales-Quintero, D. E., Vélez-Macias, F. d. J., Guerrero-Hoyos, B., 2019. Caracterización hidrogeológica y geomorfológica de la cuenca y embalse del parque natural la Nitrera. Revista de la Facultad de Ciencias 8 (1), 73–99, https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v8n1.71399.

NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, U.S./Japan ASTER Science Team, 2009. ASTER Global Digital Elevation Model [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, https://doi.org/10.5067/ASTER/ASTGTM.002.

Rodríguez, J.A., 2011. Génesis de cavidades graníticas en ambientes endógenos y exógenosTesis de Doctorado. Universidad de Coruña.

Serrano, E., Blanco, J.A., Calonge, G., Díez, A., Molina, E., Pol, C., Sánchez del Corral, A., 2002. Geomorfología y Paisaje. Universidad de Valladolid.

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), 2005-2010. Imágenes del satélite Landsat-7. Código de identificación: LE70370392005326EDC00; LE70340382005337EDC00; LE70350382007344EDC00; LE70360402007351EDC00; LE70360392006351EDC00; LE70360382006351EDC00; LE70340422009353EDC02; LE70340412009353EDC00; LE70340402009353EDC00; LE70340392010353EDC00; LE70370382009358EDC00; LE70350412009360EDC00; LE70350402009360EDC00; LE70350392009360EDC00; LE70380382009365EDC00.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1997-2003. Cartas Geológico-Mineras Interactivas, escala 1:250,000. Clave: G12-02; G12-03; G12-06; H12-01; H12-02; H12-03; H12-04; H12-05; H12-06; H12-07; H12-08; H12-09; H12-11; H12-12; I12-10.

Tapia-Valera, G., López-Blanco, J., 2002. Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 19 (1), 50–65.

Vergara-Tacilla, L., 2017. Caracterización de las Unidades Geomorfológicas en el Distrito de Jesús, CajamarcaTesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Cajamarca.

Verstappen, H. T., 1983. Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development. Elsevier, Amsterdam; New York.

Verstappen, T., Van Zuidam, R., 1981. El sistema ITC para el levantamiento geomorfológico. ITC Publication.

This article accompanies the following material:

Static map: 10.22201/igg.25940694e.2022.1.93.195

Interactive map: 10.22201/igg.25940694e.2022.1.93.196