

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA ALIP CON LA AYUDA DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

CHARACTERIZATION OF THE BASIN ALIP WITH THE HELP OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

¹A. Viera-Briones, ¹A. López-Santos, ²J. L. González-Barrios, ²R. Trucios-Caciano

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACH. Bermejillo, Dgo. CP. 35230

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera (CENID-RASPA). Km. 6.5 Margen derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio, Dgo.

RESUMEN. Las características físicas en hidrología son las concernientes a la cuenca, red de drenaje y al cauce principal. El estudio se desarrolló en la cuenca Arroyo La India-Laguna Palomas (ALIP), que se localiza hacia el extremo sureste del estado de Chihuahua (27° 22' 27" N, 105° 11' 36" W, 103° 39' 47" E, 25° 34' 43" S) y al norte del estado de Durango; de acuerdo a INEGI (1992,) la superficie de esta cuenca es compartida entre los estados de Durango, Coahuila de Zaragoza y Chihuahua. Para Forma, se calculó la relación de circularidad, coeficiente de elongación y factor de forma. En cuanto al sistema de drenaje, se obtuvo el tipo de drenaje; pendiente media del cauce principal; tiempo de concentración, orden de la corriente, densidad de drenaje. En forma, se obtuvo 0.13, y su elongación fue de 0.41, alargada con una longitud del cauce principal de 319.9 km. La densidad fue de 0.2722 km/km², siendo la cuenca pobremente drenada. La pendiente media del cauce fue de 0.33 %. El orden fue seis y su textura media, indicando una escorrentía superficial leve y permeabilidad del suelo media. El tipo de drenaje es dentrítico. El tiempo de concentración fue 2,910 minutos. El volumen medio en la cuenca es de 1, 705.4 millones de m³ y un gasto máximo de 145,542 m³/s con un periodo de retorno a 25 años con el método racional modificado. Con las fórmulas Lowry y Creager, de los métodos envolventes el gasto fue de 14, 620 y 14, 355 m³/s. Con el método simplificado de las huellas máximas el gasto máximo se presentó en el Punto tres del sitio La Vega con 55.89 m³/s.

Palabras clave: Hidrología superficial, SIG, análisis morfológico.

SUMMARY. The physical characteristics in hydrology are the concerning to the river basin, network of drainage and to the main channel. The study was developed in the River basin Stream the India-Lake Doves that are located towards the south-east end of the state of Chihuahua (27° 22' 27" N, 105° 11' 36" W, 103° 39' 47" E, 25° 34' 43" S) and to the north of the state of Durango; according to INEGI (1992) the surface of this basin is shared between the states of Durango, Coahuila and Chihuahua. For Form, one calculated the relation of circularity, coefficient of elongation and form factor. As far as the drainage system, it obtained the type of drainage; pending average of the main channel; time of concentration, order of the currents, drainage density. In form, 0.13 were obtained, and its elongation was 0.41, extended with a length of the main channel of 319.9 km. The density was of 0.2722 km/km² being the river basin poorly drained. The pending average of the channel was of 0.33 percent. The six order was and its average texture, indicating a slight surface run-off and permeability of the average ground. The type of drainage is dentritic. The time of concentration was 2,910 minutes. The average volume in the river basin is of 1, 705.4 million m³ and 145, 542 a maximum cost of m³/s with a period of return to 25 years the modified rational method. With the formulas Lowry and Creager, of the surrounding methods it was of 14, 620 and 14, 355 m³/s. With the simplified method of the tracks principles the maximum cost appeared in Point 3 of the site the La Vega with 55,89 m³/s.

Keywords: Surface hydrology, GIS, morphological analysis.

INTRODUCCIÓN

En cualquier región no sólo es importante conocer las características hidrológicas por su relación con la capacidad de producir cosechas o criar ganado, sino porque un buen conocimiento del comportamiento hidrológico especialmente asociado a la lluvia, entre

otras cosas: i) Permite prevenir avenidas, que pueden estar fuera de lo normal; ii) Proteger obras civiles, tales como puentes, caminos, áreas urbanas, etc.; iii) Aprovechar excedentes, además de los ya mencionados (agrícola y/o ganadero), para el uso urbano, la recreación y hasta para la vida silvestre; y iv) Para conservar el suelo de los efectos erosivos de la lluvia y las escorrentías (Conafor, 2007).

Los principios del ciclo hidrológico son determinantes para la agronomía, ya que el uso y manejo del agua constituye el eje en la producción y conservación silvoagropecuaria. En este caso, sobresale el enfoque propuesto por Branson *et al.* (1981), que da pie al desarrollo de una hidrología de pastizales o manejo de cuencas de pastizal, esto con base en que: "...40 % de la superficie mundial es de pastizal, de la cual mas del 80 % está dentro de las zonas áridas y semiáridas."

Según Dal-Ré (2003), los Sensores Remotos (SR) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten obtener y manipular información espacialmente distribuida, como la precipitación, uso de suelo, pendientes, etc., así como almacenar, gestionar y presentar de una forma racional grandes cantidades de datos que los modelos distribuidos manejan.

Una de las principales ventajas que ofrece la información obtenida a partir de teledetección es que se encuentra en formato digital, por lo que puede ser directamente utilizada por los SIG, evitando las costosas tareas asociadas a los cambios de formato. Por lo tanto, los SIG constituyen una herramienta de grandes posibilidades para la aplicación distribuida de modelos hidrológicos a partir de información digital, y la teledetección el complemento ideal para suministrar dicha información (Dal-Ré, 2003).

Determinar la extensión de una inundación es una función de la comunidad de investigación hidrológica y provee

un servicio vital para ingenieros y planificadores en el uso y manejo del recurso agua. Hudson y Colditz (2003), citado por Garatuza (2007), combinaron sensores remotos y acercamientos geomórficos para delinear la extensión de un gran huracán que provocó una inundación en la parte baja del Pánuco (98,227 km²). Los escurrimientos superficiales son estudiados principalmente con el fin de generar información para el diseño de obras de almacenamiento de agua, vertedores de demasías y obras de conservación de suelo, etcétera.

El objetivo es aplicar los principios y conceptos del ciclo hidrológico considerando a la cuenca como unidad de estudio definida a partir de rasgos geomorfológicos y geográficos; y delimitar y caracterizar la hidrología superficial de la cuenca Arroyo La India-Laguna Palomas a partir de rasgos cuantitativos utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

Se localiza hacia el extremo sureste del estado de Chihuahua (27° 22' 27" N, 105° 11' 36" W, 103° 39' 47" E, 25° 34' 43" S) y al norte del estado de Durango; de acuerdo a INEGI (1999), la superficie de esta cuenca es compartida entre los estados de Durango, Coahuila de Zaragoza y Chihuahua (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de la Región Hidrológica 35-Mapimí en el contexto nacional y división de las cuencas que la conforman: (A) Polvotillos-Arroyo El Marquez; (B) Lago del Guaje-Lipanes; (C) Lago del Rey; (D) Valle Hundido; (F) El Llano-Lago del Milagro; y (E) Arroyo La India-Laguna Palomas.

Métodos y procedimientos

La metodología empleada para el estudio hidrológico de la cuenca Arroyo La India-Laguna Palomas cubrió ocho etapas que van desde la ubicación general de la cuenca en el contexto nacional y estatal, con base en las regiones hidrológicas definidas por la CNA (2008), hasta la identificación y caracterización de las corrientes superficiales, como se indica en la Figura 2.

Se hizo un recorte de los mapas temáticos de fisiografía, geología, uso de suelo y vegetación, edafología y localidades de nivel nacional a nivel de la cuenca Arroyo La India-Laguna Palomas, con el programa de ArcView 3.3 y ArcGis® 9.2, desarrollados por la empresa estadounidense Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), descargados del portal de INEGI de la Conabio. Se digitalizaron las corrientes superficiales con base en las cartas topográficas escala 1:250 000 de INEGI (1992, 2000).

Características reales de la cuenca ALIP

Tamaño de la cuenca. La cuenca ALIP presenta un área de 13,580.68 km² calculada con el módulo ArcMap

(versión 9.2) del programa ArcGIS Desktop (Arcinfo Desktop), de acuerdo al polígono delimitado por la CNA (2008).

Parámetros de la forma de la cuenca. Para la forma de la cuenca se obtuvo la relación de circularidad a

partir de la fórmula de Morisawa (1959): $C = \frac{Ab}{Ac}$

donde:

C = relación de circularidad.

Ab = relación del área de la cuenca.

Ac = área de un círculo teniendo el mismo perímetro.

La relación de elongación. Se utilizó la fórmula

propuesta por Schumm, 1956: $Re = \frac{Dc}{Lm}$ donde:

Re = relación de elongación.

Dc = es el diámetro de un círculo con la misma área que la cuenca.

Lm = es la máxima longitud de la cuenca.

Factor de forma. Establece la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del cauce, lo que es

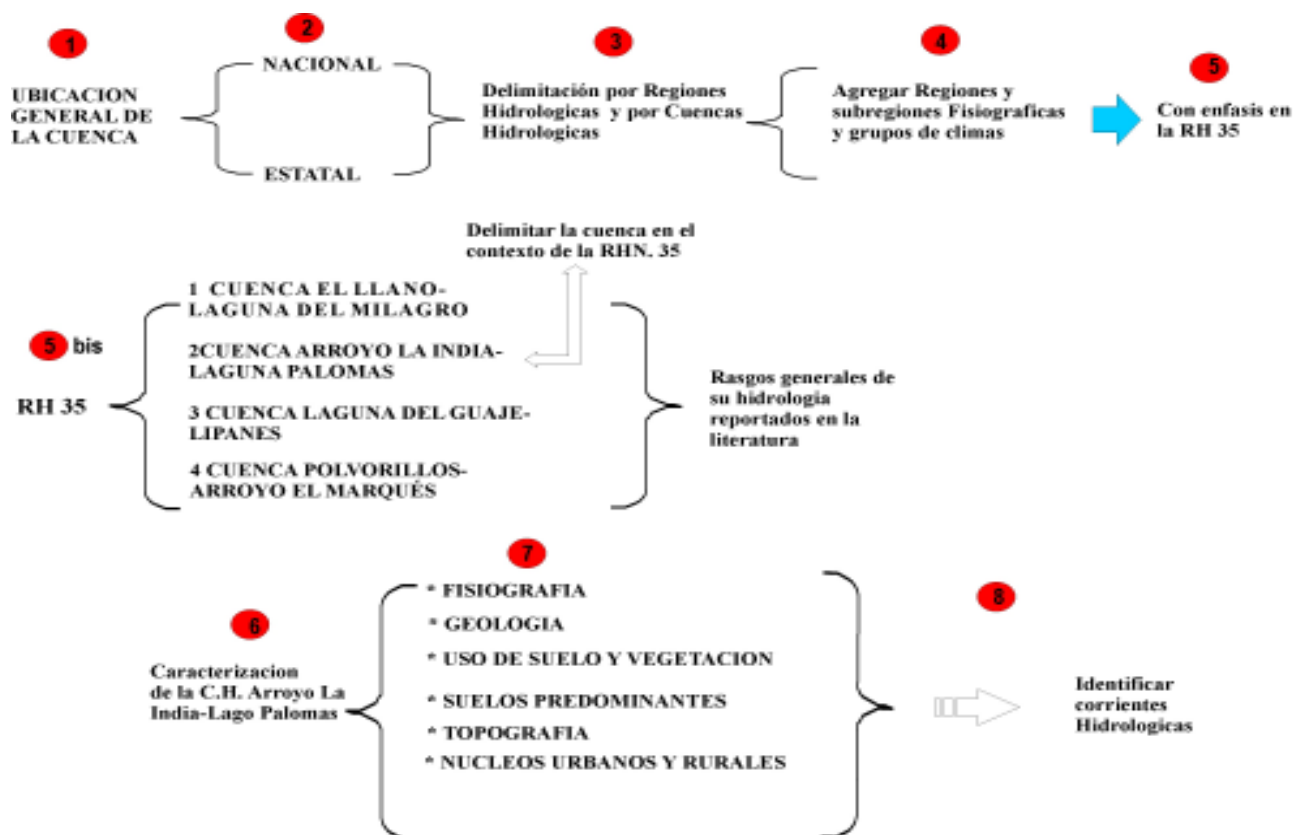


Figura 2. Diagrama de flujo relacionado con el proceso de análisis digital de la cuenca Arroyo y La India-Laguna Palomas, en el cual se inició de lo general a lo particular.

igual a considerar el área de la cuenca sobre la longitud del cauce al cuadrado Schumm (1956). Esto se representa de la siguiente manera:

$$Ff = B/L = A/L^2, \text{ donde:}$$

Ff = factor de forma.

A = área de la cuenca.

L = longitud del cauce principal.

Parámetros de la red de drenaje. Para el caso de la red de drenaje se consideraron los tipos de corrientes, modelo o tipo de drenaje, orden de las corrientes, densidad de drenaje y densidad de corrientes y otras, las cuales se muestran a continuación.

Orden de la Corriente. Horton (1945) clasificó en tres las corrientes; el "1" a las más pequeñas (no están ramificadas); el "2" tienen ramificaciones o tributarios de primer orden; el "3" con dos o más tributarios de orden dos o menor.

Densidad de drenaje. Definida por Horton (1932), es la longitud de las corrientes dentro de una cuenca por unidad de área, y puede expresarse de la siguiente

$$\text{forma: } D_d = \frac{L_s}{A}, \text{ donde:}$$

D_d = densidad de drenaje.

L_s = longitud total de las corrientes.

A = área de la cuenca.

Densidad de corrientes. Se define como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área y, conforme a Aparicio (2008), se obtiene con la siguiente fórmula:

$$D_s = \frac{N_s}{A}$$

Donde:

N_s = número de corrientes perennes e intermitentes.

A = área de la cuenca.

Pendiente media. La pendiente media es la diferencia de la altura máxima y la mínima del cauce principal entre la longitud del mismo por 100. Determinada por la

$$\text{siguiente ecuación: } S = 100 \frac{H}{L} \text{ (CP-SARH-SPP, 1991;}$$

Becerra, 2005) donde:

S = pendiente del tramo de cauce en %.

H = desnivel entre los extremos del cauce, en metros.

L = longitud horizontal del tramo del cauce, en metros.

Tiempo de concentración. Es una aproximación al tiempo que tardaría el agua en recorrer la distancia

existente entre el punto más alejado, y la salida de la cuenca. De acuerdo a Becerra (2005), el tiempo de concentración (T_c) se calcula con la fórmula siguiente:

$$T_c = 0.02 \left[\frac{L^{1.15}}{H^{0.385}} \right]$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración, en minutos.

H = desnivel entre el punto más alejado de la cuenca y el sitio de aforo, en metros.

L = longitud del cauce principal, en metros.

Escurrecimientos superficiales

Volumen medio. Para calcular el escurrimiento medio es necesario conocer el valor de la precipitación media, el área de drenaje y su coeficiente, de acuerdo a Becerra (2005), el cual se determina con la fórmula $V_m = A \cdot C \cdot P_m$, donde:

V_m = volumen medio que puede escurrir (miles de m^3).

A = área de la cuenca (ha).

C = Coeficiente de escurrimiento (de 0.1 a 1.0).

P_m = Precipitación media (mm).

Gasto máximo. Método racional modificado. Cuando se requiere determinar la descarga máxima en un punto dado de un cauce después de ocurrida una lluvia tormentosa, se utiliza la fórmula racional modificada, la cual toma en cuenta el área de la cuenca y la altura de la precipitación en 24 horas para diferentes periodos de retorno (Aparicio, 2008), expresándose con la ecuación: $Q = 0.028CLA$, donde:

Q = Escurrimiento máximo en (m^3/seg), 0.028 = constante numérica resultante de las unidades en que se expresan las variables; C = coeficiente de escurrimiento que varía de 0.1 a 1, de acuerdo con las características de la cuenca; L = Lluvia máxima en 24 horas para un período de retorno dado (en cm); y A = área de la cuenca en hectárea.

Métodos envolventes. Estos métodos toman en cuenta sólo el área de la cuenca. No analizan la relación entre la lluvia y el escurrimiento, pero son de enorme utilidad en los casos en que se requieran solo estimaciones de los gastos máximos probables, o bien cuando se carezca casi por completo de información (Aparicio, 2008). Las fórmulas son: Creager: $q = 0.936/Ac^{0.048}$, donde:

q = gasto máximo por unidad de área, $q=Q/Ac$.

$\alpha = 0.936/Ac^{0.048}$, C_c (constante de Creager) es un coeficiente empírico.

Ac = área de la cuenca en km².

Fórmula de Lowry: $q = \frac{C_L}{(A_c + 259)^{0.85}}$ z donde:

q = gasto máximo unitario, en m³/s/km².

Ac = área de la cuenca, en km².

C_L (constante de Lowry) es otro coeficiente empírico.

Método simplificado de las huellas máximas.

De acuerdo a CP-SPP-SARH (1991) para una carcava con taludes verticales se calcula el área de la sección con la fórmula siguiente:

$$A = d \left(\frac{he}{2} + \sum h_i + \frac{he'}{2} \right)$$

Donde: A = Área de la sección (m²).

d = Ancho de cada porción (m).

he y he' = Alturas extremas (m).

Óh_i = Suma de las alturas intermedias (m).

Luego se determina la velocidad de flujo, calculándose

primero el radio hidráulico $r = \frac{A}{P}$ y (r = Radio hidráulico

(m), A = Área de la sección (m²) y P = Perímetro mojado (m)) en seguida la velocidad con la fórmula de Manning

$$V = \frac{r^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (V = \text{Velocidad del flujo o de la corriente}$$

(m/s), r = Radio hidráulico de la sección (m), s =

Pendiente de la sección (metro/metro) y n = Coeficiente

de rugosidad (adimensional)) y por último se obtiene el

escurrimiento máximo mediante la fórmula Q = A*V

donde: Q = Escurrimiento máximo (m³/s), A = Área hidráulica de la sección (m²) y V = Velocidad del flujo (m/s).

Para el cálculo del escurrimiento máximo se tomaron datos en dos sitios de la cuenca ALIP. Los del Sitio 1-Rancherías, puntos 1, 2 y 3, corresponden al trabajo de campo tomado el sábado 21 de agosto de 2010, en el arroyo La India cerca de la pequeña propiedad de Rancherías a 26° 31' 09.5" latitud N y -103° 52' 42.5" de longitud W y una altitud 1,138 m dentro del área de la Reserva de la Biosfera Mapimí, Mapimí, Durango; y los datos del Sitio 2-La Vega, puntos 1, 2 y 3 que pertenecen al lugar llamado La Vega del arroyo del mismo nombre, ubicado a los 26° 37' 09.9" de latitud N y -103° 49' 37.5" de longitud W y una altitud 1119 m.s.n.m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Climatología

Por su extensión, en la cuenca se presentan cuatro tipos de clima, todos de tipo árido. El clima que predomina es el BWhw (muy árido, semicálido con lluvias de verano del 5 al 10.2 % anual), el cual abarca el 39 % del total, de amplitud térmica extremosa (Figura 3) (García, E., Conabio, 1998).

La precipitación media anual en el área con el método de los polígonos de Thiessen es de 321.94 mm, datos calculados con las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca de acuerdo al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2006). La precipitación promedio mínima es de 188.9 y la máxima es 578.90 mm.

La evaporación promedio anual es de 2,256.79 mm con el método de los polígonos de Thiessen, con una mínima de 1,806.1 mm y 2,646.1 mm como máxima. La temperatura media anual es de 18.33 °C, con 14.9 y 20.6 como mínima y máxima, respectivamente, con el mismo método (IMTA, 2006).

Fisiografía

La cuenca ALIP está dividida en dos provincias fisiográficas con características muy contrastantes: la provincia Sierras y Llanuras del Norte y la Provincia Sierra Madre Oriental. Dividida a su vez en tres subprovincias fisiográficas: Bolsón de Mapimí (1,090,405.03 ha), Llanuras y Sierras Volcánicas (230,985.87 ha), y Sierras y Llanuras del Norte (36,677.45 ha), (Figura 4); éstas dividen a la cuenca en tres porciones muy desiguales (INEGI, 2001).

Geología

La historia geológica de esta cuenca se inicia a fines del Cretácico e inicios del Terciario (Bartolino, 1988 citado por INEGI 2003). Durante ese período se depositaron primero las capas de La Soledad en un ambiente marino y después en uno terrestre. La deformación de estas capas en una serie de cuencas endorreicas se llevó a cabo en el Eoceno temprano y medio a raíz de la orogenia Laramídica (INEGI, 2003).

La mayor parte de la cuenca está comprendida por terrazas marinas, gravas, arenas y limo, con depósitos aluviales y lacustres (Figura 5). Con una permeabilidad de media a alta (generalizada) del Pleistoceno reciente, con una superficie de 8,024.89 km², la cual corresponde a un 59.09 % del total (Marín-C, S y Torres- Ruata, C., 1990).

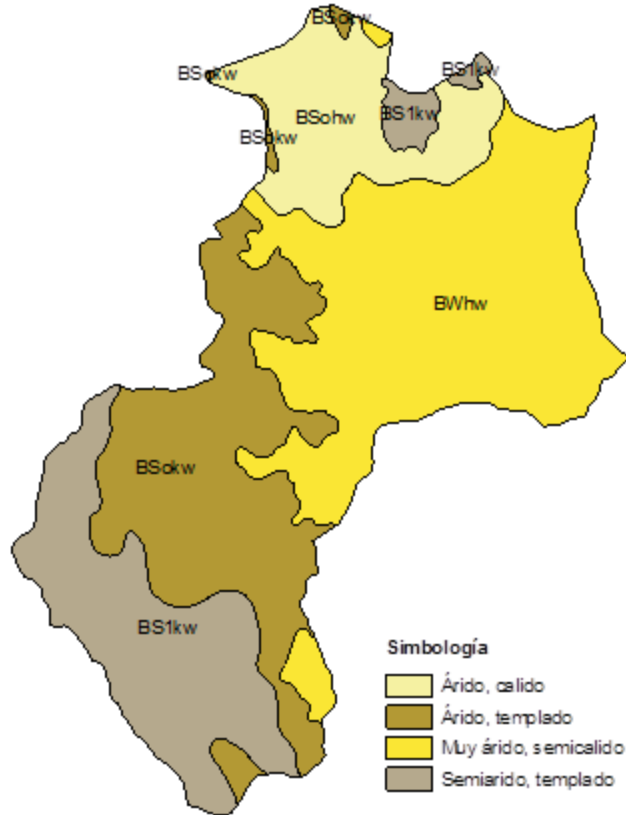


Figura 3. Distribución climática en la cuenca. Fuente: elaboración propia con datos de García, E., Conabio (1998).

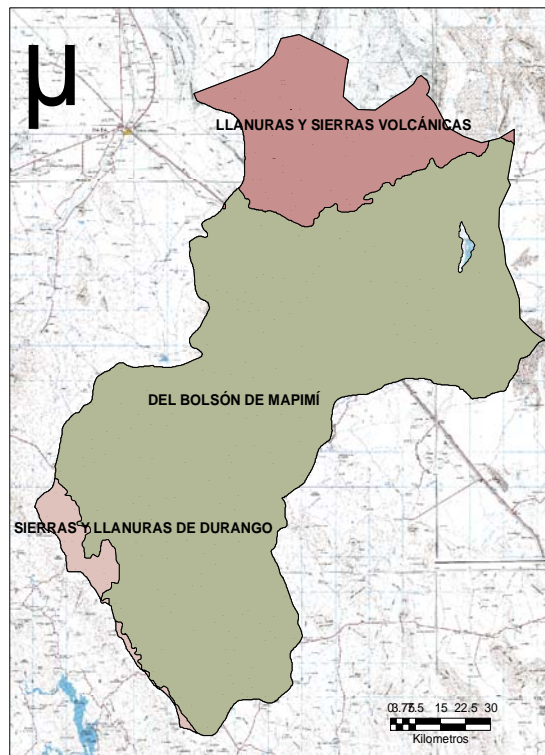


Figura 4. Subprovincias de la cuenca. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, (2001).

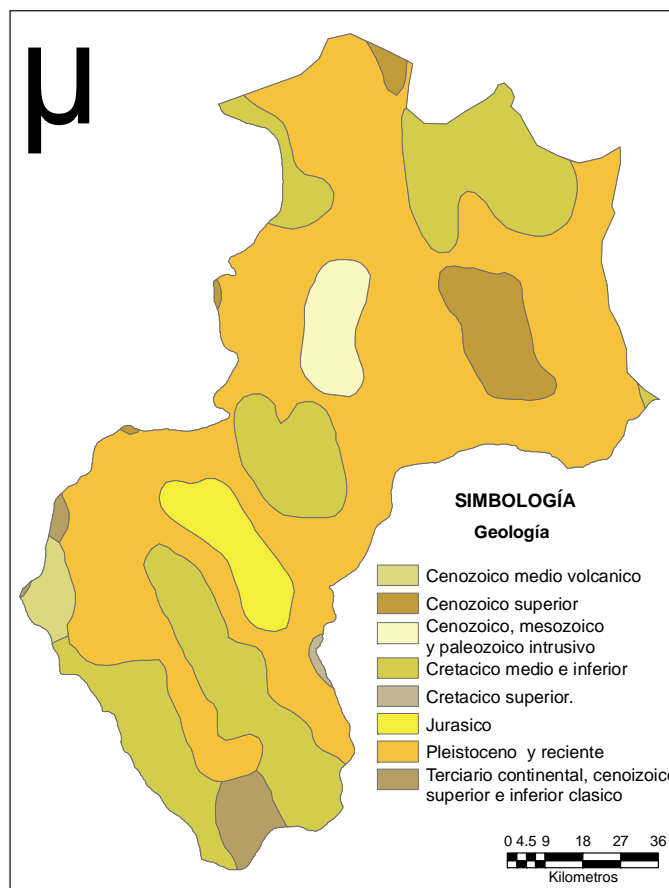


Figura 5. Geología de la cuenca ALIP. Elaboración propia con datos de Marín-C, S y Torres- Ruata, C. (1990).

Edafología

Los diferentes tipos de suelos de la cuenca ALIP se diferencian esencialmente por el tipo de material en el cual se desarrollan y por su situación geomorfológica, formada principalmente por depósitos aluviales y coluviales.

La textura media en los 30 cm superficiales de los suelos es la dominante en más del 84.35 % del área de la cuenca y las texturas gruesa y fina en menor porcentaje, con 15.26 y 0.40 %, respectivamente, por lo que en general la infiltración del agua en los suelos es buena. Las unidades de suelo presentes en la cuenca, por orden de dominancia, son: Xerosol, Regosol, Rendzina, Yermosol, Litosol, Feozem y Chernozem; dentro de éstos el Xerosol háplico, Regosol calcárico y Xerosol cálcico (Figura 6) son los que presentan mayor superficie en la cuenca, con un 21.17, 17.48 y 16.38 %, respectivamente (INIFAP-Conabio, 1995).

Uso del suelo y vegetación

La vegetación de la cuenca corresponde a matorrales xerófilos, micrófilos, bosque y chaparrales de distintas composiciones a manera de mosaicos con vegetación halófila en las planicies. La vegetación natural, como expresión sintética de todos los factores ambientales, se ha desarrollado en la cuenca bajo una gran variedad de formas, por lo cual su composición y fisonomía se ha modificado con la topografía y tipo de suelo (CONANP, 2006).

Los denominados matorrales xerófilos poseen adaptaciones morfológicas para soportar los largos periodos de sequía, que presentan una gran variedad de formas; entre ellos destacan, por su abundancia en el estado, el matorral desértico micrófilo y el matorral desértico rosetófilo; otro tipo de matorral que crece en condiciones de menor aridez es el matorral submontano. También presentes en esta provincia están el mezquital,

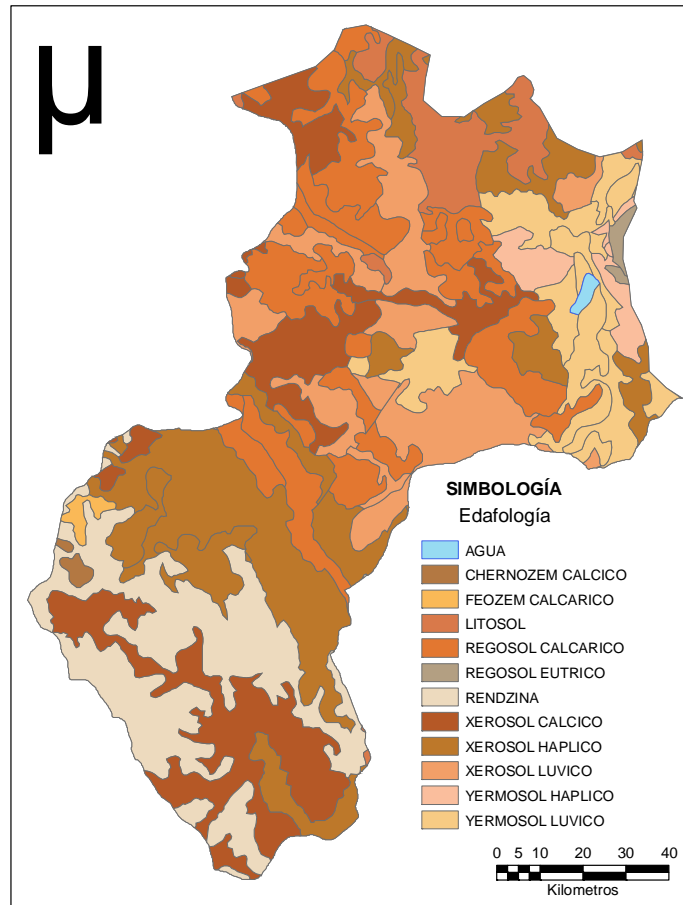


Figura 6. Edafología de la cuenca ALIP. Elaboración propia con datos de INIFAP-Conabio (1995).

la vegetación de desiertos arenosos y los eriales o terrenos desprovistos de vegetación (CONANP, 2006).

En las partes topográficas más bajas, también llamadas “bolsones” más o menos extensos, donde se acumulan las aguas con cierta periodicidad, que al evaporarse propician la acumulación de sales y sodio en el suelo, crecen formas de vida adaptadas a condiciones de salinidad y alcalinidad, como la vegetación halófila y el pastizal halófilo.

Se reconocen para la zona las siguientes unidades de vegetación: matorral desértico rosetófilo, vegetación halófila, vegetación de desiertos arenosos, pastizal natural, matorral desértico micrófilo, matorral subinerme y matorral espinoso; así como bosque bajo-abierto y bosque de táscate (Figura 7).

Análisis morfológico

Área. Con base en la superficie obtenida con ArcMap 9.2, la cuenca ALIP presenta un área de 13,580.68 km²,

clasificada como una cuenca muy grande de acuerdo a Sanchez (2005); diferente a la que presenta la Comisión Nacional del Agua (1998) con 13,479.65 km², y la del acuerdo de fecha 14 de julio de 2008 menciona que ésta tiene una superficie de aportación de 11,142.9 km² de la misma comisión.

Parámetros de la forma de la cuenca. La cuenca ALIP tiene una Relación de circularidad (Rc) de 0.38, lo que indica una circularidad baja. Es decir, valores cercanos a 1 serían representativos de una cuenca de forma circular, cuya característica principal es que ésta provee una mayor área de captación que para formas oblongas o no circulares. Igualmente presenta una Relación de elongación (Re) de 0.41 y un factor de forma de 0.13.

Las corrientes presentes en la cuenca ALIP son de clase o tipo efímeras, dado que transportan agua inmediatamente después de una tormenta (Aparicio, 2008). De acuerdo a la Conafor (2007), la cuenca ALIP presenta un tipo de drenaje dendrítico, es decir, que la

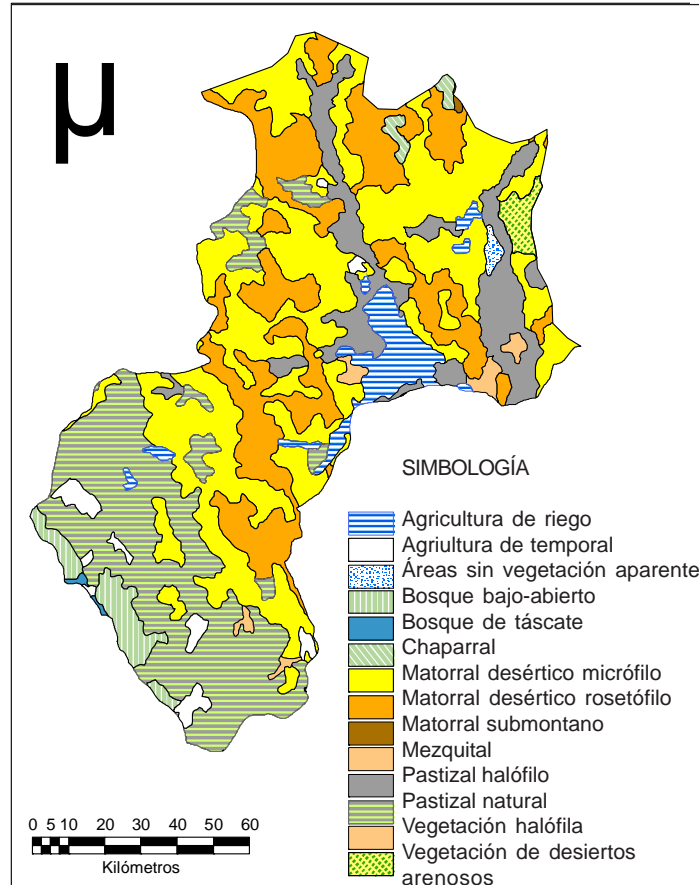


Figura 7. Uso de suelo y vegetación de la cuenca ALIP
Fuente: elaboración propia con datos de INEGI-INE, (1996).

red de drenaje toma la forma de una mano extendida, siendo este tipo el más común (Figura 8). De acuerdo al sistema de clasificación de Horton, la cuenca ALIP presenta un orden seis, como se observa en la Figura 9. El orden de corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca (Campos, 1987).

En la determinación de la densidad de drenaje se calculó la longitud total de los cursos de agua, dividida entre el área total de la cuenca dando como resultado un valor de 0.2722. De acuerdo a Viramontes *et al.* (2009), se considera que valores de densidad próximos al 0.5 km/km² corresponden a una cuenca pobremente drenada. Mientras que de 3.5 km/km² o mayores indican una red de drenaje eficiente. En cuanto a la densidad de corrientes, se encontró un valor de 0.0312. La pendiente media del cauce principal es de 0.33 %, y el tiempo de concentración es de 2,910 minutos, calculado con la fórmula de Kirpich (Becerra, 2005).

Escurrimientos superficiales. El volumen medio en la cuenca es de 1,705.4 millones de m³. De la misma forma, la CNA reporta en el acuerdo de lunes 14 de 2008 un volumen medio anual de escurrimiento natural de 163.33 Mm³ en el Diario Oficial, igualmente González-Barrios (1992) citado por CONANP (2006), menciona un escurrimiento medio anual estimado en 104 millones de metros cúbicos.

Gasto máximo. Con el método racional modificado se obtuvo un gasto máximo de 145,542 m³/s a un periodo de retorno de 25 años.

Métodos envolventes. En este caso se determinó un gasto de 14, 620 m³/s con la fórmula de Creager y de 14, 355 m³/s con la de Lowry.

Método simplificado de las huellas máximas. Con el método simplificado de las huellas máximas el gasto máximo se presentó en el Punto 3 del sitio La Vega, con 55.89 m³/s.

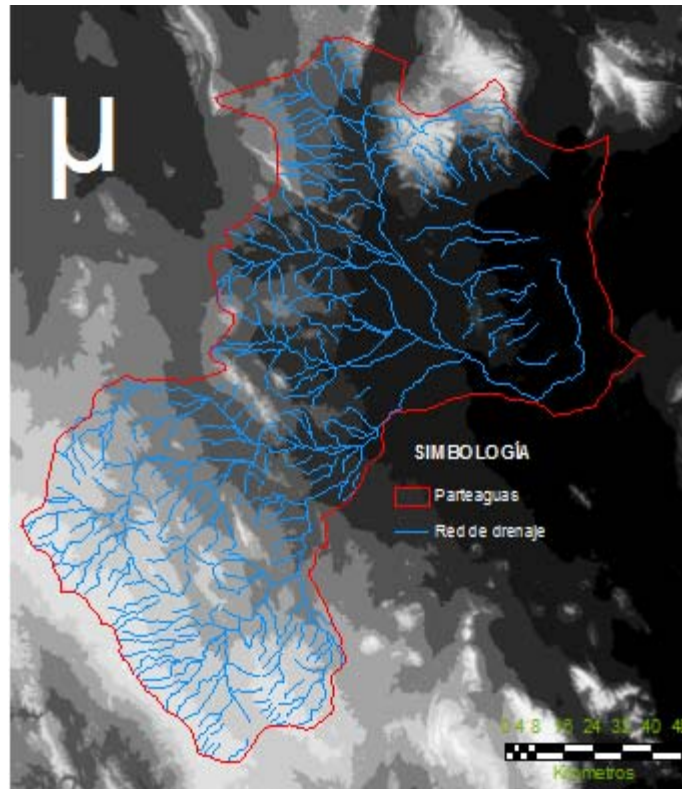


Figura 8. Red de drenaje de la cuenca ALIP. Fuente: elaboración propia en base a las cartas topográficas 1:250 000 de INEGI (1992).

CONCLUSIONES

Los escurrimientos superficiales son estudiados principalmente con el fin de generar información para el diseño de obras de almacenamiento de agua, vertedores de demasías y obras de conservación de suelo, etc.

El tamaño de la cuenca influye directamente en el escurrimiento superficial, ya que al incrementarse el tamaño se aumenta el volumen escurrido y los escurrimientos máximos.

El tiempo de concentración y la duración total de la escorrentía superficial producida por una determinada precipitación son función de la pendiente, teniendo más importancia que la forma y densidad de drenaje en la respuesta de una cuenca a un aguacero.

La cobertura vegetal es un factor importante en el control de la escorrentía, cuya magnitud afecta en una relación inversamente proporcional; dado que la vegetación amortigua el impacto de la lluvia sobre el suelo, y esto además de reducir el efecto erosivo por impacto de la

lluvia, favorece la infiltración del agua y reduce la magnitud de la escorrentía.

Cuanto mayor es la densidad de drenaje de una cuenca más rápida es la repuesta de la misma, esto porque aumenta la eficiencia de la misma para evacuar la escorrentía producida. Este parámetro resulta interesante puesto que proporciona una aproximación sobre la permeabilidad de los suelos de una cuenca. Los suelos poco permeables o arcillosos se caracterizan por redes de drenaje muy desarrolladas, mientras que los suelos arenosos, mucho más permeables, dan lugar a redes de drenaje poco densas.

El cálculo del escurrimiento máximo instantáneo mediante la fórmula racional (modificada), se utiliza sólo para determinar avenidas máximas como índice para el diseño en proyectos de diferentes obras de ingeniería.

Las corrientes presentes en la cuenca ALIP son de clase o tipo efímeras, dado que transportan agua sólo después de una lluvia.

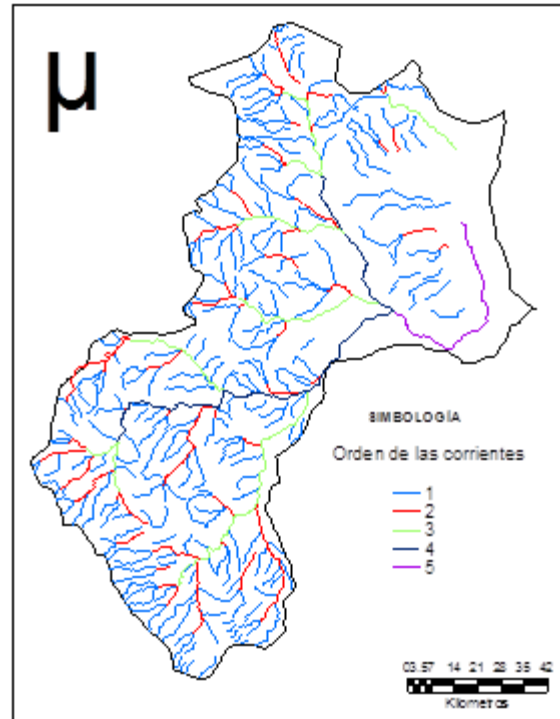


Figura 9. Orden de las corrientes de la cuenca ALIP. Fuente: elaboración propia en base a las cartas topográficas 1:250 000 de INEGI (1992).

En la cuenca no se encuentran estaciones hidrométricas (IMTA), tal vez por la condición de los arroyos (intermitente) La India, Cerro Gordo y otros que ahí se ubican.

Habría que hacer muestreos (revisiones) en campo para verificar el tipo de vegetación actual, uso de suelo, pendiente, textura, permeabilidad, etc., para determinar un valor del "Coeficiente de escurrimiento" más real para el área en estudio, incluso anual. Dado que varía en función de la variación de la intensidad de la lluvia y las condiciones de superficie de la cuenca; para no sobreestimar o subestimar los valores reales de los escurrimientos.

Los métodos empíricos arrojan resultados poco confiables, dado que proporcionan el gasto con base en las características fisiográficas y se emplean cuando no se dispone de información sobre las precipitaciones o los escurrimientos dentro de la cuenca, pero dan una idea preliminar de los escurrimientos que podrían ocurrir.

El volumen medio en la cuenca es de 1, 705.4 millones de m^3 y un gasto máximo de 145,542 m^3/s con un periodo de retorno a 25 años con el método racional

modificado. Con las fórmulas Lowry y Creager, de los métodos envolventes, fue de 14,620 y 14,355 m^3/s , respectivamente. Con el método simplificado de las huellas máximas, el gasto máximo se presentó en el Punto 3 del sitio La Vega con 55.89 m^3/s .

Existe la necesidad de completar la instrumentación de la cuenca Arroyo La India-Lago Palomas con la instalación de estaciones hidrométricas y aparatos para medir infiltración y erosión, con la finalidad de que los datos derivados de las mediciones sean más precisos que aquellos obtenidos por métodos indirectos.

LITERATURA CITADA

- Aparicio Mijares, F. J. 2008. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa. México, D.F. 303 p.
- Branson Farrel, A. *et al.*, 1981. Rageland Hydrology. Society for Range Management, Denver Colorado. Kendal/Hunt, Publishing Company. Dubuque, Iowa, USA y Toronto, Ontario, Can.
- Becerra Moreno, A. 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 375 p.

- Campos Aranda, D. F. 1987. Procesos del ciclo hidrológico, Volumen 1. Editorial Universitaria Potosina. UASLP. S.L.P. México.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras y prácticas (3 ed.). SEMARNAT, México. 298 p.
- CP-SARH-SPP. 1991. Manual de conservación del suelo y del agua (3 ed.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 584 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2008. Estadísticas del Agua en México, 2008. SEMARNAT. México, D.F. 228 p. <http://www.agua.org.mx/images/stories/entrevistas/EAM_2008.pdf> 26 de julio de 2009.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998. 'Cuencas Hidrológicas'. Escala 1:250000. México. <<http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>> (12 de noviembre de 2009).
- Dal-Ré Tenreiro, R. 2003. Pequeños embalses de uso agrícola. Mundi-Prensa. Madrid, España. 385 p.
- INEGI, 2000. Carta topográfica, Serie II. Gráfico Imagen digital México norte. Escala 1:250 000. CD. Serie de Imágenes Cartográficas Digitales. Aguascalientes, Ags. México.
- INEGI, 1999. Estudio hidrológico del estado de Chihuahua. Talleres Gráficos del INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags. México. 222 p.
- INEGI. 1992. Cartas topográficas: G1302, G1303, G1305, G1306 y G1308. Serie II. Escala 1:250 000, (3era impresión) en formato digital. Aguascalientes, Ags. México.
- Garatuza Payán, J. 2007. Uso actual y Perspectivas de la Percepción Remota en el Manejo Integral del Agua, pp. 87-99. In: Sánchez Cohen, Ignacio y Ghani Chebhouni. (Compiladores), Procesos hidrológicos en zonas áridas y semiáridas. De la investigación a la acción. INIFAP, CENID-RASPA y IRD (Institut de recherche pour le développement). Gómez Palacio, Dgo., México. Libro Científico No. 3.
- Moreno Jiménez, A. 2007. Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de Autoaprendizaje con ArcGIS. Alfaomega Ra-Ma. México, D.F. 895 p.
- Sanchez Cohen, I. 2005. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Gómez Palacio, Dgo., México. Libro científico N. 2. 272 p.
- Viramontes Olivas, O. A. 2009. Caracterización geomorfológica e hidrodinámica de la subcuenca San Pedro dentro del complejo hidrológico del río Conchos. Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chih. México. <http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CB/EO/CBO-09.pdf> (25 de octubre de 2010).