

Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua

Morphometric of San Pedro Basin, Conchos, Chihuahua.

OSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES-OLIVAS^{1,4}, LUIS FERNANDO ESCOBOZA-GARCÍA¹, CARMELO PINEDO-ÁLVAREZ², ALFREDO PINEDO-ÁLVAREZ², VÍCTOR MANUEL REYES-GÓMEZ⁴, JESÚS ADOLFO ROMÁN-CALLEROS¹, ADOLFO PÉREZ-MÁRQUEZ¹

Recibido: Octubre 7, 2007

Aceptado: Enero 9, 2008

Resumen

La caracterización de las propiedades morfométricas y la red de drenaje de una cuenca es el primer paso en la búsqueda de las relaciones entre esta y las condiciones climáticas y geológicas que determinan su evolución. En el presente trabajo, se analizaron los parámetros morfométricos de la cuenca del río San Pedro, Conchos que establecen el comportamiento evolutivo de la misma. Se empleó el MDE escala 1:50,000 para cálculo de superficie, perímetro, forma, relieve y densidad de drenaje. Para forma, los índices de compactación y elongación fueron: 2.41 y 0.56, respectivamente, indicando que la cuenca varía de oval-oblonga a rectangular que influye en la actividad dinámica del drenaje y en el tiempo de concentración de las aguas de lluvia al cauce principal. La curva y el análisis hipsométrico generado a partir de las altitudes, mostraron una estrecha correlación ($R^2= 0.96$) indicando que la zona se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la de desequilibrio o juventud, implicando un potencial erosivo que no debe subestimarse. La densidad de drenaje ($.80 \text{ km km}^{-2}$), muestra que la cuenca está pobremente drenada donde la textura y la vegetación juegan un papel importante en la retención de lluvia e infiltración con un tiempo de concentración de escurrimientos de 31 d. Las características morfométricas y la red de drenaje tan solo atenúan los efectos y la vigorosidad de las crecidas importantes para estudios de eventos inesperados de precipitación en el año.

Palabras clave: morfometría, escurrimiento, red de drenaje.

Abstract

The characterization of morphometric properties and the drainage web of a basin is the first step in the search of the relations between these and the climatic and geological conditions that determine its evolution. This work analyzed morphometric parameters in San Pedro Basin River, Conchos, that establish its evolutionary behavior. A DEM (Digital Elevation Model) scaled to 1:50,000 was used to calculate (surface, perimeter, shape, relief and drainage density). For shape, compactness and elongation indexes (2.41 and 0.56 respectively) showed that its shape is oval – oblong to rectangular, which influences the drainage dynamic activity and the lag time of rain water in the principal channel. The curve and hypsometric analysis generated, based on the altitudes, showed a strong correlation ($R^2= 0.96$), indicating that this zone is found in an intermediate stage between a relative balance or maturity and unbalance or youth, implicating an erosive potential that shouldn't be underestimated. The drainage density ($.80 \text{ km km}^{-2}$) shows that the basin is poorly drained, where texture and vegetation play an important role in rain water retention and infiltration with a drainage concentration time of 31 d. It is concluded that the morphometric characteristics and the drainage web do not increase but lighten the effects and force of the floods important for yearly unexpected precipitation events studies.

Keywords: Morphometrics, drainage, drainage web.

¹ Profesor investigador, Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Calle a Delta/Oaxaca S/N, CP 21705, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. Tel. (686) 523-0079. Fax (686) 523-0217.

² Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua., Periférico Francisco R. Almada, Km 1. Tel: 614 434-03-03.

³ Centro de Investigación Sobre Sequía, Instituto de Ecología, A.C. Km 33.3 Carretera Chihuahua-Cuauhtemoc, Chihuahua C.P. 32900. Tel. 614 459 60 18

⁴ Dirección de correspondencia: oviramon@gmail.com

Introducción

La subcuenca San Pedro pertenece a la cuenca del río Conchos, la más importante en el estado de Chihuahua, siendo un sistema fluvial donde sus atributos mayores se originan en la Sierra Madre Occidental y cuya función integral tiene que ver con la disponibilidad de agua y de otros recursos naturales (CNA, 2002). Los fenómenos hidrológicos que ocurren en una unidad fisiográfica conocida como cuenca y sus aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por la precipitación y donde los excedentes de agua convergen en un punto espacial único llamado cauce principal que influye en la dinámica de la zona (Maldonado *et al.*, 2001)

El proceso de caracterización de las propiedades morfométricas de la red de drenaje, es el primer paso en la búsqueda de las relaciones entre estos y las condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas que determinan la evolución de la cuenca (Navarrete, 2004). Murillo (2002) explican, que la extracción de modelos derivados como el mapa de pendientes ha permitido reconocer rasgos morfológicos mediante técnicas de análisis geomorfométricos clásicos que incluyen la fotointerpretación, análisis del mapa geológico y campo. Para González (2004) el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y el empleo de modelos digitales de elevación (MDE) para el reconocimiento de rasgos morfológicos ha sido importante en los últimos 15 años, los cuales se han orientado a la caracterización medioambiental del terreno derivando redes de drenaje de una zona y surgiendo como una alternativa importante para manejar, planear y evaluar los recursos naturales de una cuenca (Pinedo *et al.*, 2007) por lo que es posible analizar y simular diversos procesos que ayuden a interpretar el origen y la dinámica de espacios naturales con una precisión razonable a bajo costo y tiempo de operación, para el análisis de la información (Everitt *et al.*, 2006).

El comportamiento de la red hidrológica, puede verse modificado por las propiedades morfométricas de las cuencas (forma, pendiente y red hidrológica) que tienen que ver con la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto para disminuir o intensificar las crecidas ya que éstas, actúan incrementando el volumen del flujo y la

velocidad de su movimiento que son determinantes para evitar desastres en caso de fuertes lluvias (Robinson, 2000).

En base a lo anterior, el objetivo principal de esta investigación fue analizar las características morfométricas de la cuenca del río San Pedro, Conchos, a partir de MDE y tecnología SIG para determinar parámetros de forma, relieve y red de drenaje.

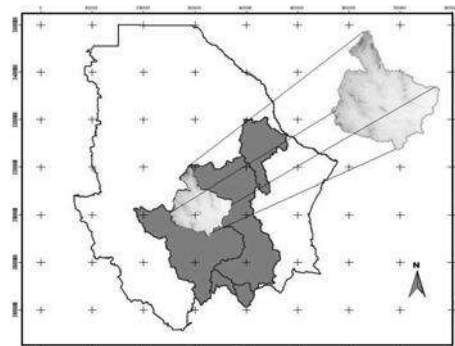
Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el Departamento de Agua y Suelo del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicado en el Ejido Nuevo León, Mexicali en coordinación con el Centro de Investigación Sobre Sequía (CEISS) del Instituto de Ecología A.C., localizado en el kilómetro 33.3 de la Carretera Chihuahua-Ojinaga.

Descripción del área de estudio.

El área de estudio (cuenca del río San Pedro) tiene una superficie de 12, 492.53 km² (Figura 1) que representa el 4.84 % del estado de Chihuahua ubicada en la Región Hidrológica 24, Río Bravo (INEGI, 1999).

Figura 1. Localización de la cuenca del río San Pedro, Conchos.



Se encuentra limitada al norte por la Sierra Azúl; al noroeste por la de Bernabé; al oeste por las estaciones de la Sierra Madre Occidental; al sureste por La Cieneguilla y al este por la Presa Francisco I. Madero (Ariel, 1985).

Para la parametrización se obtuvo área y perímetro, longitud de la cuenca, elevación media, desnivel del cauce principal derivado a partir del MDE 1:50,000 (INEGI, 1999) con el apoyo de los programas SIG.

Metodología

Parámetros de Forma:

a) Coeficiente de Compacidad (Cc) o Índice de Gravelius (1914). Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia; sus resultados estarán basados en la clasificación de Campos (1992) mostrados en el Cuadro 1. Cuánto más cercano esté el índice a la unidad, la cuenca será más circular y por tanto más compacta, y en la medida que aumenta, la cuenca adquiere una forma más oval.

La fórmula de Gravelius, está dada por:

$$C_c = \frac{(0.282)(P_c)}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Cc = Coeficiente de compacidad.

A = Área de la cuenca.

Pc= Perímetro de la cuenca.

Cuadro 1. Formas de la cuenca de acuerdo al Índice de compacidad.

Clase de Forma	Índice de Compacidad (Cc)	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26-1.50	Oval-redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

(Campos, 1992)

b) Razón de Elongación (Re). Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la

misma. La fórmula es la propuesta por Shumm (1956):

$$Re = \frac{(1.128)(\sqrt{A})}{L_c}$$

Donde:

Re= Relación de elongación.

Lc= Longitud del cauce principal de la cuenca.

A = Área.

La fórmula anterior, es la más extendida para calcular este índice debido a la alta correlación que guarda con la hidrología de la cuenca. Valores cerca a la unidad implicará formas redondeadas y cuanto menor sea a la unidad, será más alargada (González, 2004).

c) Factor de Forma (F). Este factor fue propuesto por Horton (1945) donde relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. En este sentido, valores inferiores a la unidad indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno, son redondeadas. Se expresa con la fórmula:

$$F = A / L^2$$

Donde:

A= Área de la cuenca.

L²= Longitud de la cuenca.

d) Tamaño de la cuenca. Para definirla, Campos (1992) propone una clasificación basada en la superficie de la misma (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación propuesta para el tamaño de cuencas.

Tamaño de la Cuenca (km ²)	Descripción
Menos de 25	Muy Pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia Pequeña
500 a 2,500	Intermedia Grande
2500 a 5000	Grande
Más de 5000	Muy Grande

(Campos, 1992)

Parámetros de relieve

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, (Navarrete, 2004). Algunos parámetros destacan:

a) Curva Hipsométrica. Permitirá caracterizar el relieve, obteniéndose a partir de las cotas de altitud registradas en los MDE 1:50,000 y complementado con la estimación de la superficie acumulada por cada cota.

b) Pendiente media de la cuenca. Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie.

La fórmula, es:

$$J = 100 * \frac{(\sum Li)(E)}{A}$$

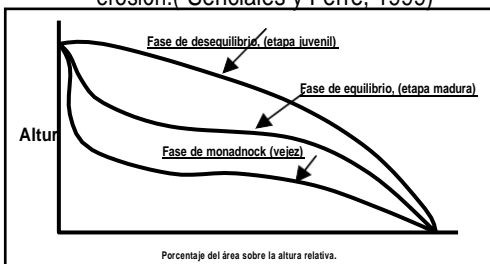
Donde:

- J = Pendiente media de la cuenca (%).
- $\sum Li$ = Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km).
- E = Equidistancia entre curvas de desnivel (km).
- A = Superficie de la cuenca (Km²).

c) Elevación media. A partir de la curva hipsométrica, se determinará la elevación media equivalente al 50% del área de la cuenca, donde en el eje "X" del gráfico se aplicará el porcentaje.

d) Análisis hipsométrico. Con el propósito de comparar la cuenca con otros sistemas hidrográficos se empleó el criterio propuesto por Campos (1999) que considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total. En base al análisis hipsométrico, podremos determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra la cuenca (Figura 2).

Figura 2. Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión. (Senciales y Ferre, 1999)



Red de Drenaje. Según Llamas (1993) es el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la misma.

a) Densidad de drenaje. Definida para una cuenca como la longitud media de curso por unidad de superficie, calculándose mediante la expresión:

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

Donde:

- D = Densidad de drenaje (km⁻¹).
- $\sum L$ = Suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (km).
- A = Superficie de la cuenca (km²).

b) Pendiente media del cauce principal. Con este parámetro, se obtiene la pendiente media del río y su potencial para erosionar. Se expresa con "i" y se calcula con la fórmula:

$$i = \frac{H_{max} - H_{min}}{Lc} * 100 \text{ invtg}$$

Donde:

- i = Pendiente media del cauce principal (%).
- H_{max} = Altura máxima del afluente principal.
- H_{min} = Altura mínima del afluente principal.
- L_c = Longitud del cauce.

Dependiendo de la media del cauce principal, la cuenca se clasifica según el (Cuadro 3) propuesto por Saavedra (2001):

Cuadro 3. Valores para relieve o topografía del terreno.

Pendiente en porcentaje	Tipo de terrenos
2	Llano
5	Suave
10	Accidente medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
Mayor a 50	Muy escarpado

(Saavedra, 2001)

c) Criterio dos de pendiente del cauce principal. Consiste en eliminar 15% de la longitud del cauce, desde el punto más alto ó punto superior y 10% de la longitud del cauce desde la salida (punto inferior) debido a la inconsistencia existente en la velocidad inicial de escurrimiento con la final:

Criterio2 = LCP - 25 % de su longitud

Donde:

LCP = Longitud del cauce principal.

d) Tiempo de concentración. Tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida, calculándose mediante la siguiente fórmula:

$$tc = \frac{(4 \sqrt{S} + 1.5 L)}{(0.8 \sqrt{H})}$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración (h).

S = Área de la cuenca (km²).

L = Longitud del cauce principal (km).

H = Elevación media de la cuenca (km).

e) Orden de la corriente. Refleja el grado de ramificación dentro de la cuenca. Horton (1945) clasificó en tres el orden de las corrientes, asignado el orden "1" a las más pequeñas, aquellas que no están ramificadas; el "2", a las que tienen ramificaciones o tributarios de primer orden; el "3", aquellas con dos o más tributarios de orden dos o menor. Por lo tanto el orden de la corriente principal será un indicador de la magnitud de la ramificación y de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca.

f) Centro de gravedad del cauce principal.

Es la distancia media o punto medio del cauce principal.

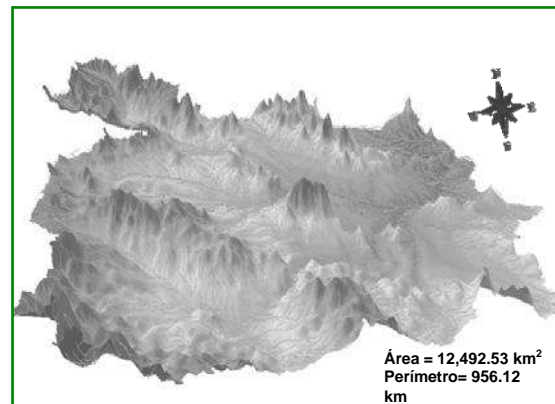
Resultados

Las características fisiográficas de la cuenca se explicaron a partir de parámetros que se obtuvieron mediante procesamiento de la

información cartográfica y de los MDE (González, 2004). La subcuenca del río San Pedro es un sistema hidrológico en el que se reflejaron acciones recíprocas entre parámetros y variables (índices de forma, relieve y densidad de drenaje). Las segundas, se clasificaron en acciones externas conocidas como entradas y salidas al sistema (Ortiz, 2004). En cambio, los parámetros permanecieron constantes en el tiempo y permitieron explicar las características morfométricas de la cuenca.

Área y perímetro. Dependiendo de la ubicación, el tamaño de la cuenca influye la escorrentía (Figura 3). El área obtenida a partir de MDE 1:50,000 fue de 12,492.53 km² y según Ortiz (2004) le corresponde denominarla "cuenca" y no sub-cuenca debido al tamaño en km² según la clasificación de Campos (1992). Sin embargo, la CNA (2002) difiriendo de lo anterior, nombra a la cuenca en estudio como subcuenca en base a efectos de índole administrativo, concluyendo que la terminología en muchos de los casos es relativa pues no existe una idea exacta de lo que puede ser una micro, macro, sub o una cuenca. Finalmente, el perímetro encontrado fue 956.12 km, importante para los cálculos morfométricos posteriores.

Figura 3. Morfometría del Modelo Digital de Elevación en .d, que representa la cuenca del río San Pedro-Conchos, Chihuahua.



Parámetros de forma. Para Llamas (1993) representa la configuración geométrica tal y como está proyectada sobre un plano horizontal. Esta forma, de acuerdo con

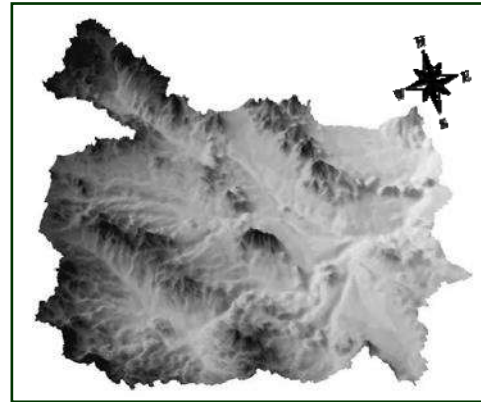
González (2004) gobierna la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura.

a) Coeficiente de Compacidad (Cc). El índice obtenido fue 2.41 (adimensional), indicando que la cuenca San Pedro tiene forma oval-oblonga a rectangular alargada (Figura 4) lo que puede intensificar el vigor de las avenidas al menos en las desembocaduras y la onda de crecida que puede manifestarse fuertemente antes del cauce principal. El Cc, puede ser un indicador para prevenir inundaciones o llegadas repentinas de agua en ciertos poblados cercanos a cauces o arroyos pues la duración de los escurrimientos al cauce principal puede ser más rápido (Maldonado *et al.*, 2001).

b) La Razón de Elongación (Re). Se evaluó mediante el índice propuesto por Shumm (1956) que es la mejor correlación que guarda con la hidrología de la cuenca, describiendo un aspecto de la organización de la red de drenaje; el valor encontrado fue **0.56**, que implica ser una cuenca alargada y para Senciales y Ferre (1999) los índices más bajos a la unidad, son aquellos que se dan en áreas con relieve y pendientes pronunciadas. Lo anterior, coincide con los valores presentadas por Doffo y González (2005) al calcular la *Re* en varias sub cuencas del alto arroyo las Lajas, Argentina, los cuales mostraron una $R^2=0.97$ entre el índice y la forma que pueden ser determinantes para hacer predicciones de posibles contingencias meteorológicas en una determinada zona (Figura 4).

Factor de Forma. Aplicando la fórmula para conocer la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma al cuadrado de Horton (1945) el índice obtenido fue .013 que corresponde a una cuenca alargada lo que hace a la San Pedro una zona moderadamente retardada entre el momento de la precipitación y el de crecida en la desembocadura, pero al mismo tiempo, más acusada y súbita es la misma crecida y por tanto más alto riesgo de inundaciones (Guido y Busnelli, 1993). Sin embargo, la forma se considera una característica cuyo concepto es complejo con muchos atributos específicos lo que hace difícil caracterizar de manera real este parámetro mediante un simple resultado numérico.

Figura 4. Forma oval-oblonga a rectangular en la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua



Parámetros de Relieve.

La mayor parte de los fenómenos hidrológicos se encuentran influidos por las geoformas del terreno. En el Cuadro 4 se presentan los valores correspondientes a los datos de la hipsometría progresiva los cuales se pueden modificar en función de la misma altura relativa, permitiendo estimar el estado dinámico potencial de la cuenca bajo la hipótesis de que esta función, relaciona altitud con el área que cambia con el tiempo en la medida que la cuenca sufre los efectos de la erosión.

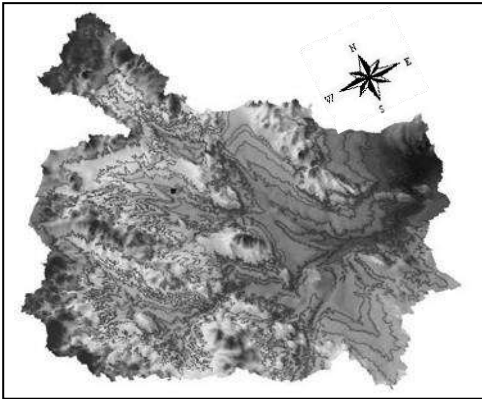
Cuadro 4. Hipsometría en la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua

Intervalo entre curvas de nivel (msnm)	Cota media (m)	Area (km2)	Area total(%)	Porcentaje de área acumulada (%)
2915-2743	2829	0.34	0.01	0.01
2743-2571	2657	11.13	0.1	0.11
2571-2399	2485	83.4	0.78	0.89
2399-2227	2313	362.71	3.39	4.28
2227-2056	2	1	9.61	13.89
2056-1884	141.5	027.66	15.48	29.37
1884-1712	1970	1655.14	24.1	53.47
1712-1540	1798	2576.62	23.8	77.27
1540-1368	1626	2545.23	16.71	93.98
1368-1197	1454	1787.27	6.02	100
	1			
	282.5	643.65		

a) Curva y Analisis Hipsométrico. Guerra y González (2002) atribuyen las diversas formas de la curva hipsométrica a una actividad diferencial entre los procesos de construcción tectónica y degradación por erosión, actividades no necesariamente relacionadas con la edad de

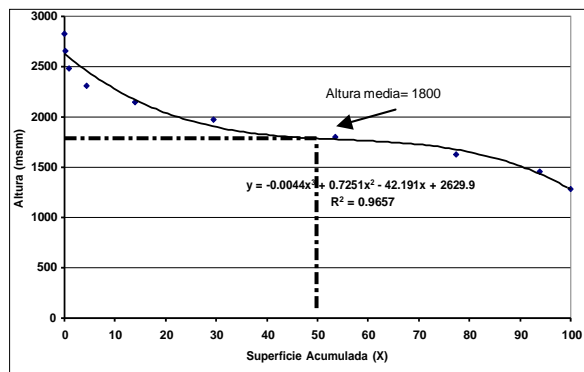
la cuenca. El mapa base utilizado tiene equidistancias de 171 m (Figura 5) entre curvas de nivel, resultando 10 clases entre los 2743 y 1368 msnm, una entre 2743 y 2915 msnm y otra adicional entre 1368 y 1197 msnm.

Figura 5. Curvas de nivel de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua



La distribución del análisis hipsométrico según el esquema de Strahler (1952) en la cuenca del río San Pedro se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la de desequilibrio o juventud, obviamente evolucionado hacia la etapa de madurez como se corrobora con el análisis hipsométrico respresentado en la Figura 6 y cuya $R^2 = 0.96$, indicando alta correlación con lo antes afirmado. Ello también implicaría, un potencial erosivo que no debe despreciarse y cuya evidencia son las toneladas de asolve que se despositan en la presa Las Virgenes y que generan también problemas al final del cauce principal al unirse con el río Conchos.

Figura 6. Distribución del análisis hipsométrico, cuenca del río San Pedro-Conchos, Chihuahua.



b) Elevación media. A partir del 50 % de la superficie acumulada y con el trazo de una línea perpendicular al eje “X” hasta unirse a la curva hipsométrica y con otra horizontal al eje “Y”, la elevación media de la cuenca fue de 1,800 msnm (Figura 5).

c) Pendiente media de la cuenca. Esta fue de 14.21 % (Cuadro 6) que representa un suelo accidentado a accidentado medio que evidentemente favorece parcialmente la escorrentía (Senciales y Ferre, 2001). Sin embargo, habría que resaltar la presencia de cobertura boscosa que ocupa la parte alta y media de la cuenca favoreciendo la infiltración gracias a la intercepción de la lluvia por la vegetación y en consecuencia la disminución en la velocidad del agua que escurre superficialmente.

Parámetros Relativos a la Red de Drenaje

La red de drenaje es el sistema jerárquico de cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos, que confluyen unos en otros configurando un colector principal de toda la cuenca, teniendo la función de transportar materia y energía en el interior de la misma (González, 2004).

Cuadro 5. Datos para la pendiente media de la cuenca del río San Pedro-Conchos, Chihuahua.

Suma de longitudes de curvas de nivel (km)	Equidistancia entre curvas de desnivel (km)	Superficie de la cuenca (km ²)	Pendiente media de la cuenca (%)
88,812.07	0.2	12,492.53	14.21

a) Densidad de drenaje (Dd). El análisis morfométrico y la obtención de la red de drenaje (Figura 7) se realizó a partir de MDE 1:50,000 tanto si resultaban cauces permanentes como no, dado que en momentos de crecidas todos esos funcionan recolectando y transportando agua. Sí la *Dd* es alta, más rápido será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta evacuando el agua en menos tiempo. Hernández (2006) considera que valores próximos a 0.5 km km⁻² corresponden a una cuenca pobremente drenada; de 3.5 km km⁻² o mayores, indican una red de drenaje eficiente. La *Dd* en la cuenca del río San Pedro fue de .80 km km⁻² con suelo de textura gruesa por el recubrimiento vegetal y la litología (Senciales y Ferre 1992); el total de cauces fueron 7,245 con longitud de 4,973.54 km que hace una cuenca moderadamente drenada.

En general, la *Dd* aún y cuando se obtuvo el promedio varía dependiendo de la pendiente del terreno, ya que en zonas llanas, cultivadas o urbanizadas (Delicias) la densidad es menor y donde la topografía es accidentada como en la ciudad de Chihuahua la *Dd* puede ser mayor. Como se ha observado, la presencia de avenidas fuertes después del paso de una tormenta repentina, obedece también a la influencia de factores litológicos y edáficos donde la permeabilidad del suelo juega un importante papel (Cuesta, 2001).

Figura 7. Distribución de los cauces secundarios y punto medio del cauce principal en la cuenca del río San Pedro- Conchos, Chihuahua.



b) Pendiente media del cauce principal (PMCP). Con datos de altura máxima del afluente principal (2,700 msnm) de la cuenca hasta la finalización del cauce principal (altura mínima) a 1200 msnm y la longitud del cauce principal (223 km), se obtuvo la pendiente media (67 %) que representa 33.8 ° del ángulo del terreno, favoreciendo parcialmente el flujo de las corrientes del río San Pedro en periodos de lluvia con presencia de avenidas fuertes hacia el final de su trayecto. Estos resultados coinciden de manera significativa ($R^2=0.95$) con los reportados por INEGI (1999) mencionando que la PMCP es de 47% (26°).

c) Orden de la corriente. En igualdad de condiciones la relación que guarda el área, clima y sustrato cuanto más alto sea el orden de la cuenca, mayor será el grado de desarrollo fluvial (Horton, 1945). Por tanto, debido a la tipología del sustrato y a la cobertura vegetal el tramo alto de la cuenca del río San Pedro tiene mayor pluviosidad haciendo prever una mayor jerarquización de las partes bajas o planas, lo que hace que las avenidas provenientes de las partes altas pueden ser motivo de inundaciones en condiciones de lluvias abundantes.

Finalmente, la cuenca del río San Pedro presenta escorrentía superficial moderada; con drenaje dentrítico en forma de hoja de orden seis y un centro de gravedad de su cauce principal de 116.5 km haciendo de esta cuenca una zona que debe estar constantemente monitoreada (Figura 7).

d) Tiempo de concentración (tc). Según Cuesta (2001) la *Dd* afecta al tipo de escorrentía y así en zonas de alta densidad, la escorrentía recorre la superficie rápidamente rebajando el *tc* e incrementando el pico de crecida al haber menos infiltración. La cuenca del río San Pedro, registró un *tc* de 744.47 h (31 d) permitiendo altas tasas de infiltración y alimentación del flujo subsuperficial gracias a los diversos valores de pendiente en buena parte de la cuenca, a la concentración parcelaria y los usos agrícolas que han supuesto una simplificación y concentración de los cursos de agua (Presa "Las Vírgenes y el Distrito de Riego 005).

e) Criterio 2 de pendiente del cauce principal.

Fue de 167.25 km, indicando que dentro de esa distancia las aguas de la cuenca río San Pedro tendrán equilibrio en el flujo del río ya que al inicio del mismo, la velocidad es reducida y al final demasiado fuerte, por lo que este criterio corrige esa diferencia de velocidad.

Conclusiones

Del análisis morfométrico de la cuenca del río San Pedro y la red de drenaje, se desprende que la concentración de las aguas precipitadas se ve favorecida por las pendientes y en parte por los índices de compacidad y elongación que determinan la forma de la cuenca y las condiciones de evolución de la misma.

Los eventos pluviométricos que se presentan en verano pueden ser peligrosos debido a las condiciones orográficas superiores que facilitan una rápida concentración de las aguas.

La interpretación de los índices morfométricos deben tomarse con cautela por que pueden representar valores subjetivos; sin embargo, la información aportada ofrece un panorama general que puede ayudar a formar diversos escenarios necesarios para prevenir contingencias y tomar medidas para preservar los recursos naturales de la zona. En las áreas de confluencia, los afluentes muestran mayor

vigorosidad de sus crecidas que el colector principal.

La densidad de drenaje es influenciada por una amplia cobertura vegetal y litología dura, además de regular tasas de infiltración y alimentación del flujo subsuperficial que favorecen el incremento del tiempo de concentración y el atenuamiento del caudal punta.

En general, las características morfométricas no incrementan, sino más bien, atenúan los efectos y la vigorosidad de las crecidas en la cuenca del río San Pedro, Conchos.

Agradecimientos

Se hace un especial agradecimiento al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública por el apoyo prestado a la realización de este trabajo; al Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California y al Centro de Investigación Sobre Sequía del Instituto de Ecología; así mismo al MTI Octavio R. Hinojosa de la Garza, por su respaldo profesional para este trabajo.

Literatura citada

- ARIEL, C. 1985. Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chihuahua, realizado bajo el contrato No. CRISH-85-10-E, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, Subdirección de Geohidrología. Chihuahua, Chihuahua, México.
- CAMPOS, A. 1999. Proceso de Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2ª. ed. San Luis Potosí, México. 33-34 p.
- CAMPOS, A. 1992. Proceso del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México. 22-23 p.
- CNA. 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero alto río San Pedro, estado de Chihuahua. Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México, D.F. 18-20 p.
- CUESTA, M.J. 2001. Dinámica erosiva en los paisajes de la cuenca del río Guadajoz (Córdoba y Jalén). Córdoba, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 226 p.
- DOFFO, N. y B. González. 2005. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: un análisis estadístico. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* Vol. 60 No. 1.
- EVERITT, J.H., C. Yang, R.S. Fletcher and D.L. Drawe. 2006. Evaluation of high-resolution satellite imagery for assessing rangeland resources in South Texas. *Rangeland Ecol. Manage.* 59 (4):30-37.
- GONZÁLEZ, M. A. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la A.G.E. No. 38. 311-329 p.
- GRAVELIUS, H. 1914. Flusskunde: Grundriss des gesamten Gewässerkunde. Goschenesche Verlagshandlung, Berlin, En: S.I. Munguía y A.M. Campo. 2003 Características hidrogeomorfológicas de la cuenca del arroyo Pescado Castigado, Buenos Aires Argentina. Papeles de Geografía, 38: 137-150.
- GUERRA, F., J. González. 2002. Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. Geoenseñanza, Universidad de los Andes, San Cristóbal, Venezuela. Vol (7) 88-108 p.
- GUIDO, E y M, Busnelli. 1993. Criterios morfométricos para la evaluación de la torrencialidad de una cuenca hídrica (Río Las Cataras, Catamarca. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos en Mendoza. Vol. 6: 116-122.
- HERAS, R.R. 1976. Hidrología y Recursos Hidráulicos en Capítulo 1 de Estadística Aplicada en Hidrología, tema 5: relación entre elementos hidrológicos y elementos físicos-geográficos. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid España. 78-79 p.
- HERNÁNDEZ, L.G. 2006. Modelación de la interacción río-acífero y su aplicación a un caso práctico. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bull.* 56: 275-280.
- INEGI. 1999. Estudio hidrológico del estado de Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Chihuahua. 1ª ed. 244-245 p.
- LLAMAS, J. 1993. Hidrología General, Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 402 p.
- MALDONADO, L.O., V. Palacios, J.L. Oropeza, R.G. Springall, y D.S. Fernández. 2001. Empleo del modelo SWRRB para generar alternativas de manejo en la cuenca de Iztapa, Guatemala. *Agrociencia* 35 (3):335-345.
- MARTÍNEZ M.A Y P.M Walthall 2000 a. Propiedades físicas químicas y mineralógicas en el escotramiento de los suelos de México y Louisiana, EU. *Terra Latinoamericana*. Vol (18), 3: 179-185p
- MURILLO, M. E., Sánchez. 2002. Estudio del efecto del cambio de uso del suelo en el escurrimiento en la cuenca 24Bf "Monterrey" aplicando un sistema de información geográfica. Tesis de maestría, División de Ingeniería y Arquitectura, Tecnológico de Monterrey. Monterrey, México. 20-50 p.
- NAVARRETE, M. D. 2004. Propuesta metodológica para el análisis territorial en la cuenca hidrográfica del Estero El Peral, Comuna de Carahue, IX Región. Universidad Católica de Temuco, Chile. Facultad de Ciencias Ambientales. Vol (6): 133-134 p.
- ORTIZ, 2004. Evaluación hidrológica en Revista Hidro Red, *Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía*, Lima Perú. Vol (2): 2-10 .
- PINEDO, A.C., A.A. Pinedo, R.M. Quintana, S.M. Martínez. 2007. Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra madre Occidental, Chihuahua, México. *TECNOCENCIA Chihuahua* Vol (1): 37-38.
- ROBINSON, M.A. 2000. Geomorfología del sector ibérico valenciano entre los ríos Mijares y Tina. Departamento de Geografía, Universidad de Valencia, España. 217 p.
- SAAVEDRA, J 2001. Planificación Ambiental de los Recursos Forestales em la Región de la Araucanía, Chile. Definición de las Unidades Homogéneas de Gestión. Tesis Doctotal. Universidad Politécnica de Madrid.342pp.

SENCIALES, J.M. y E. Ferre. 1992. Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga) en López B. F., C. Conesa y M.A. Romero: Estudios de Geomorfología en España. Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, S.E.G. 365-375 p.

SHUMM, S. 1956. The fluvial system. A Wiley-interscience Publication. John Wiley and Sons, Inc. New York. 338 p.

SILVA, G. 1999. Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. 40 (1):9-42.

TORRES, B. E., S.E. Mejía, B.J. Cortés, V.E. Palacios y G.A. Exebio. 2004. Adaptación de un modelo de simulación hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato, México. *Agrociencia* 39(2):481-490 p.

Este artículo es citado así:

Viramontes-Olivas O., L.F. Escoboza-García, C. Pinedo-álvarez. A. Pinedo-Álvarez, V. M. Reyes-Gómez, J. A. Román-Calleros, A. Perez-Márquez, 2007. Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 1(3):21-31.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

OSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS. Curso su Licenciatura en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (1981-1985), así como la maestría en Producción Animal, Área Mayor, Reproducción y Genética Animal (1991-1993) en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua con mención en su área. Candidato a Doctor por el Instituto de Ciencias Agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California, con el tema de disertación "Evaluación de las propiedades hidráulicas del suelo superficial aplicando un modelo de escurrimiento en la cuenca del río conchos". Laboró en el periodo 1981-1985 en la facultad de medicina de la uach, como jefe del departamento de animales de investigación. Posteriormente, ingreso a laborar a la facultad de zootecnia de 1985 a la fecha en diversas áreas (extensión y difusión, planeación, reproducción y genética y recursos naturales y ecología) de recursos naturales y ecología. Tiene un amplio trabajo editorial en diferentes periódicos y revistas sobre diversos temas. Autor del libro la rabia.

LUIS FERNANDO ESCOBOZA GARCIA El Doctor Fernando Escoboza García, curso su Licenciatura en Ingeniero Agrónomo en la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora (1973-1977). Posteriormente realizó su Maestría en Hidrociencias (1980-1982) en el Colegio de Posgraduados de la Universidad de Chapingo, México. Así mismo, los estudios doctorales los llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Baja California en el instituto de ciencias agrícolas y la Universidad de Yuma Arizona con el tema "optimización del agua de riego en el cultivo del algodón en el valle de Mexicali. Es maestro del instituto de ciencias agrícolas de la universidad de baja California con una antigüedad de mas de 15 años; es líder del cuerpo académico de agua y suelo. Fue director del instituto de ciencias agrícolas por un periodo de 8 años (1992-2000). Es maestro investigador con un amplio acervo de publicaciones científicas en varias revistas arbitradas e indexadas.

ALFREDO PINEDO ALVAREZ. En 2002 obtuvo el título de Ingeniero en Ecología, por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de maestría en la Facultad de Zootecnia (UACH), otorgándosele en 2004 el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales. El M. C. Pinedo está finalizando su programa doctoral y próximamente defenderá su disertación para obtener el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Recursos Naturales, por la Facultad de Zootecnia (UACH). Durante los últimos años ha trabajado en diversos proyectos de investigación, relacionados con la modelación de atributos forestales utilizando tecnología satelital; también ha sido asesor de tesis de licenciatura y su producción académica incluye 14 resúmenes y 8 artículos en extenso publicados en memorias de congresos científicos.

JESUS ADOLFO ROMAN CALLEROS. Egresó en 1975 como Ingeniero Agrónomo Especialista en Riego y Drenaje, por la Escuela Superior de Agricultura de la UABC; en 1980 obtiene el Grado de Maestro en Ciencias en el Área de Hidrología Subterránea, otorgada por el Colegio de Postgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura, en Chapingo, Estado de México. En el año 2000, obtiene el grado de Doctor en Ciencias, en Administración de Recursos Hidráulicos, otorgado por la Universidad Autónoma de Baja California, y la Universidad de California, Campus Holtville, California. Premio al Mérito Académico. Ha sido Jefe del Departamento de Ingeniería de Riego, Distrito de Riego 014, Río Colorado; Director Nacional de los Departamentos de Ingeniería de Riego; Coordinador Estatal de Programas de Desarrollo Rural en el Banco de Crédito Rural; Delegado Estatal de Fideicomiso para Obras de Infraestructura Rural; Director Regional de El Colegio de la Frontera Norte; Director General para Asuntos Externos de El Colegio de la Frontera Norte; Gerente Técnico del Grupo Corporativo Santa Rosalía, Coordinador General del Programa Universitario Agua Para Toda la Vida. Actualmente, es Profesor Investigador en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC. Líder de Investigación del Cuerpo Académico de Agua y Suelo en el periodo 2005-2007. Profesor Titular de Economía y Economía Política Internacional en el Centro de Estudios Técnicos Y Superiores CETYS Universidad. Asesor Internacional en materia de uso de agua, por la Universidad Estatal de Michigan, en East Lansing, y UCLA. Ha escrito ocho libros y más de 150 artículos nacionales e internacionales relacionados con el uso y manejo del agua en México, con enfoque en la frontera binacional México-Estados Unidos. Actualmente trabaja en un proyecto de investigación apoyado por CONACYT/PROMEP sobre el Canal Todo Americano y un Proyecto sobre los Impactos Ambientales de la Generación de Energía Eléctrica en Cerro Prieto, Valle de Mexicali, B. C. En 2005 obtiene el Premio a la Productividad Profesional, otorgado por el Consejo Coordinador Empresarial de Mexicali, Baja California. En enero 2007, gana concurso por oposición, en convocatoria abierta para elaborar el Plan Rector del Desarrollo Económico del Valle de Mexicali, B. C. Profesor de Ingeniería de Riego, Principios y Técnicas de Riego, Relación Agua Suelo Planta Atmósfera.

CARMELO PINEDO ÁLVAREZ. Terminó su licenciatura en 1978, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista, por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de posgrado en la Facultad de Contaduría y Administración (UACH), obteniendo en 1986 el grado de Maestro en Manejo de Recursos Humanos. En el año de 1998, finalizó su programa doctoral en la Facultad de Zootecnia (UACH), otorgándosele el grado de Doctor in Philosophy con especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Desde 1999 labora en la UACH y posee la categoría de Académico Titular C. Es autor y coautor de numerosos artículos publicados en revistas indexadas nacionales e internacionales. Ha participado como ponente en numerosos congresos científicos y como evaluador de proyectos de investigación y programas educativos. Como profesor, ha dirigido numerosas tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Durante su vida profesional ha sido distinguido con diversos reconocimientos por su productiva labor científica; siendo las principales áreas de especialización el monitoreo de recursos naturales y sistema de información geográfica.

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v1i3.56>