

# Evaluación del flujo hídrico superficial en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas

Eduardo J. Treviño Garza\*, Carlos A. Muñoz R.\*\*\*, Carlos Cavazos C.\*\*\*, Luis Barajas Chávez\*\*\*

El ciclo del agua ha sido alterado por fenómenos macroclimáticos y microclimáticos causados en gran medida por acciones humanas. La remoción de la cubierta vegetal para transformar las superficies ocupadas por ésta en sistemas de producción económicamente más productivos causa alteraciones, tanto en el flujo como en los procesos de evaporación del líquido. Esto ha afectado la calidad y la cantidad de agua que se produce en cuencas hidrológicas, las cuales además de ser unidades de captación de agua, deben de ser consideradas también como unidades de manejo de recursos asociados.

La Sierra de San Carlos es una unidad orográfica aislada dentro de la planicie costera del Golfo Norte de México. Presenta una baja densidad de población, razón por la cual los recursos naturales se encuentran poco afectados. La región se considera un área de especial interés para su conservación y requiere de una evaluación del potencial de los recursos naturales que en ella se presentan. Este estudio tuvo como objetivo evaluar de agua escurrida en esta área.

Para poder estimar el volumen de agua producto del flujo superficial de una cuenca, se hace necesario el análisis de los factores que intervienen en la producción del líquido, estos factores se distribuyen espacialmente, por lo tanto es posible su evaluación a través de un sistema de información geográfica (SIG). Un SIG provee diversas funciones de análisis que permiten manipular las diferentes variables utilizadas en los procesos de estimación de parámetros hidrológicos. Básicamente, el empleo adecuado de dichas funciones hace posible la implementación de mecanismos efectivos para la estimación de aquellos parámetros de uso frecuente en la clasificación de cuencas hidrológicas.<sup>1</sup>

Los principales factores que influyen en el volu-

men de agua producto de los escurrimientos en una cuenca son de carácter agro climático,<sup>2</sup> entre ellos se consideran la cantidad, intensidad y duración de la lluvia, la distribución de la precipitación respecto al área de la cuenca, la densidad de la red hidrológica y su capacidad de evacuación, así como las condiciones propias de la superficie del terreno influenciadas por la geología, el tipo y permeabilidad del suelo, las condiciones de humedad del mismo, las labores de cultivo realizadas en él, la interceptación de la lluvia por la cubierta vegetal y sus valores de evapotranspiración, así como la humedad atmosférica. Existen otros factores de carácter fisiográfico, dentro de los cuales se destacan la extensión, forma y pendiente media de la cuenca.

Mediante el análisis geográfico es posible modelar espacialmente la cantidad de precipitación a través de la interpolación de la información proveniente de las estaciones meteorológicas. Las técnicas más usadas para este fin son la creación de matrices de datos obtenidos a partir de modelos de regresión lineal múltiple,<sup>3,4</sup> o a través de estimaciones climáticas realizadas a partir de interpolación, de la que se obtiene un promedio ponderado y se le da mayor peso a la estación más cercana de acuerdo con el inverso de la distancia al cuadrado.<sup>5</sup>

La utilización de imágenes de satélite para la cartografía de la vegetación y la definición de la ocupación del suelo es uno de los más importantes campos de la percepción remota y permite estimar las superficies ocupadas por tipo de vegetación,<sup>6</sup> así como determinar la relación existente entre los

\* Profesor Investigador. \*\* Alumnos del programa de maestría en Ciencias Forestales. \*\*\* Colaborador científico. Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Carr. Nac. Km.145, CP67700 Linares, Nuevo León, México ejtrevin@fcf.uanl.mx

procesos de deforestación detectados por esta tecnología e integrar datos climáticos para estimar parámetros ambientales como cocientes e índices de evapotranspiración.<sup>7</sup>

Para determinar la cantidad de agua interceptada por la vegetación y los coeficientes de aprovechamiento de agua por diferentes cultivos, se han realizado en Nuevo León estimaciones de la interceptación total de la lluvia para el matorral espinoso tamaulipeco y para los bosques de clima templado, tomando como base modelos analíticos.<sup>8</sup>

El análisis de información topográfica en formato digital ha sido ampliamente utilizado para la descripción y clasificación de cuencas. Esto permite caracterizar y generar los cursos de drenaje, así como clasificar los órdenes de corrientes con base en modelos digitales de elevación.<sup>1</sup> Otros modelos permiten la delimitación de cuencas, la caracterización del relieve, el cálculo de caudales máximos y la caracterización de la red de drenaje.<sup>9</sup>

A partir del conocimiento de las variables anteriores y, de acuerdo con la fórmula racional presentada por Sáenz,<sup>10</sup> se deriva un coeficiente de escurrimiento ponderado para la cuenca, obtenido éste a partir de coeficientes de escurrimiento generados para cada condición de vegetación, suelo, pendiente y superficie. Una vez obtenido dicho coeficiente, se relaciona con la superficie de la cuenca y la precipitación, para de esta forma estimar el volumen medio escurrido.

## Material y métodos

La Sierra de San Carlos se localiza en la porción centro-oeste del estado de Tamaulipas, entre los 24° 07' y los 24° 45' de latitud norte y los 99° 05' y los 98° 42' de longitud oeste, (figura 1). Posee una superficie de 1,681.20 km<sup>2</sup> y una densidad de población de tres habitantes por km<sup>2</sup> se presentan climas que van de los templados subhúmedo a semi-cálidos secos con lluvias en verano. Con largos períodos de sequía, siendo la precipitación promedio 700 mm por año.

El punto más alto es de 1,460 msnm, que es el macizo rocoso conocido como Bufo El Diente, originado por ascenso magmático,<sup>11</sup> se encuentra rodeado por rocas calizas sedimentarias semejantes a las de la Sierra Madre Oriental.

Las estaciones climatológicas empleadas para el cálculo de la precipitación media anual fueron Ba-

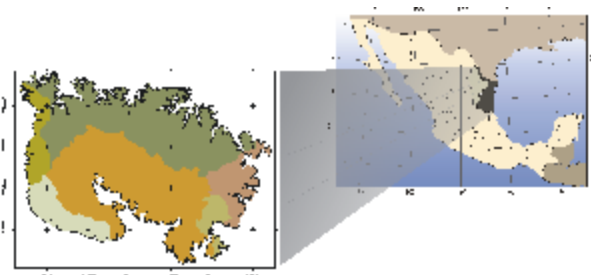


Fig. 1. Localización del área de estudio

ranco Azul, San Carlos, San Nicolás, La Loba, El Ocotillal, Cruillas, Corralejo y Burgos, según datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua.

Los suelos en la mayor parte de la sierra son someros del tipo Rendzina y ocupan un 76% del área, suelos profundos del grupo Chernozem, ocupan un 10% de la superficie. El parámetro físico del suelo que se consideró para el cálculo del coeficiente de escurrimiento fue su textura, la cual se manifiesta como clase media ocupando el 100% de la superficie en la cuenca.

En este estudio se considera una región cuyo límite inferior está marcado por la cota de 500 msnm, existe un gradiente altitudinal de 960 metros, la pendiente mínima es de 0% y la máxima es de 90%.

El área se encuentra en la región hidrológica número 25. La parte norte de la sierra pertenece a las subcuencas del río Conchos y de los arroyos Chorreras y Camacho, pertenecientes a la cuenca del Río San Fernando y el sur de la sierra a las subcuencas de los ríos Pílon, San Carlos y el arroyo La Zanja, pertenecientes a la cuenca del Río Soto la Marina. No existen corrientes perennes dentro de la sierra.

De acuerdo con Briones,<sup>14</sup> los tipos de vegetación son los siguientes: *matorral submontano*, que es un tipo de vegetación caracterizado por la predominancia de arbustos altos o árboles bajos, deciduos generalmente por un periodo breve. *Pastizal*, consiste de un solo estrato herbáceo, denso y de 20 cm de altura en promedio. Conviven algunas plantas rasantes y otras arbustivas, nunca de alta densidad. Además, en las zonas de transición con la vegetación boscosa, se presentan árboles aislados. *Bosque de encino*, caracterizado por estar integrado de árboles de porte bajo a mediano, de hoja decidua y esclerófilos. Por lo común una o pocas especies dominan el dosel. *Agricultura de temporal y de riego*, localizada en pequeñas porciones de la cuenca y a lo largo del cauce principal. Los principales

cultivos que se producen son maíz, frijol y sorgo.

El aprovechamiento forestal en los bosques es limitado, debido a que se desarrolla principalmente en pendientes fuertes y sobre suelos someros con afloramientos rocosos. Estos bosques producen bienes que no se pueden valorar económicamente, como la captación hídrica.<sup>14</sup>

Parte de los procedimientos metodológicos de este proyecto se basan en manuales de procedimientos planteados para el estudio de cuencas, tales como TRAGSA,<sup>2</sup> MOPT,<sup>12</sup> y métodos específicos propuestos por el ITC.<sup>13</sup>

Se llevó a cabo la caracterización físico-hidrológica para cada una de las cuencas, en donde se estimaron parámetros como longitud de cauces, orden de corrientes y la pendiente media de los cauces principales. Uno de los parámetros más importantes es la densidad de drenaje, misma que está definida como la longitud media de un curso por unidad de superficie y refleja la capacidad de evacuación de las cuencas, ésta se estimó a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde: D = Densidad de drenaje (km<sup>2</sup>);  $\sum L_m$  = Suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca; A = Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Los datos empleados para formar el Sistema de Información Geográfica fueron la cartografía editada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, de la escala 1:50,000. Se utilizaron las cartas topográficas para capturar las curvas de nivel y la hidrología superficial. Las cartas edafológicas y geológicas con las claves G14-D61, D71, C69 y D81. El uso del suelo y la vegetación se obtuvo de la actualización de la carta G14-11 escala 1:250 000, mediante la interpretación de una imagen de satélite Landsat TM clave 27/43 tomada el 21 de julio de 1998 (ID-98301003-01). Para la captura de la información cartográfica y su procesamiento se utilizó el Paquete de Sistemas de Información Geográfica Arc/INFO a UNIX versión 7.0.3.

A través de la generación de polígonos de

Thiessen en función a la localización de las estaciones climatológicas, así como de la construcción de un modelo digital de pendientes y coberturas digitales de edafología y ocupación del suelo se estimó el volumen medio escurrido, mediante la ecuación:

$$Vm = (Cep) (A) (Pp)$$

Donde: Vm = Volumen medio escurrido; Cep = Coeficiente de escorrentía ponderado; Pp = Precipitación pluvial media anual; A = Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Esta ecuación es la descrita por el método racional (2) modificado, donde se estima la escorrentía, que sería el caudal (Q = Vm) en el punto de desagüe de la cuenca. Este es un método empírico que no considera variables como la interceptación de la lluvia por la vegetación ni la humedad del suelo.

Para la aplicación de la fórmula se toma en cuenta que en cada tipo de ocupación del suelo varía la cantidad de agua escurrida, considerando la pendiente y la textura del suelo, por lo que se calcula un coeficiente de escorrentía ponderado con la superficie por coeficiente y uso del suelo, (Cep) utilizando la siguiente expresión:

$$Cep = (Ce_1) (A_1) + (Ce_2) (A_2) + (Ce_n) (A_n)$$

Para este se empleó la lista de coeficientes de escorrentía de Prevert presentados en la tabla 1 (2), que considera tres tipos básicos de cubierta del suelo:

Uso del suelo	Pendiente	Gruesa	Media	Fina
Bosque	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.35	0.50
	10-30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0-5	0.15	0.35	0.45
	5-10	0.30	0.40	0.55
	10-30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Agricultura	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.66	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84

Los tipos de uso del suelo se recodificaron utilizando como criterio la densidad de la vegetación, pues para la aplicación de la tabla de Prevert fue necesario agrupar al matorral junto con el bosque, y a las áreas sin vegetación aparente como áreas agrícolas.

Con las cubiertas clasificadas de esa manera se procedió a realizar una sobreposición digital de éstas, con lo que se generaron nuevos polígonos con información de cobertura, textura y pendiente, con lo cual se recodificaron, asignándole a cada polígono el valor de coeficiente de escorrentía, de acuerdo a las características antes mencionadas y basándose en la tabla de Prevert. El producto parcial resultante fue el mapa de coeficientes de escorrentía (figura 2). Posteriormente, y con base en los coeficientes de escorrentía ponderados, se estimó el volumen medio de agua escurrido.

### Resultados

La densidad de drenaje en la sierra es de 2.84 km, lo que refleja cuencas bien drenadas, mostrando riesgos bajos de inundación y erosión. La superficie ocupada por clase de vegetación se muestra en la tabla 2, y su importancia reside en la influencia sobre las cantidades de agua escurridas e interceptadas.

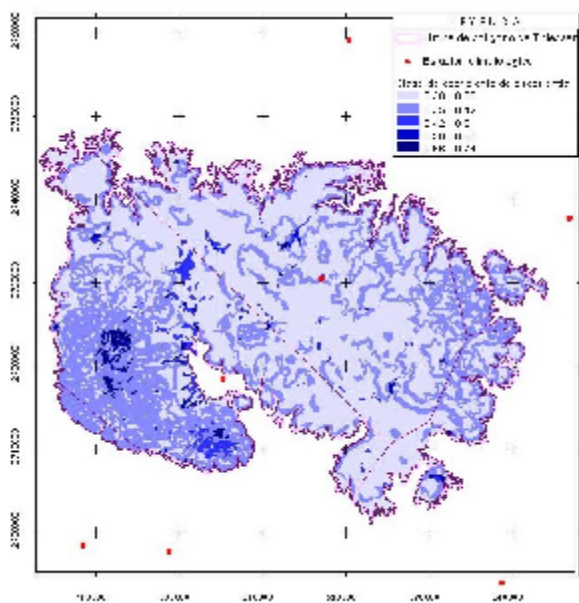


Fig.2. Mapa de coeficientes de escorrentía de la Sierra de San Carlos, Tamaulipas, México.

La cubierta vegetal juega un papel importante en el comportamiento de la escorrentía superficial, aumentando ésta en las zonas agrícolas y disminuyendo paulatinamente a través de los pastizales y los bosques. En la tabla 2 puede observarse la distribución de la cobertura vegetal y del uso del suelo en la Sierra de San Carlos.

Uso del suelo	Pendiente
Tipo de vegetación	Superficie en ha
Áreas sin vegetación aparente	1,808.71
Áreas agrícolas	3,123.51
Bosque	13,375.00
Matorral cerrado	146,765.20
Matorral abierto	1,981.54
Pastizal	1,066.60
Total	168,120.57

Se agruparon los coeficientes de escorrentía por tipo de cobertura del suelo y se ponderaron para obtener el coeficiente de escorrentía de cada una de las cuencas.

Los coeficientes de escorrentía ponderados estimados fueron los siguientes: Para áreas agrícolas 0.6332, para los bosques 0.3565 y para las áreas de pastizal y abiertas 0.4173

Una vez obtenido el coeficiente de escorrentía ponderado de cada cuenca, se procedió a calcular el volumen medio escurrido reagrupando las superficies dentro de los polígonos de Thiessen con los datos de precipitación media anual y se aplicó la expresión para obtener el volumen medio escurrido de la cuenca, el cual fue de un total de 438,347.89 miles de m<sup>3</sup> (figura 3).

### Conclusión

La densidad de drenaje en la zona de estudio se considera como alta, esto refleja que los suelos presentes son poco permeables y que el material parental presenta una resistencia alta al intemperismo. También se refleja, por otra parte, la rápida capacidad de repuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo.

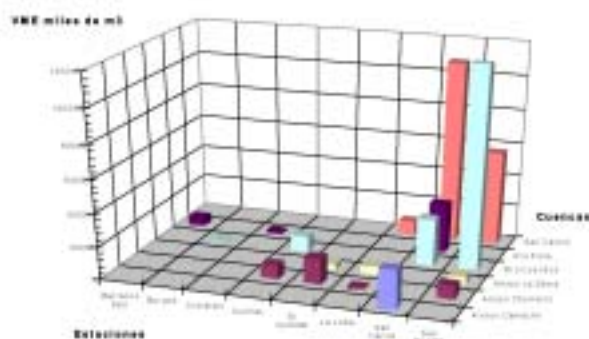


Fig. 3. Volumen medio escurrido por cuenca y área de influencia de las estaciones meteorológicas.

El mayor índice de escurrimiento se calculó para las áreas agrícolas, seguido por las áreas de pastizal y abiertas y siendo menor para los bosques. Existen sólo dos zonas con potencial peligro de erosión por estar en pendientes fuertes y desprovistas de vegetación localizadas en la parte central al oeste de la sierra.

El volumen medio escurrido de la cuenca es cercano al medio millón de metros cúbicos anuales en promedio. El flujo mayor se vierte hacia el norte por la cuenca del río San Carlos y termina en el embalse de la presa Vicente Guerrero. Las seis subcuencas presentan un buen estado de conservación de su cubierta vegetal (96.4%), que es a su vez la que muestra el índice menor de escurrimiento favoreciendo que el agua recibida en estas superficies sea integrada a los mantos freáticos.

La volumen de agua producida por la sierra de San Carlos es reducido, pero considerando la baja densidad de población y la escasa utilización del suelo para labores agrícolas (menos del 2 %), podemos considerar que esta región tiene un gran valor por su potencial como zona productora de agua, tanto superficial como subterránea. Este estudio forma es parte de una propuesta para implementar un plan de manejo ecológico para esta región.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que a través del Sistema de Investigación Regional Alfonso Reyes apoya el Proyecto "Propuesta de Ordenamiento Ecológico para la Sierra de San Carlos, Tamaulipas" (SIRREYES 19980606018). Al programa de apoyo de la investigación científica y tecnológica de la UANL que con el Proyecto PAICyT -

CN194-99 y al brindado por el gobierno del estado de Tamaulipas por parte del titular de la Dirección General de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Ing. M.C. Jorge Fernández.

## Resumen

El agua es un elemento esencial para mantener las formas de vida estables en tiempo y en espacio en cualquier ecosistema. Las directrices modernas de sustentabilidad apuntan hacia esquemas de manejo integral de recursos naturales renovables. Uno de estos esquemas se aplica a través de considerar las cuencas hidrológicas como unidades mínimas de manejo. Dentro de los trabajos para implementar un plan de manejo para la Sierra de San Carlos, Tamaulipas se presentó como objetivo estimar el volumen medio escurrido de agua considerando las diversas subcuencas hidrológicas que la conforman.

Se llevó a cabo la caracterización de los medios físico y biológico de la subcuenca, para ello se proceso una imagen de satélite Landsat TM para actualizar la cartografía de los usos de suelo. Se utilizaron datos meteorológicos obtenidos de estaciones cercanas y el análisis de la cubiertas de edafología y topografía, para modelar espacialmente los coeficientes de escorrentía en función de la cobertura del suelo en la subcuenca.

El 16.38% del total de la precipitación pluvial es interceptado por la vegetación nativa existente en la subcuenca. Las áreas que presentan los valores más bajos de coeficientes de escorrentía superficial son las áreas ocupadas por bosques de clima templado. La baja densidad de población y las pequeñas áreas destinadas a la agricultura de riego reducen las necesidades de agua, asegurándose, un buen estado de conservación de la región.

*Palabras clave:* Cuencas hidrológicas, Geomática, Coeficientes de escorrentía.

## Abstract

Water is an essential element in maintaining stable forms of life in time and space in any ecosystem. Modern guidelines of sustainable ecosystem management aim toward an integral management of renewable natural resources. One of these guide lines was applied through considering watersheds as minimum units of management. Water volume estimation for



hydrological basins was made in Sierra San Carlos, Tamaulipas, in order to have an ecological management plan for this area.

A description for the hydrological basins was carried out taking into account the biological and physical environments. A Landsat TM (Thematic Mapper) satellite image was processed to update Land use cartography.

The analysis of climatic data obtained from climatic stations and information on soil and topography was used to perform spatial modeling of runoff coefficients in function of the land use in the hydrological basins.

A total of 16.38% of the precipitation is intercepted by the existent native vegetation in the hydrological basins. The areas that present the lowest values in runoff coefficients are the areas covered by forests of temperate climate. Low population density in the region and the small areas dedicated to agriculture reduce the needs of water by people and ensure better conservation of the region.

*Keywords:* hydrological basins, Geomatic, runoff coefficients

## Bibliografía

1. Lollett H., h. y R. Lazo P. 1997: Consideraciones sobre el empleo de modelos digitales de terreno en la estimación de parámetros de clasificación de cuencas hidrográficas. VII Simposio de Latinoamericano de Percepción Remota. Mérida, Venezuela. 2-7 Nov. 1997.
2. TRAGSA. 1994: Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de erosión. Ediciones Mudi-Prensa, Casetelló, 37 28001 Madrid. 513 p. ISBN 84-7114-474-3
3. Sánchez, O., Sánchez, F. y Carretero M. 1999. Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termopluviométricas para la España Peninsular. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
4. Ninyerola, M., Pons, X., and Roure, J. 1998. Climatological modelling: A methodological approach of climatological modelling of temperature and precipitation through GIS techniques. <http://www.creaf.uab.es/MIRAMON/publicat/papers/lisboa98/climodel.htm>
5. Medina, G., Ruiz A., Martínez, R., Ortiz, M. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. Agricultura Técnica en México. Vol. 23. Núm 1. Enero-junio 1997. México, D.F.
6. Treviño Garza, E. J., 1992 «Verwendung von Satellitenaufnahmen zur Vegetationskartierung am Beispiel der Region «Sierra Madre Oriental» in Nordostmexiko». Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in der Tropen und Subtropen, Heft 68, 150 p. ISBN 3-88452-724-X
7. Salinas Castillo, Wilber Enrique. Integración de datos térmicos e índices de vegetación sobre cambios ambientales en cuencas degradadas. Doctorado en ciencias agropecuarias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tesis doctoral inédita 169 p.
8. Charles, M. 1998. Medición y estimación de los componentes de la intercepción en cuatro comunidades representativas del nordeste de México. Tesis de maestría en ciencias forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L.
9. Felicísimo, A. 1994. Modelos digitales del terreno, introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>.
10. Sáenz, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición. Colombia.
11. Ramírez Fernández, J. A. and W. Heindrich. 1991: Geology of the tertiary Bufo del Diente intrusión and its contact aureole, Sierra de San Carlos, Tamaulipas, Mexico. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, H.6 pp: 1519-1531.
12. MOPT. 1992: Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. España.
13. Briones Villarreal, Óscar L. 1991: Sobre la flora, vegetación y fitogeografía de la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. Acta Botánica Mexicana 16, 15-43.
14. ITC. 1997. ILWIS 2.1. for Windows, Applications Guide. ILWIS Department. Enschede, The Netherlands.
15. Cavazos Camacho, C. 2000: Evaluación del bosque mesófilo de montaña de San Carlos, Tamaulipas. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.