

# GEOCALLI

Cuadernos de Geografía

Hidrografía de

Ixtlahuacán del Río,

Jalisco



Año 26, núm. 51  
Enero-junio de 2025



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
Centro Universitario de  
Ciencias Sociales y Humanidades  
División de Estudios Históricos y Humanos  
Departamento de Geografía  
y Ordenación Territorial



GEOCALLI  
CUADERNOS DE GEOGRAFÍA



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
CENTRO UNIVERSITARIO  
DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA  
Y ORDENACIÓN TERRITORIAL

HIDROGRAFÍA DE IXTLAHUACÁN DEL RÍO, JALISCO

Año 26, núm. 51  
Enero-junio de 2025

*Geocalli*, Cuadernos de Geografía, Año 26, núm. 51 enero-junio de 2025 es una publicación semestral editada por la Universidad de Guadalajara, a través del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, de la División de Estudios Históricos y Humanos del Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades. Avenida José Parres Arias 150, San José del Bajío, Edificio H, 4to. Piso, C.P. 45132, Zapopan, Jalisco, México. Teléfonos: (33) 38193381. Dirección electrónica: [www.geografia.cucsh.udg.mx](http://www.geografia.cucsh.udg.mx), correo electrónico: [revista.geocalli@academicos.udg.mx](mailto:revista.geocalli@academicos.udg.mx), editor responsable: Susana Urzúa Soto. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo 04-2015-120811133500-102, ISSN: 1665-0875, otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Impresa por Kerigma, Artes Gráficas. Este número se terminó de imprimir el 08 de enero de 2025, con un tiraje de 200 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.

Latindex-Catálogo (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal). Consultar: <http://www.latindex.unam.mx>



# GEOCALLI

DIRECTORIO  
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

RECTORA GENERAL

**Mtra. Karla Alejandrina Planter Pérez**

VICERRECTOR

**Dr. Héctor Raúl Solís Gadea**

SECRETARIO GENERAL

**Mtro. César Antonio Barba Delgadillo**

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
SOCIALES Y HUMANIDADES

RECTORA DEL CENTRO

**Lic. Dulce María Zúñiga Chávez**

SECRETARIA ACADÉMICA

**Dra. Patricia Córdova Abundis**

SECRETARIA ADMINISTRATIVA

**Lic. Nallely Guadalupe Robles Ortiz**

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
HISTÓRICOS Y HUMANOS

**Dr. Aristarco Regalado Pinedo**

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE  
GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN  
TERRITORIAL

**Mtro. Carlos Suárez Plascencia**

COORDINADORA DE LA UNIDAD DE  
APOYO EDITORIAL

**Lic. Abril Ashanty Ambriz Cárdenas**







# GEOCALLI

DIRECTORA

**Mtra. Susana Urzúa Soto**

CONSEJO EDITORIAL

**Dr. Luis Felipe Cabrales Barajas**

Universidad de Guadalajara

**Dr. Julio Muñoz Jiménez**

Universidad Complutense de Madrid, España

**Dr. Miguel Ángel Troitiño Vinuesa †**

Universidad Complutense de Madrid, España

**Dr. Luis Delgado Argote**

CICESE, Ensenada, B.C., México

**Dr. Luis Chías Becerril**

Instituto de Geografía, UNAM, México

**Dr. Omar Moncada Maya**

Instituto de Geografía, UNAM, México

**Dr. Ángel Massiris Cabeza**

Universidad Pedagógica y

Tecnológica de Colombia

**Dr. David Robinson**

Syracuse University, USA

TRADUCTOR

**Mtro. Miguel Ángel Iñiguez McCormick**





# ÍNDICE

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PRESENTACIÓN                                                                                                               | 9  |
| ACERCA DE LOS AUTORES                                                                                                      | 11 |
| CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS<br>MORFOMÉTRICO DE LAS<br>SUBCUENCAS DENTRO DEL<br>MUNICIPIO DE IXTLAHUACÁN<br>DEL RÍO, JALISCO | 13 |
| INTRODUCCIÓN                                                                                                               | 15 |
| Fundamentos morfométricos<br>de una subcuenca                                                                              | 18 |
| Funciones de una subcuenca<br>hidrográfica                                                                                 | 19 |
| Caracterización de cuencas<br>hidrográficas                                                                                | 21 |
| Características fisiográficas<br>del municipio de Ixtlahuacán<br>del Río, Jalisco                                          | 22 |



|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Generalidades de las<br>subcuencas hidrológicas<br>del municipio                | 26 |
| Interpretación de los resultados<br>del cálculo de la posibilidad de<br>recarga | 68 |
| Disponibilidad de agua<br>superficial en el municipio                           | 69 |
| Conclusiones y resultados                                                       | 71 |
| Discusión                                                                       | 75 |
| BIBLIOGRAFÍA                                                                    | 77 |
| INFORMACIÓN PARA LOS<br>COLABORADORES                                           | 81 |

## PRESENTACIÓN

En esta entrega, los autores ofrecen un estudio de las subcuencas hidrológicas del municipio de Ixtlahuacán del Río, Jalisco, buscando explicar las características morfométricas del mismo, para ello se valen de una serie de cálculos tales como perímetro, área, coeficiente de forma, índice de compactidad o de Gravelius, frecuencia de drenaje, densidad de drenaje, longitud del cauce principal, índice de sinuosidad hidráulica y la curva hipsométrica, propios de la Hidrología.

Los lectores encontrarán los resultados de dichos cálculos en un estudio minucioso de los recursos hídricos, iniciando con los fundamentos teóricos de diversos autores especializados, las funciones y la importancia de las subcuencas hidrográficas, sus características y el clima predominante en el municipio.

Se presentan asimismo las generalidades de cada una de las 5 subcuencas. El método presentado clasifica cada una de las corrientes a fin de obtener el grado de bifurcación y establecer el orden jerárquico de las mismas, ello para conocer el aporte de cada subcuenca a los escurrimientos principales y con ello abonar al conocimiento geográfico a escala municipal.

La caracterización y estudio de las cuencas del municipio de Ixtlahuacán del Río, Jalisco, significó un esfuerzo de los autores para presentar una propuesta que permitiera comprender y gestionar los recursos hídricos de la región,

y de esta forma contribuir a la toma de decisiones en la conservación del agua y cuidados del ambiente en dicho municipio.

LA DIRECTORA

## ACERCA DE LOS AUTORES

**Martín Vargas Inclán.** Ingeniero agrónomo y Maestro en Desarrollo Local y Territorio por la Universidad de Guadalajara. Profesor-investigador del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. Pertenece al Cuerpo Académico Geografía del Paisaje, está acreditado con Perfil deseable. Imparte las asignaturas de Geografía de los Suelos, Hidrografía e Hidrología, Geografía Rural, y está adscrito en el Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. Su línea de investigación es Degradación, Recuperación y Conservación de Suelos.

Correo electrónico: martin.vinclan@academicos.udg.mx

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1183-2326>

**Leticia Loza Ramírez.** Ingeniero agrónomo, Maestra en Ciencias de la Tierra con especialidad en Oceanografía y Meteorología Física, ambas por la Universidad de Guadalajara. Pertenece al Cuerpo Académico Geografía del Paisaje; está acreditada con Perfil deseable. Imparte las asignaturas de Climatología General y Climatología Aplicada en el Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. Su línea de investigación es la Climatología.

Correo electrónico: leticia.lramirez@academicos.udg.mx

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-2575-6069>

**Ignacio Gallegos Sánchez**, Licenciado en Geografía, con especialización en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Maestro en Desarrollo Local y Territorio por la Universidad de Guadalajara. Con once años de trayectoria profesional en los sectores público, privado y social, participación en proyectos enfocados en la gestión territorial, manejo sustentable de los recursos naturales y la planeación ambiental. Colaboraciones en la administración pública federal, dentro de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco (SEMADET), el Fondo Internacional de Desarrollo agrícola (FIDA), el Fondo Noroeste (FONNOR A.C.) y The Nature Conservancy (TNC).

Correo electrónico: [gignaciogs@gmail.com](mailto:gignaciogs@gmail.com)

# CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS SUBCUENCAS DENTRO DEL MUNICIPIO DE IXTLAHUACÁN DEL RÍO, JALISCO

Martín Vargas Inclán<sup>1</sup>,  
Leticia Loza Ramírez<sup>1</sup>  
Ignacio Gallegos Sánchez<sup>2</sup>

## Resumen

El objetivo del presente trabajo es caracterizar y analizar la morfometría del sistema hidrológico del municipio de Ixtlahuacán del Río; con esto se busca explicar de manera simple y sencilla las características morfométricas generales de las subcuencas hidrológicas que conforman el territorio municipal. Los parámetros que se han considerado de mayor importancia para entender el funcionamiento de las subcuencas son: perímetro, área, coeficiente de forma, índice compacidad o de Gravelius, frecuencia de drenaje, densidad de drenaje, longitud del cauce principal, índice de sinuosidad hidráulica y la curva hipsométrica. Se espera que el cálculo de estos parámetros sea de utilidad y formen

---

<sup>1</sup> Profesores del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial del Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, UdeG.

<sup>2</sup> Maestro en Desarrollo Local Territorio, Universidad de Guadalajara.

parte de la información utilizada en la toma de decisiones en torno a la sustentabilidad hidrológica y el manejo del agua en el municipio.

**Palabras clave:** Subcuenca, caracterización, sustentabilidad, población.

### **Abstract**

The objective of this work is to characterize and analyze the morphometry of the hydrological system of Ixtlahuacán del Río; this seeks to explain in a simple and easy way the general morphometric characteristics of the hydrological sub-basins that make up the municipal territory. The parameters that have been considered of greatest importance to understand the functioning of the sub-basins are perimeter, area, shape coefficient, compactness or Gravelius index, drainage frequency, drainage density, length of the main channel, hydraulic sinuosity index and the hypsometric curve. It is expected that the calculation of these parameters will be useful and will form part of the information used in decision making regarding hydrological sustainability and water management in the municipality.

**Keywords:** Sub-basin, characterization, sustainability, population.

## INTRODUCCIÓN

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado.

Las características morfométricas corresponden a la aplicación de procedimientos que, a través de la morfología y geomorfología, caracterizan los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permiten comparar en forma exacta una parte de la superficie con otra. Estos parámetros están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca, ya que es una función compleja de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la forma del terreno en el cual se desarrolla el fenómeno. Las formas de la superficie terrestre, y en particular la altitud, tienen influencia decisiva sobre los más importantes factores condicionantes del régimen hidrológico, como precipitación, escorrentía, infiltración y formación de depósitos de agua subterránea.

Los valores morfométricos son fundamentales para documentar y establecer las relaciones hidrológicas de las cuencas con las características físicas del territorio.

Asimismo, el sistema hidrológico del municipio está conformado por 5 subcuencas hidrológicas (INEGI, 2019),



a las cuales se les hicieron los cálculos y análisis básicos necesarios para su descripción morfométrica. Los parámetros de mayor importancia que se consideraron medir para entender su funcionamiento son: perímetro, área, coeficiente de forma, índice compacidad o de Gravelius, frecuencia de drenaje, densidad de drenaje, longitud del cauce principal, índice de sinuosidad hidráulica y la curva hipsométrica. Estos parámetros fueron estimados haciendo uso de la información de fuentes oficiales. Los resultados permitieron la caracterización de cada una de las subcuencas del municipio.

El cálculo de los parámetros morfométricos de cada una de las subcuencas aporta información de utilidad para una mejor toma de decisiones en el manejo integral del agua a partir de su utilización armónica y racional, para que pueda cumplir a plenitud sus funciones como parte del medio natural y como elemento susceptible de ser aprovechado en las actividades urbanas.

La caracterización morfométrica de las subcuencas hidrográficas del municipio y la identificación de sus zonas funcionales, representa una fuente importante de información que aporta la base para la planificación estratégica del manejo de sus recursos naturales, así como para la realización de estudios hidrológicos, sociales y ecológicos; en este sentido, poca es la información referida a estas subcuencas a nivel del estado de Jalisco-México, una fuente económica importante debido a las actividades primarias que se realizan, ya que en ellas se ubican zonas agrícolas y pecuarias de gran importancia para el municipio de Ixtlahuacán del Río y del estado. En este estudio se analizan

las características morfométricas de las subcuencas con relación al uso de suelo y vegetación respecto a su respuesta hidrológica e identificación de zonas de riesgo de degradación. La estructura de la revisión bibliográfica fue realizada considerando la importancia de las cuencas hidrográficas y su caracterización morfométrica en relación con el comportamiento hidrológico.

Los métodos empleados son basados en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis de la cartografía de INEGI. Los resultados obtenidos indican la relación de la morfometría de la cuenca e influencia del uso del suelo y vegetación sobre el comportamiento hidrológico.

La idea de realizar este trabajo surge a partir de la identificación de los impactos negativos provocados a los recursos hidrológicos por las actividades humanas, los cuales se han acelerado considerablemente en las últimas décadas. El deterioro es causado principalmente por el rápido aumento de la actividad pecuaria, agrícola e industrial, así como por la expansión acelerada de las poblaciones urbanas. En este sentido, la intención de esta investigación es crear bases de datos que permitan diagnosticar problemas sobre el recurso agua y definir lineamientos para futuras investigaciones, así como para establecer soluciones que garanticen el equilibrio y la conservación del medio natural y que garantice el uso sustentable de los recursos hidrológicos.

En los últimos años, el sector hidráulico en México ha evolucionado hacia un manejo integrado del agua, este logro fue posible gracias a la transformación del marco jurídico y del sector administrativo federal, así como al proceso

ordenado de planeación participativa con los usuarios. Por lo tanto, la gestión del agua se sustenta en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas, bienes, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante los cuales coordinadamente el estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad promueven acciones para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de la sociedad, su medio económico y ambiental (Cotler, 2004).

El conocimiento de la dinámica hidrológica, cultural, social e institucional de las cuencas hidrográficas de México implica saber en dónde vivimos, conocer el origen de los bienes y servicios ambientales de los que nos beneficiamos, el agua, la biodiversidad, el suelo, los bosques, las selvas, y de qué forma cumplen sus diversas funciones en relación a la disponibilidad de agua, en la red de arroyos y ríos, formando una conexión estrecha entre la parte alta y la parte baja de la cuenca (SEMARNAT, 2013).

## **Fundamentos morfométricos de una subcuenca**

La morfometría se ocupa de los parámetros espaciales con categoría geométrica, es decir, tipología y dimensiones en las formas del terreno, así como todo el conjunto de procedimientos matemáticos que sirven para su estudio. (Pedraza Gilsanz, Carrasco González, Díez Herrero, Martín Duque, Martín Rídaura, & Sanz Santos, 1996). Por otra parte, se define como cuenca hidrológica a “aquella área específica de los acuíferos, cuencas o regiones hidrológicas, en las cuales se establecen limitaciones en la explotación, uso o

aprovechamiento de una porción o la totalidad de las aguas disponibles, con la finalidad de prestar un servicio público, implantar un programa de restauración, conservación o preservación (SEMARNAT, 2018).

Mientras que subcuenca es toda área en la que su drenaje va directamente al río principal. También se define como una subdivisión de la cuenca; es decir, una cuenca la conforman varias subcuencas (Faustino, 2006). A diferente escala, una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca, esto significa que una subcuenca también está constituida por varias microcuencas. Las microcuencas son unidades pequeñas y a su vez son áreas en las que se originan quebradas y riachuelos, se inician en la naciente de los pequeños cursos de agua uniéndose a otras corrientes hasta constituir la cuenca hidrográfica de un río de gran tamaño. Pero para entender el comportamiento de la cuenca es indispensable conocer escenarios en el tiempo, que expliquen cambios y dinámicas, lo cual lleva a valorar la dimensión temporal de cada una de ellas (Faustino, 2006).

## **Funciones de una subcuenca hidrográfica**

Los componentes de una cuenca deben funcionar como un todo para que en esta puedan llevar a cabo procesos naturales como la captación de agua superficial y subterránea, la cual es aprovechada en las múltiples actividades socioeconómicas (agricultura, ganadería, industrias y uso urbano). Además, es vital para el mantenimiento de los ecosistemas en las cuencas, subcuencas y microcuencas

hidrográficas. El agua almacenada es la fuente para proveer las necesidades de la flora y fauna que forman parte de los subsistemas biológico, económico y social; además, permite conservar la biodiversidad. Finalmente, la cuenca proporciona espacios para el esparcimiento y el desarrollo de actividades socioculturales.

Las cuencas hidrográficas son algo más que sólo áreas de almacenamiento y recarga de agua alrededor de nuestras comunidades. También son refugio de plantas, animales, y de asentamientos humanos a los que les proporcionan el agua necesaria para vivir, mediante el cultivo y crianza de animales domésticos para la comercialización industrial. Asimismo, la protección y la conservación de los recursos naturales de las cuencas es esencial para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, con lo que se puede garantizar la sustentabilidad futura de dichos ecosistemas.

Para la realización del ordenamiento y manejo de una cuenca hidrográfica, es importante conocer todos sus componentes (físicos, biológicos, sociales y económicos); esto es posible abordando los estudios y el manejo como unidades o sistemas de subcuencas y microcuencas. El manejo de las cuencas hidrográficas es una actividad esencial y fundamental para la regulación, mantenimiento y conservación de los recursos, esto se logra con la aplicación de métodos para el uso racional e integral de los recursos naturales de la cuenca.

## Caracterización de cuencas hidrográficas

En el proceso de planificación, manejo y gestión de cuencas hidrográficas es necesaria la caracterización de éstas. Dicha caracterización requiere un inventario detallado de los recursos, las condiciones biológicas, físicas, ambientales de la cuenca y sus interrelaciones. En el proceso de manejo de cuencas, esta caracterización cumple tres funciones fundamentales:

1. Describir y tipificar las características principales de la cuenca.
2. Sirve de información básica para definir y cuantificar el conjunto de indicadores que servirán de línea base para el seguimiento, monitoreo y evaluación de resultados e impactos de los planes, programas o proyectos de manejo y gestión de cuencas.
3. Sirve de base para el diagnóstico, donde se identifican y priorizan los principales problemas de la cuenca, se identifican sus causas, consecuencias y soluciones y se determinan las potencialidades y oportunidades de la cuenca.

La caracterización de cuencas hidrográficas es el primer paso en el proceso de manejo, planificación e implementación; la cual debe ser integral para entender el funcionamiento de la cuenca como sistema.

Debido a que la gestión de cuencas es un proceso con objetivos a corto, mediano y largo plazo (5, 10 o 20 años), en términos de la rehabilitación o de manejo sostenible, la planificación debe sustentarse en información completa e

integral de la cuenca, para evitar errores en la priorización e intervención, que podrían llevar no solamente a un uso ineficiente de los recursos humanos y económicos, sino también a la falta de resultados e impactos favorables concretos que justifiquen y motiven a todos los actores locales a internalizar y empoderarse del proceso.

Por otro lado, la falta de información o fallas en el proceso de caracterización de una cuenca hidrográfica podría evitar que instituciones, donantes y organismos de cooperación internacional desistan en los apoyos otorgados a la gestión de estos territorios (Jiménez, 2010).

## **Características fisiográficas del municipio de Ixtlahuacán del Río, Jalisco**

El municipio de Ixtlahuacán se localiza geográficamente en la región centro del Estado de Jalisco en las coordenadas 20°42' y 103°04' de latitud norte, 21°06' y 103°23' de longitud oeste, tiene una superficie territorial de 564.94 km<sup>2</sup>, además se encuentra entre 900 y 2,300 msnm. Colinda al norte con el estado de Zacatecas y el municipio de Cuquío Jalisco; al sur con los municipios de Zapotlanejo, al este con los municipios de Cuquío, Zapotlanejo, Guadalajara y Zapopan; al oeste con los municipios de Zapopan, San Cristóbal de la Barranca y el estado de Zacatecas (IIEG, 2012).

El límite municipal lo constituyen tres zonas de barrancas delineadas por el curso de los ríos Verde en dirección sur, el Río Grande de Santiago al suroeste, el Río El Aguacate y el Río Juchipila hacia el norte; mientras que

en dirección al este forma parte del altiplano central (IIEG 2013). En estas condiciones topográficas se presenta un gradiente altitudinal importante, en el cual confluyen dos tipos de ecorregiones, la selva cálido-seca en los cañones y las sierras templadas en las partes de mayor elevación (INEGI-CONABIO-INE, 2007).

De acuerdo con la carta hidrológica de aguas superficiales escala 1:250,000 del INEGI, el territorio municipal está situado en el punto de confluencia de cinco subcuencas: la del Río Verde y Presa Santa Rosa al noroeste del municipio; la del Río Gigantes al sur; la del Río Verde Grande sureste de la cabecera municipal; la del Río Juchipila-Moyahua al norte y la del Río Corona-Río Verde. Esta última ubicada al sur en una superficie de 11.87 ha (0.12 km<sup>2</sup>) del municipio, y debido a su tamaño no es muy representativa y solo se caracterizan las primeras cuatro subcuencas de las cinco antes mencionadas (Figura 1).

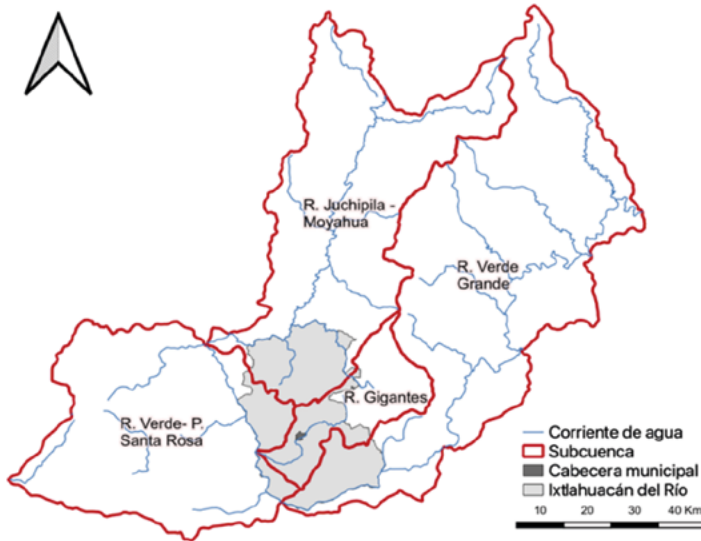
Por otra parte, el municipio se agrupa en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago (RH12) de acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019). A esta RH12 pertenecen las subcuencas hidrológicas mencionadas: subcuenca Río Juchipila-Moyahua: 2.90%; subcuenca Río Gigantes: 1.66%; subcuenca Río Verde Grande: 4.02%; y finalmente la subcuenca Río Verde Presa Santa Rosa: 2.54%. Asimismo, la superficie territorial del municipio de Ixtlahuacán del Río representa el 1.11% de la superficie de esta misma región hidrológica (IIEG, 2018).

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1973) Ixtlahuacán del Río presenta 3 tipos de climas corresponde a: 1.-Clima Aw0(w)(e)g Cálido



Figura 1.

Subcuencas hidrológicas respecto a los municipios de la  
Región Centro del Estado de Jalisco.



Fuente: Marco Geoestadístico Municipal versión 6.2, Datos vectoriales y Red Hidrológica escala 1:50, 000 de INEGI.

subhúmedo con lluvias en verano, es el menos húmedo de los subhúmedos, con un porcentaje de lluvia invernal del 3.4% con respecto a la precipitación anual, extremoso: con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales de 9.7°C, el mes más caluroso se presenta antes del solsticio de verano (21 de junio). Este clima lo encontramos en las márgenes de los ríos Juchipila, río Santiago y río verde; es decir, en los límites norte, este y sur del municipio. 2.-Clima (A)C(w1)(w)a(e)g Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, es el intermedio de los climas subhúmedos, con un 2.8% de lluvia invernal en relación a la anual, verano cálido

con una temperatura media del mes más caluroso (mayo) de 23°C. Extremoso: con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales de 7.4°C, el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano. Este clima se localiza desde la cabecera municipal hasta la parte sur del municipio donde domina la agricultura y se extiende hacia las zonas semiplanas de la parte oeste del municipio. 3.-Clima C(w1)(w)b(i) Templado subhúmedo con lluvias en verano, este clima es el intermedio de los climas subhúmedos, con un porcentaje de lluvia invernal del 2.6% de la anual, verano fresco con una temperatura media del mes más cálido (junio) de 18.6°C. Con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales de 6.4°C (moderada). Este clima domina en el cerro de la Higuera y cerro Alto, así como en la parte noreste y este del municipio donde se encuentran los bosques de pino y encino.

Las precipitaciones que inciden sobre una cuenca hidrológica son de importancia ecológica, porque representan la fuente principal de abastecimiento de los escurrimientos, almacenes superficiales de agua, corrientes subterráneas y mantos freáticos. Asimismo, constituye una estrategia de vida y un instrumento de planificación para las sociedades humanas. Según Fernández (1996), la precipitación es uno de los elementos climáticos que más influye en la configuración del medio natural. Su ciclo estacional y su distribución espacial condicionan las actividades agrícolas, las principales especies vegetales y animales. Los regímenes de lluvias en el municipio predominan en verano (en los meses de mayo y octubre) con el 94.1% de la precipitación total anual, el 3.4% de lluvia invernal (entre enero y marzo),

mientras que la precipitación media anual es de 916 mm (IIEG, 2019).

El 40% de la superficie del municipio es semiplana, en la que se agrupan las localidades de Quelitán, San Nicolás de los Abundis y Mazcuata; el 35% es plana este espacio lo ocupan las localidades de Palos Altos, Trejos, El Consuelo, e Ixtlahuacán; y el 25% restante del área es accidentada. Entre las elevaciones que más destacan son el cerro Alto con 2,300 msnm, cerro el Gallo con 2,100 msnm, cerro de La Higuera con 2,085 msnm, y el cerro El Mexicano con 1,698 msnm (U.E.P.C.Y B., 2018).

Con respecto al uso de suelo, la agricultura ocupa el 44.1%, la selva 30.3%, el bosque 15.0%, el pastizal 10.1%, los asentamientos humanos ocupan el 0.3% y los cuerpos de agua 0.2% del territorio municipal. En cuanto a la geología, las rocas que predominan es el basalto en un 46.6%, Arenisca 16.1%, y otras 3.4% (IIEG, 2018).

En relación a los suelos según el INEGI (2019), el Phaeozem es el que predomina en un 78.74%, Litosol 9.40%, Leptosol 8.50%, Luvisol 1.17%, Fluvisol 0.34% y el Regosol 0.17%. El Phaeozem se puede presentar en cualquier relieve o clima, es de profundidad variable y su uso principal es la agricultura de riego o de temporal (INEGI, 2019).

## **Generalidades de las subcuencas hidrológicas del municipio**

Las características morfométricas es un conjunto de procedimientos que a través del estudio de la morfología y

geomorfología, caracterizan a las cuencas hidrográficas expresadas en valores numéricos, los cuales permiten comparar espacialmente cuencas hidrográficas. Las características generales de cada subcuenca del municipio se describen a continuación.

- I. **Subcuenca Río Verde Grande.** Ocupa aproximadamente el 24% en el sureste del territorio municipal de Ixtlahuacán. En esta subcuenca se seleccionaron las estaciones climáticas Palo Verde y Zapotlanejo, ubicadas en las coordenadas geográficas 20° 38' 25" de latitud norte, 102° 57' 04" longitud oeste, a una altura de 1,730 msnm la primera; 20° 37' 20" latitud norte y 103° 04' 06" longitud oeste, y una altura de 1,515 msnm la segunda; en la sur del municipio corren los arroyos y ríos menores uniéndose al Río Verde que es el cauce principal de esta subcuenca.
- II. **Subcuenca Río Gigantes.** En su área de influencia se encuentra la cabecera municipal y la mayor parte de la región central que corresponde al 26% de la superficie del municipio. Se consideraron las estaciones de Ixtlahuacán del Río y Cuquio cuyas coordenadas geográficas y altura sobre el nivel del mar son: 20° 53' 19" latitud norte, 103° 15' 00" longitud oeste, 1,825 msnm y 20° 55' 40" latitud norte, 103° 01' 24" longitud oeste y 1,790 msnm respectivamente; los cauces de la parte centro y este del municipio desembocan al río Achichilco de la subcuenca Río Gigantes.
- III. **Subcuenca Río Juchipila-Moyahua.** Esta subcuenca ocupa aproximadamente el 32% de la superficie total y se ubica al norte del municipio. Las estaciones conside-

radas para su análisis son la de Moyahua y Mezquitil del Oro, debido a que sus instrumentos de medición se encuentran en mejor estado y están ubicadas en el estado de Zacatecas; y por lo tanto la información registrada es más confiable. Las coordenadas geográficas de estas estaciones son 21° 15' 32" latitud norte, 103° 09' 25" longitud oeste y 21° 12' 45" latitud norte y 103° 21' 50" longitud oeste, con una altitud de 1,180 msnm y 1,208 msnm respectivamente. Los arroyos y ríos menores de la parte norte del municipio descargan al río Juchipila.

**IV. Subcuenca Río Verde Presa Santa Rosa.** Solo el 18% de la superficie de esta subcuenca es parte del municipio, y para el análisis se tomó en cuenta la estación meteorológica de Cuixtla que se encuentra en las coordenadas geográficas 21° 03'07" norte y 103° 26' 20" oeste y 1,000 msnm, y La Experiencia; que se ubica en las 20° 40' 13" norte 103° 17' 09" oeste y 1,550 msnm. Los cauces de la parte oeste del municipio desembocan al Río Lerma-Santiago.

Para la caracterización climática del municipio se utilizaron los datos normales de las ocho estaciones antes mencionadas. Los datos de las estaciones se obtuvieron de las siguientes fuentes: del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la Comisión Nacional del Agua (CNA) y de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

También se recopiló información geológica, climatológica e hidrológica local, así como regional de los registros de INEGI, el Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Al-

cantarillado (SIAPA), la Comisión Estatal del Agua (CEA), y además se consultó literatura en páginas electrónicas relacionadas con el tema de estudio.

Mediante recorridos de campo, se reconocieron las condiciones actuales de los recursos naturales de la zona de estudio, por ejemplo, del relieve, las pendientes del terreno, la red de drenaje, cuerpos de agua (manantiales, pozos, bordos o abrevaderos, norias, etc.).

Con la información recopilada se elaboraron bases de datos con los cuales se hizo el análisis y la caracterización morfométrica de cada una de las subcuencas que convergen en el municipio. En cada subcuenca se midieron los siguientes parámetros: perímetro, área, coeficiente de forma, índice de compacidad o de Gravelius, frecuencia de drenaje, densidad de drenaje, longitud del cauce principal, índice de sinuosidad hidráulica y la curva hipsométrica.

Para calcular los parámetros se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS de ESRI, esta herramienta fue fundamental para la obtención de los resultados. La superficie en porcentaje de cada una de las subcuencas respecto a la Región Hidrológica 12 (RH12) Lerma-Santiago, a la que pertenecen es la que se escribe a continuación: La subcuenca Río Juchipila-Moyahua representa el 2.90% de la superficie de la región hidrológica, la subcuenca Río Gigantes el 1.66%, Río Verde Grande 4.02% y finalmente Río Verde Presa-Santa Rosa 2.54%. Por su parte, el municipio de Ixtlahuacán del Río representa el 1.11% de la superficie de esta misma región hidrológica.

### *Perímetro o parteaguas*

Es la línea imaginaria que separa una superficie de otra mediante la unión de todos los puntos de mayor elevación e interceptando en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica, por cuya razón a dicha línea divisoria también se le conoce con el nombre de línea neutra de flujo; por lo tanto, el perímetro de la cuenca es la longitud de la línea divisoria. Este parámetro es importante pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro es representado por la letra mayúscula P. (Villón, 2002). El perímetro de cada una de las subcuencas mostradas en la Figura 1 se calculó con el software ArcGIS; como resultado, se obtiene que la subcuenca con perímetro mayor es la subcuenca Río Verde Grande, mientras que la subcuenca Río Gigantes es la de menor perímetro (Tabla 1).

Tabla 1.

Perímetro de las subcuencas en Ixtlahuacán del Río.

| Subcuenca                 | Perímetro (km) |
|---------------------------|----------------|
| Río Juchipila - Moyahua   | 327            |
| Río Verde Grande          | 387            |
| Río Verde - P. Santa Rosa | 217            |
| Río Gigantes              | 136            |

Fuente: *Elaboración propia con datos vectoriales de la red hidrológica* (INEGI, 2010)

### *Área*

El área de la cuenca es la superficie dentro del perímetro de esta, se expresa en km<sup>2</sup> y generalmente se utiliza la letra A mayúscula para representarla. Está comprobado que la

relación del área con la longitud del área es inversamente proporcional a la densidad de drenaje y el relieve. Para llevar a cabo el análisis de este parámetro se requirió nuevamente el apoyo de software SIG e información vectorial; los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2. Seguido a este proceso, y con el propósito de contextualizar la cobertura y representatividad de las subcuencas dentro del límite municipal de Ixtlahuacán, se calculó el porcentaje del área para cada subcuencas en relación al área total municipal. Como resultado de lo anterior se observa que la subcuenca con mayor influencia en Ixtlahuacán es la denominada Río Juchipila-Moyahua, la cual ocupa el 34.11% del área total del municipio; por otro lado, la subcuenca de menor representación o menor porcentaje es Río Verde-Presa Santa Rosa con solo 18.74%. Las superficies mencionadas se describen en la Tabla 2.

Tabla 2.  
Área y porcentaje de las subcuencas (Ixtlahuacán del Río).

| Subcuenca                    | Área total de cada subcuenca (km²) | Área total municipal (km²) | Área de cada subcuenca en % dentro del municipio |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|
| Río Gigantes                 | 489.88                             | 831.82                     | 25.53                                            |
| Río Verde - Presa Santa Rosa | 1,940.63                           |                            | 18.74                                            |
| Río Juchipila – Moyahua      | 2,209.93                           |                            | 34.11                                            |
| Río Verde Grande             | 3,077.86                           |                            | 21.62                                            |

Fuente: Elaboración propia.

Tamaño

Este parámetro está relacionado con la superficie, y es de utilidad para clasificar las cuencas según su tamaño, en



muy pequeñas, pequeñas, intermedia-pequeña, intermedia-grande, grandes y muy grandes (Campos, 1998). Se considera como cuenca pequeña a aquella cuya área varía desde unos 25 Km<sup>2</sup> hasta 250 km<sup>2</sup> como límite máximo (Villón, 2002).

De acuerdo con la propuesta de Campos (1998), descrita en la Tabla 3, el autor establece rangos para la clasificación de cuencas de su superficie. Partiendo de esta clasificación se aplicaron esas categorías a las subcuencas de interés en función de su superficie, de esta forma la subcuenca Río Gigantes con un área de 489.88 km<sup>2</sup> se agrupa en la categoría de Intermedia-pequeña y la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa, con 1,940.63 km<sup>2</sup> se clasifica como Intermedia-grande. De esta forma la subcuenca Río Juchipila-Moyahua con una superficie de 2,209.93 km<sup>2</sup> y la subcuenca Río Verde Grande y 3,077.86 km<sup>2</sup> de superficie se clasifican en la categoría de Grande.

Tabla 3.

Clasificación de las cuencas hidrológicas según su tamaño.

| Tamaño de la cuenca (km <sup>2</sup> ) | Descripción        |
|----------------------------------------|--------------------|
| <25                                    | Muy pequeña        |
| 25 a 250                               | Pequeña            |
| 250 a 500                              | Intermedia-pequeña |
| 500 a 2500                             | Intermedia-grande  |
| 2500 a 5000                            | Grande             |
| > 5000                                 | Muy grande         |

Fuente: Campos (1998).

### *Forma de la cuenca*

Los factores geomorfológicos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación), principalmente, son los encargados de moldear la fisiografía de una región y, particularmente, la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Entre las características morfométricas de importancia para entender el funcionamiento de una cuenca hidrográfica, está su forma. La evaluación de la forma de una cuenca considera el grado de similitud de su contorno o divisoria, al de una figura geométrica regular conocida. Para su cuantificación se han establecido diferentes factores de forma, lo cual expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud de acuerdo (Villón, 2002). Para determinar la forma de las subcuencas, según Gravelius se debe calcular el coeficiente de compacidad.

### *Coefficiente de compacidad*

Definido como el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia ( $P_c$ ) de un círculo de área igual al tamaño ( $A$ ) de la cuenca en kilómetros cuadrados, de esta forma; el coeficiente de compacidad se obtiene con la siguiente fórmula:

$$K_c = \frac{P}{P_c} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

$K_c$  = Coeficiente de compacidad

$P$  = Perímetro

$A$  = Área

$P_c$  = Circunferencia del círculo de área igual al tamaño del área de la cuenca en  $\text{km}^2$ .

Este valor adimensional, independiente del área estudiada, tiene como límite inferior el valor 1 para cuencas de forma circular, el grado de aproximación de este índice a la unidad indica una tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, siendo más acentuados cuanto más cercana este a la unidad, esto significa que entre más bajo sea el coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) mayor será la concentración de agua; y conforme su valor crece indicará una mayor distorsión de la cuenca en su forma, es decir, se vuelve alargada o asimétrica (H. Gravelius). Existen tres categorías de clasificación de las cuencas según el valor de este parámetro:

Tabla 4.

Índice de Gravelius para la evaluación de la forma de una cuenca.

| Clase | Coeficiente de compacidad | Forma                        | Características                                           |
|-------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1     | 1-1.25                    | Oval redonda                 | Torrencial peligrosa.                                     |
| 2     | 1.25-1.50                 | Oval redonda a oval alargada | Con peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior. |
| 3     | 1.50-1.75                 | Oval alargada a alargada     | Menor torrencialidad.                                     |

Fuente: Ortíz, 2004.

Las cuencas en las que el resultado es menor o igual a uno pueden tener problemas de inundación (Chapingo, 2009).

A continuación se describe el proceso mediante el cual se obtuvo el valor del coeficiente de compacidad de la subcuenca (Río Juchipila-Moyahua, y en la Tabla 5, se presenta el coeficiente de compacidad de las demás subcuencas del área de estudio:

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Datos:

$P = 327 \text{ km}$

$A = 2,209.93 \text{ km}^2$

$$Kc = 0.282 \frac{327}{\sqrt{2,209.93}} = 1.96$$

Tabla 5.

Coefficiente de Gravelius en las subcuencas de Ixtlahuacán del Río.

| Nombre de la subcuenca     | Coefficiente de Compacidad (Gravelius) | Forma de la subcuenca    |
|----------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
| Río Verde-Presa Santa Rosa | 1.38                                   | Oval redonda             |
| Río Gigantes               | 1.73                                   | Oval alargada a alargada |
| Río Verde Grande           | 1.96                                   | Oval alargada a alargada |
| Río Juchipila-Moyahua      | 1.96                                   | Oval alargada a alargada |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la tabla 5, la subcuenca Río Verde Grande-Presa Santa Rosa es de la clase 2, con categoría Kc2 (1.38) con forma oval-redonda u oval-alargada; por su parte, las subcuencas Río Gigantes, Río Juchipila-Moyahua y Río Verde Grande se encuentran en la categoría Kc3, forma oval-alargada a alargada. En ninguna de las subcuencas existe el riesgo de concentrar fuertes volúmenes de agua por escurrimiento que luego podrían provocar desbordamiento e inundación.

### *Relación de elongación*

La relación de elongación ( $Re$ ) propuesta por S.A. Shaumm (citado por Campos A., 1992), se define como el cociente adimensional entre el diámetro ( $D$ ) de un círculo que tiene igual área ( $A$ ) que la microcuenca y la longitud ( $Lc$ ) de la misma. La longitud se define como la más grande dimensión de la microcuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta la divisoria, paralela al cauce principal. El valor máximo que se puede obtener de esta razón es uno, para cuencas perfectamente redondas, y tiende a cero, a medida que la cuenca es alargada y estrecha. El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular; pero cuando la cuenca es plana con relieves accidentados, la relación de elongación puede estar entre 0.5 y 0.8. Por lo tanto, la fórmula para el cálculo de la relación de elongación es la siguiente:

$$Re = \frac{D}{Lc} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lc}$$

Donde:

$D$  = Diámetro de un círculo de igual área que la microcuenca.

$Lc$  = Máxima longitud en línea recta desde la desembocadura hasta la parte más alta de la divisoria.

$A$  = Área de la cuenca analizada.

La relación de elongación parece estar fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde la relación de elongación va de 0.60

a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

La relación de elongación (Re) se calculó en las 4 subcuencas de interés, y a continuación se presenta el procedimiento del cálculo de la subcuenca Río Juchipila-Moyahua, la cual tiene una área (A) de 2,209.93 km<sup>2</sup> y longitud máxima (Lc) de 107.80 km;

Datos:

$A = 2,209.93 \text{ km}^2$        $Re = \frac{D}{Lc} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lc}$

$Lc = 107.8 \text{ km}$        $Re = 1.128 \frac{\sqrt{2,209.93}}{107.8} = 0.56$

El valor de la relación de elongación de las demás subcuencas se presenta en la Tabla 6.

De acuerdo con los valores de la tabla, se puede decir que la subcuenca Río Juchipila - Moyahua está asociada a fuertes relieves y pendientes del terreno. La relación de elongación (Re) resultante de la aplicación de esta metodología a las demás subcuencas se muestra a continuación.

Tabla 6.  
Relación de elongación de las subcuencas de interés.

| Subcuenca                   | Relación de elongación |
|-----------------------------|------------------------|
| Río Verde Grande            | 0.41                   |
| Río Juchipila - Moyahua     | 0.56                   |
| Río Gigantes                | 0.80                   |
| Río Verde- Presa Santa Rosa | 1.26                   |

Fuente: Elaboración propia.

Además de la subcuenca Río Juchipila-Moyahua, la subcuenca Río Verde Grande y Río Gigantes cuentan con un terreno accidentado, principalmente al sur de la misma, ya que en esta región se ubica la Barranca de Huentitán y el Río Lerma Santiago. Como contraparte la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa contempla una amplia sección del Valle de Tesistán y parcialidades de la zona urbana del municipio de Zapopan.

La topografía o relieve de una subcuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma de la misma. Por otra parte, es frecuente definir el relieve de una subcuenca por medio de su llamada curva hipsométrica, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de la superficie correspondiente. De lo anterior se deduce la utilidad de la curva hipsométrica, misma que será elaborada párrafos más adelante.

### *Elevación media y su importancia*

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre el clima y por tanto sobre el régimen hidrológico, además brinda una base para la identificación de zonas con características climáticas y ecológicas diferentes dentro de la misma. Existe una correlación entre este parámetro y otros índices calculados en una cuenca, región o área específica. En cuanto a los cambios territoriales de otros elementos del régimen hidrológico, la altura de la cuenca también tiene notable importancia. Esto evidente con relación a la temperatura del agua, que está directamente relacionada con las temperaturas del aire, dentro del área de captación de la cuenca hidrográfica. La acumula-

ción de sedimentos también puede variar con la elevación media de la cuenca, por constituir, esta última, el criterio de variación de la escorrentía.

A su vez, la concentración de sedimentos, en condiciones de homogeneidad litológica, aumenta proporcionalmente con el aumento del escurrimiento superficial, lo que indica una mayor capacidad de erosión y de arrastre. En este aspecto, desde luego, se encuentran, frecuentemente, excepciones, determinadas por las condiciones litológicas de la capa superficial del suelo. El método más simple para estimar la elevación media de la cuenca consiste en elaborar una malla con celdas o espacios homogéneos en dimensiones. La elevación media del terreno en cada una de estas celdas o espacios se calcula obteniendo el promedio aritmético de las elevaciones al interior utilizando para esto información sobre las curvas de nivel existentes en la cuenca. Entre más intersecciones se consideren, más representativo será el valor de la elevación.

Por otro lado, a partir de la curva hipsométrica es posible calcular la denominada elevación mediana de la cuenca, la cual equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca (Campos, 1998). A manera de ejemplo, mediante la aplicación de una malla para el cálculo de elevaciones, se muestra como referencia los resultados de la subcuenca Río Juchipila-Moyahua. En la Tabla 7 se indica el promedio de alturas presentes en cada celda de la malla elaborada y que se observa en la Figura 2, este promedio fue calculado utilizando las curvas de nivel.



Tabla 7.

Altura promedio (msnm) en la intersección de la subcuenca

Río Juchipila-Moyahua en la superficie municipal.

|       |        |       |       |       |        |       |       |       |       |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1,022 | 2,300  | 2,100 | 1,304 | 1,521 | 2,317  | 2,457 | 2,435 | 2,406 | 2,069 |
| 1,578 | 1,540  | 1,406 | 1,806 | 1,960 | 2,300  | 2,112 | 1,940 | 2,035 | 1,406 |
| 1,319 | 1,452  | 1,563 | 1,773 | 2,100 | 1,750  | 1,465 | 1,528 | 1,865 | 1,864 |
| 1,856 | 1,927  | 1,822 | 1,900 | 2,270 | 2,367  | 2,314 | 2,072 | 2,300 | 2,300 |
| 2,150 | Máxima | 2,700 | Media | 1,725 | Minima | 900   |       |       |       |

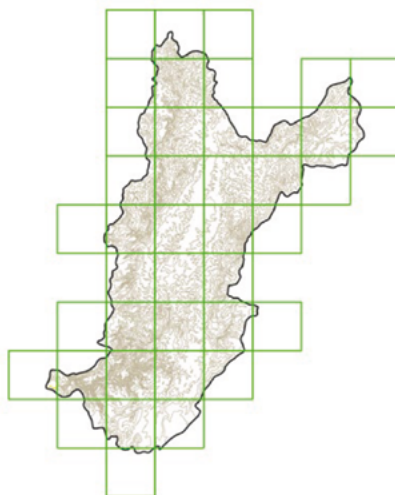
Fuente: Elaboración Propia

La malla o retícula utilizada para el cálculo fue elaborada en un SIG, con medidas de 10 km por 10 km para las celdas, para posteriormente calcular las altura máxima, media y mínima en cada una de ellas.

Figura 2.

Retícula para el cálculo de la altura media de la subcuenca

Río Juchipila Moyahua.



Fuente: Elaboración propia.

Las alturas de la subcuenca Río Juchipila-Moyahua fueron las siguientes: 2,700 msnm como la máxima, 900 msnm como la mínima, y como la altura media de 1,725.

Con la misma metodología se obtuvieron las alturas de las subcuencas restantes: la del Río Verde Grande tiene una elevación máxima de 2,800 msnm, una mediana de 1,886 y mínima de 1,000, según la intersección de las curvas de nivel; la subcuenca Río Gigantes presenta elevación máxima y mínima de 2,300 msnm y 1,000 respectivamente, mientras que la elevación media es de 1,804; finalmente la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa tiene una elevación máxima de 2,800 msnm, mediana de 1,574 y mínima de 700.

### *La curva hipsométrica*

La curva hipsométrica, es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca, con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima, o por debajo de varias elevaciones.

La curva hipsométrica representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de la superficie correspondiente. Se obtiene graficando en el eje de las ordenadas las diferentes alturas de la cuenca (máxima y mínima) y en el eje de las abscisas los valores de área que se encuentran por encima de las alturas correspondientes (Racca, 2007). En su construcción se utilizan valores porcentuales, lo que permite comparar con mayor facilidad resultados en dife-

rentes cuencas, ideal para el ejercicio realizado en el presente trabajo.

El valor del área relativa que yace bajo la curva (integral hipsométrica) es un indicador del estado de desarrollo de la cuenca; los valores superiores al 60% indican un desequilibrio manifiesto en las funciones de la cuenca (juventud), valores cerca del 47% representan equilibrio (madurez) e inferiores a 30% indican que la cuenca se encuentra en un estado de senectud (Racca, 2007).

Para la elaboración del gráfico es necesario contar con datos tabulados, registrando en la primera columna la altura mínima y máxima de la cuenca correspondiente, y en las columnas siguientes el área y área acumulada (Tabla 8). Para que la información que se grafique sea lo más representativa posible, se debe contar con el mayor número de intervalos posibles. A manera de ejemplo en la construcción de la curva hipsométrica por medio del método descrito (Figura 3), en la Tabla 8 se presentan los datos tabulados correspondientes a la subcuenca Juchipila-Moyahua; el gráfico resultante de estos datos tabulados se observa en la Figura 3.

Tabla 8. Datos tabulados para la elaboración de la curva hipsométrica de la subcuenca Juchipila-Moyahua en el municipio de Ixtlahuacán del Río.

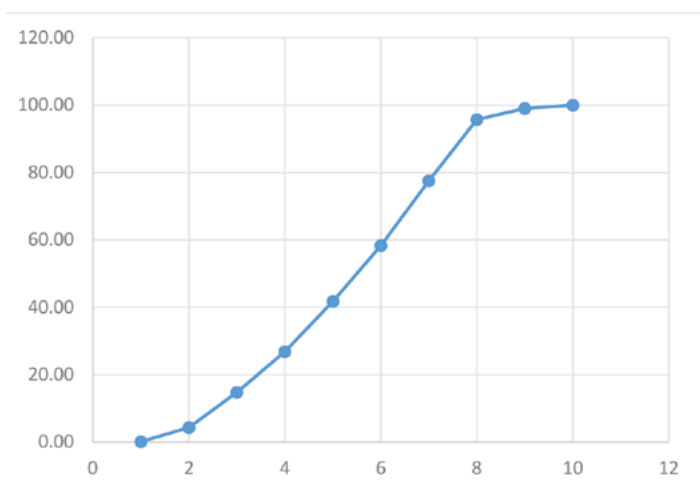
| Elevación      | Área (km <sup>2</sup> ) | Área (%) | Acumulado (%) |
|----------------|-------------------------|----------|---------------|
| más de 2600    | 3.11                    | 0.14     | 0.14          |
| de 2400 a 2600 | 92.50                   | 4.18     | 4.32          |
| de 2200 a 2400 | 230.79                  | 10.43    | 14.76         |
| de 2000 a 2200 | 267.28                  | 12.08    | 26.84         |
| de 1800 a 2000 | 329.40                  | 14.89    | 41.73         |

|                |        |       |        |
|----------------|--------|-------|--------|
| de 1600 a 1800 | 367.49 | 16.61 | 58.35  |
| de 1400 a 1600 | 425.14 | 19.22 | 77.57  |
| de 1200 a 1400 | 402.34 | 18.19 | 95.76  |
| de 1000 a 1200 | 71.53  | 3.23  | 98.99  |
| menos de 1000  | 22.62  | 1.02  | 100.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.

Curva hipsométrica de la Subcuenca Río Juchipila-Moyahua

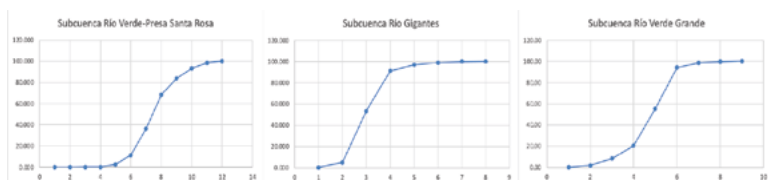


Fuente: Elaboración propia.

Las curvas hipsométricas de las subcuencas Río Verde Grande, Río Verde-Presa Santa Rosa y Río Gigantes se presentan en la Figura 4.

Figura 4.

*Curvas hipsométricas de las subcuencas del municipio de Ixtlahuacán del Río.*



Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la Figura 4 muestran que las subcuencas se encuentran en una etapa de equilibrio, lo que significa que geológicamente el cauce principal presenta una fuerte erosión generando una reducción significativa en su pendiente.

#### Pendiente de una cuenca

La pendiente es un parámetro morfométrico que tiene una relación directa con el escurrimiento superficial, subterráneo, y con la infiltración; y al mismo tiempo contribuye con el flujo subterráneo y la posterior descarga hacia los cuerpos de agua superficiales (ríos o presas). Además, es uno de los factores físicos que regulan el tiempo del flujo sobre el terreno, así como la magnitud de las avenidas o crecidas. Para realizar la estimación de la pendiente en las subcuencas de interés en este estudio se utilizó el criterio simplificado de Alvord citado por Campos (1998), el cual se expresa de la siguiente manera:

$$Sc = \frac{D * L}{A} * 100$$

Donde:

Sc = Pendiente promedio de la cuenca

D = Intervalo o desnivel constante entre las curvas de nivel

L = Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca

A = Área (km<sup>2</sup>)

Aplicando la fórmula antes citada se obtuvo el valor de la pendiente de la subcuenca Juchipila-Moyahua, de la siguiente manera:

$$Sc = \frac{D * L}{A} * 100$$

Datos:

D = 20 m = 0.020 km

L = 43,764.28 km

A = 2,209.93 km<sup>2</sup>

$$Sc = \left[ \frac{0.020 * 43,764.28}{2,209.93} \right] * 100$$

$$= 39.60\%$$

Así mismo, el valor de la pendiente del resto de las subcuencas, se obtuvo con la misma ecuación anterior. De esta forma la pendiente de la subcuenca Río Verde Grande es de 30.88%, y la de la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa es de 31.49%, mientras que la subcuenca Río Gigantes tiene 14.08 % de pendiente.

### Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal es un parámetro de una cuenca que se debe conocer por la importancia que esta representa para entender el comportamiento del volumen y del caudal que se mueve dentro de ella. En general, la pendiente del cauce de un río, se puede considerar como el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo, por lo tanto, es posible obtener la pendiente de un cauce considerando la relación entre el desnivel que hay entre sus extremos y la proyección horizontal de su longitud (Villón, 2202), la expresión de la fórmula para el cálculo de la pendiente es la siguiente:

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

$S$  = Pendiente

$H$  = Diferencia de cotas entre los extremos del cauce

$L$  = Longitud del cauce

El cálculo de la pendiente del cauce principal de las subcuencas de interés se hizo aplicando la fórmula mencionada, y el mismo procedimiento se siguió para obtener el valor de la pendiente del cauce principal de la subcuenca Juchipila-Moyahua como se explica a continuación:

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S = Pendiente

H = 1.5 km

L = 108.12 km

$S = 0.01387 * 1000 = 13.87\%$

Los resultados obtenidos del cálculo de la pendiente del cauce principal para las demás subcuencas son los siguientes: subcuenca Río Gigantes 25.50%; subcuenca Río Verde Grande: 4.04% y finalmente la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa 11.16%.

### *Características de la red de drenaje*

La red de drenaje es el sistema jerarquizado de cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos, que confluyen unos en otros configurando un colector principal de toda una cuenca. Su función es el transporte de materia y energía en el interior de la cuenca. Desde una perspectiva ecológica es un ejemplo de autoorganización (González, 2004) La forma de la red, la densidad de drenaje y los órdenes jerárquicos alcanzados son parámetros fundamentales de estudio que dependen de los caracteres geomorfológicos y bióticos (vegetación) del sistema.

Entre los parámetros relacionados con las características de la red, están la densidad y la frecuencia de drenaje, la relación de bifurcación, jerarquía de los cauces de la red, los patrones de drenaje y la relación de elongación.

La densidad de drenaje es la relación entre la suma de la longitud total de cauces con la superficie de la cuenca, este es un parámetro revelador del régimen y de la morfo-



logía de la cuenca. La fórmula para calcular este parámetro según Horton (1940) citado en (Campos, 1998), es la siguiente:

$$Da = \frac{\sum Lc}{A}$$

$Da$  = Densidad de drenaje

$\sum Lc$  = Sumatoria total de los cursos de agua (km)

$A$  = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Los valores altos de densidad de drenaje (3.5 km/km<sup>2</sup>) indican cuencas bien drenadas, pendientes fuertes, con escasa cobertura vegetal, rocas de fácil erosión y suelos impermeables. Por el contrario, los valores bajos (0.5 km/km<sup>2</sup>), indican cuencas mal drenadas, pendientes suaves, alta cobertura vegetal, material geológico difícil de erosionar y suelos muy permeables.

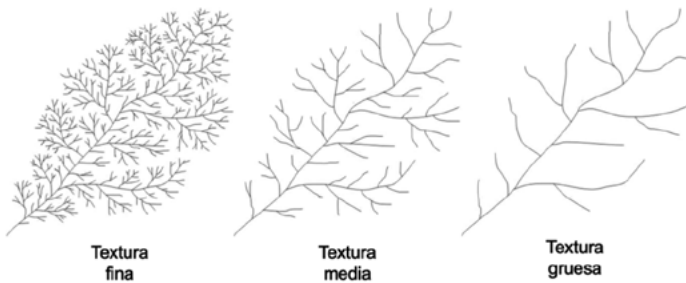
Es importante destacar que, en la medida que los parámetros asociados al sistema de drenaje como la forma oval redonda de la cuenca, el tiempo de concentración se reduce, esto da como resultado un mayor caudal del cauce principal.

Por su parte, los patrones de drenaje son entendidos como la forma que tiene la ramificación hidrológica de la red, que se origina de forma natural, el cual depende de múltiples factores como el material geológico, clima, tipos de suelos, densidad de la cobertura vegetal y de las formas del relieve en las cuencas.

En cuanto a la textura de la cuenca, esta tiene relación con la densidad de los cauces o tributarios por kilómetro

cuadrado que forman parte de su red de drenaje, así, por ejemplo, según IBAL (2009) un valor de baja densidad ( $0.1$  a  $1.8 \text{ km/km}^2$ ) está relacionada con una textura gruesa, mientras que un valor de moderada densidad ( $1.9$  a  $3.6 \text{ km/km}^2$ ) tiene relación con una textura media, y por último un valor de alta densidad de drenaje ( $3.7$  a  $5.6 \text{ km/km}^2$ ) se relaciona con una textura fina.

Figura 5.  
Tipos de textura de los patrones de drenaje.



Fuente: Campos, 1998.

El orden de las corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación de los escurrimientos dentro de una cuenca. Horton clasificó el orden de las corrientes asignando el valor 1 a las que inician en el partaguas, es decir, aquellas que no tienen ramificaciones; el 2 a las que tienen ramificaciones de primer orden; 3 a aquellas con dos o más tributarios de orden 2 o menor y; así sucesivamente. Según esta metodología, una corriente de orden superior puede recibir un tributario de orden inferior sin que se altere su denominación; solamente se produce

un cambio si confluyen dos corrientes de igual orden. En el esquema propuesto por Horton, la clasificación original iba seguida de un proceso de red denominación del cauce principal, por medio del cual esta corriente era reclasificada con el orden establecido desde el punto de salida de la cuenca, hasta el tributario de orden. En 1952, Strahler manifestó que esta segunda parte del procedimiento debería abandonarse y propuso el esquema que se observa en la Figura 6. Para evaluar el orden de las corrientes se requiere un plano de la cuenca que incluya tanto a las corrientes perennes como a las intermitentes; por tal motivo, para desarrollar esta actividad se necesitan no sólo las corrientes dibujadas en el plano topográfico, sino también las que se pueden inferir por la configuración de las curvas de nivel.

Método de Shreve. Como el método no contempla la magnitud de confluencias de corrientes de distinto orden, Shreve propuso un esquema alternativo. En dicho esquema, cada escurrimiento resultante de la unión en la red hidrológica se le asigna un orden de magnitud igual a la suma de los valores de las corrientes tributarias situadas aguas arriba. Con este sistema explica que los distintos tributarios están relacionados con la cantidad de agua que llevan en un determinado momento (Villón, 2002).

Método de Scheidegger. De acuerdo con el método de Shreve, podría pensarse que sólo las áreas de alimentación de los tributarios de primer orden contribuyen con agua, sin considerar que también las áreas de alimentación de las corrientes de orden superior también aportan agua al escurrimiento principal. Para solucionar este problema, Scheidegger dobla los órdenes de Shreve, determinando

de esta manera un número de orden X, indicativo de la cantidad de agua del sistema fluvial (Villón, 2002).

Figura 6.  
Métodos de clasificación de corrientes.



El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Y para establecer este orden jerárquico de los cauces de la red hidrológica de las cuencas de este estudio se utilizó la metodología de Strahler (1952); el primer paso fue asignarle un número a cada escurrimiento o tributario de cada una de las cuencas, empezando por los que se originan en el parteaguas que corresponde a la línea que forman las cimas o elevaciones de mayor altura y que es la que separa una cuenca de otra. El resultado de este proceso se presenta en tabla 9; en esta tabla se muestran los órdenes de los cauces superficiales de las cuencas Río Verde Grande y Río Verde-Presa Santa Rosa. Estas cuencas se han clasificado como de orden 6 y 7 respectivamente.

La red hidrológica con mayor densidad la tiene la subcuenca Río Verde Grande con 16,386 escurrimientos, y la subcuenca Río Juchipila-Moyahua tiene una densidad de

12,572 escurrimientos. En la misma tabla 9, destaca la subcuenca Río Gigantes, con el menor número de órdenes. El orden jerárquico de cauces de esta subcuenca se debe principalmente a que es la de menor tamaño; además, dentro de esta subcuenca se localizan las principales áreas agrícolas y pecuarias del municipio, ya que el relieve es menos accidentado, o, dicho de otra forma, debido a que las pendientes se encuentran en un rango de 2 a 5% aproximadamente. Sin embargo, la densidad de drenaje no se debe solo a los rangos de pendiente, también influye la litología, la cobertura vegetal y el tipo de suelo.

Tabla 9.

Jerarquización de corrientes de agua superficiales en las subcuencas de Ixtlahuacán del Río.

| Jerarquización (órdenes) | Subcuenca Río Juchipila - Moyahua |               | Subcuenca Río Gigantes |               | Subcuenca Río Verde Grande |               | Subcuenca Río Verde - Presa Santa Rosa |               |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------|------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------|
|                          | No. de escurrimientos             | Longitud (km) | No. de escurrimientos  | Longitud (km) | No. de escurrimientos      | Longitud (km) | No. de escurrimientos                  | Longitud (km) |
| 1                        | 6,306                             | 3,596.39      | 602                    | 377.74        | 6,516                      | 3,817.20      | 3,309                                  | 2,416.85      |
| 2                        | 2,805                             | 1,116.74      | 291                    | 142.81        | 3,972                      | 1,395.33      | 1,520                                  | 771.32        |
| 3                        | 1,603                             | 642.23        | 102                    | 65.93         | 1,796                      | 720.53        | 760                                    | 404.41        |
| 4                        | 1,002                             | 361.67        | 25                     | 21.42         | 768                        | 336.35        | 391                                    | 210.48        |
| 5                        | 499                               | 179.74        | 68                     | 47.91         | 413                        | 189.08        | 196                                    | 101.33        |
| 6                        | 364                               | 105.67        | -                      | -             | 291                        | 115.07        | 321                                    | 68.56         |
| 7                        | -                                 | -             | -                      | -             | 640                        | 145.34        | 38                                     | 14.96         |
| Total                    | 12,579                            | 6,002.34      | 1,088                  | 655.81        | 16,386                     | 6,718.90      | 6,535                                  | 3,987.91      |

Fuente: *Elaboración propia.*

### *Relación de bifurcación*

La relación o razón de bifurcación ( $R_b$ ) es la relación que existe entre el número de segmentos de un orden y el número de segmentos del orden inmediatamente superior. De tal manera que el valor promedio de la  $R_b$  es del orden de 3.5, y se puede considerar como representativo de la cuenca, y ser considerado como una característica del sistema hídrico y de su torrencialidad (Strahler, 1969).

Por otra parte, según Senciales (1999), un valor alto de bifurcación indica que se trata de una cuenca de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes, mientras que un valor bajo suele estar relacionado con un mayor riesgo a crecidas e inundación por concentración en el volumen de la escorrentía.

En las cuencas naturales los valores cercanos a 2 revelan áreas de escaso relieve (siendo casi imposible índices inferiores a 2), valores entre 3 y 5 corresponde a áreas de montaña sin demasiado control estructural, y valores superiores a 5 indican fuerte dependencia de la estructura. De acuerdo con Horton, la relación de bifurcación ( $Rb$ ) se obtiene de la suma total de cauces de cualquier orden, dividida entre el número de corrientes del siguiente orden superior más uno.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Donde:

$Rb$  = Relación de bifurcación

$Nu$  = Número de corrientes

Aplicando la fórmula anterior en la subcuenca Juchipila-Moyahua, se obtuvo un total de 12,579 escurrimientos clasificados en 6 órdenes: de 1:6,306; de 2:2,805; de 3:1,603; de 4:1,002; de 5:499 y 6:364. Así, entre el primero y segundo orden la fórmula anterior se expresa así:

$$Rb = \frac{6,306}{2,805 + 1}$$

$$Rb = 2.24$$

Entre segundo y tercer orden:

$$Rb = \frac{2,805}{1,603 + 1}$$

$$Rb = 1.74$$

Entre tercero y cuarto orden:

$$Rb = \frac{1,603}{1,002 + 1}$$

$$Rb = 1.59$$

Entre cuarto y quinto orden:

$$Rb = \frac{1,002}{499 + 1}$$

$$Rb = 2.00$$

Entre quinto y sexto orden:

$$Rb = \frac{499}{364 + 1}$$

$$Rb = 1.36$$

El mismo proceso anterior se aplicó para determinar el valor de la relación de bifurcación de los escurrimientos de las subcuencas restantes los cuales se muestran en la tabla 10.

Tabla 10.

Relación de bifurcación de las subcuencas de interés.

| Relación de bifurcación         | Subcuenca              |                 |                     |                               |
|---------------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|
|                                 | Juchipila -<br>Moyahua | Río<br>Gigantes | Río Verde<br>Grande | Río Verde Presa<br>Santa Rosa |
| Entre el primer y segundo orden | 2.24                   | 2.06            | 2.14                | 1.58                          |
| Entre el segundo y tercer orden | 1.74                   | 2.82            | 2.21                | 1.99                          |
| Entre el tercer y cuarto orden  | 1.59                   | 3.92            | 2.36                | 1.93                          |
| Entre el cuarto y quinto orden  | 2.00                   | 0.36            | 1.83                | 1.98                          |
| Entre el quinto y sexto orden   | 1.36                   | -               | 1.41                | 0.60                          |
| Entre el sexto y séptimo orden  | -                      | -               | 0.45                | 8.23                          |

Fuente: Elaboración propia.

La Rb en corrientes de primer grado varía entre 1.58 y 2.24; en las corrientes de segundo y tercer grado entre 1.74 y 2.82; en las de tercer y cuarto grado el valor está entre 1.59 y 3.92; y el valor de los órdenes cuarto y quinto oscila entre 0.36 y 2.00; sin embargo, el de los órdenes quinto y sexto no se encuentra en todas las subcuencas pero este varía entre 0.60 y 1.36; finalmente, en el sexto y séptimo orden, el valor de la Rb en dos de las cuatro subcuencas es de 0.45 y 8.23. Los valores de la tabla 11, se obtuvieron del promedio obtenido del rango entre órdenes de corrientes.

Tabla 11.

Valores promedio de la Rb de las subcuencas

| Subcuenca                  | Relación de bifurcación |
|----------------------------|-------------------------|
| Río Gigantes               | 2.29                    |
| Río Verde-Presa Santa Rosa | 2.71                    |
| Juchipila-Moyahua          | 1.78                    |
| Río Verde Grande           | 1.73                    |

Fuente: Elaboración propia.



### *Coefficiente de escurrimiento*

Escurrimiento se define como el agua de precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. El escurrimiento subterráneo constituye parte del agua de lluvia que se infiltra en el suelo hasta niveles más profundos para formar parte del agua freática. El agua que se infiltra pero no llega al nivel freático, escurre cerca de la superficie del suelo y prácticamente paralela a ella, formando el escurrimiento subsuperficial (Aparicio, 2007). Después que las capas superiores del suelo se han saturado, al igual que las depresiones del terreno, en ese momento empieza a fluir el agua; a este tipo de escurrimiento se le conoce como escurrimiento superficial (Chow, 2004).

El mismo Chow (1994), definió el coeficiente de escurrimiento como la relación entre el escurrimiento directo y la intensidad promedio de la precipitación en un evento. Este coeficiente también depende de las características físicas y las condiciones de humedad del suelo y la tasa de infiltración disminuye a medida que la lluvia alarga el tiempo de permanencia, ya que los poros del suelo son ocupados en su totalidad por el agua de lluvia.

Se estima que el coeficiente de escurrimiento es la variable menos precisa del método racional, y su uso en la fórmula implica una relación fija entre el escurrimiento y la precipitación de la cuenca, lo cual no se cumple en realidad. Por lo tanto, la proporción de lluvia total que fluirá como escurrimiento superficial depende de la permeabilidad del suelo y de la pendiente. Como se mencionó con anterioridad, depende también de las características físicas

y de las condiciones de humedad del suelo. La velocidad de infiltración varía según las condiciones de humedad del suelo antes de la tormenta, además disminuye a medida que la lluvia continúa.

Otros factores que influyen en el coeficiente de escurrimiento son la proximidad del nivel freático, de las propiedades físicas del suelo (compactación, porosidad, profundidad y de la textura), de la cobertura vegetal, y la pendiente. Para representar lo mejor posible a los factores que afectan al coeficiente de escurrimiento, es necesario elegir un coeficiente razonable que considere dichos factores.

La Tabla 12 muestra los usos de suelo presentes en cada subcuenca, y calculados en kilómetros cuadrados utilizando SIG, se indican los coeficientes de escurrimiento definidos por V. T. Chow (1994), para cada uno de los usos del suelo, así mismo, el resultado ponderado de toda la microcuenca.

Tabla 12.  
Cálculo del coeficiente de escurrimiento en la subcuenca  
Río Juchipila-Moyahua.

| Subcuenca                 | Uso de suelo           | Superficie (km2)<br>(1) | Coeficiente de<br>escurrimiento<br>(2) | (1) * (2) | Coeficiente de<br>escurrimiento                |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|
| Río Juchipila-<br>Moyahua | Agricultura            | 540.90                  | 0.33                                   | 178.50    | $C = \frac{9,964.69}{32,102.70}$<br><br>= 0.31 |
|                           | Pastizal               | 30,161.00               | 0.31                                   | 9,349.91  |                                                |
|                           | Urbano o<br>construido | 4.85                    | 0.73                                   | 3.54      |                                                |
|                           | Bosques y selvas       | 1,395.95                | 0.31                                   | 432.74    |                                                |
|                           | Total                  | 32,102.70               | -                                      | 9,964.69  |                                                |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez aplicado el método, los valores del coeficiente de escurrimiento obtenidos en cada una de las subcuencas fueron los siguientes: en la subcuenca Río Verde-Pre-sa Santa Rosa fue de 0.36; el de la subcuenca Río Verde Grande de 0.32 y el de la subcuenca Río Gigantes de 0.33.

### *Identificación de zonas de recarga*

El agua subterránea es de suma importancia ya que satisface las necesidades de agua para todos los usos; es una fuente que satisface las necesidades en tiempos de escasez de lluvia y nieve, y puede ser utilizada de manera flexible por estar menos expuesta a la contaminación que el agua superficial (Siebert et al., 2010). Sin embargo, en diferentes regiones del mundo las reservas de agua subterránea están en constante presión. Muchos acuíferos en el planeta, están experimentando una acelerada reducción en su volumen, ya que la extracción supera las entradas naturales de agua al sistema en muchos de los caos debido a que se ha estado alterando drásticamente el ciclo hidrológico (Famiglietti, 2014).

Asimismo, denomina recarga, al proceso por el cual se incorpora agua a un acuífero la cual procede del entorno dentro de las cuencas. Esta recarga puede tener varios orígenes, desde la infiltración del agua de lluvia (el más importante), de las aguas superficiales, hasta de la transferencia de otro acuífero (Custodio, 1998). El área o zona donde ocurre la entrada de agua al subsuelo, se llama zona de recarga y la velocidad con que esta se infiltración depende como ya se dijo, del valor de la pendiente, cobertura vegetal y de las propiedades físicas del suelo.

Los acuíferos tienen como fuente de recarga principalmente al agua de la precipitación que se mueve hacia el subsuelo tan rápido como sea posible si el suelo presenta características adecuadas para que esto suceda.

La recarga hídrica depende del régimen de precipitación, duración e intensidad de la lluvia, de la permeabilidad de los suelos, de su contenido de humedad, y del patrón de drenaje de la cuenca. También la pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que los terrenos muy inclinados favorecen la escorrentía superficial; por el contrario, los terrenos con poca pendiente retienen por más tiempo el agua, lo que favorece la infiltración (INAB 2003). La ubicación y conservación de las zonas de recarga es importante porque esto ayuda a mantener un equilibrio entre las actividades que se desarrollan en su área de influencia; asimismo, clasificar las superficies de acuerdo con su aptitud de recarga es muy relativo.

La metodología utilizada para identificar zonas de recarga fue desarrollada por el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CAIE, 2009), descrita en la guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica, la cual sugiere que las zonas con potencial de recarga hídrica se pueden identificar evaluando los siguientes elementos biofísicos: pendiente, microrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso de suelo. A cada uno de estos elementos se le asigna una ponderación en la evaluación de cada elemento que va de 1 a 5, siendo 1 el nivel más bajo o áreas con las características menos favorables para la recarga hídrica. De acuerdo con el movimiento del agua en el suelo, subsuelo y manto rocoso, las

zonas de recarga hídrica se pueden clasificar en: zonas de recarga hídrica superficial, zonas de recarga hídrica subsuperficial y zonas de recarga hídrica subterráneo (Faustino, 2006).

La puesta en práctica la localización de posibles zonas de recarga aplicando la metodología mencionada, tomando en cuenta las características de las unidades territoriales descritas en el presente estudio, fue necesario realizar una zonificación para acotar el territorio en el que se implementó la metodología. Como se mencionó en los primeros párrafos de este escrito, se intenta caracterizar las 4 principales subcuencas hidrológicas que conforman el territorio del municipio de Ixtlahuacán (Tabla 2 y Figura 1); sin embargo, para identificar las zonas de recarga, la metodología sugiere trabajo de campo con detalle en la mayor superficie desde el punto de vista espacial. Tomando en cuenta lo anterior, se realizó el siguiente cálculo en algunas secciones de cada subcuenca hidrológica dentro del municipio; por lo tanto, cada elemento descrito y analizado a continuación se encuentra en el área delimitada de cada subcuenca.

Una vez obtenida la zonificación, se procedió a ubicar los cuerpos de agua más importantes, entre ellos, pozos o manantiales según su impacto para la población. Se delimitaron áreas para la interpretación de los criterios requeridos por la metodología y se aplicó la fórmula. A continuación, se detalla cada uno de los elementos del modelo propuesto:

### *Características del relieve*

En el relieve se observan superficies planas, cóncavas y convexas. En las superficies convexas, el agua se mueve

en diferentes direcciones, en las superficies planas inclinadas la trayectoria del agua sigue direcciones casi paralelas y en las cóncavas se desplaza concentrándose en el lugar más bajo (UNESCO 1986).

Tabla 13.

Recarga hídrica según el tipo de pendiente

| Pendiente (%) | Posibilidad de recarga | Ponderación |
|---------------|------------------------|-------------|
| 0 - 20        | Muy alta               | 5           |
| 21 - 40       | Alta                   | 4           |
| 41 - 60       | Moderada               | 3           |
| 61 - 80       | Baja                   | 2           |
| 81 - 100      | Muy baja               | 1           |

Fuente: *Rodríguez et al., 2015.*

### *Tipo de suelo*

Analizar físicamente y evaluar suelo es importante porque ayuda a conocer su textura, porosidad, permeabilidad y compactación. Así, por ejemplo, si en la textura dominan las arenas, los poros dominantes serán los de mayor tamaño, y por lo tanto será mayor la velocidad de infiltración, en el caso contrario, si el porcentaje de arcillas supera a las arenas la permeabilidad del suelo disminuye y consecuentemente la infiltración.

Para asegurar una alta infiltración, las zonas de recarga hídrica deberían ser muy permeables, con suelos de textura arenosa para que el movimiento del agua desde la superficie sea rápido.

Tabla 14.

Capacidad de recarga hídrica según el tipo de suelo

| Tipo de suelo                                   | Posibilidad de recarga | Ponderación |
|-------------------------------------------------|------------------------|-------------|
| Feozem                                          | Alta                   | 3           |
| Cambisol, Castañozem, Regosol, Xerosol, Luvisol | Media                  | 2           |
| Fluvisol, Litosol, Planosol, Rendzina, Vertisol | Baja                   | 1           |

Fuente: *Rodríguez et al., 2015.***Material geológico**

Al igual que con el tipo de suelo, las características de las rocas son las que determinan sus propiedades físicas (textura, porosidad y permeabilidad) y a la vez la velocidad de infiltración. Las rocas duras con poros finos no favorecen la rápida formación del suelo; por el contrario, las rocas suaves o permeables, con macroporos, fallas o fracturas si favorecen su rápida formación y así mismo, mayor recarga de los acuíferos. En la tabla 15 se muestra una clasificación de la ponderación y del tipo de recarga que podría presentarse según el tipo de roca y sus características mineralógicas.

Tabla 15.

Capacidad de recarga hídrica según el tipo de roca

| Tipo de roca                                                        | Posibilidad de recarga | Ponderación |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|
| Toba                                                                | Alta                   | 3           |
| Basalto, brecha volcánica y riolita                                 | Media                  | 2           |
| Arenisca, conglomerado, extrusiva ácida, extrusiva básica y vítrea. | Baja                   | 1           |

Fuente: *Rodríguez et al., 2015.*

### *Cobertura vegetal*

La cobertura del suelo es otro elemento considerado en la metodología porque es un factor que influye en la infiltración del agua, ya que permite un mayor contacto con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de las gotas de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. Todo esto contribuye a conservar las características del suelo que favorecen la recarga hídrica.

Sin embargo según López (2015), dependiendo del tipo de vegetación según su altura y de la densidad, la recarga de los acuíferos puede verse afectada; en otras palabras, se sabe de antemano que con la presencia de vegetación herbácea la pérdida de agua por consumo y posteriormente por evapotranspiración es menor que con la presencia del tipo arbustivo y arbórea; esto debido a que las raíces de las plantas de menor talla exploran una menor profundidad del suelo y por lo tanto su consumo de agua del subsuelo y la pérdida por evapotranspiración es menor, favoreciendo con esto una mayor infiltración y captación.

Por el contrario, la vegetación con mayor altura tiene más capacidad de exploración del subsuelo, y a la vez, una amplia copa forestal facilitando así un aumento en la pérdida de agua por consumo y evapotranspiración, disminuyendo considerablemente la infiltración-percolación del agua hacia las profundidades del subsuelo y con ello la recarga de los acuíferos. En la tabla 16 muestra el tipo de recarga según la cobertura vegetal.



Tabla 16.

Capacidad de recarga hídrica según la cobertura vegetal

| Cobertura vegetal (%) | Posibilidad de recarga | Ponderación |
|-----------------------|------------------------|-------------|
| > 80                  | Muy alta               | 5           |
| 70 - 80               | Alta                   | 4           |
| 50 - 70               | Moderada               | 3           |
| 30 - 50               | Baja                   | 2           |
| < 30                  | Muy baja               | 1           |

Fuente: Rodríguez et al., 2015).

De acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación serie VI del INEGI (2017), el porcentaje de cobertura vegetal permanente es el siguiente: la subcuenca Juchipila-Moyahua tiene un 76.81%; la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa un 64.24%; subcuenca Río Verde Grande 48.65% y la subcuenca Río Gigantes 18.05%. Analizando solo el porcentaje de cobertura sin considerar las demás características de la vegetación, se puede decir que la subcuenca Juchipila-Moyahua puede tener la mayor reserva de agua subterránea y en segundo lugar la subcuenca Río Verde-Presa Santa rosa.

### *Uso del suelo*

Un uso inadecuado del suelo puede disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50%; a la vez, hace que aumenten los riesgos naturales y la pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica. Se busca establecer el grado en el que una determinada actividad o cambio de uso del suelo influye en el deterioro de las características del suelo, en la erosión y compactación y en la reducción de la capacidad de infiltración y de recarga hídrica. Se estableció una categoría y

ponderación partiendo del reconocimiento de la textura y propiedades físicas de cada tipo de roca identificado.

Tabla 17.

Ponderación de la recarga hídrica según el uso de suelo

| Uso de suelo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Posibilidad de recarga | Ponderación |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|
| Bosque de Encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de Encino, vegetación secundaria arbustiva de Bosque de Encino, bosque de Encino-Pino, bosque de Pino-Encino, Selva Baja Caducifolia, vegetación secundaria arbórea de Selva Baja Caducifolia, vegetación secundaria arbustiva de Selva Baja Caducifolia, vegetación secundaria herbácea de Selva Baja Caducifolia, vegetación secundaria arbustiva de Selva Baja Subcaducifolia. | Muy alta               | 4           |
| Pastizal inducido, vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Alta                   | 3           |
| Agricultura de temporal, agricultura de riego                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Media                  | 2           |
| Zona urbana o zona construida                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Baja                   | 1           |

Fuente: Rodríguez et al., 2015.

Para determinar el potencial de recarga hídrica se empleó la siguiente ecuación. En esta se sustituye cada uno de los elementos del modelo por los valores respectivos obtenidos en la evaluación en campo:

$$RH = 0.27*(pend) + 0.23*Ts + 0.12*Tr + 0.25*Cve + 0.13*Us$$

Donde:

*Pend*: Pendiente

*Ts*: Tipo de suelo

*Tr*: Tipo de roca

*Cve*: Cobertura vegetal permanente

*Us*: Uso del suelo

Para determinar la posibilidad de recarga hídrica de una zona dada, una vez evaluadas las características de la zona con relación a los elementos que la metodología menciona y con los datos de las tablas diseñadas, se realizó el procedimiento, empezando primero con multiplicación de cada uno de los resultados obtenidos por el factor correspondiente y el segundo paso fue sumar todos los elementos. La sumatoria corresponde a un número dentro de un rango de posibilidades de recarga hídrica. El orden de importancia de cada elemento se hace en función de la mayor influencia que tiene cada uno en el proceso de infiltración del agua; en otras palabras, lo que se quiere es decir es que los factores que más influyan serán los que favorezcan de manera determinante la infiltración del agua en el suelo, y por lo tanto los que sean considerados de mayor importancia para la recarga de los acuíferos.

Tabla 18.

Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto.

| Posibilidad de recarga | Rango      |
|------------------------|------------|
| Muy alta               | 4.1 - 5    |
| Alta                   | 3.5 – 4.09 |
| Moderada               | 2.6 – 3.49 |
| Baja                   | 2 – 2.59   |
| Muy baja               | 1 – 1.99   |

Después de que se realizaron los cálculos aplicando la fórmula y utilizando los valores ponderados de cada criterio en cada subcuenca de interés se obtuvieron los resultados que se presentan en las tablas 19 y 20.

Tabla 19.  
Subcuenca Juchipila-Moyahua

| Cuerpo de agua | Criterios evaluados |            |           |                   |           | Suma total | Posibilidad de recarga |
|----------------|---------------------|------------|-----------|-------------------|-----------|------------|------------------------|
|                | Pendiente           | Tipo suelo | Tipo roca | Cobertura vegetal | Uso suelo |            |                        |
| 1              | 1.35                | 0.92       | 0.24      | 1.25              | 0.52      | 4.28       | Muy alta               |
| 2              | 1.35                | 0.92       | 0.24      | 1.25              | 0.52      | 4.28       | Muy alta               |
| 3              | 1.35                | 0.92       | 0.24      | 0.75              | 0.26      | 3.52       | Alta                   |
| 4              | 1.35                | 0.46       | 0.12      | 0.25              | 0.26      | 1.93       | Muy baja               |
| 5              | 1.35                | 0.46       | 0.12      | 0.25              | 0.26      | 1.93       | Muy baja               |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20.  
Subcuenca Río Verde Grande

| Cuerpo de agua | Criterios evaluados |            |           |                   |           | Suma total | Posibilidad de recarga |
|----------------|---------------------|------------|-----------|-------------------|-----------|------------|------------------------|
|                | Pendiente           | Tipo suelo | Tipo roca | Cobertura vegetal | Uso suelo |            |                        |
| 1              | 1.08                | 0.46       | 0.12      | 1.25              | 0.52      | 3.43       | Moderada               |
| 2              | 1.35                | 0.23       | 0.24      | 0.75              | 0.52      | 3.09       | Alta                   |
| 3              | 1.35                | 0.46       | 0.12      | 0.50              | 0.52      | 2.95       | Moderada               |
| 4              | 1.08                | 0.46       | 0.12      | 0.25              | 0.26      | 3.7        | Alta                   |
| 5              | 1.35                | 0.69       | 0.12      | 1.0               | 0.26      | 4.05       | Muy alta               |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21.  
Subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa

| Cuerpo de agua | Criterios evaluados |            |           |                   |           | Suma total | Posibilidad de recarga |
|----------------|---------------------|------------|-----------|-------------------|-----------|------------|------------------------|
|                | Pendiente           | Tipo suelo | Tipo roca | Cobertura vegetal | Uso suelo |            |                        |
| 1              | 1.35                | 0.92       | 0.24      | 1.25              | 0.52      | 4.28       | Muy alta               |
| 2              | 1.35                | 0.92       | 0.12      | 1.25              | 0.52      | 4.16       | Muy alta               |
| 3              | 1.08                | 0.92       | 0.24      | 0.75              | 0.52      | 3.51       | Alta                   |
| 4              | 1.35                | 0.92       | 0.24      | 1.25              | 0.52      | 4.28       | Alta                   |
| 5              | 1.08                | 0.23       | 0.12      | 1.25              | 0.52      | 3.20       | Moderada               |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22.  
Subcuenca Río Gigantes

| Cuerpo de agua | Criterios evaluados |            |           |                   |           | Suma total | Posibilidad de recarga |
|----------------|---------------------|------------|-----------|-------------------|-----------|------------|------------------------|
|                | Pendiente           | Tipo suelo | Tipo roca | Cobertura vegetal | Uso suelo |            |                        |
| 1              | 0.96                | 0.69       | 0.24      | 1.25              | 0.39      | 3.53       | Alta                   |
| 2              | 0.81                | 0.69       | 0.24      | 0.25              | 0.39      | 2.38       | Baja                   |
| 3              | 0.27                | 0.46       | 0.24      | 0.75              | 0.26      | 2.41       | Baja                   |
| 4              | 1.35                | 0.46       | 0.24      | 0.50              | 0.26      | 2.81       | Baja                   |
| 5              | 0.54                | 0.46       | 0.36      | 1.25              | 0.52      | 3.13       | Alta                   |

Fuente: Elaboración propia.

## Interpretación de los resultados del cálculo de la posibilidad de recarga

Con relación a los resultados obtenidos, estos indican que en la Subcuenca Juchipila-Moyahua existe una mayor posibilidad de recarga del acuífero; le sigue la Subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa con una alta a muy alta posibili-

dad de recarga; mientras que en las subcuencas Río Verde Grande y Río Gigantes la posibilidad de que el acuífero se recargue es de alta a baja.

## **Disponibilidad de agua superficial en el municipio**

Con base a la extensión territorial que ocupan las cuatro subcuencas estudiadas, la disponibilidad de agua superficial dentro de los límites del municipio de Ixtlahuacán del Río, se hizo un recuento de los cuerpos de agua identificados por fuentes de información oficiales. De esta forma, en el municipio existen 4 ríos de mayor importancia hídrica (Río Grande de Santiago, Verde, Juchipila y Los Aguacates) que establecen los límites con los municipios vecinos. De todos ellos el Río Santiago es el más contaminado no solo en el municipio sino de todo Jalisco. En los tres restantes la contaminación es menor, aunque no se puede hablar con seguridad del grado, por no tener información que lo respalde.

El Río Achichilco divide al municipio en dos partes y descarga sus aguas en la presa Los Sauces antes de continuar hacia la cabecera municipal; de este río la población que vive en su cercanía extrae agua para uso en los hogares, lo mismo se hace otras localidades. La presa Los Sauces se construyó para almacenar agua, la cual es utilizada para abastecer a la población del municipio. Sin embargo, su uso no limita solo para proveer a la población sino también a la agricultura y la ganadería. El agua de la presa se

lleva a la cabecera municipal a través de un canal de concreto que tiene una longitud aproximada de 25.5 kilómetros.

En todo su recorrido el ancho, la profundidad y la pendiente son variables, siendo, por consiguiente, también diferente la velocidad del caudal a todo lo largo de su recorrido. Pero lo que determina la velocidad con que el agua se mueve sobre el terreno no es el ancho o la profundidad del cauce, sino la pendiente que este tenga en toda su longitud.

La cantidad de agua que se destina para el riego de los cultivos es menor que la utilizada para uso humano, ya que en orden de prioridades es primero la población y en segundo la producción de alimentos; por esta razón es poca la superficie cultivada con riego en el municipio y ésta se encuentra muy cerca del canal que lleva el agua a la cabecera municipal.

El municipio tiene en la actualidad 438 cuerpos de agua superficiales, que ocupan aproximadamente una superficie de 320 hectáreas. Los de mayor tamaño se encuentran cerca de las localidades urbanas; tal es el caso de la presa Los Sauces, ubicada al noreste de la cabecera, la cual tiene capacidad de almacenar un 32% de toda el agua que necesita el municipio.

Existen en el resto del territorio municipal otros cuerpos de agua artificiales (presas de menor tamaño y bordos), que fueron construidos por iniciativa propia de la población para satisfacer las necesidades de los hogares, de la agricultura y la ganadería, sobre todo por la escasez del líquido en la estación de los meses de febrero a mayo.

La Comisión Nacional del Agua en 2014 otorgó 40 concesiones al municipio para extraer agua del subsuelo, y en

la actualidad son 8 los pozos de los que se extrae agua, los cuales representan el 5% de los permisos concedidos para perforar el subsuelo; el mayor número de pozos profundos están ubicados a lo largo de la carretera a Saltillo, existe también el nacimiento llamado “Los Cincos”, ubicado en el límite del municipio de Ixtlahuacán del Río con el estado de Zacatecas.

Se tienen registrados cuatro sitios en los cuales emerge el agua de forma natural (nacimientos de agua) pero sin que se extraiga agua de ellos para algún uso en particular; tres son intermitentes y se ubican al oeste del municipio. Uno de estos tres sitios es el llamado “Los Cincos”, antes mencionado. El tener esta reserva de agua y que no es aprovechada, es un claro testimonio de la falta de políticas para la gestión ambiental, y naturalmente para el uso, cuidado y aprovechamiento en particular del recurso agua.

## **Conclusiones y resultados**

En esta investigación se pone en evidencia la complejidad del municipio de Ixtlahuacán del Río en todos los aspectos, desde lo ambiental hasta lo humano; empezando por las características de su orografía en la que dominan las pendientes inclinadas; principalmente moderadas a fuertes, uno de los principales rasgos del relieve; con una cubierta forestal significativamente degradada, con geoformas muy diversas y suelos desde los pobremente evolucionados o incipientes hasta los muy desarrollados. El modelado del relieve a través del tiempo ha dado lugar a la formación de elevaciones que marcan el límite de áreas conocidas como



cuencas, en las que el agua se ha encargado de formar redes complejas de cauces por los que se mueve el agua de lluvia.

Las cuencas hidrográficas del municipio ofrecen numerosos servicios a la sociedad, y el suministro de agua para usos doméstico, agrícola e industrial depende de los caudales que se producen y regulan en ellas. La agricultura y la seguridad alimentaria dependen en gran medida del agua superficial, y los sedimentos recogidos y transportados por las laderas, se depositan en las áreas planas, los cuales representan la base de la nutrición de los cultivos.

La vegetación arbórea es una fuente importante de madera y leña, pero también se pueden encontrar plantas herbáceas medicinales. Además, con frecuencia se le asigna un valor simbólico y recreativo al paisaje natural y cultural de las cuencas hidrográficas, sin embargo, la vida y los medios de subsistencia de gran parte de la población rural de Ixtlahuacán depende directamente de los recursos naturales de las cuencas.

Los suelos captan una importante cantidad de agua que llega en forma de lluvia a la superficie, y gracias a su forma cóncava, almacenan la mayor parte de las reservas de agua dulce renovable subterránea y de la humedad del suelo. Al inicio del periodo lluvioso el suelo retiene una parte del agua y una vez que se saturan los poros, otra parte escurre, primero superficialmente y luego a través de los cauces. Otra parte la retiene la vegetación y se filtra a las capas freáticas que alimentan los manantiales y los pozos.

En cuanto al clima en el municipio están presentes tres tipos diferentes, uno cálido subhúmedo, un segundo semi-

cálido y el tercero templado subhúmedo; con una cantidad variable de mm de agua anual procedente de las lluvias, aunque es en los meses de junio a octubre en los que llega más agua al suelo, la cual no ha sido suficiente en algunos años, situación que provoca escasez en la estación seca por una disminución en las reservas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Con respecto a las características morfométricas de cada una de las subcuencas analizadas, se hizo el cálculo del perímetro, del área, del coeficiente de compacidad, de la forma de la cuenca, de la relación de bifurcación, del orden de corrientes, pendiente de la cuenca, y del cauce principal, coeficiente de escurrimiento, la curva hipsométrica y la elevación media de la cuenca, los cuales en términos generales arrojaron valores dentro de los rangos establecidos en la literatura oficial.

En cuanto a su tamaño, una fue clasificada intermedia-pequeña, otra como intermedia-grande, y dos de ellas se les clasificó como grandes. En cuanto a la forma, según el dato de compacidad la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa es oval redonda y tan solo por esta característica se convierte en la de mayor torrencialidad y peligrosidad. El resto de las subcuencas tienen un coeficiente superior entre 1.5 y 2, por lo que su forma es de oval alargada a alargada con una torrencialidad y peligrosidad menor.

En cuanto a la relación de elongación, en dos subcuencas el valor está por debajo del límite inferior (0.6) el cual indica que el relieve es poco accidentado y por lo tanto la infiltración puede superar a la escorrentía. En las demás subcuencas el índice de elongación rebasa el límite superior

(0.8); en particular la forma de la subcuenca Río Verde y de la Presa Santa Rosa es redonda, pero su índice de elongación es de 1.26, este valor indica que su relieve es de moderado a muy accidentado.

La densidad de drenaje determina la clasificación de una cuenca en función de la categoría de su río principal, de esta manera dos de las cuatro cuencas caracterizadas fueron clasificadas de orden 6, debido a que su río principal tiene un valor de seis en el orden jerárquico, en tanto, las otras dos se clasificaron como de categoría 7, debido a que su río principal es del orden 7.

Con relación a la curva hipsométrica esta representa el grado de erosión que el agua ha causado en el relieve y su interpretación indica que el cauce principal de las cuatro subcuencas ha alcanzado un equilibrio o en una etapa de madurez, es decir se ha reducido significativamente su pendiente (etapa de estabilización) por efecto del proceso de erosión hídrica sufrida a lo largo del tiempo. Por lo tanto, en tres de ellas el caudal y la escorrentía no representan un peligro para la población.

En cuanto a la probabilidad de recarga de los acuíferos, en las cuatro subcuencas, es de baja a muy alta. Esta depende en buena medida de factores morfométricos, climáticos y físicos que sean favorables a la infiltración y no a la escorrentía. Por otra parte, la disponibilidad y calidad de agua para los diversos usos no depende solo de la cantidad de agua subterránea sino también de la capacidad de almacenamiento de los cuerpos de agua superficiales que existan dentro de las cuencas. En el municipio existen pocas fuentes de agua superficiales y si a eso le sumamos

que el temporal de lluvias no es benévolo todos los años, las probabilidades de que haya agua de reserva para todo el año, se reducen considerablemente.

## **Discusión**

El estudio se centra en caracterizar las subcuencas hidrológicas del municipio, utilizando parámetros morfométricos como el perímetro, el área, el coeficiente de forma, el índice de compacidad, la frecuencia y la densidad de drenaje, la longitud del cauce principal y la curva hipsométrica. Estos parámetros son esenciales para entender el comportamiento hidrológico de las cuencas y se calculan utilizando datos de fuentes oficiales, principalmente del INEGI. La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite una representación precisa y un análisis detallado de las características morfométricas.

La morfometría es fundamental para establecer relaciones entre las características físicas de las cuencas y su comportamiento hidrológico. El documento destaca que las características morfométricas están influenciadas por factores como el clima y la topografía, lo que afecta aspectos como la precipitación, escorrentía e infiltración. La caracterización morfométrica no solo proporciona una base para estudios hidrológicos, sino que también es crucial para la planificación estratégica en la gestión de recursos naturales.

Los resultados del análisis morfométrico permiten una caracterización detallada de las cinco subcuencas del municipio. La investigación revela la interrelación entre el uso del suelo, la vegetación y el comportamiento hidrológico,

identificando posibles áreas de riesgo de degradación. Esto es especialmente relevante dado el impacto negativo de las actividades humanas, como la agricultura y la expansión urbana, en los recursos hídricos.

El documento enfatiza la necesidad de un manejo integrado del agua, que se basa en la comprensión de la dinámica hidrológica y en la participación de los usuarios. La caracterización morfométrica es entonces un paso inicial en la planificación y gestión de cuencas, proporcionando información que puede ser utilizada para diagnosticar problemas, identificar soluciones y promover un uso sostenible de los recursos hídricos. Además, se destaca que la falta de información adecuada puede obstaculizar la gestión efectiva y la obtención de apoyos para la conservación de estos territorios.

La caracterización y análisis morfométrico de las subcuencas en Ixtlahuacán del Río es un esfuerzo significativo para comprender y gestionar los recursos hídricos en la región. La investigación no solo contribuye al conocimiento científico sobre la morfometría de cuencas, sino que también ofrece herramientas prácticas para la toma de decisiones en la gestión del agua, garantizando así la sostenibilidad y conservación del medio ambiente. La importancia de este estudio radica en su potencial para influir en políticas y prácticas que promuevan un equilibrio entre el desarrollo humano y la conservación de los recursos naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, J. (2007). *Hidrología superficial*. Limusa.
- CAIE, (2009). Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza.
- Campos, A. J. (1998). *Geomorfología fluvial aplicada*. Universidad de Granada.
- Chapingo. (2009). *Manual de hidrología básica*. Universidad Autónoma Chapingo. [http://portal.chapingo.mx/irrigacion/planest/documentos/apuntes/hidrologia\\_sup/CUENCAS.pdf](http://portal.chapingo.mx/irrigacion/planest/documentos/apuntes/hidrologia_sup/CUENCAS.pdf).
- Chow, V. T. (1994). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- (2004). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana.
- Cotler, J. (2004). *Gestión integrada de recursos hídricos: fundamentos y experiencias*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Custodio, E. (1998). *Introducción al estudio de los acuíferos*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Faustino, J. (2006). *Gestión de microcuencas hidrográficas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Famiglietti, J. S. (2014). The global groundwater crisis. *Nature Climate Change*, 4, 945-948. <https://doi.org/10.1038/nclimate2425>
- Fernández, M. (1996). *Climatología general y de España*. Ediciones Universidad de Salamanca.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condi-*

- ciones de la República Mexicana*). UNAM, Instituto de Geografía.
- González, E. (2004). *Ecología del paisaje*. Trillas.
- IBAL. (2009). *Estudio de cuencas hidrográficas para la gestión integral del recurso hídrico*. Instituto de Acueducto y Alcantarillado. [http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/cuenca\\_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS\\_BIOFISICOS.pdf](http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf)
- INAB. (2003). *Manejo sostenible de cuencas hidrográficas: manual técnico*. Instituto Nacional de Bosques.
- INEGI, CONABIO & INE. (2007). Ecorregiones terrestres de México [Mapa digital]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2017). *Carta de uso del suelo y vegetación, serie VI*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/especiales/especiales2017\\_12\\_01.pdf](chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/especiales/especiales2017_12_01.pdf)
- (2019). *Análisis morfométrico y caracterización hidrológica del municipio*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IIEG. (2012). *Delimitación territorial y colindancias municipales*. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco.
- (2013). *Delimitación municipal y características geográficas*. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco.

- (2018). *Informe municipal de uso de suelo y geología*. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco.
- (2019). *Informe climático municipal*. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco.
- Jiménez, A. (2010). Importancia de la caracterización de cuencas hidrográficas para la gestión ambiental. *Revista de Gestión Ambiental*, 7(2), 35-47.
- López, L. (2015). Vegetación y recarga de acuíferos: relaciones y estudios de caso. *Revista Mexicana de Recursos Naturales*, 9(1), 55-69. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/7369/1/39351.pdf>
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez Otárola, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua* (Boletín Técnico No. 38). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>
- Ortíz, R. (2004). Evaluación de la forma de cuencas hidrográficas mediante el índice de Gravelius. *Revista Mexicana de Ciencias Geográficas*, 15(2), 45-58.
- Pedraza Gilsanz, J., Carrasco González, M., Díez Herrero, A., Martín Duque, J. F., Martín Rídaura, M., & Sanz Santos, J. (1996). *Morfometría de cuencas hidrográficas: conceptos y aplicaciones*. Universidad Complutense de Madrid.
- Racca, M. (2007). *Análisis de curvas hipsométricas en cuencas de montaña*. Instituto Nacional del Agua.



- Rodríguez, J., Pérez, M., & Gómez, L. (2015). Capacidad de recarga hídrica y uso del suelo en cuencas hidrográficas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 10(2), 120-134.
- SEMARNAT. (2013). *Programa de gestión integral de cuencas hidrográficas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- (2018). *Ley de aguas nacionales y su reglamento*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Senciales, J. M. (1999). *Geomorfología fluvial: formas y procesos de modelado*. Universidad de Málaga.
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., & Portmann, F. T. (2010). Groundwater use for irrigation-A global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10), 1863-1880. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.
- Strahler, A. N. (1969). *Physical Geography*. Wiley & Sons.
- U.E.P.C. y B. (2018). *Atlas de riesgo del estado de Jalisco*. Unidad Estatal de Protección Civil y Bomberos de Jalisco.
- UNESCO. (1986). *Manual sobre hidrología de superficie*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Villón, C. (2002). *Hidrología general aplicada*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

## INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES

Los trabajos deben acompañarse de una solicitud dirigida a la Dirección Editorial de la revista y firmada por el autor (es), en la que se indicarán los siguientes datos:

- Título del trabajo.
- Nombre, domicilio y correo electrónico.
- Nombre de la Institución donde labora.

### *Normas para la presentación de originales*

1. Los manuscritos deberán ser trabajos originales e inéditos y no deberán someterse para la publicación simultánea a otra revista.
2. *Extensión*: los trabajos tendrán una extensión de entre 50 y 60 cuartillas, a doble espacio, letra Arial, tamaño 12.
3. *Ilustraciones*: los mapas, gráficas, tablas e imágenes serán numerados según su orden de aparición y debidamente referenciados en el texto, señalando siempre su procedencia o fuente de referencia del autor. Es indispensable que las fotografías y recursos cartográficos sean de buena resolución. El número de mapas, gráficas, tablas e imágenes no deberá ser mayor de 10 y serán entregados en formato media carta.
4. *Monedas y medidas*: en caso de manejarse en el texto tablas, cuadros o gráficas, cifras monetarias diferentes

- al peso mexicano, éstas deberán presentarse en su equivalente en dólares americanos. Las medidas (de peso, longitud, capacidad, etc.) deberán expresarse en el sistema métrico decimal.
5. *Autores*: bajo el título general se colocará el nombre del o los autores, incluyendo a pie de página la profesión o cargo principal con el que desean ser presentados. Los artículos publicados en Geocalli, Cuadernos de Geografía deberán estar firmados por 2 o 3 autores máximo.
  6. *Resumen*: todos los trabajos deberán incluir un resumen no mayor de 10 líneas sobre el objetivo, método y conclusiones del trabajo, así como las palabras clave dentro del desarrollo del tema.
  7. *Notas*: deberán estar al pie de página.
  8. *Bibliografía*: las referencias citadas en el texto deberán presentarse en el formato APA.
  9. *Datos académicos*: deberán incluir una breve referencia sobre el o los autores, con extensión máxima de 10 líneas, respecto a su formación académica, experiencia profesional más destacada, actual posición laboral, y en su caso, principales publicaciones.
  10. El Consejo Editorial de Geocalli, Cuadernos de Geografía decidirá la pertinencia de publicar los originales que se le presenten, atendiendo a las características formales y calidad del contenido. A la brevedad posible se remitirá el dictamen avalado por el Comité Editorial.
  11. El trabajo deberá ser entregado en formato Word.
  12. Geocalli, Cuadernos de Geografía es una revista semestral, monográfica. En casos extraordinarios sólo se aceptarán 2 artículos, siempre y cuando correspondan

o se relacionen a un mismo tema y en tal caso cada artículo deberá tener una extensión de entre 25 a 30 cuartillas tamaño carta.

*Geocalli, Cuadernos de Geografía.*

Departamento de Geografía y Ordenación Territorial

Avenida José Parres Arias 150, San José del Bajío,

Edificio H, 4to. Piso

Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45132

Teléfono: (33) 38193387

Correo electrónico: [revista.geocalli@academicos.udg.mx](mailto:revista.geocalli@academicos.udg.mx)

Visítenos en la página: [www.geografia.cucsh.udg.mx/geocalli](http://www.geografia.cucsh.udg.mx/geocalli)





**Números anteriores de**  
*Geocalli, Cuadernos de Geografía*

1. Políticas urbanas en Ciudad Guzmán.
2. Análisis territorial de Tonalá.
3. Las regiones geomorfológicas del estado de Jalisco.
4. Regiones y globalización.
5. Paisaje, instrumento de gestión.
6. Región y método.
7. Límites municipales en Jalisco.
8. Morfología urbana y propiedad inmobiliaria.
9. Gestión turística en centros históricos.
10. Usos y funciones en centros históricos.
11. Cartografía del turismo.
12. Mapa social de Guadalajara.
13. Geografía y ordenamiento territorial.
14. Desarrollo territorial y paisaje.
15. Evolución regional de Tierra del Fuego.
16. Amenazas por agrietamiento en el Valle de Tesistán.
17. El ecoturismo y su conceptualización.

18. Diferenciación del bienestar en Argentina.
19. Cartografía histórica
20. El pensamiento geográfico de Carl O. Sauer.
- 21-22-23. Denominación de origen del café y desarrollo regional.
24. Análisis diacrónico del paisaje: Presa Zimapán
25. Tsunamis en Jalisco.
26. Tendencias y cambios recientes en la red urbana Argentina.
27. Vivienda social en la zona metropolitana de Guadalajara.
28. Reciclaje de residuos en Guadalajara, Jalisco.
- 29-30-31. Guachimontones: patrimonio arqueológico.
32. Agricultura orgánica en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco.
33. El paisaje del Pedregal de San Ángel.
34. Carlos Nebel en Guadalajara: Penitenciaría de Escobedo y Jardín Botánico.
35. Desigualdad en Guadalajara: los parques Solidaridad y Metropolitano.
36. Paisaje visual: perspectivas teórico-metodológicas.
37. Paisajes urbanos de postal.
38. El contexto ambiental y productivo del ejido Toluquilla.
39. Análisis integrado del territorio de Jocotepec, Jalisco.
40. Guadalajara, Jalisco: vulnerabilidad a inundaciones.
41. El centro histórico de la Ciudad de México y la planificación.
42. Aguas subterráneas y los residuos sólidos urbanos en Celaya, Guanajuato, México.
43. La vivienda vertical en Guadalajara, Jalisco, México.
44. Miguel Ángel Trointño Vinuesa: apología del territorio.

- 45. Agroindustria cañera en Autlán de Navarro, Jalisco.
- 46-47. Urbanización en Lomas del Paraíso, Guadalajara.
- 48. Ejido de Toluquilla en la Zona Metropolitana de Guadalajara
- 49. Paisaje evolutivo del Exconvento de San Francisco de la CDMX.
- 50. La agroindustria y algunas repercusiones socioambientales en el entorno de las Vías Verdes de Tala-Ameca, Jalisco en 2018.





Geocalli. Cuadernos de Geografía, número 51  
se terminó de editar en el mes de enero de 2025  
en los talleres de Kerigma Artes Gráficas, Leandro  
Valle 991, Colonia Centro, CP 44100 Guadalajara,  
Jalisco.

Tiraje: 1 ejemplar.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades  
División de Estudios Históricos y Humanos  
Departamento de Geografía y Ordenación Territorial