

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA

**HIDROGEOGRAFIA DE LA CUENCA DEL RIO
LAS MINAS, ESTADO DE VERACRUZ**

T E S I S

**PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADA EN GEOGRAFIA
QUE PRESENTA**

LETICIA MARTINEZ CORTES

ASESOR: Maestro en Geografía VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

HAN SIDO MUCHAS LAS PERSONAS QUE HAN CONTRIBUÍDO PARA QUE ESTE TRABAJO PUDIERA INICIAR, CONTINUAR Y AL FIN, DESPUES DE TANTO.... SER CONCLUIDO, A CADA UNA DE ELLAS, DESEO EXPRESARLE MI PROFUNDO AGRADECIMIENTO.

PRIMERAMENTE A MI DIRECTOR DE TESIS: EL MAESTRO VICTOR MANUEL MARTÍNEZ LUNA, POR SU PACIENCIA Y APOYO A TODA PRUEBA. GRACIAS POR TANTAS HORAS DE TRABAJO DEDICADAS A ESTA INVESTIGACIÓN QUE AL FIN PUDO CONCRETARSE Y QUE REPRESENTÓ PARA EL, YO CREO, COMO PERSONA Y COMO GEOGRÁFO UNA EXPERIENCIA MEMORABLE.

A LOS SINODALES: MAESTRO JOSE MORALES HERNÁNDEZ, MAESTRO CUAUHEMOC TORRES RUATA, MAESTRA ANGELICA FRANCO GONZÁLEZ. GRACIAS POR TOMARSE EL TIEMPO PARA REVISAR Y EMITIR COMENTARIOS Y SUGERENCIAS CON LA FINALIDAD DE LOGRAR UN MEJOR TRABAJO PROFESIONAL, ¡MIL GRACIAS!

AL DOCTOR ENRIQUE ZAPATA ZEPEDA, TAMBIÉN SINODAL DE ESTE TRABAJO, PORQUE FUERON DE MUCHA AYUDA SUS COMENTARIOS A MI TRABAJO Y SU CONFIANZA EN MI CAPACIDAD Y PREPARACIÓN, ASI COMO SUS PALABRAS DE ANIMO Y ALIENTO PARA CONFIAR EN EL BUEN TERMINO DE ESTA OBRA.

EL TRABAJO DE DIGITALIZACIÓN CARTOGRÁFICO FUE REALIZADO POR EL ARQUITECTO VICTOR HUGO ESQUIVEL HERNANDEZ, A EL LE EXPRESO MI GRATITUD POR SU PACIENCIA Y CONSTANCIA PARA CORREGIR LAS VECES NECESARIAS, HASTA LOGRAR EL TRABAJO FINAL.

LA PARTE GRÁFICA FUE LOGRADA EN BUENA PARTE POR LA GENEROSA AYUDA DE DOS BUENAS E INCONDICIONALES AMIGAS: LA PROFESORA CORDELIA ESPERANZA REYES LÓPEZ Y MI HERMANA EN CRISTO: ITZELH RODRÍGUEZ. MUCHAS GRACIAS. SON DOS PALABRAS TAN PEQUEÑAS, PERO QUE EN ESTE CASO SIGNIFICAN MUCHO PARA MI LOGRO PROFESIONAL.

EL TRABAJO DE MI SOBRINA DELIA SAGRARIO FUE MUY IMPORTANTE Y CONSTITUYÓ EL FUNDAMENTO DE MUCHAS DE LAS FIGURAS Y TABLAS HECHAS, MUCHAS GRACIAS POR TU AYUDA.

INDICE

	<u>PÁG</u>
LISTADO DE MAPAS Y FIGURAS	
LISTADO DE TABLAS	
INTRODUCCIÓN	1
1. LA CUENCA DEL RIO LAS MINAS	5
1.0 Generalidades	
1.1 La cuenca del río Nautla	6
1.1.1 Ubicación en la República Mexicana	
1.1.2 Ubicación en la región hidrológica “Norte de Veracruz”	8
1.2 La cuenca del río Las Minas	
1.2.1 Ubicación en la cuenca del río Nautla	
1.2.2 Localización por coordenadas geográficas extremas	10
1.2.3 Ubicación municipal	11
1.2.4 Accesibilidad a la cuenca	
1.2.5 Localización por regiones orogénicas	12
1.3 Características generales	13
1.3.1 Dimensiones de la cuenca	
1.3.1.1 Longitud y anchura máximas	
1.3.1.2 Longitud del perímetro	
1.3.1.3 Área de la cuenca	14
1.3.1.4 Coeficiente de compacidad	
1.3.1.5 Relación de circularidad	15
2. ANÁLISIS ALTIMÉTRICO	16
2.0 Generalidades	
2.1 Orografía	
2.1.1 Histograma de frecuencias altimétricas	17
2.1.2 Curva hipsográfica	19
2.1.3 Curva integral hipsométrica	21
2.2 Declive del relieve	22
2.3 Unidades básicas del relieve	23
3. GEOLOGIA	27
3.0 Generalidades	
3.1 Litología	
3.1.1 Rocas ígneas	28
3.1.1.1 Andesita	
3.1.1.2 Basalto	29
3.1.1.3 Toba	30
3.1.1.4 Brecha	
3.1.2 Rocas sedimentarias	31
3.1.2.1 Caliza	32
4. EDAFOLOGIA	34
4.0 Generalidades	
4.1 Principales unidades de suelos en la cuenca	35
4.2 Localización de las unidades de suelos	37
4.3 Relación de las unidades de suelo con la litología y la vegetación	38
5. USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN	41
5.0 Generalidades	
5.1 El uso del suelo y vegetación en la cuenca	

5.2	La población en la cuenca	45
5.2.1	Distribución de la población	46
5.2.2	Evolución de la población	52
6.	CLIMAS	55
6.0	Generalidades.	
6.1	Temperatura	56
6.2	Precipitación	58
6.3	Los climas en la cuenca del río Las Minas.	61
6.4	Estaciones climatológicas	62
6.4.1	Las Minas	
6.4.2	Las Vigas	64
6.4.3	Los Pescados	65
6.4.4	Perote	66
6.4.5	La Tembladera	67
7.	FLUVIOGRAFIA	69
7.0	Generalidades	
7.1	Descripción de la red hidrográfica	
7.2	Jerarquía de los cauces y de las subcuencas internas	72
7.2.1	Subcuencas de primer orden	
7.2.2	Subcuencas de segundo orden	74
7.2.3	Subcuencas de tercer orden	
7.2.4	Subcuencas de cuarto orden	76
7.3	Cuantificación de los cauces	
7.4	Orden de los cauces	77
7.4.1	Relación de confluencia	78
7.4.2	Relación de longitud	81
7.5	Frecuencia de cauces	
7.6	Densidad de drenaje	82
8.	BALANCE HIDROLÓGICO	85
8.0	Generalidades	
8.1	Precipitación	
8.2	Evapotranspiración	87
8.3	Escurrimiento	88
8.3.1	Estaciones hidrométricas	90
8.3.1.1	El Puerco	91
8.3.1.2	Romerillos	92
8.3.1.3	El Suspiro	95
8.3.1.4	El Sauce	96
8.3.1.5	Tenexpanoya	98
8.3.1.6	Las Animas	99
8.3.1.7	Borregos	101
8.3.1.8	Trinidad y Minas	103
8.4	Infiltración	105
8.5	Balance hidrológico general	107
	SINOPSIS GEOGRÁFICA	109
	RESULTADOS	112
	SUGERENCIAS	116
	BIBLIOGRAFÍA Y HEMEROGRAFÍA	118
	CARTOGRAFÍA CONSULTADA	119

LISTADO DE MAPAS (escala 1: 200 000)

- Mapa 1. Topografía
- Mapa 2. Altimetría
- Mapa 3. Declives
- Mapa 4. Unidades básicas del relieve
- Mapa 5. Geología
- Mapa 6. Edafología
- Mapa 7. Uso del suelo y vegetación
- Mapa 8. Climas
- Mapa 9. Fluviografía
- Mapa 10. Ubicación geográfica de la frecuencia de cauces
- Mapa 11. Distribución geográfica de la densidad de drenaje
- Mapa 12. Coeficiente de escurrimientos
- Mapa 13. Posibilidades de existencia de aguas subterráneas

LISTADO DE FIGURAS

- 1. La cuenca del río Las Minas
- 2. Ubicación en la región hidrológica Norte de Veracruz
- 3. Cuenca del río Nautla
- 4. Coordenadas extremas y dimensiones de la cuenca
- 5. Accesibilidad a la cuenca
- 6. Histograma de frecuencias altimétricas
- 7. Curva hipsográfica
- 8. Curva integral hipsométrica
- 9. Áreas y porcentajes de las unidades básicas del relieve
- 10. Áreas y porcentajes de las unidades litológicas
- 11. Áreas y porcentajes de las unidades de suelo
- 12. Áreas y porcentajes de las unidades de uso del suelo y vegetación
- 13. La población en la cuenca del río Las Minas
- 14. Evolución de la población en la cuenca del río Las Minas
- 15. Estaciones climatológicas y unidades climáticas
- 16. Temperatura y precipitación en las estaciones climatológicas en la cuenca
- 17. Climograma de la estación climatológica Las Minas
- 18. Climograma de la estación climatológica Las Vigas
- 19. Climograma de la estación climatológica Los Pescados
- 20. Climograma de la estación climatológica Perote
- 21. Climograma de la estación climatológica La Tembladera
- 22. Subcuencas de cuarto orden
- 23. Subcuencas de tercer orden
- 24. Relación de confluencia del sistema de cauces de la cuenca
- 25. Relación de longitud del sistema de cauces de la cuenca
- 26. Estaciones hidrométricas
- 27. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica El Puerco
- 28. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica Romerillos
- 29. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica El Suspiro
- 30. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica El Sauce
- 31. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica Tenexpanoya
- 32. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica Las Animas
- 33. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica Borregos
- 34. Volúmenes de escurrimiento medio mensual en la estación hidrométrica Trinidad y Minas.
- 35. Balance hidrológico global de la cuenca del río Las Minas

LISTADO DE TABLAS

1. Relación de circularidad y coeficiente de compacidad
2. Oroalimetría de la cuenca del río Las Minas
3. Unidades básicas del relieve
4. Unidades litológicas de la cuenca del río Las Minas
5. Unidades de suelo de la cuenca del río Las Minas
6. Unidades de uso del suelo y vegetación
7. Población en el área de la cuenca del río Las Minas
8. Población por municipios ocupados en la cuenca del río Las Minas
9. La población distribuida en las unidades básicas del relieve
10. El uso del suelo y vegetación por municipios
11. Temperatura media mensual en grados centígrados
12. Precipitación media mensual en mm
13. Promedios mensuales de temperatura y precipitación en la estación climatológica Las Minas
14. Promedios mensuales de temperatura y precipitación en la estación climatológica Las Vigas
15. Promedios mensuales de temperatura y precipitación en la estación climatológica Los Pescados
16. Promedios mensuales de temperatura y precipitación en la estación climatológica Perote
17. Promedios mensuales de temperatura y precipitación en la estación climatológica La Tembladera
18. Área de las subcuencas de primer orden
19. Área de las subcuencas de segundo orden
20. Área de las subcuencas de tercer orden
21. Área de las subcuencas de cuarto orden
22. Datos morfométricos areales
23. Datos morfométricos lineales
24. Precipitación
25. Evapotranspiración
26. Esguerrimiento
27. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de las estaciones hidrométricas en la cuenca
28. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica El Puerco
29. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica El Puerco
30. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica Romerillos
31. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica Romerillos
32. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica El Suspiro
33. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica El Suspiro
34. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica El Sauce
35. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica El Sauce
36. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica Tenexpanoya
37. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica Tenexpanoya
38. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica Las Animas
39. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica Las Animas
40. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica Borregos
41. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica Borregos
42. Volúmenes de esguerrimiento medio mensual de la estación hidrométrica Trinidad M
43. Volúmenes mensuales de la estación hidrométrica Trinidad y Minas
44. Infiltración
45. Balance hidrológico global
46. Tabla geográfica sinóptica de la cuenca del río Las Minas

INTRODUCCION

La demanda creciente del agua en muchos lugares de México, hace necesario el conocimiento general y particular del comportamiento de los ciclos hidrológicos locales y de las evaluaciones potenciales de las cantidades de agua correspondientes a cada fase mediante los balances hídricos locales. También es conveniente conocer como se debe cuidar la calidad de este líquido vital y de esa manera establecer las bases para su buen uso y conservación como un recurso natural renovable.

Conforme ha transcurrido el tiempo las dependencias gubernamentales relacionadas con el agua, han hecho estudios notables en el ámbito general, como son las investigaciones de grandes cuencas, pero se considera que aún es muy poco lo realizado, de manera particular en subcuencas medianas y pequeñas. Algunos estudios concernientes a éstas últimas se han efectuado como tesis profesionales de la Licenciatura en Geografía en la UNAM.

La cuenca del río Las Minas, ubicada en la cuenca alta del río Nautla, tiene importancia debido a que las aguas de su escurrimiento se aprovechan para mover las turbinas de una planta hidroeléctrica. Las instalaciones están muy cerca del sitio que convencionalmente se escogió como punto terminal de la cuenca, objeto de estudio de este trabajo.

Todo parece indicar que, para el establecimiento de la central hidroeléctrica "Las Minas", solamente se consideraron los registros hidrométricos, pero no se estudiaron a fondo las características geográficas de toda la cuenca de captación. Por lo tanto, se desconocen cuales son los factores que posiblemente condicionan el comportamiento hidráulico del escurrimiento superficial y las actividades humanas que puedan influir en este proceso. Dicha planta hidroeléctrica tiene el primer lugar en generación de energía eléctrica en la región, incluso abastece las subestaciones de las ciudades de Perote, estado de Veracruz y de Teziutlán, estado de Puebla y su potencial supera la producción de la hidroeléctrica "El Encanto" ubicada aguas abajo. Cabe indicar que la planta hidroeléctrica no cuenta con una presa que almacene el agua, solo tiene un tanque de recepción de aguas cuyo volumen es de 16 000 m³ y este es suficiente para mover las turbinas de dicha planta.

En virtud de lo anterior, se eligió la cuenca del río Las Minas por considerar que ofrece diversos aspectos que es pertinente conocer desde un punto de vista geográfico, atendiendo a su localización, extensión y a las causas que condicionan o influyen sobre algunas características de la cuenca.

Al efectuar la revisión bibliográfica y hemerográfica concerniente a la cuenca del río Las Minas y a la planta hidroeléctrica del mismo nombre, no se encontraron informes ni datos en los cuales se hiciera mención de las características geográficas que permiten tener un caudal prácticamente continuo para mover las turbinas de la planta durante el transcurso de las estaciones del año. Para el planteamiento de la tesis, fueron consideradas ocho estaciones hidrométricas en la cuenca, pero no se sabía entonces que todas estaban suspendidas.

Al estudiar la cuenca se notó que existen grandes contrastes en sus características físicas y ambientales las cuales varían desde la parte alta hacia la baja, en donde esta ubicada la planta hidroeléctrica, como de la porción oriental a la occidental.

Con base en lo precedente, se consideró necesario efectuar un estudio hidrogeográfico, enfocado principalmente al conocimiento de los aspectos físicos. Esto permitirá establecer algunos fundamentos que permitan proponer la utilización adecuada del suelo, vegetación y agua en concordancia con el comportamiento del ciclo hidrológico local y la respectiva evaluación potencial, mediante el balance hídrico. Esto también puede ser de utilidad para efectuar estudios posteriores que incluyan a los aspectos humanos existentes en la cuenca.

La cuantificación del agua mediante el cálculo del balance hídrico en el espacio geográfico de la cuenca permite conocer, de manera general, el comportamiento del ciclo del agua. También es posible cuantificar potencialmente y en promedio la cantidad de agua que puede ingresar a la cuenca por las precipitaciones medias anuales y como se subdivide por pérdidas y escurrimiento en la superficie de la cuenca; esto permitirá por medio de los registros pluviales e hidrométricos, complementados con la información cartográfica, proponer acciones tendientes a su buen uso, manejo y conservación, al menos durante un periodo de tiempo conocido.

Los objetivos particulares permitieron identificar las principales características geográfico-físicas de la cuenca del río Las Minas, su cartografía y cuantificación, para así efectuar las descripciones e interpretaciones de su participación en el ciclo hidrológico local.

Se establecieron relaciones espaciales entre las características físicas como son: topografía, geología, declives, suelo, vegetación y clima. Se infiere de que manera las características geográficas condicionan o influyen en el ciclo hidrológico local y en su balance respectivo dentro de una unidad hidrográfica y geomorfológica y esto constituye, el objetivo general del presente trabajo.

En primera instancia la tesis abarca aspectos geográfico-físicos y teóricos mismos que se ampliaron con un estudio más detallado que incluyó recorridos y comprobaciones en campo, principalmente en áreas dedicadas a las actividades agropecuarias para realizar algunas estimaciones visuales, concernientes a la infiltración y al escurrimiento.

En cuanto a la metodología del trabajo realizado, el fundamento del mismo lo constituye la consulta y extracción de información cartográfica concerniente a la cuenca del río Las Minas, de los mapas temáticos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en escalas 1: 50 000, 1: 250 000, 1: 500 000 y 1: 1 000 000.

Primeramente el trabajo se realizó con la información recabada de dos cartas topográficas: Perote (INEGI, 1984) y Xico (INEGI, 1983) para obtener el mapa topográfico base en escala 1: 50 000, trazando la línea divisoria de aguas y marcando las curvas de nivel con equidistancias de 200 metros. Esta equidistancia vertical se escogió por tres razones: la escala del mapa, la diferencia de altitudes que hay desde la cumbre del volcán Cofre de Perote hasta el punto terminal y la inclinación pronunciada de las laderas, ya que en esa región la separación entre las líneas curvas de 100 metros es mínima.

Con el objeto de tener una idea más clara de la inclinación del relieve de la cuenca del río Las Minas y tomando como base el trazo de las curvas de nivel, se elaboraron dos mapas: uno altimétrico y otro de declives, éste último expresado en valores angulares en secuencia geométrica, determinando siete rangos con sus respectivos límites. Para el cálculo cartográfico de declives se elaboró una regleta de declives y se aplicó manualmente en el mapa altimétrico.

Para elaborar el mapa fluvioigráfico, se remarcaron las líneas indicadoras del sistema de drenaje y se clasificaron las corrientes con el fin de determinar el orden de la cuenca y del sistema fluvial. Estos mapas base fueron fotocopiados y constituyeron el instrumento de trabajo utilizado para verter la información de las otras cartas temáticas, correspondientes a la litología, edafología, uso de suelo y vegetación, climas, de aguas superficiales y de aguas subterráneas.

En esos mapas se hicieron las mediciones de líneas y de las áreas concernientes a la extensión superficial que abarcan sus coberturas de cada tema. Para efectos de presentación, los mapas se procesaron en un Sistema de Información Digital (Autocad) a una escala aproximada de 1: 100 000. Con los datos obtenidos se elaboraron gráficas y tablas relacionadas con dichos parámetros, los cuales sirvieron para hacer las descripciones, análisis e interpretaciones correspondientes.

Por la forma de la cuenca y la orientación general de las principales subcuenas, de sur a norte se hizo una regionalización interna, basada precisamente en las unidades fluviales de una manera relativamente simple para efectuar una serie de balances parciales. Al hacer un análisis con más detalle se pudieron establecer algunas diferencias determinadas por los declives, el clima, la clasificación de cuencas y cauces por número de orden y parcialmente teniendo en cuenta algunos aspectos geológicos, edafológicos y de uso del suelo.

También se consideró la ubicación de las cabeceras de las subcuenas. Las más altas y principales están en la cumbre y laderas altas del volcán Cofre de Perote y otra porción en la serranía constituida por los cerros Chiconquiaco, Puerto de Veracruz, El Molinillo y El Colorado, los cuales forman parte de la divisoria de aguas del sureste.

Por otra parte es notable la ubicación de la cabecera del arroyo El Nenecillo, localizada del lado opuesto de la cuenca, en el noroeste y centro la cual contrasta notablemente con las mencionadas anteriormente, ya que se originan en montañas muy bajas con respecto del volcán Cofre de Perote y a las de Chiconquiaco. Otro elemento que contribuyó para determinar la regionalización que se propone fue la ausencia de corrientes superficiales y elevaciones notorias en la porción centro oeste de la cuenca, en correspondencia con los Llanos de Perote.

Con base en el anterior análisis e integración de las características geográfico-físicas de la cuenca y en particular, de su geomorfografía y de la lluvia, se determinó la regionalización interna de carácter local. Se establecieron siete áreas, a las cuales se les llamó Unidades Básicas del relieve, para determinarlas se consideró el declive del terreno, la litología y las formas del relieve expresadas en las curvas de nivel. Esta regionalización se hizo para fines del balance hídrico de la cuenca.

El mapa geológico de la cuenca, fue elaborado tomando en cuenta la información litológica que es lo único que se muestra en las cartas geológicas en escala 1:50 000 publicadas por CETENAL. Fue complementada la información geológica y las edades de las rocas, con la información obtenida de la Carta Geológica en escala 1: 250 000 del INEGI (1984).

La información obtenida en la Carta Edafológica en escala 1:250 000 del INEGI (1984), fue útil para hacer el mapa edafológico de la cuenca del río Las Minas, la tabla y la figura que condensa los datos referentes a los tipos de suelo y el área que cubren. La información referente a las características de las unidades de suelo se obtuvo de dos publicaciones del INEGI: el Diccionario de datos edafológicos vectorial (1981) consultado para obtener definiciones de los tipos de suelos y Descripción de la leyenda de la Carta Edafológica DETENAL (1979) utilizada para la explicación de la misma.

Se consultó la información de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación publicada por INEGI (1984) en escala 1:250 000 para identificar las unidades de suelo y agruparlas en una tabla sinóptica. El presente no es un trabajo de Geografía Demográfica, por lo que la población de la cuenca del río Las Minas únicamente se muestra en lo relacionado con el uso del suelo. Los datos estadísticos de población fueron obtenidos de la información proporcionada por el INEGI, en su Censo de Población y Vivienda 1995 y de los Censos de Población y Vivienda de los años 1950 a 2000.

Los datos y registros de temperatura y precipitación se obtuvieron de la información recopilada por el Servicio Meteorológico Nacional en las estaciones climatológicas localizadas dentro de la cuenca y sus alrededores.

Para el presente trabajo se consideró la información de cinco estaciones climatológicas, tres de ellas ubicadas dentro de la región de estudio; las otras dos están situadas fuera de la cuenca, pero sirvieron de apoyo para los fines buscados. Los registros de temperatura y de precipitación incluidos abarcan un mínimo de quince años de observación y hasta un máximo de cuarenta y seis, lo que representa credibilidad a los resultados obtenidos.

Se recurrió a la información de las Cartas de Climas del INEGI (1970), en escala 1:500 000 y la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales en escala 1: 250 000 también del INEGI (1984), para el trazo de las líneas isotermas e isoyetas y conocer así cuales son los climas locales y los coeficientes de escurrimiento y con ello hacer el cálculo de los balances hídricos parciales.

Para estudiar las propiedades lineales de un sistema fluvial se utilizó la clasificación de los sistemas de drenaje según Arthur N. Strahler (1990) y se hizo una jerarquización de los órdenes de los cauces en un mapa, con base en las cartas topográficas 1:50 000 del INEGI (1984).

En lo concerniente a las aguas subterráneas, únicamente se hace mención a la información impresa en la Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas en escala 1: 250 000 del INEGI (1984). Se consideró que para este trabajo no era necesario ampliarse en el tema, puesto que esto corresponde al campo de estudio de la Hidrogeología y puede estar directamente relacionado con algunas características geológicas y de infiltración en la cuenca y éstas son aspectos que no considera la tesis.

Tomando en cuenta las diferentes regiones de acuerdo a las características de cada una de las Unidades Básicas del relieve, los aspectos geográfico-físicos y los datos climáticos de temperatura y precipitación de la cuenca, se efectuaron los cálculos correspondientes a cada fase del ciclo hidrológico local para así determinar los balances hídricos parciales y con ellos elaborar el balance hídrico total.

Como resultado de la investigación y recopilación de la información se elaboró un cuadro sinóptico que reúne las principales características geográficas y la mayor parte de la información obtenida y procesada.

A fin de corroborar o modificar la información obtenida en el material cartográfico se efectuó un trabajo en campo, para ello se visitó el área de la investigación, en especial el poblado de Las Vigas y algunos lugares cercanos al sitio considerado como punto terminal de la cuenca del río Las Minas. La salida incluyó la visita a la planta hidroeléctrica en el poblado Las Minas, con base en la observación de los cauces se tomaron algunos datos concernientes al tipo de material o sedimentos del fondo, anchura, profundidad y declive. También resultó útil ya que permitió apreciar el paisaje natural de la región, los declives, las áreas de tala y las prácticas de reforestación; se consideró la importancia que genera la administración del agua, en el ámbito local, ya que de su presencia y buen manejo depende la población y las actividades económicas del lugar. El trabajo de campo en la región de estudio permitió obtener información directa de los habitantes y la obtención de algunos datos considerados en el presente estudio.

Con toda la información bibliográfica, cartográfica y de campo, así como la procesada, se establecieron las causas que condicionan el ciclo hidrológico local y el balance del agua de la cuenca. El presente trabajo ofrece resultados generales y propone algunas sugerencias con el fin de contribuir si fuere posible, a la preservación y cuidado de un espacio geográfico que ofrece particularidades y es necesario conservar para actuales y futuras generaciones.

CAPITULO 1

LA CUENCA DEL RIO LAS MINAS

1.0 Generalidades

Una cuenca fluvial, según Lugo (1989), es una porción de la superficie de la tierra firme delimitada por líneas divisorias de aguas, donde queda comprendida una corriente principal y todos sus afluentes, desde las cuales escurren aguas superficiales o subterráneas hacia un río principal.

La cuenca del río Las Minas objeto de estudio, está ubicada en la porción sureste de la cuenca del río Nautla y constituye la cuenca más alta de ella, en donde está la cabecera de la Unidad Hidrológica (ver figura 1). A manera de introducción se exponen brevemente algunas características y datos generales de la cuenca del río Nautla.

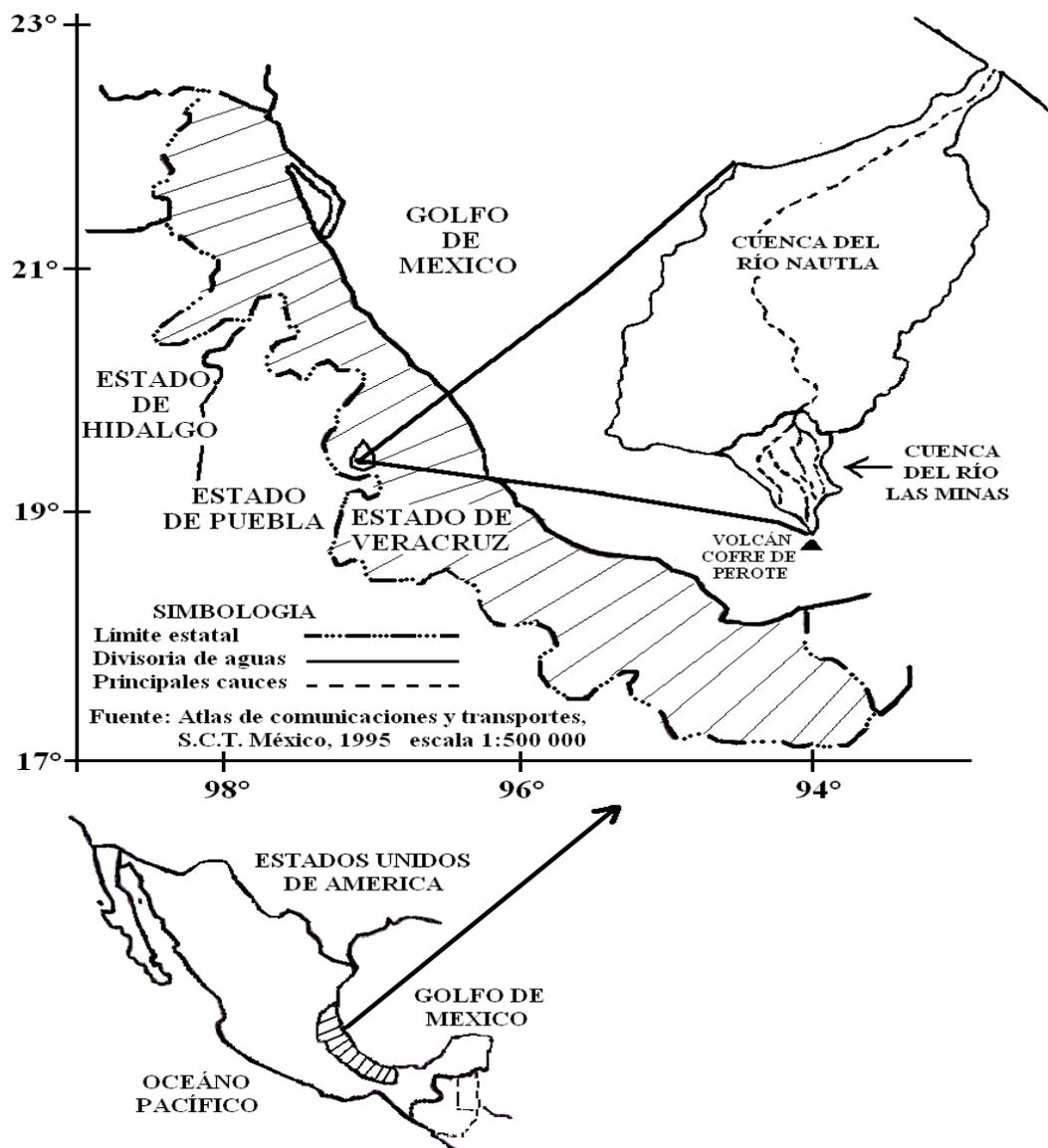


Figura 1. La cuenca del río Las Minas

1.1 La cuenca del río Nautla

1.1.1 Ubicación en la República Mexicana

El nombre Nautla proviene del término náhuatl “nauhtla” que quiere decir “lugar de cuatros”. Nauhcampatépetl es el nombre original del volcán Cofre de Perote, significa “cerro de cuatro lados” debido a que su cima de forma geométrica semeja un baúl o cofre (INEGI, 1988) Es aquí donde se ubica la cabecera de la cuenca del río Las Minas y a la vez la porción más alta de toda la cuenca del río Nautla.

La cuenca del río Nautla está ubicada en la porción central del estado de Veracruz, en la vertiente del Golfo de México, en su inicio a dos y medio kilómetros, aproximadamente, del límite estatal con Puebla atravesando toda la entidad veracruzana hasta llegar a su desembocadura en el Golfo de México. En su mayor extensión está situada en el estado de Veracruz aunque también en su extremo occidental abarca una porción del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: 19°30' y 20°20' latitud norte y 96°45' y 97°25' longitud oeste.

Como se indicó la cabecera de la cuenca del río Nautla, a su vez inicio de la cuenca del río Las Minas, está situada en la cumbre del volcán Cofre de Perote (4 282 msnm). Este volcán coincide con el límite oriental de la Sierra Madre Oriental y según cierto criterio, es la terminación de la Cordillera Volcánica Transmexicana en la porción oriental de este sistema orográfico por lo que semejante a un nudo montañoso, constituye una “cortina climática” entre la región orientada hacia el Golfo de México y la conectada con la Altiplanicie Mexicana, lo que explica las lluvias orográficas y las áreas secas en el estado de Veracruz.

El volcán Cofre de Perote, junto con otras montañas vecinas, constituye en esta región una barrera para los vientos cálidos provenientes del Golfo de México, los que pasan por la planicie costera sin descargar su humedad, pero al chocar con la montaña, suben rápidamente y se enfrían propiciando humedad hacia la ladera oriental en forma de lluvia o neblina (Vargas, 1984).

Cabe indicar que en esta porción territorial del país, en la cima del volcán Cofre de Perote, confluyen las líneas divisorias de aguas de tres grandes Regiones Hidrológicas, en donde también están las cabeceras de algunas subcuencas. Hacia la porción occidental está la subcuenca de la Laguna de Totolcingo, a la que pertenecen una parte de los Llanos de Perote y la Laguna de El Salado; estas regiones forman parte de la cuenca del río Atoyac, como un afluente del río Balsas, perteneciente a la vertiente mexicana del Océano Pacífico.

Por el lado oriental del volcán está situada la cabecera de la subcuenca del río Los Pescados, uno de los afluentes del río La Antigua, perteneciente al conjunto de cuencas fluviales de la Región Hidrológica 28 Papaloapan de la vertiente del Golfo de México. Al norte del Cofre de Perote está el conjunto de subcuencas de la Región Hidrológica 27 denominada Norte de Veracruz, a la que pertenece la subcuenca del río Las Minas, la porción territorial más alta del río Nautla, el cual desemboca en el Golfo de México.

La cuenca del río Nautla tiene su desarrollo a partir de una corriente principal denominada arroyo El Puerco que inicia su trayecto con dirección nor-noreste, donde por su margen derecha, confluyen las aportaciones de los arroyos Las Animas y El Suspiro. A partir del poblado Las Minas se le conoce como río Trinidad y Minas, después de su confluencia con el río Las Truchas, más adelante, se le llama río Bobos.

En la margen occidental del río Bobos, nace el río Altotonga al sur de la población del mismo nombre, fluye hacia el norte, recibe por su margen izquierda la aportación del río Jalacingo; después de esta confluencia se le conoce como río Tomata el cual se une con la corriente llamada río Bobos y a partir de ahí forma la corriente del río Nautla, que continúa con dirección noreste

cruzando por la planicie costera hasta su desembocadura en las aguas del Golfo de México, en el lugar donde se ubica la población y puerto de Nautla en el estado de Veracruz.

De acuerdo con la información registrada por la Comisión Federal de Electricidad (1980) el área que ocupa la cuenca del río Nautla es de 2 705 km² y su volumen medio anual de escurrimiento es de 9 664 450 600 m³.

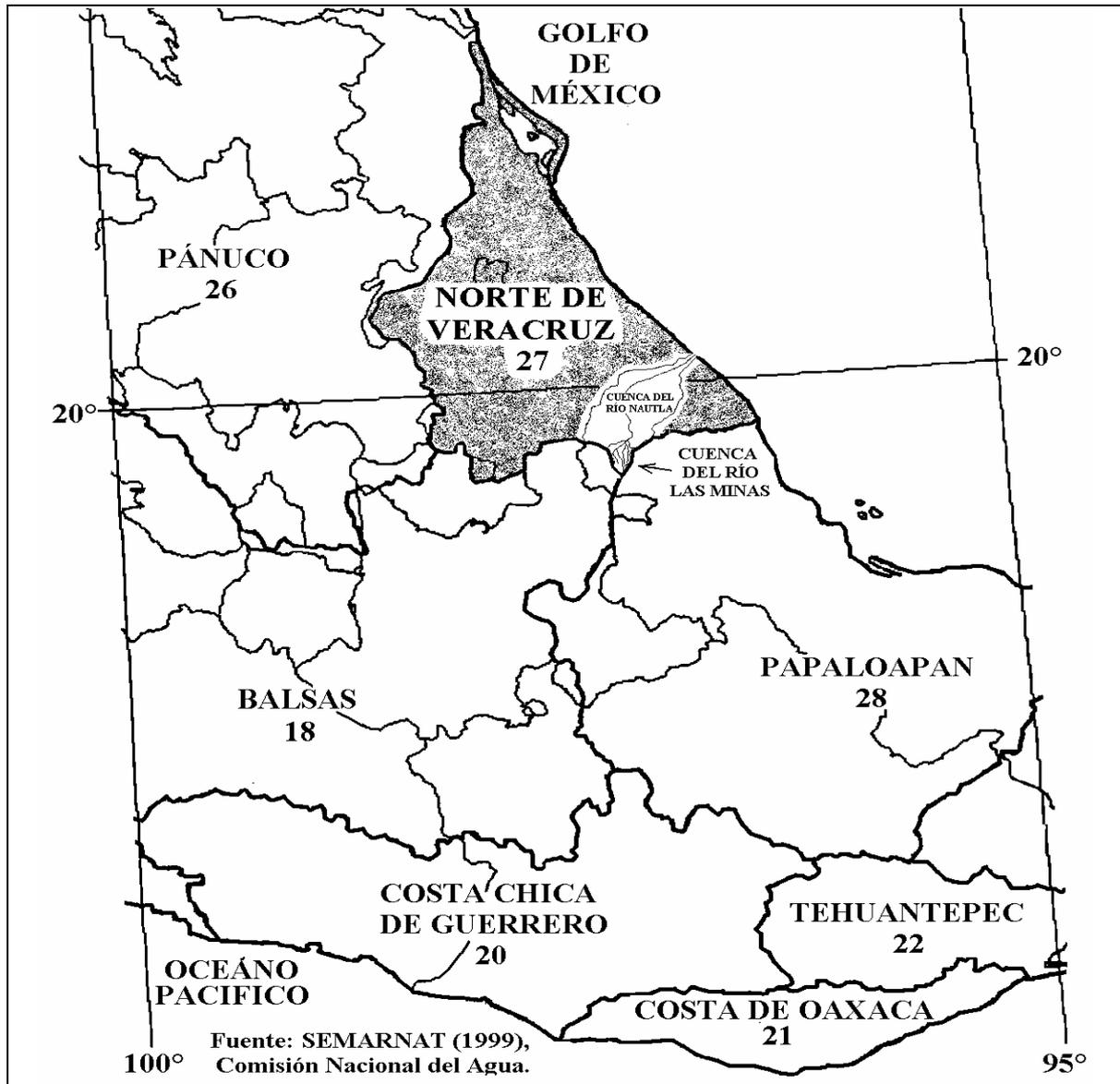


Figura 2. Ubicación en la región Hidrológica "Norte de Veracruz"

1.1.2 Ubicación en la Región Hidrológica "Norte de Veracruz"

La antigua Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos agrupó las cuencas hidrológicas en grandes conjuntos llamados Regiones Hidrológicas considerando primordialmente, aspectos tales como la orografía y la hidrografía (niveles de escurrimiento superficial muy similares). En todo el país estableció 37 Regiones Hidrológicas, designándole un número y un nombre a cada una de ellas.

La cuenca del río Nautla, se localiza en la Región Hidrológica 27 denominada “Norte de Veracruz” cuyas coordenadas geográficas son: 19°29' y 22°11'N. y 96°24' y 98°29'W ocupa la parte sur de la región. La Región Hidrológica 27 colinda al noroeste y oeste con la Región Hidrológica 26 Pánuco, al este con el Golfo de México, al sureste con la Región Hidrológica 28 Papaloapan y hacia el suroeste con la Región Hidrológica 18 Balsas (figura 2).

1.2 La cuenca del río Las Minas.

1.2.1 Ubicación en la cuenca del río Nautla.

Como se ha indicado anteriormente, la cuenca del río Las Minas forma parte de la cuenca hidrológica del río Nautla, se localiza en la parte sur y sureste de la cuenca del río Bobos, constituye de hecho, la cabecera de la cuenca del río Nautla.

Para fines prácticos, administrativos y de estudio, la antigua Secretaría de Recursos Hidráulicos subdividió las cuencas en subcuencas convencionales. En el caso de la cuenca del río Nautla, fueron delimitadas las siguientes: Río Alseseca, Río Bobos, Río San Pedro, Río Martha Ruiz, Río Quilate, Río Chapachapa, Río Nautla y Río María De La Torre.

Los límites de la cuenca del río Las Minas son los siguientes:

Al noreste colinda con la cuenca del río Bobos, al noroeste con la cuenca del río Alseseca. Del lado centro este limita con la cuenca del río Actopan y por el sureste con la cuenca del río La Antigua. Por el lado occidental limita con la cuenca del río Balsas (cuencas de las lagunas de Totolcingo y El Salado). La cima del volcán Cofre de Perote constituye el punto más alto de la línea del parteaguas y de la cuenca en la porción sur (figura 3).

Los arroyos que originan el río Las Minas se forman en las laderas septentrionales del volcán Cofre de Perote, llamándose en su inicio Los Conejos; cerca del poblado Sierra de Agua, cambia su nombre al de arroyo Valsequillo y con dirección norte se une al arroyo Churrero para formar el arroyo Puerco.

Por la margen derecha, la unión de los arroyos Tenexpanoya y Frío forman al río Las Minas, al que se une más adelante el arroyo Puerco, donde estuvo operando la estación hidrométrica Borregos, dos kilómetros antes del punto terminal del lugar considerado convencionalmente como desembocadura.

El lugar considerado como sitio terminal de este trabajo se estableció en la proximidad del poblado Las Minas, cabecera del municipio del mismo nombre, en el estado de Veracruz. Cercano a este lugar se localiza la central hidroeléctrica Las Minas, operada por la Comisión Federal de Electricidad. Esta planta está situada en el kilómetro 287 de la carretera México-Veracruz, distante nueve kilómetros de la ciudad de Perote, Ver., con las siguientes coordenadas: 19°41'03"N y 97°08'34" W. Se localiza en la confluencia del arroyo Borregos y el arroyo El Suspiro. A esta central hidroeléctrica se conducen las aguas capturadas en pequeñas presas derivadoras situadas en los puntos donde se ubicaban las estaciones hidrométricas: Tenexpanoya, El Sauce, El Suspiro, El Puerco, Las Ánimas y Borregos que están interconectados por un canal controlado en la estación Romerillos, a partir de la que se continúa hasta el tanque de regulación Horaria Minas para concluir en la planta hidroeléctrica.

El tanque de almacenamiento cuyo volumen es de 16 000 m³, capta aguas de los arroyos: Zacapoaxtla, Río Frío, El Suspiro, El Sauce, Tenexpanoya, Puerco, Las Animas y Borregos. Las mediciones se realizaban en la estación hidrométrica Trinidad y Minas cuya ubicación está a un kilómetro y medio al noreste, aguas abajo de la planta. En este punto el colector cambia su nombre a río Trinidad y Minas y se une al río Bobos, siete kilómetros aguas abajo de la central.

La Central Hidroeléctrica Minas es una subestación elevadora con dos líneas de transmisión de 66 kv., trabaja con cinco millones de watts y abastece a las subestaciones de las ciudades de Perote, Las Vigas, Las Minas y rancherías cercanas en el estado de Veracruz y a Teziutlán, Puebla.

Es conveniente mencionar que no existe una planta almacenadora que suministre el líquido para la planta hidroeléctrica, lo que implica que el caudal del río Las Minas y sus afluentes es suficiente para el movimiento de las turbinas en dicha central.

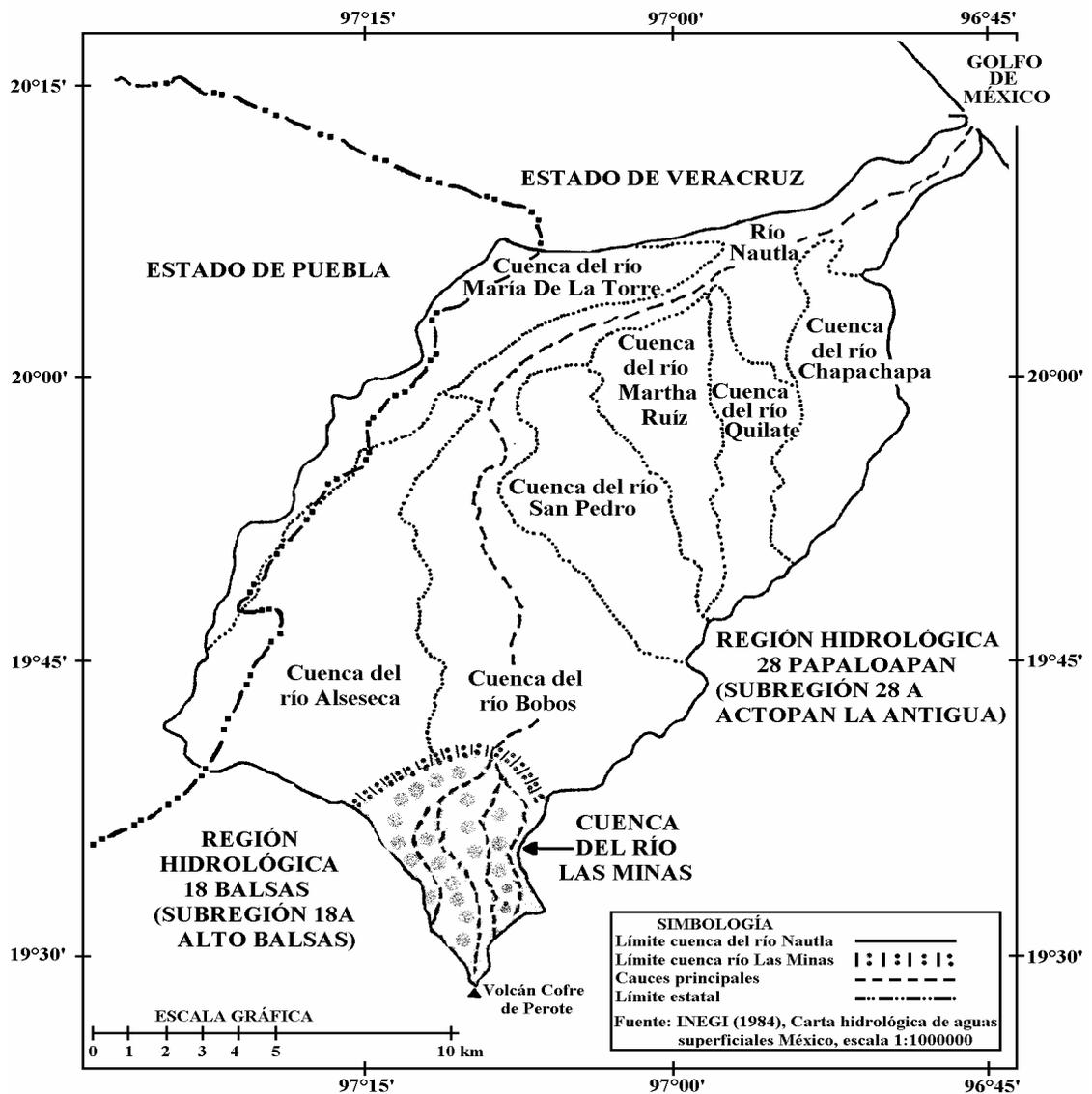


Figura 3. Cuencas del río Nautla y del río Las Minas

1.2.2. Localización por coordenadas geográficas extremas

La cuenca del río Las Minas se sitúa en su extremo norte, en la cota de 2 100 msnm, a aproximadamente dos kilómetros al noroeste del punto terminal de la cuenca, con las coordenadas: 19°42'16"N y 97°09'26"W. El límite sur está ubicado en la cima del volcán Cofre de Perote, a una altitud de 4282 msnm con las coordenadas: 19°29'34"N y 97°08'55" W.

Sus coordenadas extremas al oriente están localizadas novecientos metros al noreste del cerro Puerto de Veracruz, a 3 060 msnm y son las siguientes: 19°33'16"N y 97°05'46"W. En la cota de los 2 400 msnm a una distancia de 750 metros al sursuroeste del poblado Loma Larga se localizan las coordenadas extremas del occidente: 19°38'09"N y 97°17'10"W (figura 4).

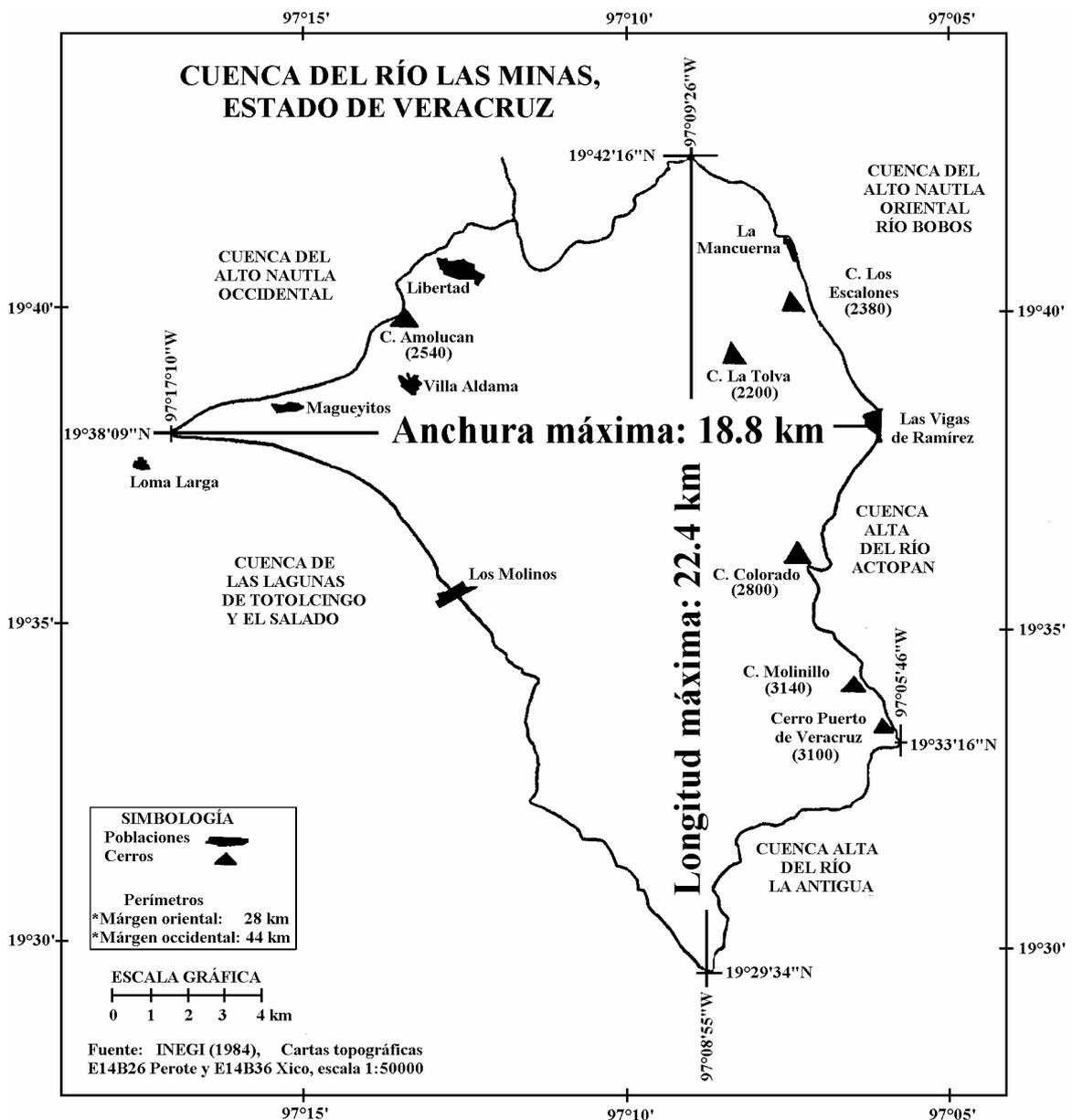


Figura 4. Coordenadas extremas y dimensiones de la cuenca del río Las Minas.

1.2.3. Ubicación municipal

Políticamente incluye porciones de los siguientes municipios: Altotonga, Las Minas, Perote, Tatatila, Las Vigas de Ramírez y Villa Aldama. Todos ellos situados en la parte central del estado de Veracruz, aproximadamente a 25 Km. al oriente de la ciudad capital: Xalapa.

Los municipios que abarcan una mayor área de la cuenca son Perote con 32.1 por ciento, Las Vigas de Ramírez con 31 por ciento y Villa Aldama con 21.2 por ciento del área total. Por otra parte, los municipios que tienen una menor extensión en la cuenca del río Las Minas son Altotonga con 3.6 por ciento y Tatatila con tres por ciento (figura 13).

1.2.4 Accesibilidad a la cuenca

De manera general puede considerarse que, por las características orográficas, la cuenca de estudio está bien comunicada situación que facilitó las observaciones de campo.

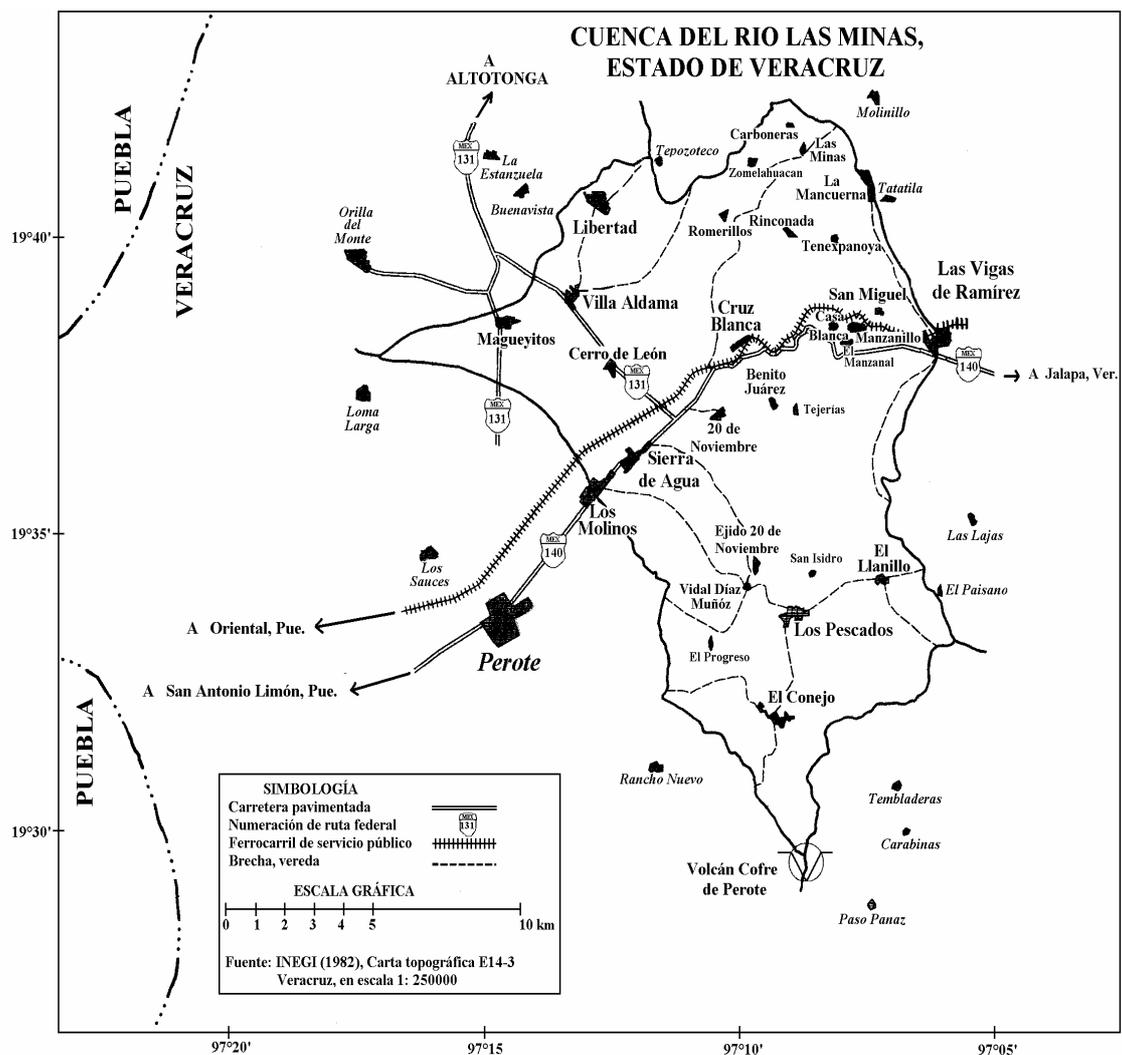


Figura 5. Accesibilidad a la cuenca

Es posible llegar a distintas partes de la cuenca por carretera federal o por caminos de terracería. La carretera federal número 140 México-Veracruz, proveniente por el lado oeste de la Ciudad de Perote, la atraviesa de este a noreste y comunica dentro de la cuenca a los poblados de Los Molinos -por el límite occidental de la cuenca- Sierra de Agua y Las Vigas de Ramírez en el lado oriental y con una trayectoria hacia el este, continúa a la ciudad de Xalapa, Ver.

La ciudad de Perote, situada al noreste del volcán Cofre de Perote dista doce kilómetros y la ciudad de Xalapa, se localiza a cincuenta y tres kilómetros, al noreste del citado volcán. La vía del Ferrocarril Interoceánico ruta México-Veracruz, sigue la misma trayectoria que la carretera federal anteriormente citada, pero actualmente no está en servicio.

La carretera federal número 131 Perote-Altotonga, atraviesa el extremo occidental de la cuenca y comunica los poblados de Cerro de León, Villa Aldama y Magueyitos. Los caminos de terracería unen poblados como Las Minas y Cruz Blanca. De noroeste a sureste los de Sierra de Agua, Los Pescados y El Conejo.

En el interior de la cuenca se localizan poblados como El Conejo, cinco kilómetros al norte y Los Pescados a siete y medio kilómetros hacia el sureste de la cabecera de la cuenca. El poblado Los Molinos se sitúa en el límite centro oeste de la cuenca; el poblado Sierra de Agua se localiza a más de un kilómetro de distancia y sobre la misma ruta de la carretera federal número 140 México-Veracruz, está situada la población Veinte de Noviembre.

La cabecera del municipio de Villa Aldama, se localiza en el noroeste, a un kilómetro y medio de la población Magueyitos, situada en la línea parteaguas occidental de la cuenca. Las Vigas de Ramírez está situada en el límite noreste de la cuenca, aunque está insertada parcialmente en la cuenca, su importancia radica en su número de habitantes y por su ubicación geográfica, puede considerarse como la población más importante en la región de estudio (figura 5).

1.2.5 Localización por regiones orogénicas

En términos generales, la cuenca del río Las Minas y las regiones circundantes se ubican en un espacio geográfico peculiar, ya que están en vecindad, los límites de transición de tres grandes regiones fisiográficas de México: el sureste de la Altiplanicie Mexicana, el extremo sureste de la Sierra Madre Oriental y la porción de las laderas septentrionales del extremo noroeste de la Cordillera Volcánica Transmexicana. En el ámbito local y con respecto a la cuenca del río Las Minas se pueden identificar los siguientes subsistemas orográficos:

Hacia el norte de la cuenca se distingue la Sierra de Teziutlán, por el lado nornoroeste y próxima a la cuenca, se sitúa la Sierra de Zacapoaxtla. Del lado centro occidental, los Llanos de Perote, donde está asentada la ciudad del mismo nombre, a 2 465 msnm. Del lado sureste se localizan las laderas de la subcuenca Tenexpanoya, en el extremo sur de la cuenca está ubicado el volcán Cofre de Perote (4 282 msnm).

De acuerdo con Esperanza Yarza (1984), “el Cofre de Perote está unido a las Sierras del estado de Puebla a saber: las de Jalacingo, el sistema montañoso de Atzalán, Teziutlán, Tlatlauqui y las Sierras de Zacapoaxtla y Huauchinango...” esta ligado al oeste con la Sierra de Puebla y al oriente sus estribaciones se continúan hacia la llanura costera veracruzana, llegando las rocas basálticas hasta mar adentro. Ésta montaña volcánica puede considerarse como el primer edificio de la Cordillera Volcánica Transmexicana en dirección este a oeste. La forma de su cima se debe a la acumulación de materiales no expelidos y que fueron descubiertos como resultado de la erosión, sus laderas muestran barrancas profundas y conos adventicios de basalto.

1.3 Características generales

La cuenca del río Las Minas ocupa un área aproximada de 203 km², esto es equivalente al 8.5 por ciento de la cuenca del río Nautla, tiene una forma alargada y está orientada en el sentido de la corriente, de sur a norte, su línea divisoria de aguas tiene una longitud de 72 km.

La longitud de la corriente principal es de 37 km que incluye desde la cabecera de la cuenca hasta el punto considerado como desembocadura en este estudio. La red hidrográfica de la cuenca del río Las Minas tiene 444 segmentos de cauce de todos los órdenes, equivalentes al mismo número de subcuencas, que en total suman 318 km de longitud. Con base en la clasificación de cauces de Strahler (1990), el río Las Minas y su respectiva subcuenca alcanzan el quinto orden.

Hay tres estaciones meteorológicas situadas dentro de la cuenca, fuera de la ella se localizaron dos más y se registraron sus datos. El número de estaciones hidrométricas consideradas fueron ocho, todas ellas están suspendidas actualmente.

1.3.1 Dimensiones de la cuenca

La cuenca presenta características especiales que la diferencian de las otras cuencas vecinas, en aspectos tales como lo referente a topografía, hidrografía, edafología, uso del suelo, etc. A continuación se mencionarán algunas características morfométricas de la cuenca, como el largo y ancho de la misma, así como la longitud del perímetro, dimensiones que en conjunto determinan la forma de la cuenca y las condiciones dadas para el volumen del escurrimiento superficial.

1.3.1.1 Longitud y anchura máximas.

La particular forma de la cuenca es alargada de sur a norte y tiene una longitud total de 22.4 km. El punto extremo sur se sitúa en el volcán Cofre de Perote y el punto extremo norte está ubicado a una distancia aproximada de dos kilómetros al noroeste del punto establecido como terminal, justo donde se situó la estación hidrométrica Trinidad y Minas.

Al observar la forma de la cuenca, es notable la parte occidental ya que sobresale una porción territorial en una región plana. Desde este sitio localizado a un kilómetro del poblado Loma Larga y hasta el extremo oriente en el poblado llamado Las Vigas de Ramírez, es posible establecer la anchura máxima que es de 18.8 km con una orientación de este a oeste (ver figura 4).

1.3.1.2 Longitud del perímetro

La línea divisoria de aguas de la cuenca tiene una longitud de setenta y dos kilómetros. Por la margen occidental la longitud es de cuarenta y cuatro kilómetros. Debido a su vecindad con los Llanos de Perote, la línea divisoria de agua no está determinada por elevaciones notables, excepto el cerro Amolucan (2 540 msnm) por el lado noroeste de la cuenca, situado a una distancia de 1 750 metros del poblado Libertad.

La línea divisoria de la margen oriental mide veintiocho kilómetros de longitud. Los puntos establecidos en esta línea son los siguientes: los cerros Puerto de Veracruz (3 100 msnm), Molinillo (3 140 msnm) y Colorado (2 800 msnm) son las mayores elevaciones de la cuenca en estudio.

Los tres cerros están situados en las laderas occidentales de la Sierra de Chiconquiaco. Otra elevación, el cerro Los Escalones (2 380 msnm) está situado más hacia el norte, a cuatro kilómetros del lugar considerado como terminal del trabajo.

1.3.1.3 Área de la cuenca.

Este es un parámetro importante a considerar ya que, tanto del área como de las lluvias ahí precipitadas, dependen los volúmenes de entrada, la evapotranspiración y el escurrimiento en la cuenca. El área de la cuenca es de 203 km², la mayor superficie de la misma está localizada entre los 2 600 y los 2 200 msnm y la menor área está comprendida entre los 4 282 y los 3 200 msnm (tabla 2 y figura 4).

1.3.1.4 Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad “K” índice formulado por H. Gravelius tiene por objetivo el comparar la forma de la cuenca fluvial con la de un círculo, así se procedió a realizar los cálculos considerando los datos particulares de la cuenca de estudio y son los siguientes:

$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Los datos de la cuenca son:	Sustituyendo:
P = Perímetro de la cuenca	Área = 203 km ²	$K = 0.28 \frac{72}{\sqrt{203}}$
A = Área de la cuenca	Perímetro = 72 km	
0.28 = Valor constante		K = 1.41

El valor del coeficiente de compacidad es mayor a la unidad (1) lo que implica que la cuenca tiende a ser alargada. En este sentido, el comportamiento del agua de escurrimiento a lo largo de los cauces es paulatino, ya que la concentración del agua se establece hacia las partes bajas.

En caso de que en esta cuenca sucedieran lluvias intensas en la cabecera, la concentración el agua de escurrimiento sería notable hacia el punto considerado como terminal, a partir de allí pueden ocurrir crecidas del río e incluso desbordamientos.

TABLA 1
COEFICIENTE DE COMPACIDAD Y RELACION DE CIRCULARIDAD

Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro	Coefficiente de compacidad	Relación de circularidad
3.1	2.1	8.0	1.55	0.26
3.2	5.0	12.0	1.5	0.41
3.3	8.7	16.9	1.6	0.51
3.4	27.9	39.9	2.11	0.69
3.5	4.4	12.0	1.6	0.36
3.6	4.7	12.5	1.61	0.37
3.7	3.2	9.9	1.55	0.32
3.8	8.2	12.4	1.21	0.66
3.9	4.8	11.0	1.4	0.43
3.10	4.3	11.0	1.48	0.39
3.11	1.9	6.0	1.22	0.31
3.12	3.0	7.8	1.26	0.38
3.13	7.9	11.7	1.16	0.67
4.1	37.4	38.9	1.78	0.96
4.2	32.4	34.8	1.71	0.93
4.3	116.8	68.0	1.76	1.71

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

La tabla 1 concentra los valores del coeficiente de compacidad y de la relación de circularidad de la cuenca del río Las Minas. Los valores de compacidad de las subcuencas de cuarto orden son semejantes: 1.78, 1.71 y 1.76. En las subcuencas de tercer orden los valores fluctúan desde 1.2 hasta 1.6, predominando los valores de 1.5 y 1.6. Para la subcuenca número 3.4 su coeficiente de compacidad es de 2.11

Como ya se ha indicado, la cuenca está orientada de sur a norte y los vientos predominantes son los alisios que penetran el territorio por el noreste y acarrearán nubes, produciendo intensas lluvias, durante el verano y en toda la parte central de la entidad.

1.3.1.5 Relación de circularidad.

La relación de circularidad propuesta por V.C. Miller se obtiene de dividir el área de la cuenca entre el perímetro de la misma, suponiendo el área de ésta como si fuera el de un círculo y tiene por objetivo el comparar la forma de la cuenca con la de dicha figura geométrica. Así tenemos los valores de la cuenca de estudio:

$R_c = \frac{A_u}{A_c}$	Los datos de la cuenca son:	Sustituyendo:
$A_u = \text{Área de la cuenca}$	Área = 203 km ²	$R_c = \frac{203 \text{ km}^2}{72 \text{ km}}$
$A_c = \text{Perímetro de la cuenca}$	Perímetro = 72 km	$R_c = 2.81$

Para tener una mayor definición de la circularidad de las subcuencas, se consideraron las de tercero y cuarto órdenes por ser las de mayor tamaño y se elaboró una relación de valores que se muestra en la tabla 1.

Como puede notarse, los valores de las subcuencas de tercer orden son muy parecidos, fluctuando entre 1.1 y 1.6 excepto la subcuenca número 3.4 cuyo coeficiente de compacidad llega a 2.11. En cuanto a su relación de circularidad, se observa una mayor homogeneidad en sus valores que van del 0.2 hasta el 0.6.

Los valores de la relación de circularidad tienen semejanza entre sí en dos de ellas: la subcuenca número 4.1 con 0.96 y la subcuenca 4.2, con 0.93 y la subcuenca número 4.3 tiene un valor de casi el doble de ellas (1.71).

Lo anterior se relaciona con la forma de la cuenca y la ocurrencia de lluvias intensas y prolongadas. Los resultados obtenidos indican que los valores de la relación de circularidad tienden a presentarse con cierta uniformidad de acuerdo con los órdenes de la cuenca y el tipo de materiales geológicos que cubren la superficie de la cuenca, en este caso, exceptuando la región norte donde hay roca caliza, de roca ígnea (basalto, andesita y brecha volcánica) en su gran extensión.

La cuenca del río Las Minas está localizada en la región centro oeste del estado de Veracruz, en la vertiente del Golfo de México. Constituye la parte más alta de la cuenca del río Nautla y la transición de tres grandes regiones fisiográficas de México. Su área es de 203 km² equivalente al 8.5 por ciento de la cuenca del río Nautla. Su forma es alargada y está orientada de sur a norte. La línea divisoria de aguas mide 76 km, su longitud máxima es de 22.4 km y su anchura máxima de 18.8 km. Se considera que es una cuenca de quinto orden.

CAPITULO 2

ANALISIS ALTIMETRICO DE LA CUENCA

2.0 Generalidades

El conocimiento de la altimetría y orografía de la cuenca permite la obtención de algunos parámetros que pueden correlacionarse principalmente con otros aspectos morfológicos, geomorfométricos, geológicos, fluvigráficos y del clima.

Con el propósito de conocer los aspectos más sobresalientes del relieve se elaboró un mapa altimétrico basado en la carta topográfica de escala 1: 50 000 del INEGI. Para el trazo de las curvas de nivel maestras y debido a lo abrupto del relieve en la porción norte se consideró necesario utilizar una equidistancia de 200 metros.

Con base en el mapa altimétrico se elaboró el mapa de declives, de acuerdo a varios rangos de pendiente geométrica. La medición de las áreas de las franjas altimétricas permitió elaborar una tabla y dibujar el histograma de frecuencias altimétricas, las gráficas de la curva hipsográfica y la curva integral hipsométrica. Con estos elementos se determinaron las unidades básicas del relieve de la cuenca, a las cuales posteriormente, se les incorporan y estudian sus características geográficas tales como geología, edafología y vegetación, a fin de establecer diversas correlaciones geográficas para conocer el ordenamiento territorial.

2.1 Orografía

El punto más alto considerado en la cuenca con un criterio geomorfológico, es la cumbre del volcán Cofre de Perote (4 282 msnm) y como punto extremo inferior, el sitio establecido como terminal de la cuenca de estudio, a una altitud de 1 200 msnm. A partir de la cumbre del volcán, se localizan las laderas altas del volcán Cofre de Perote y otros cerros como el Amolucan y del lado oriental, los cerros Puerto de Veracruz, Molinillos y Colorado, que forman parte de la Sierra de Chiconquiaco; el pie de monte superior e inferior y las regiones extensas como los llanos de Perote y también los lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, cercanas e incluyentes al punto terminal.

En el área de la cuenca se ubican seis elevaciones importantes, cinco de ellas localizadas en la línea divisoria de aguas. Por la margen oriental están los cerros: Puerto de Veracruz (3 100 msnm), Molinillo (3 140 msnm), Colorado (2 800 msnm) y Los Escalones (2 380 msnm) En la margen occidental se localiza el cerro Amolucan (2 540 msnm) distante dos kilómetros al oeste del poblado Villa Aldama. El cerro La Tolva (2 220 msnm) es la única elevación localizada en el interior de la cuenca, está situado a tres y medio kilómetros del poblado Las Vigas de Ramírez.

Es importante mencionar los llanos de Perote que ocupan el mayor espacio fisiográfico de la cuenca, casi un tercio del área total, se sitúan en el lado noroccidental de la cuenca, incluyendo altitudes desde 2 600 a 2 200 msnm. Otra región notable es la próxima al punto terminal, la de los lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, que se distingue a simple vista por su configuración, su dirección hacia el noroeste y por su inclinación que en algunas porciones llega casi a la verticalidad. Considerando lo anterior, puede decirse que en la cuenca del río Las Minas hay diversidad de topofomas y algunas de ellas están combinadas entre sí.

TABLA 2
OROALTIMETRIA DE LA CUENCA DEL RIO LAS MINAS

Franja	Altitud	Altura	Altura porcentual	Area en km ²	Area acumulada en km ²	Area porcentual	Area porcentual acumulada
1	4 282-4 200	3 082-3 200	100.0	0.10	0.10	0.05	0.05
2	4 200-4 000	3 200-3 000	97.3	0.20	0.30	0.09	0.14
3	4 000-3 800	2 800-2 600	90.9	0.8	1.10	0.4	0.5
4	3 800-3 600	2 600-2 400	84.4	1.8	2.90	0.9	1.4
5	3 600-3 400	2 400-2 200	77.9	2.4	5.30	1.2	2.6
6	3 400-3 200	2 200-2 000	71.4	6.6	11.90	3.3	5.9
7	3 200-3 000	2 000-1 800	64.9	19.8	31.70	9.8	15.7
8	3 000-2 800	1 800-1 600	58.4	20.8	52.50	10.2	25.9
9	2 800-2 600	1 600-1 400	51.9	23.1	75.60	11.4	37.3
10	2 600-2 400	1 400-1 200	45.4	53.2	128.80	26.2	63.5
11	2 400-2 200	1 200-1 000	38,9	51.3	180.10	25.3	88.8
12	2 200-2 000	1 000-800	32.4	6	186.10	2.9	91.7
13	2 000-1 800	800-600	25.9	6.7	192.80	3.3	95
14	1 800-1 600	600-400	19.5	6.2	199.00	3.1	98.1
15	1 600-1 400	400-200	13.0	3.1	201.10	1.5	99.6
16	1 400-1 200	200-0	6.5	0.9	203.00	0.4	100

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

En la tabla 2 se muestran los datos obtenidos y procesados de la medición de las áreas de cada una de las franjas altimétricas e incluye el área de las altitudes de los diferentes elementos orográficos de toda la cuenca, por lo tanto esta información general sirvió de base para interpretar las variaciones de las alturas relativas.

2.1.1. Histograma de frecuencias altimétricas

El histograma de frecuencias altimétricas es la expresión geométrica por medio de barras de forma regular de cada una de las áreas de las franjas altimétricas, su distribución altitudinal y su porcentaje correspondiente. Con base a este concepto se determinaron quince franjas altimétricas, comprendidas entre dos curvas de nivel, con equidistancia de 200 metros. A cada una se le midió su área planimétrica y se le calculó el porcentaje correspondiente (tabla 2).

Con los datos numéricos de estas mediciones se elaboró la gráfica conocida como histograma de frecuencias altimétricas, la cual permite observar de manera objetiva las extensiones de las franjas altitudinales y así de esta manera, se puede efectuar un análisis oroaltimétrico.

En el histograma de la cuenca en estudio (figura 6), se puede apreciar un crecimiento entre la cumbre y la cota 2 200 msnm después una disminución notable pero homogénea entre 2 200 y 1 600 msnm y finalmente una disminución entre esta ultima cota y el punto terminal a 1 200 msnm.

En esta generalidad se distinguen cinco agrupamientos que son los siguientes:

1. En las partes altas, las franjas altitudinales tiene áreas pequeñas pero con cierta tendencia al aumento, el cual es mínimo entre la cumbre, a 4 282 msnm y la cota de 3 200 msnm que en conjunto abarcan 11.67 km² lo que representan aproximadamente el seis por ciento del área de la cuenca.
2. Debajo de ese nivel se nota una ampliación de las barras, hay tres franjas altitudinales de áreas semejantes: 19.83 km²; 20.8 km² y 23.05 km²; ubicadas entre los 3 200 y 2 600 msnm que en conjunto miden 63.68 km², esto representa mas del treinta por ciento del área de la cuenca.
3. A continuación en el histograma destacan dos franjas altimétricas notables, entre los 2 600 msnm y los 2 200 msnm, son las de mayor extensión del conjunto, 53.15 km² y 51.26 km² que suman 104.41 km² lo cual equivale a un poco mas de la mitad del área total de la cuenca, es decir, el 51.5%.

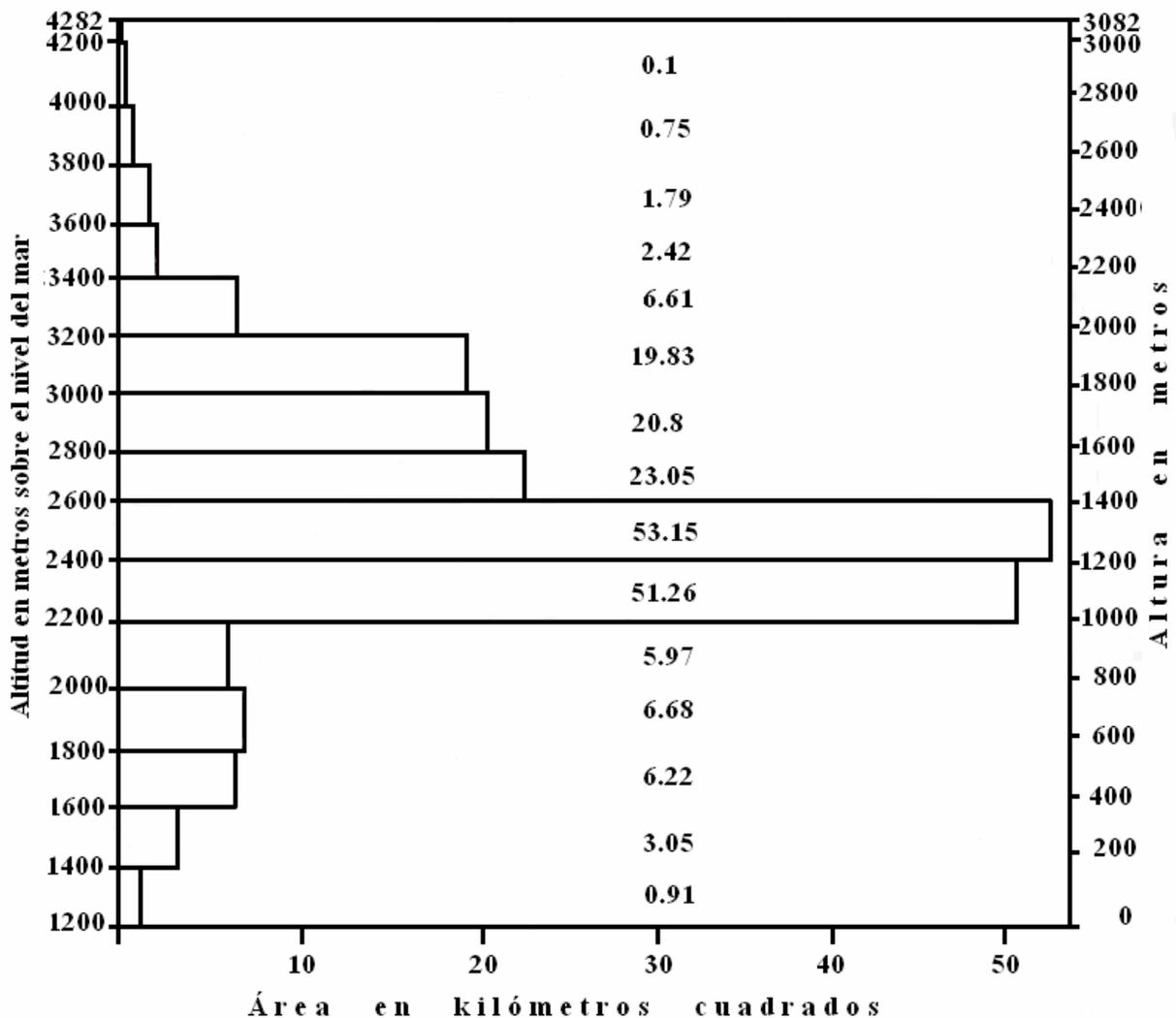


Figura 6. Histograma de frecuencias altimétricas

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

4. Las siguientes tres franjas ubicadas entre las cotas de 2 200 msnm y la de 1 600 msnm, presentan también áreas similares: 5.97 km², 6.68 km² y 6.22 km² que en suma abarcan una área 18.87 km² equivalentes al 9.3% del total.

5. Las dos últimas franjas cubren solamente 3.96 km² que son equivalentes al 2% del área total de la cuenca.

Como se puede observar en la gráfica de frecuencias altimétricas, mas de la mitad del relieve de la cuenca (51.4 %) corresponde a las franjas altitudinales comprendidas entre los 2 600 y los 2 200 msnm. Estas planicies están formadas por la porción de los Llanos de Perote y por el Pie de monte inferior.

2.1.2 Curva hipsográfica

La curva hipsográfica permite obtener una idea del relieve de la cuenca, puede verse como un corte transversal o el perfil topográfico de la misma. En el caso de la cuenca del río Las Minas, en la gráfica de la curva hipsográfica puede apreciarse cuatro secciones en el desarrollo de la línea (ver figura 7)

El primer segmento abarca desde 4 282 msnm hasta 3 000 msnm ello implica un desnivel de 1 282 metros, el mayor de toda la región, que ocupa un área de 15.6 km² equivalentes al 7.7% y comprende desde la cumbre del volcán Cofre de Perote y sus respectivas laderas altas. La segunda sección comprende desde 3 000 hasta 2 400 msnm donde hay un desnivel de 600 m que abarca un área de 97.77 km² (48.3%) casi la mitad de la superficie de estudio y también la región más extensa. Corresponde a la unidad de acumulación de Pie de monte superior e inferior.

De los 2 400 a 2 000 msnm se localiza la tercera sección que incluye a los llanos de Perote, ocupa un área de 57.22 km² equivalentes al 28.2% y presenta el desnivel menor en la cuenca que es de 400 m. La cuarta sección abarca desde 2 000 msnm hasta el punto considerado como terminal de estudio a 1 200 msnm es la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, ocupa un área de 16.84 km² y representa el 8.3% del área total con un desnivel de ochocientos metros.

Se observa entonces que el desnivel más grande, de 1 282 metros, se localiza en las mayores altitudes, que incluyen desde 3 082 hasta 1 800 m. Los menores desniveles abarcan las mayores áreas desde 600 hasta 400 m, ocupan 154.99 km², esto es superior a tres cuartas partes del área total.

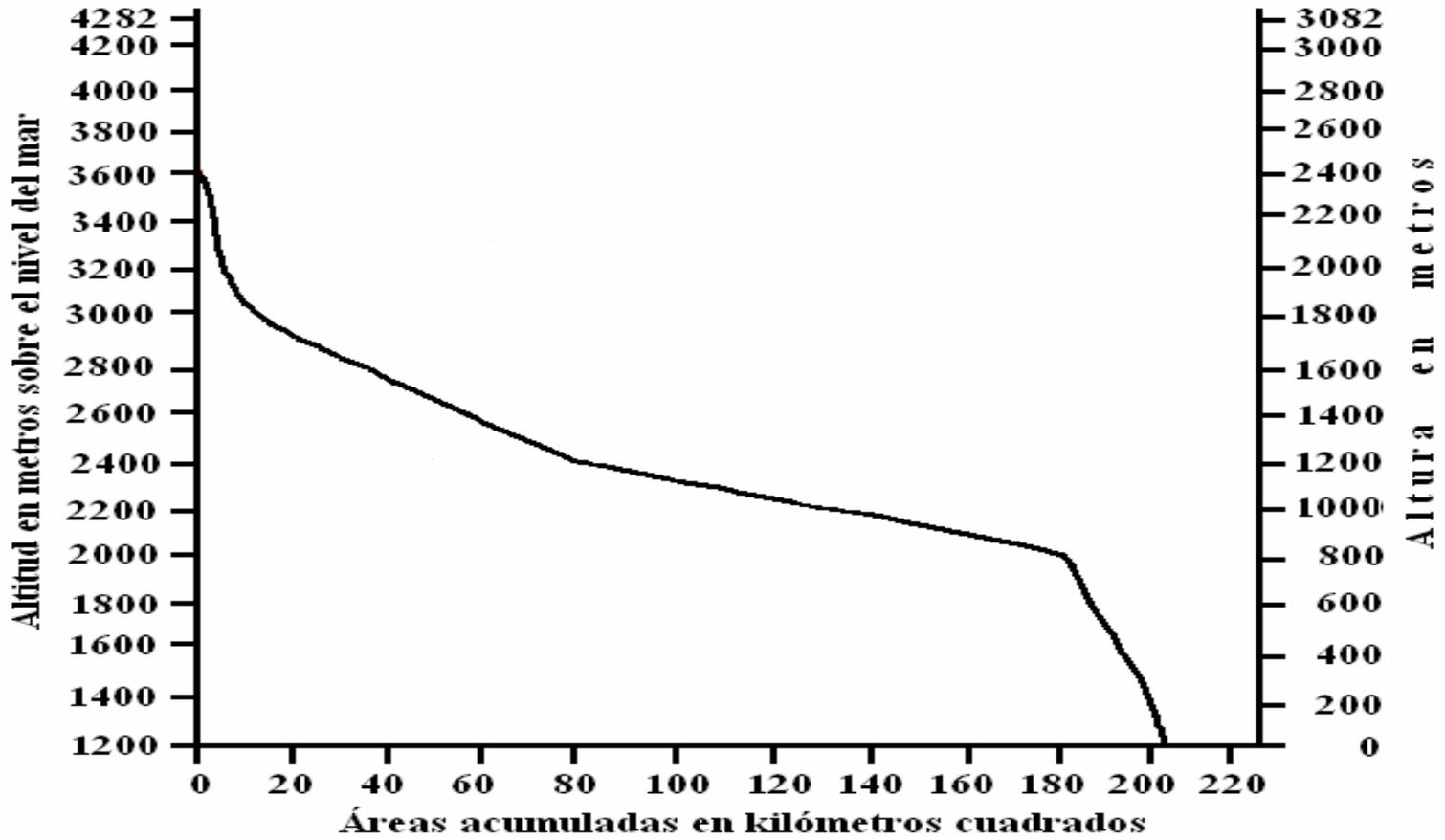


Figura 7. Curva hipsográfica

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

2.1.3 Curva integral hipsométrica

Esta gráfica, propuesta por A. N. Strahler (1990) es de carácter eminentemente teórico y se le han hecho diversas críticas, entre ellas porque refleja un neodavisionismo. Sin embargo fue incluida en el presente trabajo, debido a que, por las inflexiones que presenta la gráfica ayuda a determinar los límites de las unidades orogénicas básicas de la cuenca. Esta gráfica refleja el grado erosivo que presenta el relieve de la cuenca, considera la altura, el porcentaje de altura y el porcentaje de áreas acumuladas.

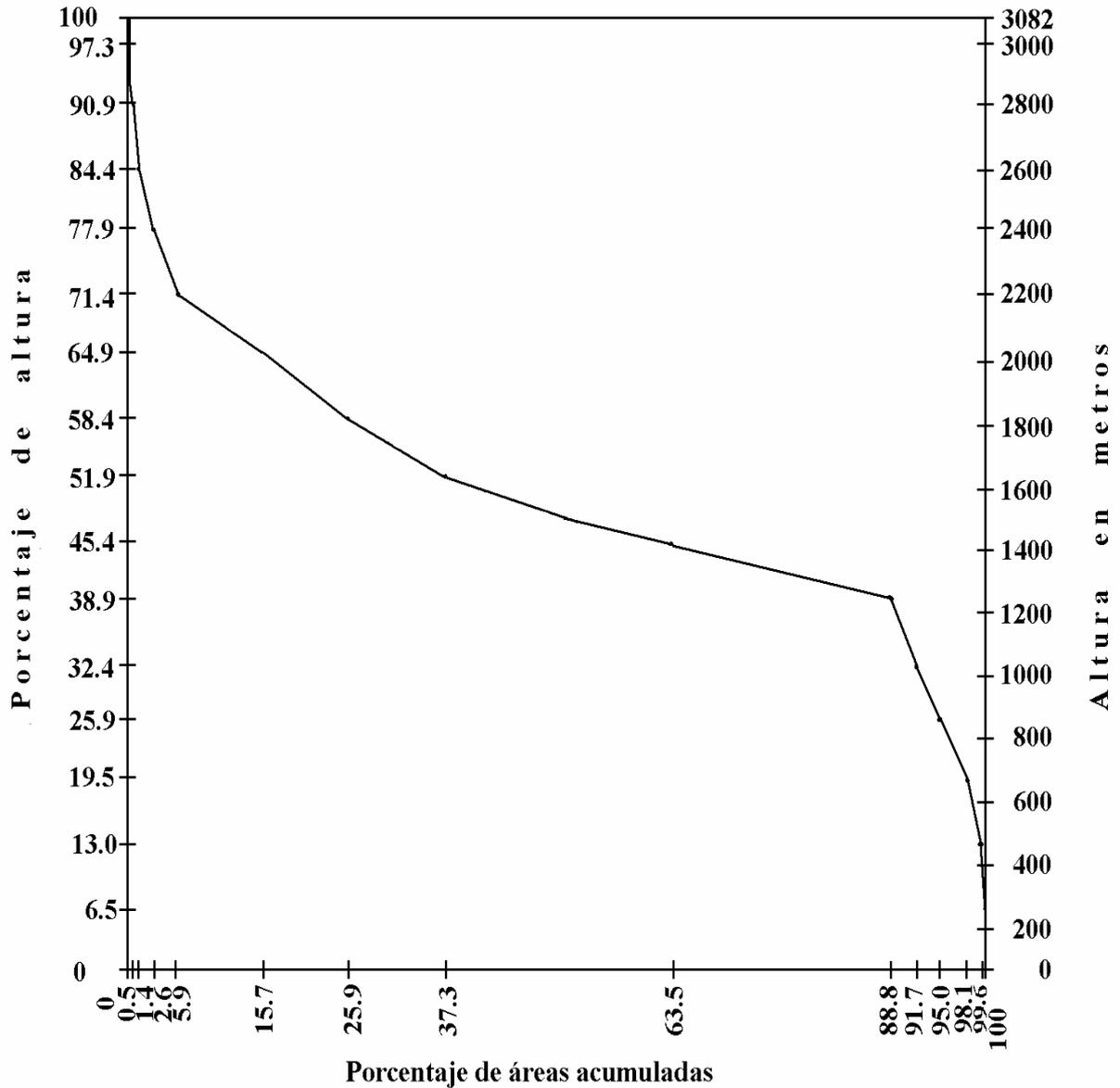


Figura 8. Curva integral hipsométrica

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

Puede apreciarse en la figura 8 que la cuenca del río Las Minas presenta un desequilibrio entre el desgaste erosionado y el volumen acumulativo, puesto que el área que se distingue encima de la curva es ligeramente mayor al que se presenta debajo de la misma (volumen del relieve actual).

Se concluye entonces que la cuenca del río Las Minas está en una etapa de equilibrio. Los lugares con mayor tendencia a la erosión se ubican entre los 4 282 msnm y los 3 200 msnm y cubre aproximadamente el ocho por ciento del área total.

2.2 Declive del relieve

Con el fin de obtener una expresión numérica de la inclinación del relieve de las laderas de las montañas y en diversos lugares de la cuenca, se elaboró un mapa de declives. Para este se considera que las expresiones numéricas conocidas así como los valores de la pendiente permiten superar el nivel descriptivo y obtener un aspecto cuantitativo expresado en un mapa.

Para elaborar la carta de declives se tomó en cuenta, la equidistancia de las curvas de nivel cada 200 m. Esta equidistancia vertical se escogió en función de la altura que se tiene desde la cumbre del volcán Cofre de Perote hasta el punto terminal y la inclinación pronunciada de las laderas. Con una equidistancia menor, la separación de curvas es mínima y dificulta la elaboración del mapa.

Utilizando la regleta de declives se elaboró el mapa de declives, empleando distintos colores para diferenciar los grados de pendiente. Así entonces, se pueden distinguir seis zonas definidas que son las siguientes:

1. La porción extrema sur, desde 4 181 msnm hasta 3 200 msnm donde se localizan pendientes desde 24° hasta 6°, está ubicada en las laderas altas de volcán Cofre de Perote.
2. La porción siguiente colinda con la anterior y del lado oriental se prolonga desde 3 200 msnm hasta 2 400 msnm a lo largo de la cuenca, ocupa la mayor parte del área y localiza pendientes desde los 6° hasta 1° 30', por lo que se le considera como de las regiones de mayor pendiente, la mayor frecuencia a 2 800 msnm es de 3°, en la parte central de la cuenca, se localiza el cerro Seco que incluye pendientes de 45° y superiores a ella.
3. En la porción noroeste de la cuenca y limitando con la anterior porción, están las menores pendientes de toda la región, en el 90% de ella hay pendientes de 1°30' y en el resto hay 3°, se localiza entre 2 600 y 2 400 msnm.
4. Al sureste de la cuenca, en las laderas de los cerros Molinillo y Puerto de Veracruz hay pendientes de 6° hasta mayores de 45°. Es la región que cubre la menor área de toda la cuenca, con aproximadamente 5.5 km².
5. Hacia el extremo noroeste, en las laderas del cerro Amolucan las pendientes son de 12° a 3°.
6. En la región cercana al punto terminal del trabajo, que incluye de 2 400 a 1 200 msnm, en los lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, se distinguen en su mayor parte pendientes que van disminuyendo desde 45° hasta 12° y en menor proporción de 6° y aún con menor frecuencia, los de pendiente mayores de 45°.

Como se mencionó anteriormente, las pendientes mayores de 45° se encuentran dispersas en diferentes sitios del lado oriental de la cuenca, lo que manifiesta notablemente al lado occidental como el de pendientes suaves, no más allá de 12° de inclinación, las cuales casi siempre abarcan áreas pequeñas, menores a 7 km².

2.3 Unidades básicas del relieve

Para establecer una regionalización general de la cuenca, en función de la geomorfografía, se consideraron los elementos cartográficos que se observan en el mapa altimétrico, las mediciones de las áreas de las franjas altimétricas (tabla 2) expresadas en el histograma de frecuencias altimétricas (figura 6) y la sobreposición del mapa de declives de la cuenca.

TABLA 3
UNIDADES BÁSICAS DEL RELIEVE

	Unidades básicas del relieve	Área (km ²)	Área porcentual
1	Laderas altas del volcán Cofre de Perote	18.7	9.2
2	Pie de monte superior	40.3	19.9
3	Pie de monte inferior	19.1	9.4
4	Laderas de la subcuenca Tenexpanoya	25.2	12.4
5	Laderas orientales del cerro Amolucan	14.4	7.1
6	Llanos de Perote	54.6	26.9
7	Lomerios, cañadas y barrancas septentrionales	30.7	15.1
Total		203.0	100

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

La tabla 3 muestra las siete unidades básicas del relieve, el área que ocupan en km² y el área porcentual de las mismas. Así puede notarse que la unidad 6, Llanos de Perote ocupa más de una cuarta parte de la cuenca y tres de las unidades no superan cada una, el 10% de la superficie total.

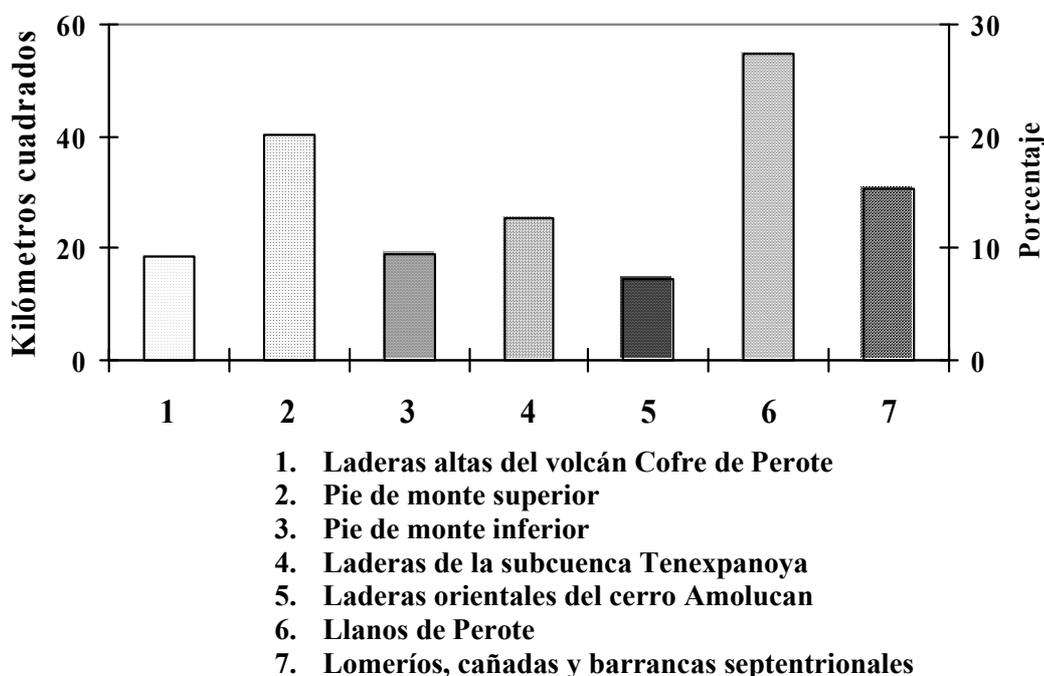


Figura 9. Áreas y porcentajes de las unidades básicas del relieve en la cuenca del río Las Minas, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

La figura 9 permite distinguir las siete unidades básicas en que se dividió a la cuenca del río Las Minas para su estudio. En primera instancia puede apreciarse que los Llanos de Perote sobresalen por su área, la similitud de área que ocupan las laderas del volcán Cofre de Perote, el pie de monte inferior y las laderas del cerro Amolucan, estas tres unidades en conjunto abarcan un área muy semejante a la de los llanos mencionados. Las laderas de la subcuenca Tenexpanoya y los Lomerios, cañadas y barrancas septentrionales también tienen un área muy semejante y en conjunto superan con 1.3 km² a los Llanos de Perote.

Con base en la observación y análisis de los mapas altimétricos y de declives, la regionalización adquirió un carácter particular con el cual se identifican las Unidades Básicas del Relieve de la cuenca del río Las Minas. A cada una de esas unidades se le denominó, en la mayoría de los casos por su morfología con el nombre de la localidad correspondiente

A continuación se mencionarán algunas características y datos importantes relacionados con cada una de estas unidades geomórficas.

1. Laderas altas del volcán Cofre de Perote. Se localiza en el extremo sur de la cuenca, es la parte más alta de la cuenca de estudio y constituye propiamente la cabecera de la cuenca del río Las Minas. Hacia otros lugares, con diversas orientaciones también forma las cabeceras de las cuencas vecinas. Abarca desde 4 282 msnm a 3 200 msnm y 3 000 msnm en algunas partes. Su forma semeja una especie de abanico con su vértice en el extremo sur, en la parte alta del volcán Cofre de Perote, con una longitud de seis y medio kilómetros en su parte más amplia y de cuatro y medio kilómetros en la parte central. Los declives del terreno varían desde un poco más de 24° en las partes altas, en correspondencia con algunas cañadas de hasta 6° en las partes bajas. Esta unidad ocupa un área de 18.7 km² lo que representa un 9.2 % del total de la cuenca.

2. Pie de monte superior. Esta unidad es aparentemente una prolongación de las Laderas altas del volcán Cofre de Perote, hacia la porción norte, en correspondencia con la parte centro oriental de la cuenca. La parte más alta se sitúa entre las laderas altas del volcán y las Laderas de la sierra de Chiconquiaco. Ocupa altitudes entre los 3 200 y los 2 600 msnm cubre una superficie de 40.3 km² equivalentes al 19.9 % y predominan los declives entre 3° y 1° 30' y en menor proporción los de 6° a 3°. La forma es semejante a la del número "7" con una extensión de aproximadamente nueve y medio kilómetros, de sureste a noroeste, en el vástago mayor y de seis kilómetros de noreste a suroeste en el vástago menor.

3. Pie de monte inferior. Se localiza a continuación de la anterior unidad, hacia el norte y tiende a presentar un menor declive, aunque en la parte noroeste inician algunas partes con una inclinación mayor. Se sitúa entre los 2 600 y los 2 400 msnm, su forma es semejante a la de un trapecio irregular con un largo máximo de 6.5 km y una anchura mínima de 3 km. Predominan las pendientes entre 3° y 1°30' aunque hay algunas franjas de 6° a 3° y otras de muy poca inclinación (1°30') y aún menores de ese valor. El área ocupada es de 19.1 km² es decir, el 9.4 % del total de la cuenca.

4. Laderas de la subcuenca Tenexpanoya. Se localiza aproximadamente en la porción sureste de la cuenca, ocupa una pequeña porción del área, por lo cual se considera la menor de las unidades geomórficas. Su ubicación abarca la divisoria de aguas que se extiende desde los cerros Puerto de Veracruz, El Molinillo hasta el cerro El Colorado en altitudes comprendidas entre los 3 140 msnm (considerando las cumbres que se localizan en la divisoria) hasta aproximadamente los 2 600 msnm. Forma una franja de aproximadamente 7.5 km de sur a norte, descendiendo en concordancia con el relieve. Su anchura es de aproximadamente 1.8 km en su parte más amplia y en algunas otras partes un poco menos de 1 km. El área es de 25.2 km² equivalentes al 12.4% del total de la cuenca.

Los declives de esta región abarcan en algunos lugares inclinaciones entre 45° y 24°, en el cerro Puerto de Veracruz son de 24° a 12° y predominan en las partes altas declives entre 12° y 6° hacia la parte de abajo; en las laderas del cerro El Colorado, los declives son menores, entre 6° y 3°.

5. Laderas orientales del cerro Amolucan. Esta unidad básica del relieve, es la de menor área en la cuenca. Ocupa una superficie de 14.4 km² equivalentes al 7.1% del área total de la cuenca. Se localiza en el extremo noroeste de la cuenca, comprendida desde la línea divisoria de aguas y las laderas del cerro Amolucan hasta aproximadamente el nivel de 2 400 msnm. Su forma es de una especie de arco con su convexidad hacia el noroeste formada por la línea divisoria de aguas y su concavidad hacia el sureste, en dirección a los Llanos de Perote.

Tiene un largo de aproximadamente 7.5 km. de suroeste a noreste; su anchura máxima es de 2 km. en el suroeste y la anchura mínima es de un kilómetro en la porción meridional. Sus declives son variables, abarca en una pequeña región del oeste inclinaciones de 12° a 6°. En la porción norte, el declive del terreno es de 12° y en la mayor parte de la región predominan relieves con pendiente de 6° a 3° y en algunas regiones hay pendientes de 3° a 1° 30'.

6. Llanos de Perote. Localizados en la porción oriental y centro oriental de la cuenca, comprende alturas desde los 2 600 msnm, hasta los 2 400 msnm prácticamente en una continuación del Pie de monte, aunque se le puede considerar también como un pedimento, debido a la acumulación de materiales finos procedentes de las laderas altas. Su forma es irregular, semejante a un espolón, con su pico en el extremo occidental abriéndose paulatinamente hacia el oriente, sus dimensiones son notables, ya que abarca 11.5 km. de oeste a este, como largo máximo y de diez kilómetros como anchura máxima en su parte oriental, con un sentido de norte a sur. Las pendientes predominantes son las de 1° 30' o menos, aunque en la porción sur de esta región hay algunos lugares comprendidos entre 3° y 1° 30'. Esta unidad es la mayor dentro de la cuenca, cubre un 26.9% de la misma, es decir, el equivalente a 54.6 km² de superficie.

7. Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. Esta unidad de relieve ocupa 30.7 km², equivalente al 15.1% del área total de la cuenca, se localiza en el extremo norte de la cuenca y coincide espacialmente con una parte de los afloramientos de rocas calizas del Cretácico Inferior, a lo anterior hay que asociar que esta porción constituye una entrada natural de los vientos húmedos que producen lluvias constantes en este lugar, por lo cual la erosión hídrica es considerable. Debido a ello, en esta región, las cañadas y barrancas son características y por la misma situación los declives son muy marcados. En términos generales puede decirse que aquí se inicia una ruptura de las pendientes.

Al observar el mapa de pendientes se aprecia claramente que esta región es la que tiene el relieve más inclinado. Los declives se inician normalmente, a partir del nivel de los 2 200 msnm en la porción sur o en algunas cumbres de la parte noreste con alturas próximas a los 2 400 msnm hasta los 1 200 msnm en el punto terminal del presente trabajo. Ésta semeja a un trapecio irregular con su base mayor en la parte sur, con un largo de aproximadamente ocho y medio kilómetros. Su base menor en el extremo norte tiene una amplitud de tres kilómetros y un promedio de cinco kilómetros de ancho.

Los declives tanto de los lomeríos como de las barrancas y cañadas son sobresalientes. En algunas partes se llegan a constituir paredes casi verticales, las pendientes se localizan en la porción oriental, aunque también en la parte central de esta región se tienen inclinaciones comprendidas entre los 45° y los 24° y de los 24° a los 12°. También hay lomeríos y cañadas con declives de 12° a los 6° y algunos cuantos lugares con declives de 6° hasta 3°.

En recorrido de campo se pudieron observar algunos lugares puntuales en donde las rupturas de la pendiente son fácilmente distinguibles. Los arroyos forman rápidos en la mayor parte de sus cauces, aunque hay algunos sitios donde se forman pequeñas caídas y cascadas, algunas de ellas de hasta cuatro metros

Se pueden concluir que hay diferentes tipos de formas de relieve, desde las laderas de las montañas, pie de monte y las partes más bajas como los llanos y aún las más hundidas como son las cañadas y barrancas que de manera general tienen una orientación de suroeste a noreste precisamente en orden descendente, a partir de la cabecera hasta su desembocadura.

Aunque ya no es parte de la región en estudio, esta unidad geomórfica básica de la cuenca del río Las Minas se prolonga hacia la llanura costera del Golfo de México. Forma obviamente lomeríos y algunos acantilados de paredes casi verticales, entre los cuales se ubican cañadas y barrancas notables. A lo largo de los cauces tienen declives marcados por lo que el río principal forma rápidos e incluso dos cascadas notables.

La parte más alta de la cuenca es la cumbre del volcán Cofre de Perote, la más baja es el punto terminal del trabajo. Hay 6 elevaciones localizadas en el área de la cuenca, la de mayor altura es el volcán Cofre de Perote (4 282 msnm); el cerro de menor altura y también el único localizado en el interior de la cuenca, es el llamado La Tolve (2 220 msnm). Más de una quinta parte de la cuenca está ocupada por la unidad básica de relieve Llanos de Perote, la menor de esas unidades es la de las Laderas orientales del cerro Amolucan situada hacia el noroeste de la cuenca. La de mayor inclinación es la unidad de Lomeríos cañadas y barrancas septentrionales. Mas de la mitad del área de la cuenca está situada entre los 2 600 y los 2 200 msnm. La mayor parte de la superficie de la cuenca tiene pendientes de 6° a 1°30'. Los menores desniveles ocupan las tres cuartas partes del área total. La cuenca del río Las Minas está en una etapa de equilibrio erosivo. Los lugares con mayor tendencia a la erosión se ubican entre 4 282 y 3 200 msnm, equivalentes a un ocho por ciento del área total.

CAPITULO 3

GEOLOGIA

3.0 Generalidades

Un aspecto muy importante a considerar en el estudio de la cuenca del río Las Minas es lo referente al aspecto litológico ya que constituye el sustento sobre el que se fundamenta la cubierta de suelo y de la vegetación y lo que determina la infiltración y recarga de los acuíferos subterráneos.

Tomando en cuenta las características litológicas predominantes en esta región donde coinciden las laderas occidentales de la Sierra Madre Oriental y la terminación de la zona de la Cordillera Volcánica Transmexicana, la región de estudio está constituida por varios tipos de coberturas superficiales. De acuerdo con su edad hay tres tipos de rocas: ígneas extrusivas del Terciario Superior y Cuaternaria y en menor cantidad rocas sedimentarias del Cretácico Inferior.

Para elaborar el mapa geológico de la cuenca se consideró la información litológica que existe únicamente en las cartas geológicas en escala 1: 50 000 publicadas por CETENAL. Con el fin de complementar la información geológica y poder incluir edades de las rocas, se consultó también la carta geológica E14-3 Veracruz, en escala 1: 250 000 del INEGI.

Los datos de la región correspondiente a la cuenca del río Las Minas se trasladaron al mapa en escala 1: 50 000, de tal modo que la información de ambos mapas, permitió tener una mejor y más amplia visión de la región. Una vez puesta la información en el mapa se procedió a medir las áreas planimétricas correspondientes a cada tipo de roca y con base en ellas, se elaboró la tabla 4.

En el presente trabajo no se incluye lo concerniente a las estructuras geológicas internas, las formaciones locales ni los datos estratigráficos, ya que no forman parte del objetivo del mismo. No obstante lo anterior, se puede afirmar que: “El origen geológico del volcán Cofre de Perote data del Mioceno o Plioceno, formado en un solo período de erupciones y dependiendo de un foco volcánico importante. Aunque en la actualidad no existe una cavidad cratérica completa, se cree que los precipicios al sur y suroeste de La Peña constituyen la pared occidental del cráter, y que las restantes se perdieron a causa de las explosiones (Ordóñez, 1906, citado por Navare, 1985: 36-37).

“Las rocas de este volcán tienen una composición mineralógica y una estructura constantes y uniformes. En la base de toda la construcción hay rocas cretácicas y sobre las mismas se encuentra un grueso manto de material cinerítico y de rocas riolíticas. Está constituido por rocas ígneas como basaltos y tobos de constitución basáltica y andesítica, cuya edad varía del Cenozoico Superior volcánico al reciente. En menor proporción existen areniscas, pizarras calcáreas y calizas del Cretácico (SARH, 1993: 5).

3.1 Litología de la cuenca

Se considera necesario conocer las características de los tipos de roca, el área y la proporción que cubren cada una de ellas, para comprender los diversos aspectos del comportamiento hidrológico superficial y las posibilidades de agua subterránea en la cuenca del río Las Minas. Las unidades litológicas localizadas en la región de estudio son rocas ígneas extrusivas con el noventa y tres por ciento del área total, y el siete por ciento restante es de rocas sedimentarias; éstas últimas localizadas en la parte noreste de la cuenca, incluido el punto terminal de la cuenca.

TABLA 4
UNIDADES LITOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO LAS MINAS

Período	Tipo de roca	Área (km ²)	Área (%)
Cuaternario (Q)	Igneas		
	· Basalto (B)	15.9	7.8
	· Brecha volcánica básica (Bvb)	0.4	0.2
	· Toba ácida (Ta)	45.1	22.2
	· Toba básica (Tb)	0.8	0.4
Terciario Superior (Ts)	· Andesita (A)	47.2	23.3
	· Basalto (B)	6.7	3.3
	· Brecha volcánica intermedia (Bvi)	39.2	19.3
	· Toba intermedia (Ti)	33.5	16.5
Cretácico Inferior (Ki)	Sedimentarias		
	· Caliza (Cz)	14.2	7.00
Total		203.0	100

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (1984). Carta geológica Veracruz, 1:250 000

La tabla 4 muestra los tipos de rocas localizados en la cuenca, estos están enlistados en función de los periodos geológicos donde se originaron. Así puede apreciarse que el tipo más abundante es la toba ácida y la andesita, aunque ambas no cubren el 50% de la cuenca; las que tienen menor cobertura son la brecha volcánica básica y la toba básica.

3.1.1 Rocas ígneas

El grupo de roca predominante en la cuenca es ígnea, las más abundantes son las del Terciario superior que incluyen andesita, brecha volcánica intermedia, toba intermedia y basalto; ellas ocupan un área de 126.6 km² equivalentes al 62.4%. Las rocas del Cuaternario son toba ácida, basalto, toba básica y brecha volcánica básica; cubren un área de 62.2 km², o sea el 30.6%. Enseguida se mencionan las características generales de cada uno de los tipos de roca ígneas y el área que ocupan.

3.1.1.1 Andesita (A).

Roca extrusiva intermedia (Igei) de textura de grano fino compuesta por plagioclasas sódicas. Compuesta en un 75% de feldespatos plagioclasa y el 25% de silicatos ferromagnesianos (Leet-Judson, 1977).

Es la roca de mayor abundancia con 47.2 km² de superficie cubierta equivalente al 23.3 % del total; se localiza en el centro y sur de la cuenca, desde la cabecera de la misma (4 282 msnm) hasta aproximadamente 2 500 msnm, abarca las Laderas altas del volcán Cofre de Perote, un poco menos de la mitad de Pie de monte superior, aproximadamente la mitad de las Laderas de la subcuenca Tenexpanoya, la porción sureste de los Llanos de Perote y un área pequeña de Pie de monte inferior.

Esta cubierta litológica tiene muchos fracturamientos y facilita la infiltración del agua. Sin embargo, es en este tipo de roca en donde se presenta el mayor número de segmentos cauce, 119, de toda la cuenca, la mayor parte de ellos son de primer orden y los tres cauces de cuarto orden localizados en esa región se desarrollan sobre este estrato de roca.

Puede suponerse que muchos cauces se desarrollaron a lo largo de las fracturas y constituye una región de recarga de los acuíferos. El poblado El Progreso y el ejido Veinte de Noviembre están situados sobre esta unidad litológica, la cual constituye un material consolidado con bajas posibilidades de tener aguas subterráneas. La andesita forma la grande estructura volcánica del Cofre de Perote y también del cerro Colorado situado a 2 800 msnm en la divisoria oriental.

3.1.1.2 Basalto (B).

Roca extrusiva básica (Igeb), la más común de las rocas extrusivas, es de origen volcánico de color negro o verdoso, de grano fino muy dura, compuesta principalmente de feldespato y piroxeno, a veces de estructura prismática. Los feldespatos plagioclasa y los silicatos ferromagnesianos lo constituyen en partes iguales. Los dos tipos de basalto localizados en la región de estudio, cubren 11.1 % del área total (22.6 km²).

Basalto del Cuaternario

En la cuenca cubre un área de 15.9 km², equivalente a un poco menos del ocho por ciento. Hay principalmente dos porciones, la menor de 4.52 km² de área, se localiza desde 2 640 msnm hasta 2 400 msnm situadas en la margen oriental formando la base junto con la toba intermedia, del poblado Las Vigas de Ramírez, sobre la unidad de Pie de monte inferior. Hay un número reducido de cauces, debido al tamaño del área considerada: cuatro de primer orden, dos de segundo y un tramo de dos kilómetros del arroyo Tenexpanoya de cuarto orden.

El basalto en su mayor porción se localiza en el norte de la cuenca, cubre un área de 11.12 km² con altitudes que van desde 2 440 msnm hasta los 1 800 msnm. Está ubicada en cuatro de las siete Unidades básicas de relieve en pequeñas porciones que son de mayor a menor: Llanos de Perote, Laderas orientales del cerro Amolucan, Pie de monte inferior y Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales.

El material sobre el que está asentada esta unidad litológica es consolidado con bajas posibilidades de aguas subterráneas. En cuanto a la red hidrográfica en esta región, por ser la más extensa, se observa un mayor número de cauces de todos los órdenes, y se localizan también los sitios donde estuvieron instaladas dos estaciones hidrométricas: El Puerco sobre el cauce del arroyo Valsequillo a 300 metros de su confluencia con el arroyo Puerco y la estación Romerillos situada a un kilómetro de su unión con este último arroyo.

Basalto del Terciario Superior

Dividido en dos porciones: la mayor en el centro norte y la menor en el extremo norte, ambas sobre material consolidado con bajas posibilidades de aguas subterráneas. El área cubierta por este tipo de roca es de 6.7 km² equivalentes al 3.3 % del total del área.

Este material esta situado principalmente sobre los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales y una pequeña porción en el Pie de monte inferior. Se desarrolla un gran número de segmentos cauces, treinta y cuatro de ellos son de primer orden y circulan tramos de los arroyos Tenexpanoya, Frío y Churrero los de mayor importancia en la cuenca.

El cerro interior llamado La Tolva, que tiene 2 220 msnm se localiza a medio kilómetro al noroeste de la estación hidrométrica El Sauce. La población de Rinconada se ubica al centro de esta región y en la porción del extremo norte está el poblado Carboneras.

3.1.1.3. Brechas

Roca constituida por fragmentos angulosos compactados y cimentados producto de las más violentas explosiones de una erupción volcánica. Tiene los bordes agudos y el tamaño medio de los clastos es mayor de cuatro milímetros. Considerando los dos tipos de brecha volcánica que hay en la cuenca del río Las Minas, el total es de 39.6 km² equivalentes al 19.5 % de la superficie total.

Brecha volcánica intermedia

Brecha andesítica con predominancia de plagioclasas sódicas. El área que cubre en la cuenca es de 39.2 km², equivalente al 19.3%. Se localiza este tipo de estrato litológico en altitudes de 3 340 hasta 2 580 msnm. Sus afloramientos están cerca de las faldas del volcán Cofre de Perote, aproximadamente en la parte media del Pie de monte superior y las Laderas de la subcuenca Tenexpanoya.

Como en el caso de la roca andesita, hay 107 cauces, de los cuales ochenta y seis son de primer orden y trece de tercer orden, aquí inician cuatro de ellos y también el arroyo Tenexpanoya de cuarto orden inicia un kilómetro de su recorrido. Está situado sobre material consolidado con posibilidades bajas de aguas subterráneas.

Sobre este tipo de material litológico se localizan las siguientes poblaciones: al norte San Isidro, Veinte de Noviembre, Vidal Díaz Muñoz Cruz Blanca, El Manzanal y Manzanillo; por el oriente El Llanillo, al centro Los Pescados, y al sur Benito Juárez, Tejerías y El Conejo. Por la divisoria oriental, están ubicados, los dos cerros con mayor altura de la cuenca: El Molinillo (3 140 msnm) y Puerto de Veracruz (3 100 msnm).

Brecha volcánica básica (Bvb).

Brecha basáltica con predominancia de plagioclasas calcáreas y presencia de ferromagnesianos. Se le ubica en cerros y lomeríos. Es el tipo de roca de menor extensión en la cuenca, con 0.4 km² de superficie, 0.2% del área total. Situada en altitudes desde 2 740 msnm hasta 2 640 msnm sobre material consolidado con posibilidades bajas de aguas subterráneas y cubriendo una menor área, sobre material no consolidado con posibilidades bajas. Asentada sobre la unidad Laderas de la subcuenca Tenexpanoya, y sobre ésta roca se desplaza un tramo de la corriente del arroyo del mismo nombre.

3.1.1.4 Tobas (T).

Roca ígnea extrusiva piroclástica (Ige) formada de material volcánico suelto, consolidado de diferentes tamaños (en su mayoría menor de 4 mm de diámetro) y composición mineralógica (ceniza volcánica, arenas, lapilli, bombas, etc.). Los tres tipos de tobas localizados en la cuenca: ácida, intermedia y básica, suman un total de 39.1% equivalentes al 79.4 km² del área total.

Toba ácida (Ta).

Toba riolítica con predominancia de feldspatos alcalinos, cuarzo abundante, plagioclasas sódicas. Son localizadas por lo general, sobre los cauces de los ríos, en áreas con pendiente suave o al pie de la sierra.

En proporción semejante a la andesita con 45.1 km² equivalentes al 22.2 % del área total, se ubica hacia el lado noroccidental, ocupa casi la totalidad de la unidad de Llanos de Perote, y más de la mitad del lado occidental de la unidad de Laderas del cerro Amolucan y una pequeña porción de Pie de monte inferior, incluye altitudes de 2 420 msnm hasta 2 300 msnm. Sobre este tipo de roca es donde hay un menor número de cauces, ya que en esta unidad litológica se muestra una red hidrográfica muy escasa, debido a la gran infiltración del agua y a la eliminación del escurrimiento superficial.

El arroyo Churrero de cuarto orden atraviesa los Llanos de Perote en un tramo de cauce de dos y medio kilómetros. Hay cuatro cauces de primer orden que inician en el extremo norte sobre las Laderas del cerro Amolucan. El río Nenecillo de segundo orden que mide tres y medio kilómetros, circula sobre un tramo de dos kilómetros de este tipo de roca.

Coincide la presencia de la toba ácida con el total del material consolidado con posibilidades altas de aguas subterráneas y la mayor parte (92.6%) del material no consolidado. Sin embargo hay posibilidades bajas de aguas freáticas en el extremo noroeste abarcando la región de las Laderas orientales del cerro Amolucan (2 540 msnm), situado en la línea divisoria occidental a dos kilómetros aproximadamente al noroeste del poblado Libertad, a dos y medio kilómetros al sureste de Cerro De León, al extremo occidental, Magueyitos.

Toba intermedia (Ti)

Toba andesítica con predominancia de plagioclasa sódicas encontradas en los lomeríos suaves. El área cubierta por este tipo de roca es de 33.5 km², esto equivale al 16.5% del área total. Se localiza en altitudes que van desde 2 700 msnm hasta 2 000 msnm en la parte central de la cuenca, en porciones menores de las Unidades: Pie de monte superior, de Llanos de Perote, de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, así como la mayor parte de Pie de monte inferior.

Los cauces localizados en los Llanos de Perote, son escasos, forman parte de la subcuenca del río Puerco; por el lado oriental de este tipo de roca es donde hay un mayor número de cauces, la atraviesan en tres y medio kilómetros. de su trayectoria, el arroyo Frío y dos kilómetros de la corriente del arroyo Tenexpanoya.

Sobre este tipo de roca se localizan la carretera federal número 140 Xalapa-Perote y la mayor extensión de la línea ferroviaria, excepto los dos kilómetros. de la divisoria occidental que están asentadas sobre toba ácida. También estuvieron instaladas dos estaciones hidrométricas: el Sauce y Tenexpanoya, ambas formando parte de la subcuenca del arroyo Tenexpanoya. En su mayor parte sobre material consolidado con posibilidades bajas de aguas subterráneas y en la parte occidental sobre material con altas posibilidades.

Toba básica (Tb).

Toba basáltica con predominancia de plagioclasas calcáreas y presencia de ferromagnesianos. El área cubierta por este tipo de roca es de 0.8 km², equivalente al 0.4% del área total. Situada en altitudes desde 2 260 msnm hasta 1 400 msnm sobre material no consolidado con bajas posibilidades de aguas subterráneas, con coberturas similares.

Esta unidad se localiza en los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, no se distingue ninguna población ni elevación en el área muy reducida aunque sí son apreciables dos corrientes largas de primer orden y dos elevaciones situadas a 2 200 msnm en el extremo noreste.

3.1.2 Rocas sedimentarias

El único tipo de rocas de este grupo es la caliza del Cretácico Inferior (Ki). Aunque son las menos abundantes en la cuenca tienen mucha importancia debido a que son áreas de recarga de acuíferos. Es conveniente relacionar su presencia con el tipo de suelos y de vegetación en las regiones donde se localiza. El área que ocupa este grupo de roca es de 14.2 km² equivalentes al 7% del total.

3.1.2.1 Caliza (Cz).

Roca química formada a partir de la precipitación del sulfato de calcio en solución contenida en medios acuosos. Las sierras altas y alargadas asociadas a la Sierra Madre Oriental en la porción noroeste, presentan este tipo de roca sedimentaria. Se localiza en las partes más bajas de la cuenca con altitudes de 2 300 msnm hasta 1 800 msnm, sobre materiales consolidados con bajas posibilidades de aguas subterráneas y una mínima parte de material no consolidado en el extremo norte de la cuenca.

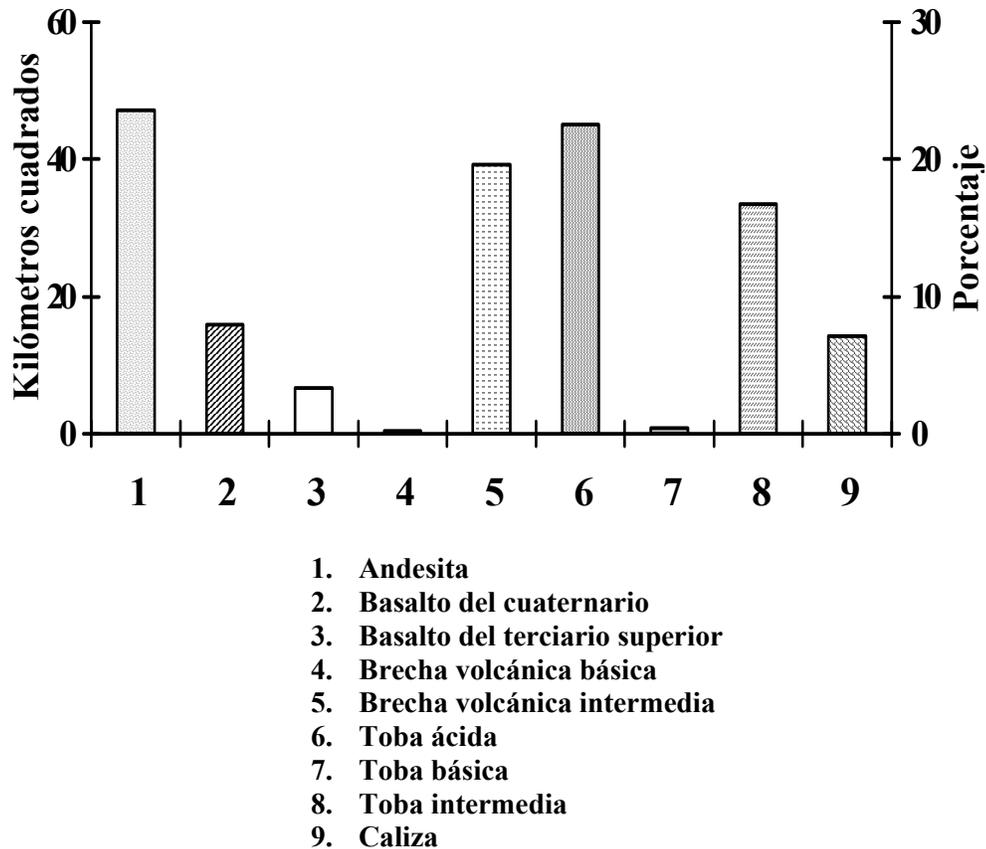


Figura 10. Áreas y porcentajes de las unidades litológicas en la cuenca del río Las Minas, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (1984). Carta geológica Veracruz, 1:250 000

La figura 10 permite apreciar la superficie cubierta por los nueve tipos de rocas localizados en la cuenca. Las columnas número uno (Andesita) y seis (Toba ácida) presentan áreas muy semejantes: de 47.2 y 45.1 km². Las columnas numeradas con cinco (Brecha volcánica intermedia) y ocho (Toba intermedia) también presentan similitud de 39.2 y 33.56 km², las de Basalto Q (número dos) y Caliza (número nueve) tienen proporciones semejantes: 15.9 y 14.2 km².

Las unidades señaladas con los números cuatro (Brecha volcánica básica) y siete (Toba básica) son poco perceptibles debido a que presentan bajos valores, en suma apenas rebasan el kilómetro cuadrado; el Basalto del Terciario superior también cubre un área menor de 6.7 km².

Hay aproximadamente cincuenta cauces de primer orden, es la región de confluencia de las tres subcuencas de cuarto orden en la cuenca, de los arroyos Tenexpanoya, Frío y Puerco. Sobre este tipo de material estaban situadas tres estaciones hidrométricas: Las Animas, Borregos y en el punto terminal del trabajo, la de Trinidad y Minas. Las tres estaban alineadas al curso del río Las Minas. Hacia el oriente se distinguen dos poblaciones: Zomelahuacan y Tenexpanoya y al centro Las Minas.

En la cuenca del río Las Minas se localizan tres tipos de rocas: ígneas extrusivas cubriendo una superficie del 93% y las rocas sedimentarias ocupando un 3% del área total. El grupo de roca predominante es ígnea y de ella el tipo más abundante es la andesita con 47.2 km² de superficie (23.3%) y la toba ácida con 45.1 km² de área (22.2%). La andesita presenta muchos fracturamientos y esto facilita la infiltración, y forma también, la estructura del volcán Cofre de Perote y del cerro Colorado. La toba ácida permite una red hidrográfica muy escasa debido a su gran infiltración y la eliminación del escurrimiento superficial.

La caliza es el único tipo de roca sedimentaria con 14.2 km² equivalente al siete por ciento del área total, pero de suma importancia ya que representa áreas de recarga acuífera. En cuanto al tiempo geológico se distinguen el Terciario Superior (Ts), el Cuaternario (Q) y el Cretácico Inferior (Ki). El primero de estos abarca una mayor área con 126.6 km² equivalentes al 62.4% de la superficie total.

CAPITULO 4

EDAFOLOGIA

4.0 Generalidades

El suelo es una capa delgada, “producto de la alteración física y química de las rocas. Comprende varios horizontes diferenciados por el grado de alteración y que va disminuyendo hacia la profundidad” (Balanzario, 1974).

“El término suelo se deriva del latín solum que significa piso o terreno. En general el suelo se refiere a la superficie suelta de la tierra para distinguirlo de la roca sólida... incluye... también a las rocas, el agua, la materia orgánica y formas vivientes, y aún el aire, materiales y sustancias que intervienen directa o indirectamente en el sostenimiento de la vida de las plantas” (Ortíz-Villanueva, 1977).

La constitución mineral de las capas litológicas, así como su disposición afectan a la distribución de las aguas, tan indispensables para el hombre y sus actividades; así también para los animales que sustentan la tierra y para la absorción de los despojos de la vida que recibe. Se consideran dos puntos de vista en el estudio de los suelos: por una parte, el litológico según el cual, el suelo es producto de la descomposición de las rocas de la corteza, y el biológico que lo conceptúa como una acumulación de sustancias que permiten y resultan de la vida vegetal y animal.

Por lo anterior se considera que los suelos tienen una relación muy estrecha con la litología del lugar, con el tipo de vegetación y con algunos aspectos de la infiltración del agua. Es pues necesario tomar en consideración en el estudio de la cuenca del río Las Minas, lo referente a la cubierta de suelos, ya que influye en el desarrollo de la red hidrográfica.

La distribución geográfica de las unidades del suelo dentro de la cuenca tiene correspondencia espacial con los tipos de roca, de manera independiente de la antigua teoría edafológica de suelos zonales y azonales. Por ejemplo, el territorio que existe a lo largo de una corriente en la porción del norte de la cuenca correspondiente con la parte más baja e inclinada, presenta rocas sedimentarias calizas del Cretácico Inferior, las cuales están cubiertas por una capa constituida por una combinación de andosol húmico, andosol órtico y luvisol crómico de clase textural media.

Este aspecto es lógico ya que toda la parte alta y media de la cuenca está constituida por materiales de origen volcánico que por efectos gravitatorios y la erosión fluvial los han acarreado y depositado en estos lugares. Además debe tenerse presente que los andosoles usualmente son suelos de formación reciente y pueden situarse generalmente, sobre cualquier tipo de roca.

En referencia al Parque Nacional Cofre de Perote, “los suelos, según su textura se consideran los siguientes tipos: franco, franco-arenoso y arcilloso-arenoso. Por su color se clasifican como: grises, café y café oscuro, negro claro y gris oscuro. Los suelos predominantes son los arenosos de color grisáceo amarillento profundos a medios (100 a 200 centímetros) con baja capacidad de retención de humedad, permeabilidad rápida, fácilmente erosionables y con una fertilidad de mediana a baja” (SARH 1993)

4.1 Principales tipos de suelos en la cuenca del río Las Minas

Las unidades de suelo localizadas en la cuenca se enlistan ordenadas alfabéticamente y son las siguientes:

Andosoles (T). Literalmente tierra negra. Son suelos que se han formado a partir de cenizas volcánicas. En condiciones naturales tienen vegetación de pino, abeto y encino. Se caracterizan por tener una capa superficial de color negro o muy oscuro (en ocasiones de color claro). Por ser suelos esponjosos o muy sueltos, son muy susceptibles a la erosión y son ricos en materia orgánica con alto contenido de ceniza y otros materiales de origen volcánico.

En la cuenca se presentan dos variedades:

Andosol húmico (Th). Andosol con una capa superficial algo gruesa, oscura pero con terrones muy duros cuando están secos. Rica en materia orgánica pero muy ácida y muy pobre en nutrientes.

Andosol órtico (To). Andosol muy limoso o arcilloso a menos de 50 cm de profundidad tienen una capa superficial clara y pobre en materia orgánica y nutrientes.

Fluvisol (J). Literalmente suelo de río. Caracterizado por estar formado siempre de materiales acarreados por agua, son suelos muy poco desarrollados, pueden ser someros o profundos, arenosos o arcillosos, fértiles o infértiles, en función del tipo de materiales que lo forman. La vegetación que presentan varía desde selvas hasta matorrales y pastizales, y algunos tipos de vegetación son típicos de estos suelos como los ahuehuetes, ceibas o sauces. En el área de la cuenca se localiza un tipo de fluvisol: **Fluvisol calcárico (Jc).** Se caracterizan por contener cantidades altas de cal en toda la superficie, o cuando menos en algunas partes no muy profundas. Por lo general tienen suficientes nutrientes.

Litosol (I). Literalmente suelo de piedra. Suelo muy somero (menos de diez centímetros de espesor) desarrollado a partir de una roca que puede ser basalto, es el caso de la cuenca en estudio, infértiles localizados en pendientes abruptas o rocosas donde no hay acumulación de materiales. La susceptibilidad a erosionarse depende de la región donde se localizan, y puede ser moderada hasta muy alta. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre.

Luvisol (I). Literalmente suelo lavado. Son suelos con mucha arcilla acumulada en el subsuelo, son frecuentemente rojos o claros, aunque los hay pardos grises, sin ser muy oscuros. Se usan en México con fines agrícolas y rendimiento moderados, con pastizales cultivados o inducidos pueden dar buenos rendimientos en la ganadería. El uso forestal de estos suelos es muy importante, y sus rendimientos muy altos. Son suelos de susceptibilidad alta a la erosión. En la cuenca se localiza un tipo de luvisol: el **Luvisol crómico (Lc)**, aquel que cuando está húmedo es de color pardo oscuro a rojizo. Presentan colores rojos o amarillentos en el subsuelo, son de fertilidad moderada.

Regosol (R). Connotativo de la capa de material suelto que cubre a la roca. Se caracterizan por no presentar capas distintas. Son claros en general y se parecen bastante a la roca que tienen debajo, cuando no son profundos, son suelos sin estructura y de fertilidad y textura variable. Son de susceptibilidad variable a la erosión, en la cuenca se localizan dos tipos de regosoles: **Regosol calcárico (Rc).** Son suelos ricos en cal a menos de cincuenta centímetros de profundidad, son los regosoles más fértiles y **Regosol eútrico (Re).** Regosol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes, de fertilidad moderada o alta.

La **fase física lítica profunda (FFLP)** se refiere a cualquier obstáculo físico como las rocas, gravas, piedras, etc., que impidan el apropiado uso del suelo o de maquinaria agrícola. Entre más cercana esté la fase con respecto a la superficie, se considera más problemática. Es un tipo de suelo con rocas duras entre cincuenta y cien centímetros de profundidad.

La clase textural indica cuál de las partículas del suelo (arena, limo o arcilla) domina en los treinta centímetros superficiales del suelo. La **clase textural gruesa** (indicada con el número uno) señala suelos con mucha arena en los treinta centímetros superficiales.

La **clase textural media** (señalada con el número dos) indica suelos con equilibrio de arcilla, limo y arena en los treinta centímetros superficiales.

TABLA 5

UNIDADES DE SUELO DE LA CUENCA DEL RIO LAS MINAS			
	Unidad de suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
I/2	Litosol de clase textural media	1.3	0.6
Re+Rc+Jc/1	Regosol eútrico, regosol calcárico y	44.7	22.1
Th+To/2	Andosol húmico y andosol órtico clase textural media	25.8	12.7
Th+To/2 FFLP	Andosol húmico y andosol órtico clase textural media fase física lítica profunda	11.1	5.4
Th+Lc/2	Andosol húmico y luvisol crómico clase textural media	1.1	0.5
Th+To+Lc/2	Andosol húmico, andosol órtico y luvisol crómico de clase textural media	28	13.8
To/2	Andosol órtico de clase textural media	11.5	5.7
To+Th/2 FFLP	Andosol órtico y andosol húmico clase textural media fase física lítica profunda	69.8	34.4
To+Re/2 FFLP	Andosol órtico y regosol eútrico clase textural media fase física lítica profunda	9.7	4.8
Total		203	100

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (1984). Carta edafológica Veracruz, 1:250 000

La tabla 5 resume los tipos de suelos localizados en la cuenca, de ellos, el Andosol órtico y andosol húmico de clase textural media y fase física lítica profunda supera el treinta por ciento del área total y de manera opuesta, el Andosol húmico y Luvisol crómico, así como el Litosol ambos de clase textural media, en suma solo rebasan el kilómetro cuadrado de superficie.

4.2 Localización de las unidades de suelos

Dentro de la cuenca del río Las Minas se identificaron nueve unidades de suelo, estas se presentan agrupadas por los tipos de suelo y a continuación se describen:

1. Litosol de clase textural media (I/2) es de las unidades menos abundantes en la cuenca tiene 1.3 km^2 de superficie (0.6%) y se localiza hacia el este-noreste de la región, en las proximidades del poblado las Vigas de Ramírez.

2. Regosol eútrico y calcárico y fluvisol calcárico (Re + Rc +Jc/1) está ubicado hacia el noroeste, ocupa la superficie de los poblados más importantes localizados en la cuenca: Magueyitos, Villa Aldama, Cerro de León, Sierra de Agua y Los Molinos; en un área de 44.7 km^2 , equivalentes a un 22.1% del total; la segunda unidad que está mas extendida en el área de estudio.

3. Andosol húmico y órtico (Th+To/2) está distribuido hacia el nornoroeste y en menor porción hacia el noreste, ocupan un total de 25.8 km^2 (12.7% del área total).

4. Andosol húmico y órtico de fase física lítica profunda (Th + To/2 FFLP) ocupa un área de 11.2 km^2 equivalente al 5.4% del total, se localiza en el límite del parteaguas oriental en pequeñas porciones.

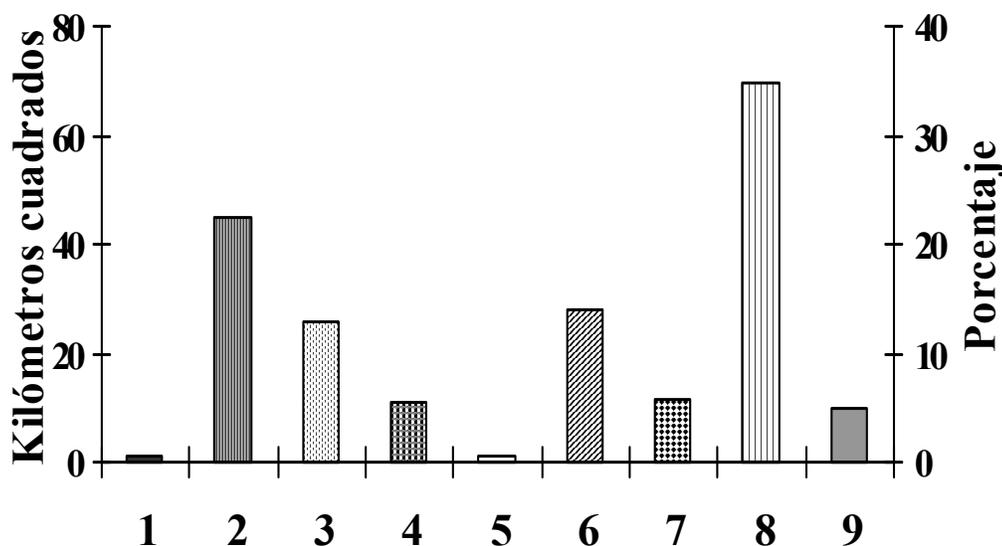
5. Andosol húmico y luvisol crómico de clase textural media (Th +Lc/2) el de menor extensión, está localizada en el extremo nornoroeste, ocupa un área de 1.1 km^2 (0.5%).

6. Andosol húmico y órtico y el luvisol crómico (Th + To + Lc/2) ocupa toda la región norte, donde se localizan las regiones más bajas de la cuenca, de 1 400 hasta 2 200 msnm. Incluye el punto terminal y el poblado Las Minas, tiene un área ocupada de 27.9 km^2 , que corresponde al 13.8% del total.

7. Andosol órtico de clase textural media (To/2) ocupa 11.5 km^2 , equivalentes al 5.7% del total, se localiza en el sureste de la región.

2. Andosol órtico y húmico (To + Th/2 FFLP) situada en la parte central de la cuenca y hacia el centro-oeste, cubre un área de 69.8 km^2 , equivalente al 34.4% de la superficie total, es la unidad de mayor extensión en la cuenca.

9. Andosol órtico y regosol eútrico (To + Re/2 FFLP) se ubica en el extremo sur, donde está la cabecera de la cuenca y un área de 9.7 km^2 que corresponde al 4.8% del total.



1. Litosol clase textural media
2. Regosol eútrico, calcárico y fluvisol calcárico /1
3. Andosol húmico y órtico /2
4. Andosol húmico y órtico /2 FFLP
5. Andosol húmico y luvisol crómico /2
6. Andosol húmico y órtico, luvisol crómico /2
7. Andosol órtico clase textural media
8. Andosol órtico y húmico /2 FFLP
9. Andosol órtico y regosol eútrico /2 FFLP

Figura 11. Áreas y porcentajes de las unidades de suelo en la cuenca del río Las Minas, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (1984). Carta edafológica Veracruz, 1:250 000

La figura 11 muestra las nueve unidades de suelo localizadas en la cuenca del río Las Minas, están plasmadas en el orden presentado en la tabla 5 y permite apreciar que la unidad 8 (To +Th/2 FFLP) es la mas abundante y supera en mas del 10% a la unidad número 2 (Re + Rc + Jc/1).

Las unidades 3 (Th + To/2) y 6 (Th + To + Lc/2) tienen una diferencia entre sí menor a 1%; por otro lado hay similitud entre las unidades 7 (To/2), 4 (Th + To/2 FFLP) y 9 (To + Re/2 FFLP) con áreas muy parecidas: 5.7, 5.4 y 4.8% respectivamente. Las menos representativas son las unidades 1 (l/2) y 5 (Th +Lc/2) con 0.6% y 0.5% cada una.

4.3 Relación : Unidades de suelos – Litología - Vegetación

Es muy importante relacionar los tipos de suelo con las unidades litológicas ya que estas explican en buena medida, la existencia de los primeros, y la presencia de la vegetación como consecuencia de la combinación de las unidades de suelo y litológicas. Cuando no hay concordancia entre una y otra unidad puede inferirse la presencia de la actividad humana para modificar considerablemente, en muchas de las veces, las relaciones naturales entre los elementos naturales.

Para el caso de la cuenca, el litosol situado sobre basalto y andesita, sustenta bosques de pino con vegetación secundaria arbórea y bosque de pino (abeto) y una pequeña área de agricultura de temporal de cultivo anual (maíz, frijol) y permanente (manzana y ciruela).

La unidad de regosol eútrico-calcárico y fluvisol calcárico está situada en su mayor extensión sobre rocas de toba ácida y en el extremo norte hay basalto y al sur toba intermedia. En su mayor parte sustenta agricultura de temporal de cultivo anual (maíz, avena y papa), también bosques de pino en el extremo norte y centro-este. Hay pastizal inducido en una pequeña región de agricultura de temporal de cultivo anual (maíz) y permanente (manzana y maguey pulquero).

El andosol húmico-órtico se desarrolla sobre rocas basálticas del Cuaternario, también con toba ácida y en el extremo sur, toba intermedia. Hacia el extremo noreste de la cuenca se ubica la menor porción de este tipo de suelo sustentado en toba intermedia (Terciario Superior) y basalto (Cuaternario).

En el sur, en la divisoria oriental, hay tres reducidas áreas ubicadas sobre rocas andesíticas y brecha volcánica intermedia (TS) que sustenta bosque de pino, agricultura de temporal (papa) y pastizal inducido. El andosol húmico-órtico de fase física lítica profunda, se ubica sobre roca de brecha volcánica intermedia y una muy pequeña porción en el sur de esta región tiene andesita, el tipo de vegetación y uso del suelo es de agricultura de temporal (maíz, papa, haba y avena); en el extremo norte hay pastizal inducido y bosque de pino hacia el este.

La mayor superficie de pastizal inducido esta sobre este tipo de suelo, en menor proporción la agricultura de temporal (con maíz, avena y papa); pequeñas porciones de pino, bosque mesófilo de montaña y bosque de pino-encino, distribuidos en diferentes lugares de la región y en el extremo noreste una región de agricultura de temporal de cultivo anual con maíz, frijol, y permanente con manzana y ciruela.

El andosol húmico y luvisol crómico están situados sobre toba ácida y sustentan agricultura de temporal de cultivo anual con maíz, avena y papa. El andosol húmico-órtico y luvisol crómico de fase física lítica profunda, se ubica sobre rocas calizas del Cretácico Inferior; en el extremo norte y sur hay basalto del Terciario Superior y en el extremo norte hay una pequeña porción de toba básica y toba intermedia en el límite sur de esta zona y hay basalto del Cuaternario en el extremo oeste. Los bosques mesófilo de montaña y mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbórea ocupan la mayor extensión, con una menor área, agricultura de temporal (frijol, maíz) y permanente (pera y aguacate) y del lado occidental hay tres pequeñas porciones de pastizal inducido.

El andosol órtico localizado en el sureste de la cuenca se sitúa totalmente sobre un estrato de brecha volcánica intermedia del Terciario Superior y el pastizal inducido lo cubre en su mayor parte. Otra porción es de agricultura de temporal de cultivo anual con maíz, papa, haba y avena y dos porciones menores son de bosque de pino (oyamel).

La unidad de suelos formada por el andosol órtico y húmico ocupa la mayor parte del estrato rocoso de andesita, toba intermedia y brecha volcánica intermedia (Terciario Superior) y sustentan bosques de pino, agricultura de temporal (maíz, haba, papa y avena). En el extremo norte hay agricultura de temporal de cultivo anual como maíz y frijol; permanente con cultivos de manzana y ciruela y del lado occidental hay un área pequeña (0.85 km²) cubierta de bosque de pino-encino; y en el lado oriental se localizan bosque de pino de vegetación secundaria arbórea y pastizal inducido, en el extremo suroeste el bosque de oyamel con un área pequeña de 0.26 km².

El andosol órtico y regosol eútrico ocupa un estrato de andesita y en la región norte hay brecha volcánica intermedia que sustentan agricultura de temporal de cultivo anual y permanente (maíz, papa, haba y avena) pastizal inducido, bosques de pino (abeto), de oyamel y pradera de alta montaña.

La unidad de suelo andosol es la que predomina en la cuenca, ocupa más del setenta por ciento del área total, se localiza casi en toda el área, excepto en el extremo noreste, en la unidad de Llanos de Perote, donde se localiza la unidad de suelos regosol y en una pequeña área del este, donde está el litosol. En cuanto a la clase textural, es notorio el predominio de la considerada como textura media en toda la cuenca, excepto en la región occidental que coincide con la unidad de los Llanos de Perote y una menor porción de las Laderas orientales del cerro Amolucan.

Los suelos influyen en el desarrollo de la red hidrográfica, para el caso de la cuenca del río Las Minas, los más extendidos son los andosoles en sus dos variedades: el andosol órtico y el andosol húmico. De ellos el más abundante es el andosol órtico y andosol húmico de clase textural media y fase física lítica profunda ($To + Th/2$ FFLP) ocupando una tercera parte de la superficie de la cuenca y localizados hacia el centro y centro oeste de la misma.

CAPITULO 5

USO DEL SUELO Y VEGETACION

5.0 Generalidades

La necesidad del hombre de obtener alimentos tanto de origen animal como vegetal, ha repercutido sobre el medio natural, tal es el caso de la cuenca de estudio, donde puede apreciarse que las unidades de uso del suelo agrícola coinciden con los núcleos de población de importancia en la región, tal es el caso de la localidad Las Vigas de Ramírez. Para el caso de la cuenca del río Las Minas, la agricultura de temporal de cultivo anual y permanente ocupa más de la mitad del área total y el pastizal inducido menos de la décima parte de la superficie.

5.1 El uso del suelo y vegetación en la cuenca.

La agrupación de las unidades de uso del suelo y vegetación se hizo considerando la establecida por el INEGI (mapa). Para efectos de presentación en la tabla y figura correspondiente, se ordenaron de acuerdo al tipo de actividad y de vegetación, se pueden distinguir diez de ellas y están enlistadas a continuación:

1. Agricultura de temporal de cultivo anual (TA).

Es el uso del suelo más extendido en la región de estudio, ocupa un área de 107.5 km², que representa más de la mitad de dicho espacio, con cincuenta y tres por ciento del total.

Los cultivos más importantes son: maíz, frijol, haba, papa, avena, maguey, aguacate y pera; los tres últimos, cultivos anuales permanentes. El cultivo anual está distribuido en la mayor parte de la cuenca, excepto en la región de la cabecera de la misma. La porción de mayor tamaño está ubicada en las unidades de Llanos de Perote y Pie de monte inferior y también en la mayor parte de las Laderas orientales del cerro Amolucan, formando un área continua en altitudes que comprenden desde 2 600 hasta 2 400 msnm.

Este tipo de agricultura se practica en poblaciones del norte como Zomelahuacan y Carboneras; en el extremo noroeste como en Libertad; en el noroeste como en Magueyitos, Villa Aldama y Cerro de León. También se localiza hacia el noreste en los poblados de La Mancuerna, Tenexpanoya y en el extremo noreste en San Miguel. Hacia el centro norte se distingue en Cruz Blanca y Benito Juárez. Por el centro oeste puede localizarse en los poblados Veinte de Noviembre y en el centro este en Tejerías. En el centro suroeste en Vidal Díaz Muñoz, al suroeste en El Progreso y hacia el sur de la cuenca en la población llamada El Conejo.

La cuenca del río Las Minas en su extremo norte, está insertada parcialmente en el área ocupada por el Parque Nacional Cofre de Perote. Es importante mencionar que en el área correspondiente al Parque, numerosas personas fundamentan su ingreso económico en el cultivo de la papa llamada *Solanum tuberosum* y esto ha ocasionado un desgaste y empobrecimiento del suelo, incrementándose el desmonte de importantes extensiones para seguir con esa actividad.

En la actualidad un tercio del Parque Nacional está ocupado para el cultivo de la papa, mientras que el resto es un área de pastoreo libre y de extracción de madera, casi en su totalidad se encuentra deteriorado en su vegetación y abandonado en cuanto a su vigilancia, aumentando día a día la crítica situación ecológica y social de la región (Gerez, 1994).

2. Agricultura de temporal cultivo anual y permanente (TAP).

Este tipo de agricultura comparada a la anterior, ocupa una reducida área, 10.9 km² de la cuenca, esto equivale a un 5.4% del área total. El tipo de cultivo es principalmente de maíz, frijol, maguey pulquero, manzana y ciruela. Se distinguen dos regiones de este tipo de cultivo: la mayor se localiza en el extremo norte y centro oriente, con altitudes desde 2 520 hasta 2 320 msnm y se realiza en poblaciones como Las Vigas de Ramírez, Casa Blanca, El Manzanal, Manzanillo, etc. Las unidades básicas del relieve que incluyen este tipo de agricultura son las de Pie de monte inferior en su mayor parte y una pequeña área de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. La menor área de este tipo de agricultura está localizada sobre los Llanos de Perote, en altitudes de 2 520 hasta 2 400 msnm y la única población que se puede apreciar es la nombrada Los Molinos.

3. Pastizal inducido (I).

Ocupa 18.2 km², esto equivale al 9% del área y se localiza en diferentes partes de la cuenca, una de ellas a una distancia de 1.3 km de la cabecera, ocupando la unidad de las Laderas altas del volcán Cofre de Perote (desde 3 780 hasta 3 460 msnm). La porción de mayor tamaño localizada al extremo sureste, desde los 3 160 hasta 2 880 msnm sobre la región de las Laderas de la subcuenca Tenexpanoya y Pie de monte superior. Se distingue también otra región hacia el norte de la cuenca, a los 2 400 msnm situada sobre los Llanos de Perote y en una mínima parte en Pie de monte inferior. La única población localizada en esta unidad es la de Carboneras, en el norte.

4. Bosque de Pino (P).

Esta unidad de suelo y vegetación ocupa un área de 39.4 km² equivalentes al 19.4% del área total, la mayor porción está ubicada hacia el centro y suroeste de la unidad de Pie de monte superior desde 3 660 hasta 3 080 msnm. Hacia el centro este se distingue el poblado de San Isidro y hacia el sureste, El Llanillo. La otra porción está situada al inicio de la divisoria oriental, desde 3 780 hasta 3 200 msnm. También se distinguen pequeñas áreas de este tipo de bosque en las Laderas orientales del cerro Amolucan y en los Llanos de Perote.

5. Bosque de pino (vegetación secundaria arbórea) (p).

El área que ocupa es de 3.3 km² esto equivale al 1.6% del total. Está situado hacia el este a quinientos metros de distancia del poblado Las Vigas de Ramírez. Se distingue una pequeña área bien definida en la colindancia de tres Unidades Básicas de Relieve: Pie de monte inferior, Pie de monte superior y Laderas de la subcuenca Tenexpanoya incluyendo altitudes desde 2 820 hasta 2 480 msnm.

6. Bosque de pino-encino (Pg).

Con una superficie de 2.6 km² le corresponde un 1.3% del área total y está localizado hacia el centro y norte en límite con el bosque mesófilo de montaña y separadas las dos partes de pino encino por la agricultura de temporal de cultivo anual permanente (TAP). Estas dos son las únicas áreas de este tipo de bosque, están situadas sobre la unidad de Pie de monte inferior en altitudes que van desde 2 400 hasta 2 320 msnm.

7. Bosque mesófilo de montaña (M).

Localizado en las partes más bajas de la cuenca, incluido el punto terminal, cubre una superficie de 14.9 km² equivalentes al 7.3% del área total. Ocupa la mayor parte de la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales y una pequeña área entre el Pie de monte inferior en su colindancia con el pastizal inducido, así como una muy reducida porción en el extremo norte en las Laderas orientales del cerro Amolucan. Las especies localizadas son de aile, encino, roble, pino u ocote, liquidámbar y jaboncillo. Esta unidad de bosque está bien definida en la región de estudio, se distingue hacia el norte de la cuenca, en altitudes desde 2 400 hasta 1 200 msnm.

8 Bosque mesófilo de montaña: Vegetación secundaria arbórea (m).

Ocupa un área de 5.1 km² equivalentes a un 2.5% del área total. Se pueden distinguir dos porciones: la mayor en el lado noroccidental, incluye los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, así como los Llanos de Perote y el Pie de monte inferior con altitudes que van desde 2 320 msnm hasta 1 600 msnm. La menor porción se localiza en el extremo noreste, totalmente situada sobre la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, con altitudes desde 2 200 hasta 1 780 msnm. Incluye las poblaciones de Zomelahuacan, Las Minas, Romerillos y Rinconada.

9. Bosque de oyamel (A).

Es el tipo de bosque menos abundante en la cuenca, ocupa 0.9 km² lo que representa el 0.4% de la superficie total, se localiza a 700 m de la cabecera y en un extremo hacia el suroeste bordeado por el bosque de pino, sobre la región de Laderas altas del volcán Cofre de Perote, con altitudes mínimas de 4 000 hasta 3 980 msnm. Cabe indicar que los dos últimos tipos de uso del suelo, por la superficie pequeña que ocupan no son representativos en la figura 12 y por ello no pueden apreciarse en la misma.

10. Pradera de alta montaña (Vw).

Está ubicada en la cabecera de la cuenca del río Las Minas, ocupando 0.2 km², equivalentes al 0.1% del total, es la unidad de suelo y vegetación de menor tamaño en toda la cuenca. Se sitúa en las Laderas altas del volcán Cofre de Perote en altitudes de 4 282 msnm la unidad localizada en la mayor altura de la cuenca, correspondiente a la cumbre del volcán citado, hasta 3 000 msnm.

La presencia de los bosques es reducida, en conjunto abarca 66.2 km² un área aproximada equivalente al 32.5 % esto considerando que el bosque de pino, el más abundante de ellos, ocupa 39.4 km² de superficie. El bosque de pino-encino (2.6 km²) y el bosque de oyamel (0.9 km²) debido al área que ocupan, pueden considerarse de manera simbólica.

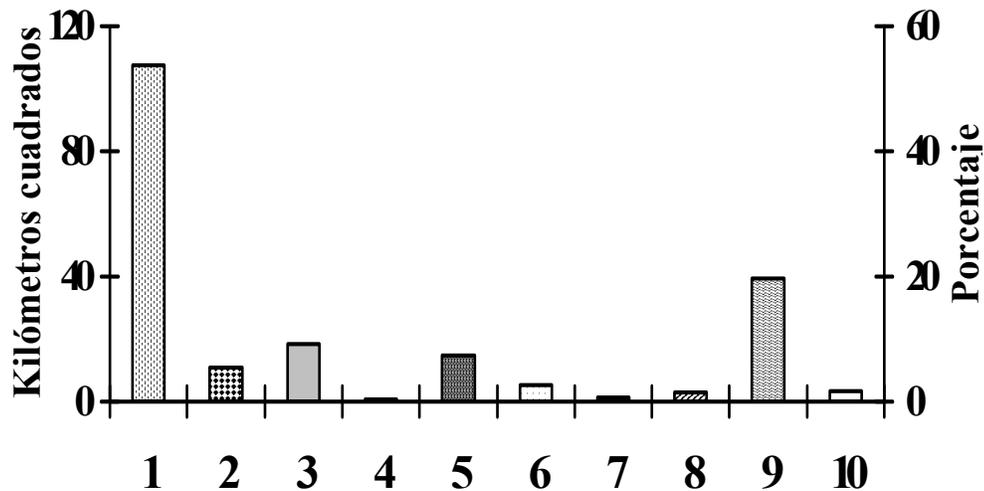
TABLA 6
UNIDADES DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

	Unidades de uso del suelo y vegetación	Área (km ²)	Porcentaje (%)
TA	Agricultura de temporal cultivo anual	107.5	53.0
TAP	Agricultura de temporal cultivo anual permanente	10.9	5.4
I	Pastizal inducido	18.2	9.0
Vw	Pradera de alta montaña	0.2	0.1
A	Bosque de oyamel	0.9	0.4
M	Bosque mesófilo de montaña	14.9	7.3
m	Bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea	5.1	2.5
P	Bosque de pino	39.4	19.4
p	Bosque de pino, vegetación secundaria arbórea	3.3	1.6
Pq	Bosque de pino - encino	2.6	1.3
	Total	203.0	100

Elaboró: Leticia M. C. con base en INEGI (1984). Carta uso del suelo y vegetación Veracruz, 1: 250 000

La tabla 6 condensa la información de las diez unidades de uso del suelo y vegetación en la cuenca. La lista es presentada con relación a las actividades humanas, agrupa los seis tipos de bosque localizados en el área de estudio y permite apreciar la disparidad de áreas ocupadas por las diferentes unidades.

Por un lado la actividad agrícola ocupa en conjunto más del 58% y por otro, cuatro tipos de bosque cubren un 5.8%, lo que equivale a una décima parte de la superficie dedicada a la agricultura.



1. Agricultura de temporal cultivo anual
2. Agricultura de temporal cultivo anual permanente
3. Pastizal inducido
4. Pradera de alta montaña
5. Bosque mesófilo de montaña
6. Bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria
7. Bosque de oyamel
8. Bosque de pino encino
9. Bosque de pino
10. Bosque de pino, vegetación secundaria

Figura 12. Áreas y porcentajes de las unidades de uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Las Minas, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (1984). Carta uso del suelo y vegetación Veracruz, 1: 250 000

La figura 12 permite apreciar que la unidad de agricultura de temporal en cultivo anual señalada con el número uno, supera considerablemente la superficie cubierta por los nueve tipos restantes de uso del suelo y vegetación en la cuenca. El bosque de pino señalado con el número nueve es el más abundante de los seis tipos de bosque localizados en la región. Las unidades tres (pastizal inducido) y cinco (bosque mesófilo de montaña) tienen una cobertura semejante, cada una menor al diez por ciento.

La agricultura de temporal de cultivo anual permanente representa un 5.4% equivalente a la suma de las cinco unidades de uso del suelo restante (cuatro, seis, siete, ocho y diez) con el 5.9%. De hecho la unidad señalada con el número cuatro, la pradera de alta montaña no puede apreciarse en la figura debido a su escasa superficie ocupada (0.2 km²).

El impacto del hombre sobre la naturaleza puede apreciarse en este lugar de estudio, donde el predominio de la agricultura y la existencia de pastizal inducido, indican el tipo de actividad económica practicada y la consecuente disminución de la cobertura forestal por tala o desmonte para abrir o para extender las tierras de cultivo. Donde se practica la agricultura anual, los cultivos favorecen el proceso de infiltración por el roturado y barbecho de los suelos.

Por visita de campo y plática con personas oriundas se comentó una disminución de la cobertura vegetal por la tala excesiva, esto ha traído como consecuencia una menor retención de agua en época de lluvias. La escorrentía en las laderas es torrencial por uno o dos días, porque ya no hay retención, produce crecidas hacia las partes bajas y aumenta su capacidad de arrastre, erosionando el suelo con arena más gruesa hacia las partes bajas.

5.2. La población en la cuenca.

Con respecto a la población de la cuenca del río Las Minas, es preciso mencionar que solamente se presenta un panorama general de la misma, ya que la tesis no es un estudio de Geografía Demográfica, y las consideraciones hechas tienen como finalidad dar una idea general del poblamiento de la cuenca.

La extensión de la cuenca del río Las Minas se localiza políticamente en el estado de Veracruz, y abarca diferentes porciones de los siguientes seis municipios: Altotonga, Las Minas, Perote, Tatatila, Las Vigas de Ramírez y Villa Aldama.

Es importante hacer notar que la tabla 7 muestra el número total de habitantes por cada municipio considerado e incluye la población parcial que hay en la cuenca del río Las Minas. Puede apreciarse de manera general la extensión y población municipal del año 2000, así como el porcentaje que representa la extensión municipal en el ámbito estatal y el número de habitantes por cabecera municipal. De esta manera se observa que el porcentaje areal acumulado de los seis municipios es alrededor del dos por ciento en la entidad y ello considerando la extensión total de cada municipio. De las cabeceras municipales enlistadas, tres de ellas están localizadas en el interior de la cuenca y son: Las Minas, Las Vigas y Villa Aldama.

TABLA 7
POBLACIÓN EN EL AREA DE LA CUENCA DEL RÍO LAS MINAS

Municipio	Extensión (km ²)	Porcentaje estatal	Habitantes en la cabecera municipal (1995)	Total de habitantes por municipio (2000)	Área ocupada en la cuenca del río Las Minas (km ² y porcentaje)	Población en la cuenca del río Las Minas en el año 2000
1 Altotonga	375.08	0.52	14 208	53 189	6.3 = 3.1%	604
2 Las Minas	58.4	0.08	215	2 579	18.4 = 9.1%	1 139
3 Perote	735.35	1.01	29 370	54 339	89.9 = 44.3%	7 201
4 Tatatila	82.25	0.11	790	3 961	8.8 = 4.3%	845
5 Las Vigas	108.57	0.15	7 378	14 159	26.4 = 13%	10 125
6 Villa Aldama	78.96	0.11	2 252	7 963	53.2 = 26.2%	7 389
Total	1438.61	1.98	54 213	136 190	203 = 100%	27 303

Elaboró: Leticia M. C. con base en INEGI, Censo de Población 1995 y Censos de población y vivienda 2000

5.2.1 Distribución de la población.

La población en la cuenca del río Las Minas está distribuida de una manera uniforme. La mayor parte de ella está localizada hacia el centro y sur de la cuenca. Hacia el norte de la región, los poblados mas numerosos son Los Pescados con 1393 habitantes y El Conejo con 907 personas. Las poblaciones con mayor número de habitantes se ubican hacia el este, centro occidente y noroeste: Las Vigas, Los Molinos, Villa Aldama Libertad, Cruz Blanca y Sierra de Agua.

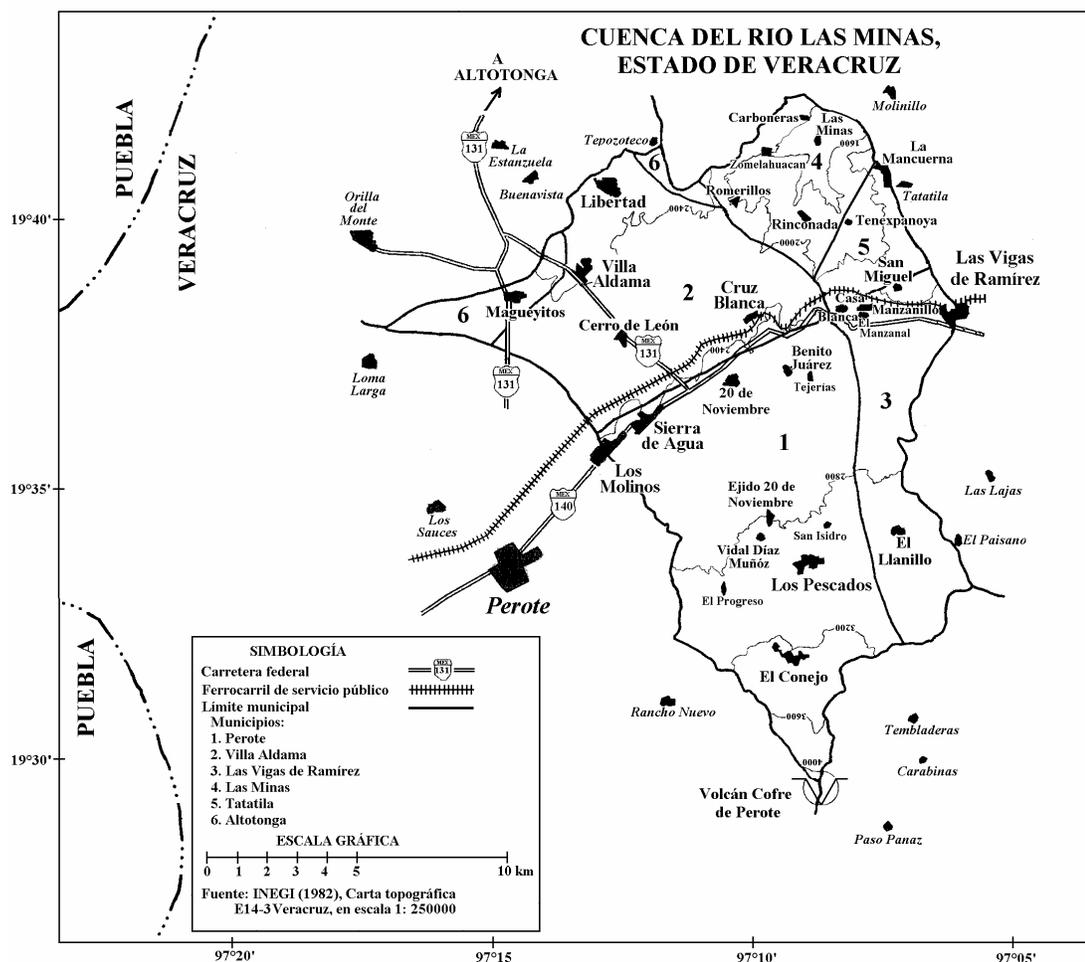


Fig. 13. Poblados en la cuenca del río Las Minas

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (1984). Carta topográfica Veracruz, 1:250000

La figura 13 muestra la distribución aproximada de las parcialidades areales de los seis municipios que ocupan la cuenca de estudio. Están numerados en orden con base en el área ocupada por cada uno de ellos, así se muestra que la mayor extensión corresponde al municipio de Perote, con 89.9 km², el área correspondiente al municipio de Villa Aldama es de 53.2 km². Estos dos municipios juntos, ocupan más del setenta por ciento del área total de la cuenca.

El municipio de Las Vigas de Ramírez cubre un área de 26.4 km² y el municipio de Las Minas, 18.4 km²; el área ocupada por ambos es de alrededor del 22.1% del total. Lo anterior implica que los dos municipios restantes: Tatatila (8.8 km²) y Altotonga (6.3 km²) solo cubren el 7.4%.

El municipio de Perote ocupa la parte sur de la cuenca, desde el punto considerado como inicio de la misma hasta más de la mitad, del lado este colinda con el municipio de Las Vigas de Ramírez.

El municipio de Villa Aldama esta situado hacia el centro norte de la cuenca, a este último lo limita hacia el lado oriental el municipio de Tatatila y hacia el extremo norte y noroeste el municipio de Altotonga, con dos pequeñas porciones. Este último es el de menor extensión en la cuenca.

TABLA 8
POBLACION POR MUNICIPIOS OCUPADOS EN LA CUENCA DEL RIO LAS MINAS

Municipios	Área en km ²	Localidades	Categoría de la localidad	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	Porcentaje del 2000
Total	203			10 518	12 505	15 364	20 210	23 609	25 947	27 303	100
Las Vigas	26.4	Casa Blanca	Ranchería	s/d	s/d	s/d	s/d	177	209	256	
		El Llanillo	Congregación	172	133	229	366	514	596	638	
		El Manzanal	Ranchería	s/d	s/d	s/d	s/d	42	35	53	
		Manzanillo	Congregación	545	400	339	330	204	271	339	
		Las Vigas	Villa	3 446	4 762	5 338	5 576	6 780	7 378	7 866	
		San Isidro	Ranchería	s/d	s/d	s/d	47	74	72	73	
		San Miguel	Congregación	s/d	s/d	s/d	357	537	759	805	
		Tejerías	Ranchería	s/d	s/d	s/d	83	76	95	95	
		Subtotal 1		4 163	5 295	5 906	6 759	8 404	9 415	10 125	37.1
Villa Aldama	53.2	Benito Juárez	Colonia	s/d	s/d	s/d	137	278	380	433	
		Cerro de León	Congregación	472	235	416	652	646	722	725	
		Cruz Blanca	Congregación	s/d	s/d	707	1 049	1 181	1 301	1 501	
		Libertad	Col. agrícola	s/d	342	667	1 037	1 784	2 127	2 348	
		Villa Aldama	Villa	1 327	1 333	1 360	2 466	2 056	2 252	2 382	
		Subtotal 2		1 799	1 910	3 150	5 341	5 945	6 782	7 389	27.1
Perote	89.9	El Conejo	Ranchería	214	398	434	746	850	872	907	
		El Progreso	Col. agrícola	s/d	s/d	138	63	89	96	87	
		Ejido 20 de noviembre		s/d	s/d	s/d	181	297	323	375	
		El Progreso	Colonia	s/d	s/d	138	63	89	96	87	
		E. 20 de noviembre	Ejido	s/d	s/d	s/d	181	297	323	375	
		Los Molinos	Congregación	571	740	1 187	1 467	1 973	2 437	2 392	
		Los Pescados	Col. agrícola	438	506	708	852	1 285	1 468	1 393	
		Sierra de Agua	Congregación	465	646	714	894	1 138	1 428	1 440	
		20 de Noviembre	Colonia	s/d	190	239	304	427	463	425	
		Vidal Díaz Muñoz	Colonia	s/d	s/d	s/d	99	158	180	182	
		Subtotal 3		1 688	2 480	3 420	4 606	6 217	7 267	7 201	26.4
Las Minas	18.4	Carboneras	Congregación	201	222	275	283	226	131	227	
		Las Minas	Pueblo	321	318	315	425	305	215	210	
		Rinconada	Congregación	313	333	363	431	410	313	439	
		Romerillos	Congregación	285	240	205	284	176	189	170	
		Zomelahuacan	Congregación	330	333	405	369	235	220	93	
				Subtotal 4		1 450	1 446	1 563	1 792	1 352	1 068
Tatatila	8.8	La Mancuerna	Ranchería	354	289	379	706	710	578	443	
		Tenexpanoya	Congregación	402	435	398	411	402	264	402	
				Subtotal 5		756	724	777	1 117	1 112	842
Altotonga	6.3	Magueyitos	Congregación	662	650	548	595	579	573	604	
				Subtotal 6		662	650	548	595	579	573

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI, Censo de Población 1995 y Censos de población y vivienda 1950-2000

El municipio de Las Minas señalado con el número cuatro, se localiza hacia el extremo noreste de la cuenca. El municipio de Las Minas está formado por doce localidades, cinco de ellas forman parte de la cuenca estudiada. Las Vigas de Ramírez se integra por cuarenta y cuatro localidades, ocho se ubican en la región de estudio. Villa Aldama tiene doce localidades y cinco están situadas dentro de la cuenca.

Cabe mencionar que dos de las poblaciones localizadas en la cuenca: Las Vigas de Ramírez y Los Molinos están insertadas parcialmente, aproximadamente la mitad de su extensión, pero para efectos de estadística se consideró su población total en el presente estudio. Puede observarse también la proximidad de la cabecera del municipio de Perote del lado centro occidental de la cuenca y los límites estatales de Puebla y Veracruz.

La tabla 8 permite apreciar el número de personas por municipio que habitan en la cuenca del río Las Minas. El orden en que están establecidos los municipios en la tabla es en base al número de habitantes y su respectivo porcentaje en el año 2000. Para el caso del presente estudio fueron localizados veintinueve asentamientos humanos clasificados en diferentes categorías, en toda la extensión de la cuenca.

La población que predomina en la cuenca es de tipo rural y se observa en la figura correspondiente, dispersa de manera irregular por las características topográficas, excepto en Las Vigas de Ramírez, esta última población representa el mayor porcentaje con el 37.1% de la población total en ese año; Villa Aldama con 27.1% es el segundo municipio más numeroso y Perote tiene el 26.4%. Estos tres municipios son los más habitados, en suma tienen el 90% del total. Los municipios de Las Minas, Tatatila y Altotonga tienen el diez por ciento restante y apenas rebasan los 2 500 habitantes.

Los municipios de Villa Aldama y Perote tienen tres poblaciones con más de mil habitantes cada una, el número total de ellas para el primer municipio es de 6 231 habitantes; los habitantes de las tres poblaciones de Perote suman 5 225 personas. El número de habitantes de la cabecera del municipio de Las Vigas de Ramírez supera dichas cantidades. En la cuenca también hay cinco localidades con menos de cien habitantes, tres de ellas localizadas en el municipio de Las Vigas (Tejerías, San Isidro y El Manzanal), una en Las Minas (Zomelahuacan) y la quinta en el municipio de Perote (El Progreso).

El municipio de Las Vigas de Ramírez presenta contrastes notables en su población, por ejemplo, en la cabecera del municipio, habita la población más numerosa del mismo y de toda la cuenca, con 7 866 habitantes. Así también tiene tres de los poblados menos habitados en la cuenca: Tejerías con noventa y cinco personas, San Isidro con setenta y tres habitantes y El Manzanal, el menos poblado de toda la región de estudio, con cincuenta y tres personas.

Villa Aldama tiene dos poblaciones con un número similar de habitantes, ellas son: la cabecera municipal del mismo nombre, con 2 382 habitantes, la tercera más poblada en la cuenca, y Libertad con 2 348 personas.

El municipio de Perote puede apreciarse con un número de habitantes similar al arriba citado. Los poblados de Los Molinos (con 2 392), es el segundo más habitado en la cuenca; Sierra de Agua (1 440) y Los Pescados (1 393) son los que cuentan con mayor población.

TABLA 9
LA POBLACION DISTRIBUIDA EN LAS UNIDADES BASICAS DEL RELIEVE

Unidad básica del relieve	Área en km²	Municipio	Localidades	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	Porcentaje del 2000
Total dentro de la cuenca				10 518	12 505	15 364	20 210	23 609	25 947	27 303	100
1. Laderas altas del volcán Cofre de Perote	18.7	Perote	El Conejo	214	398	434	746	850	872	907	
Subtotal 1				214	398	434	746	850	872	907	3.3
2. Pie de monte superior	40.3	Perote	Ejido 20 de Noviembre	s/d	s/d	s/d	181	297	323	375	
		Perote	El Progreso	s/d	s/d	138	63	89	96	87	
		Perote	Los Pescados	438	506	708	852	1 285	1 468	1 393	
		Las Vigas	San Isidro	s/d	s/d	s/d	47	74	72	73	
		Perote	Vidal Díaz M.	s/d	s/d	s/d	99	158	180	182	
Subtotal 2				438	506	846	1 242	1 903	2 139	2 110	7.7
3. Pie de monte inferior	19.1	Villa Aldama	Benito Juárez	s/d	s/d	s/d	137	278	380	433	
		Las Vigas	Casa Blanca	s/d	s/d	s/d	s/d	177	209	256	
		Villa Aldama	Cruz Blanca	s/d	s/d	707	1 049	1 181	1 301	1 501	
		Las Vigas	El Manzanal	s/d	s/d	s/d	s/d	42	35	53	
		Las Vigas	Manzanillo	545	400	339	330	204	271	339	
		Las Vigas	Tejerías	s/d	s/d	s/d	83	76	95	95	
Subtotal 3				545	400	1 046	1 599	1 958	2 291	2 677	9.8
4. Laderas de la subcuenca Tenexpanoya	25.2	Las Vigas	El Llanillo	172	133	229	366	514	596	638	
		Las Vigas	Las Vigas	3 446	4 762	5 338	5 576	6 780	7 378	7 866	
Subtotal 4				3 618	4 895	5 567	5 942	7 294	7 874	8 504	31.2
5. Laderas orientales del cerro Amolucan	14.4	Villa Aldama	Libertad	s/d	342	667	1 037	1 784	2 127	2 348	
		Villa Aldama	Villa Aldama	1 327	1 333	1 360	2 466	2 056	2 252	2 382	
Subtotal 5				1 327	1 675	2 027	3 503	3 840	4 379	4 730	17.3
6. Llanos de Perote	54.6	Villa Aldama	Cerro de León	472	235	416	652	646	722	425	
		Perote	Veinte de Noviembre	s/d	190	239	304	427	463	2 392	
		Perote	Los Molinos	571	740	1 187	1 467	1 973	2 437	604	
		Altotonga	Magueyitos	662	650	548	595	579	573	1 440	
		Perote	Sierra de Agua	465	646	714	894	1 138	1 428	1 440	
Subtotal 6				2 170	2 461	3 104	3 912	4 763	5 623	5 586	20.5
7. Lomeríos, cañadas y barrancas s.	30.7	Las Minas	Carboneras	201	222	275	283	226	131	227	
		Tatatila	La Mancuerna	354	289	379	706	710	578	443	
		Las Minas	Las Minas	321	318	315	425	305	215	210	
		Las Vigas	San Miguel	s/d	s/d	s/d	357	537	759	805	
		Las Minas	Rinconada	313	333	363	431	410	313	439	
		Las Minas	Romerillos	285	240	205	284	176	189	170	
		Tatatila	Tenexpanoya	402	435	398	411	402	264	402	
		Las Minas	Zomelahuacan	330	333	405	369	235	220	93	
Subtotal 7				2 206	2 170	2 340	3 266	3 001	2 669	2 789	10.2

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI, Censo de Población 1995 y Censos de población y vivienda 1950-2000

En el municipio de Las Minas disminuye notablemente el número de habitantes en la cuenca, representa menos de la décima parte de la población del municipio de Las Vigas de Ramírez. El mayor número de habitantes en el municipio de Las Minas se localiza en Rinconada con 439, Carboneras con 227 y la cabecera del municipio con 210 habitantes. Algunas personas de Las Minas laboran en la planta hidroeléctrica, otras en las oficinas municipales, el Centro de Salud y la minoría trabaja en el comercio establecido.

El municipio de Tatatila esta representado con dos poblados en la cuenca: La Mancuerna con 443 personas y Tenexpanoya con 402 habitantes. Magueyitos es la única población identificada del municipio de Altotonga y cuenta con 604 habitantes.

La tabla 9 muestra la distribución de la población considerando su establecimiento en las unidades básicas de relieve delimitadas en la cuenca. Las poblaciones y su uso del suelo por unidades de relieve están indicados en cada uno de los apartados del objetivo 5.1

La unidad que sumó el mayor número de habitantes en el año 2000, es la de las Laderas de la subcuenca Tenexpanoya con 8 504 habitantes, esto equivale al 31.2 % del total. La unidad con el menor número fue el de Laderas altas del volcán Cofre de Perote con 907 personas, equivalente al 3.3% del total.

Las unidades de Laderas de la subcuenca Tenexpanoya, Laderas orientales del cerro Amolucan y Llanos de Perote en conjunto representan el mayor número de habitantes en la cuenca con 18 820 esto significa un 69%

Las unidades de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales y la de Pie de monte superior tienen un número similar de habitantes: 2 789 y 2 748 equivalentes a un 10.2 % y 10.1 % respectivamente.

En las Laderas de la subcuenca Tenexpanoya se aprecia la localidad llamada El Llanillo con 638 habitantes y Las Vigas de Ramírez con 7 866 habitantes.

Por otra parte, las unidades que tienen un mayor número de poblados en la cuenca son la de los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, la de Pie de monte inferior y Pie de monte superior, que en suma representan mas de la mitad de la población en la cuenca (58,9%).

Las unidades que tienen menor número de poblados son las Laderas orientales del cerro Amolucan y las Ladera altas del volcán Cofre de Perote con un 20.6%. El número de poblados de la unidad Llanos de Perote representa el 20.5% restante.

TABLA 10
EL USO DEL SUELO Y VEGETACION POR MUNICIPIOS EN LA CUENCA

Municipio	Área en km ²	Poblaciones	Tipo de agricultura	Cultivos importantes	Tipo de ganadería	Tipo de bosques
Perote	65.2	El Conejo	Anual	Papa, haba, maíz, avena		
		El Progreso	Anual	Papa, haba, maíz, avena		Bosque de pino: oyamel
		Los Pescados	Anual	Papa, haba, maíz, avena		
		Vidal Díaz Muñoz	Anual	Papa, haba, maíz, avena		
		E. 20 de Noviembre	Anual	Maíz, avena, papa		
		Veinte de Noviembre	Anual	Maíz, avena, papa		
		Sierra de Agua	Anual	Maíz, avena, papa		
		Los Molinos	Permanente	Manzana, maíz, maguey		
Villa Aldama	43.1	Benito Juárez	Anual	Maíz, avena, papa		
		Cerro De León	Anual	Maíz, avena, papa		
		Cruz Blanca	Anual	Maíz, avena, papa		
		Libertad	Anual	Maíz, avena, papa		
		Villa Aldama	Anual	Maíz, avena, papa		
Las Vigas	62.9	Casa Blanca	Permanente	Maíz, frijol, manzana y ciruela		
		El Manzanal	Permanente	Maíz, frijol, manzana y ciruela		
		Manzanillo	Permanente	Maíz, frijol, manzana y ciruela		
		Las Vigas	Permanente	Maíz, frijol, manzana y ciruela		
		Tejerías	Anual	Maíz, avena, papa		
		San Miguel	Anual	Maíz, frijol		
		El Llanillo	Anual	Papa		Bosque de pino: pino, encino, roble, aile.
		San Isidro	Anual	Papa		Bosque de pino: pino, encino, roble, aile.
Las Minas	18.4	Carboneras	Anual	Maíz, frijol	Bovino	Pastizal inducido
		Las Minas	anual	maíz, frijol		mesófilo de montaña: aile, encino, roble, pino, liquidámbar y jaboncillo
		Rinconada	Anual	Maíz, frijol		Mesófilo de montaña: aile, encino, pino, liquidámbar, jaboncillo
		Romerillos				Mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea
		Zomelahuacan	Anual	Maíz, frijol	Bovino	Mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea
Tatatila	6.1	La Mancuerna	Anual	Pera, maíz, aguacate.		
		Tenexpanoya	Anual	Maíz, frijol		Mesófilo de montaña: aile, encino, pino, liquidámbar, jaboncillo
Altotonga	7.3	Magueyitos	Temporal anual	Maíz, avena, papa		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (1984) Carta uso del suelo y vegetación, Veracruz 1:250 000

La tabla 10 muestra el uso del suelo y vegetación por municipios ocupados en la cuenca. El uso del suelo en la cuenca varía en función del relieve, de los declives, y el tipo de suelo que hay, así como de la disponibilidad del agua. Es notable en casi toda la cuenca la presencia de la actividad agrícola como el fundamento de su economía y subsistencia. Así puede apreciarse que el tipo de agricultura que predomina en las poblaciones del municipio de Perote es temporal anual con cultivos como el de la papa, haba, maíz y avena.

Hay agricultura de tipo anual permanente en Los Molinos donde se cultiva la manzana, el maíz y el maguey pulquero. Únicamente en el poblado El Progreso hay bosques de pino con la especie de oyamel. En el municipio de Villa Aldama los cinco poblados identificados en la cuenca se dedican a la agricultura temporal anual con cultivos de maíz, avena y papa.

En cuatro de los ocho poblados pertenecientes al municipio de Las Vigas de Ramírez, se practica la agricultura anual con cultivos de maíz, frijol y permanente con manzana y ciruela. En dos mas, la agricultura es temporal anual con maíz, frijol, avena y papa. Las otras dos poblaciones no muestran prácticas agrícolas pero ahí subsiste la presencia de bosques de pino en sus especies de: pino colorado, ocote, encino, roble y escobilla. En la población de Las Vigas de Ramírez hay un aserradero que supone un incremento en la tala de los bosques a su alrededor, y aunque tiene un vivero situado en la carretera Perote-Xalapa, es un intento de poblar en muy pequeña escala lo que se destruye.

En los cinco poblados del municipio de Las Minas la agricultura es temporal anual con cultivos de maíz y frijol. En este municipio es el único donde hay prácticas de ganadería de tipo bovino en dos poblados: Zomelahuacan y Carboneras, en este último, se distingue un área de pastizal inducido. En las otras cuatro poblaciones, la vegetación natural es de bosque mesófilo de montaña. En los dos poblados del municipio de Tatatila la agricultura es de temporal anual con cultivos de maíz, frijol y permanente con pera y aguacate. También se aprecia bosque mesófilo de montaña. En el poblado de Magueyitos, municipio de Altotonga, la agricultura practicada es de temporada anual con cultivos de maíz, avena y papa.

5.2.2. Evolución de la población.

La población de la cuenca del río Las Minas ha sufrido cambios en su forma y número. En algunas de las localidades ha habido disminución en su número de habitantes, debido a que muchos de ellos han emigrado a los centros urbanos en busca de mejores oportunidades de trabajo y educación, según comentarios de los pobladores de esa región, Otros han cambiado de actividad dejando las labores rudimentarias de cosechas por el comercio establecido y los menos han emigrado hacia Estados Unidos buscando una mejor calidad de vida.

En muy pocas localidades se ha incrementado el número de habitantes y esto se ha debido en buena medida a la tasa de natalidad, como en el caso de las poblaciones establecidas en el municipio de Las Vigas de Ramírez, donde cada año ha habido un incremento de 119 habitantes, a partir del año 1950. Otro caso similar ocurre en el municipio de Villa Aldama, donde para el mismo lapso de tiempo, el incremento ha sido de 111 habitantes por año y en el municipio de Perote con un aumento de 110 personas por año.

La figura 14 muestra la evolución que ha sufrido la población en la cuenca del río Las Minas de los años 1950 a 2000, cada diez años. No se consideró necesario hacer proyecciones para los últimos años, en virtud de que han ocurrido aumentos y disminuciones de población en diferentes localidades de la cuenca, lo que dificultaría la obtención de datos reales.

Puede observarse que el municipio de Las Vigas de Ramírez es el que ha incrementado su población de manera constante. En las últimas cinco décadas, la población ha aumentado 5 962 habitantes, esto en promedio significa 1 192.4 habitantes por década. El mayor incremento ha ocurrido en las dos últimas décadas, donde la población aumentó en más del cincuenta y seis por ciento de lo que creció en las cinco décadas cuantificadas.

Fue en las décadas de 1960 a 1980 cuando las poblaciones del municipio de Villa Aldama tuvieron un aumento mayor al sesenta por ciento del total de población que incrementó de 1950 al año 2000. La población aumentó en las cinco décadas en 5 590 personas, lo que significa un promedio de 1 118 habitantes por década.

El municipio de Perote incrementó su número de habitantes en 5 513, lo que en promedio equivale a 1 102.6 personas por década. El mayor aumento ocurrió en las décadas de 1970 a 1990, representó más del cincuenta por ciento de lo que se incrementó en las cinco décadas consideradas.

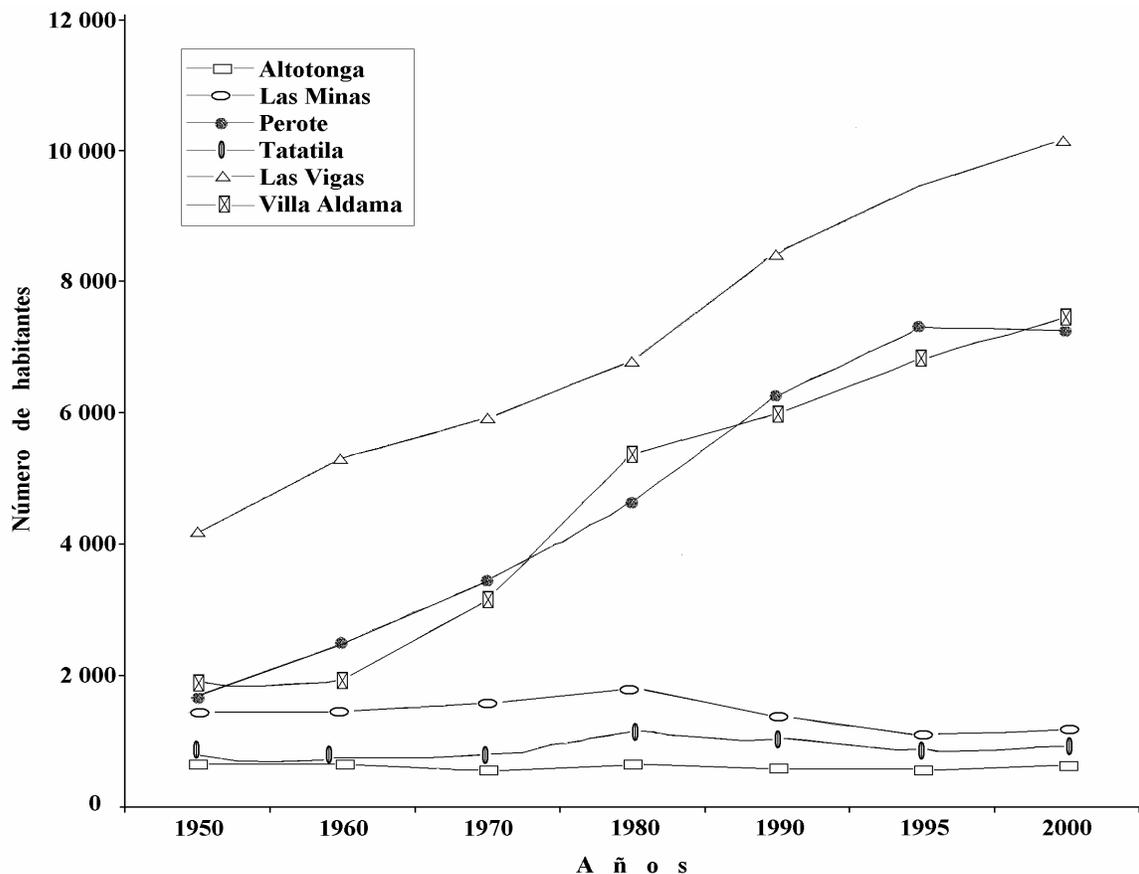


Figura 14. Evolución de la población en la cuenca del río Las Minas.

Elaboró: Leticia M. C. con base en INEGI, Censo de Población 1995 y Censos de población y vivienda 1950-2000

El municipio de Las Minas muestra de manera general, un descenso en su número de habitantes. En las décadas de 1960 a 1980 hubo un ligero incremento de 346 personas, para disminuir en las siguientes décadas 653 habitantes. Es notable la población de Zomelahuacan ya que disminuyó en la última década, de 235 habitantes a 93, esto equivale a un decremento del cuarenta por ciento.

En el municipio de Tatatila, el aumento de población en las cinco décadas ha sido parecido al de disminución de la misma. Solamente se incrementó el número de habitantes en las décadas de 1960 y

1970. La disminución ha ocurrido en las dos primeras y en las tres últimas décadas. En el poblado llamado La Mancuerna la población disminuyó en las dos últimas décadas de 710 a 443 habitantes, lo que significa un descenso superior al treinta y siete por ciento.

En el municipio de Altotonga, Magueyitos tuvo un decremento mayor (130 habitantes) que el incremento obtenido (72). De las décadas de 1950 a 1970 la población disminuyó, en 1980 aumentó para volver a descender a partir de los noventa y nuevamente se ha incrementado en esta última década.

La población que tiene el mayor porcentaje areal y poblacional en la cuenca es la de los municipios de Las Vigas, Villa Aldama y Perote, también ha mostrado incremento en su número de habitantes en las últimas cinco décadas. Los municipios de Las Minas, Tatatila y Altotonga tienen el menor porcentaje tanto en superficie como en número de habitantes y han sufrido decremento en su población.

El uso del agua en la cuenca está en relación directa con el número de habitantes que tiene y con las actividades económicas que realizan. De esta manera es en los núcleos de población más numerosos donde hay un mayor consumo del líquido como es en los poblados de Las Vigas de Ramírez, Los Molinos, Villa Aldama, Libertad, Cruz Blanca, Sierra de Agua y Los Pescados, donde las actividades económicas predominantes tienen que ver con la agricultura. No se tiene la referencia al número de litros consumidos por habitante ya que no hay un censo que lo registre. Sin embargo para el poblado de Las Vigas de Ramírez, por comentarios con los residentes, se puede hacer un cálculo aproximado de 200 litros diarios de consumo por habitante, lo que significa un gasto de 1 573 m³.

En esas poblaciones, el abastecimiento de agua potable, es a través de pozos domésticos y en algunos casos, manantiales cercanos; la forma de conducción de la misma es por tuberías, en vehículos motorizados o de tracción animal y el almacenamiento se hace en cajas de agua, cuentan con alcantarillado, drenaje y fosas sépticas. Además en algunas casas habitación, se cuenta con tinacos y cisternas y aunada la presencia de lluvias en la época correspondiente, aseguran el suministro continuo y necesario. La distribución es por toma domiciliaria y similar a la forma de conducción. La eliminación de excretas es por alcantarillado en las poblaciones de mayor tamaño y esto supone un desalojo mayor, en esos mismos lugares, de agua contaminada.

Es notorio el predominio de la agricultura de temporal y anual en toda la cuenca, eso implica necesariamente, la remoción anual del suelo para barbecho y roturación que trae como consecuencias: la facilidad de infiltración y recarga de acuíferos y por lo tanto una mayor disponibilidad de agua subterránea. Otra posible consecuencia del uso de suelo que prevalece, es la disminución del escurrimiento y el aumento de la evapotranspiración en la época cuando las plantas alcancen su mayor tamaño. Es posible que la roturación altere la capilaridad del agua, disminuya su ascenso y por lo tanto, también se reduzca la evaporación desde el suelo. En las regiones de bosques la evapotranspiración es mayor y en la cuenca, el porcentaje de los diversos tipos de bosques es superior al 30% de la superficie.

La tendencia general en la cuenca del río Las Minas hace suponer que la población no aumentará y ello mantendrá constante la demanda de agua como hasta ahora, en caso contrario, si se incrementara el número de habitantes, aumentaría también el uso y consumo del líquido, pero aún ello implica que el abastecimiento actual es suficiente y habrá disponibilidad en el futuro.

CAPITULO 6

CLIMAS

5.0 Generalidades

El clima se define como el resultado de la interacción de una serie de elementos meteorológicos como son temperatura, presión, vientos, humedad y precipitación, durante un período de tiempo establecido. La clasificación climática de Wilhelm Koeppen es de las más utilizadas mundialmente, se basa en dos elementos del clima la temperatura y la precipitación, son los más fácilmente registrables y de los que se obtienen mayor número de datos por largos períodos de tiempo.

En el estado de Veracruz se presenta una diversidad de climas como consecuencia de diversos factores geográficos, entre ellos el relieve, ya que situados en la entidad se distinguen cuatro grandes sistemas fisiográficos: Llanura costera del Golfo de México, Sierra Madre Oriental, Altiplanicie Mexicana y Cordillera Volcánica Transmexicana.

De esta manera se presentan por un lado climas calurosos y húmedos en las regiones bajas, como en la Llanura costera del golfo de México y por otra parte, los climas fríos y secos que se localizan en las partes de mayor altitud sobre el nivel del mar. Las lluvias son muy abundantes en casi todo el estado de Veracruz, en algunas regiones del sur son torrenciales, especialmente en los límites con Tabasco y en contraste, son muy escasas en la unidad de los llanos de Perote, ubicados en la sombra eólica de sotavento formada por la barrera montañosa de la Sierra Madre Oriental. De hecho, este sitio está considerado como el lugar más seco de toda la entidad, con menos de 600 mm. de precipitación media anual, y por ello mismo se le estima también como el lugar “menos veracruzano” de todos.

Con frecuencia llegan a la entidad ciclones tropicales en el verano y otoño, y los llamados “nortes” en el invierno. En la mayor parte del territorio veracruzano se presenta el clima Aw (cálido subhúmedo con lluvias en verano) o también el tipo de clima Af (tropical con lluvias todo el año). Las temperaturas son mayores de 20° C y las precipitaciones anuales son de 2 000 a 3 000 mm. En sus colindancias con el estado de Puebla se presenta un clima Cf (templado con lluvias todo el año); en la vecindad con Hidalgo y Oaxaca se distingue un clima tipo Am (cálido húmedo con lluvias en verano). El clima Aw (tropical con lluvias en verano) también se localiza en el sur y suroeste del estado de Veracruz, incluido en sus límites con Chiapas y Tabasco, con esta última entidad presenta una pequeña zona del clima Af (tropical con lluvias todo el año).

Tomando en consideración los valores de temperatura, en la cuenca del río Las Minas se distingue una región climática bien definida, la del clima C (templado). A los aspectos térmicos se unen las lluvias y de acuerdo con las modificaciones hechas por Enriqueta García (1964) al sistema de clasificación climática de W. Koeppen, en este tipo de clima templado se distinguen cinco subtipos en la región de estudio. Pueden distinguirse en la figura 15, ubicándolos de la cabecera hacia la parte más baja.

A continuación se definen esos subtipos de clima, iniciando con los de la cabecera de la cuenca

- C (w₂) b' = Templado subhúmedo con lluvias en verano, semifrío con verano fresco largo.
- C (w₁) x' = Intermedio de los húmedos (de los templados subhúmedos con lluvias en verano)
- C (w₂) x' = El más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano.
- C m (f) = Templado húmedo con lluvias intensas de verano.
- C f(m) = Templado húmedo con lluvias todo el año.



Figura 15. Estaciones climatológicas y unidades climáticas

5.1 Temperatura

Los datos de temperatura aportados por los registros de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E), la Secretaría de Recursos Hidráulicos (S.R.H.) y el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) permiten conocer de una manera general las condiciones térmicas en la cuenca. Por lo anterior, se consideraron cinco estaciones climatológicas para la región de estudio: Las Minas, Las Vigas, Los Pescados, Perote y La Tembladera (figura 15).

Aunque las estaciones Perote y La Tembladera están ubicadas fuera del área ocupada por la cuenca, a tres y cuatro kilómetros distantes respectivamente, fueron consideradas por su información, puesto que tienen datos confiables de por lo menos quince y treinta y un años y además son puntos de interpolación que permiten el análisis climático de la cuenca.

La cuenca del río Las Minas tiene una diferencia altitudinal de casi 3 100 m ya que en su parte más alta, la cima del volcán Cofre de Perote, tiene 4 282 msnm y en la menor, correspondiente al punto terminal del trabajo, es de 1 200 msnm; debido a ello se considera que hay variaciones climáticas muy importantes, sobre todo en los valores de la temperatura.

El mapa de climas permite observar las cinco regiones climáticas delimitadas dentro de la cuenca y las líneas isotermas incluidas. La temperatura media anual se presenta desde un valor inferior a 4 °C en las partes más altas del volcán Cofre de Perote hasta 18 °C en el punto terminal de la cuenca. Las líneas isotermas de 4 °C, 6 °C y 8 °C muy próximas entre sí, se localizan en la unidad de las Laderas altas del volcán Cofre de Perote, desde las mayores alturas hasta 2 980 msnm. y entre 6 °C y 8 °C en el poblado El Conejo a una altitud de 3 300 msnm. En la población Los Pescados a 2 950 msnm, donde se localiza la estación climatológica del mismo nombre, las líneas isotermas son de 8 °C y 10 °C.

Las líneas isotermas de 10 °C y de 12 °C muy próximas entre sí, se localizan en la unidad de Pie de monte inferior, desde 3 060 hasta los 2 880 msnm. Hacia la parte media de la cuenca se aprecia la línea isoterma de 14 °C muy distante de la anterior, ésta se ubica en altitudes desde 2 400 hasta 2 380 msnm. lo que permite suponer que la temperatura se incrementa muy lentamente. En este espacio se ubica el mayor número de localidades de la cuenca, tales como Los Molinos, Sierra de Agua, Cerro de León, Cruz Blanca, Magueyitos, Villa Aldama, Libertad y Las Vigas de Ramírez.

La distancia entre las líneas isotermas de 12 °C y de 14 °C es considerable, desde 2 800 msnm hasta 2 000 msnm, incluye las unidades básicas de Pie de monte inferior, las Laderas del cerro Amolucan, los Llanos de Perote y la parte sur de los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. En cambio, la distancia que separa las líneas isotermas de 14 °C y de 16 °C es la menor que hay, lo cual indica que el incremento de temperatura es notable sobre todo en la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, es decir, en la región más baja de la cuenca, ubicada en altitudes de los 2 440 hasta los 1 800 msnm.

Entre las líneas isotermas de 16 °C y 18 °C, las de mayor valor en la región de estudio, está situado el poblado Las Minas y la estación climatológica del mismo nombre. La línea isoterma de 18 °C está también distante de la de 16 °C, sus altitudes varían desde 2 200 hasta 1 400 msnm.

Los valores obtenidos de las temperaturas medias anuales y de precipitación de las cinco estaciones climatológicas ya mencionadas son:

	Las Minas	Las Vigas	Los Pescados	Perote	La Tembladera
T °C	17.9	11.5	9.8	12.6	9.8
P mm	1 440.5	1 320.7	785.8	456.5	1 582.9

Las menores temperaturas están localizadas en el sur de la cuenca, en la cabecera de la misma y las mayores temperaturas se sitúan hacia el norte, en el punto terminal. La estación climatológica Los Pescados situada dentro de la cuenca y la estación La Tembladera, localizada fuera de la misma, muestran la misma temperatura media anual de 9.8 °C, la más baja. La mayor temperatura la registró la estación Las Minas con 17.9 °C. En cuanto a la precipitación, el menor valor lo registró la estación Perote con 456.5 mm y la mayor cantidad de lluvia fue de 1440.5 mm también en la estación Las Minas, aunque el máximo fue de 1582.9 mm en la estación Tembladera, localizada fuera de la cuenca.

TABLA 11
TEMPERATURA (MEDIA MENSUAL EN °C)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Las Minas	14.4	15.4	17.7	19.8	21.1	20.3	19.3	19.5	18.8	17.3	16	15	17.9
Las Vigas	8.4	9.6	11.8	13.5	13.8	13.6	13	12.8	12.3	10.9	9.5	8.7	11.5
Los Pescados	7.5	8.6	10.7	11.9	12.1	11.2	10.3	10.2	9.8	8.8	8.5	7.9	9.8
Perote	9.8	10.9	13.3	14.7	15.4	14.1	13.5	12.5	13.1	11.5	11.8	10.4	12.6
La Tembladera	8.1	8.9	10.2	10.8	11.1	10.5	10.2	10	10	9.6	9.3	8.3	9.8

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información del Servicio Meteorológico Nacional

La tabla 11 muestra el registro de temperaturas de las cinco estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la cuenca del río Las Minas y se hacen las siguientes consideraciones:

De acuerdo con los valores de los promedios mensuales de temperaturas medias, se puede observar que las mayores temperaturas se presentan en el mes de mayo, la máxima es de 21.1 °C en la estación Las Minas y el menor valor en la estación La Tembladera con 11.1 °C. La temperatura menor de la región se registra durante el mes de enero, el mayor valor es el de la estación las Minas con 14.4 °C y el mínimo valor, que es de 7.5 °C en la estación Los Pescados.

En cuanto a la temperatura media anual, la mayor es nuevamente la de la estación Las Minas con 17.9 °C y la mínima en las estaciones: Los Pescados y La Tembladera con 9.8 °C en cada una de ellas. Los valores de temperatura se incrementan paulatinamente a partir del mes de febrero hasta alcanzar su máximo valor durante el mes de mayo. A partir del mes de julio, las temperaturas medias empiezan a decrecer de igual manera como ascendieron, excepto en la estación de Las Minas, durante los meses de julio y agosto, cuando desciende para volver a ascender, y en la estación de Perote en los meses de agosto a noviembre, donde hay valores de ascenso y descenso alternadamente.

La temperatura media anual registrada en la estación de las Minas es de 17.9 °C con respecto a su temperatura máxima tiene una diferencia de 3.2 °C, y con respecto a su mínima temperatura de 3.5 °C. En la estación climatológica de las Vigas, la temperatura media anual es de 11.5 °C con respecto a su temperatura máxima tiene una diferencia de 2.3 °C y a su mínima temperatura de 3.1 °C. En la estación Los Pescados, la diferencia con respecto a las temperaturas máximas y mínima es de 2.3 °C, su temperatura media anual registrada es de 9.8 °C. Por lo que respecta a la estación Perote, la diferencia de sus temperaturas máxima y mínima es de 2.8 °C, su temperatura media anual es de 12.6 °C. Finalmente, la estación La Tembladera tiene una temperatura media anual de 9.8 °C y su diferencia con la máxima es de 1.3 °C y con la mínima de 1.7 °C.

5.2 Precipitación

La precipitación ocurrente en la cuenca de estudio está determinada por la orografía y los movimientos de masas de aire húmedo y caliente procedentes del Golfo de México. Como se ha indicado, las precipitaciones menores ocurren en los Llanos de Perote, donde no llegan a los 600 mm. Por otro lado, los mayores valores de precipitación se distinguen hacia el norte de la cuenca, cercano al punto terminal del trabajo.

La línea isoyeta de 700 mm incluye la unidad de los Llanos de Perote y además de la población Perote situada fuera de la cuenca, abarca también el poblado Los Molinos localizado al centro oeste de la cuenca.

En el área comprendida entre las líneas isoyetas de 700 y 800 mm. se ubican las unidades de Pie de monte superior y parte de los Llanos de Perote, incluyendo altitudes desde 3 000 a 2 400 msnm y las poblaciones de Magueyitos al límite noroeste de la cuenca, Sierra de Agua al centro-oeste y Cerro de León en el noroeste.

Entre las líneas de 800 y 1 000 mm se localizan poblaciones de Veinte de Noviembre al centro oeste; Vidal Díaz Muñoz, El Progreso y Dos Aguas al sur de la cuenca. Las altitudes varían desde 3500 a 2500 msnm e incluye las unidades de relieve: Laderas altas del volcán Cofre de Perote, Pie de monte superior e inferior, Llanos de Perote y Laderas orientales del cerro Amolucan. El área que abarcan las líneas isoyetas de 1 000 a 1 200 mm incluye las mismas unidades citadas anteriormente, con altitudes desde 3 120 a 2 420 msnm incluyendo las poblaciones Libertad hacia el norte; Cruz Blanca, El Manzanal, Benito Juárez y Tenerías, al centro; y hacia el sur, San Isidro, Los Pescados y El Conejo.

Las isoyetas 1 200 y 1 500 mm incluyen las poblaciones de Romerillos, Rinconada y Tenexpanoya al norte; Manzanillo y Las Vigas de Ramírez al noreste y las unidades de Pie de monte superior e inferior, Laderas de la subcuenca Tenexpanoya y Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. Las altitudes varían desde 2 400 hasta 1 600 msnm

La línea isoyeta de 1 500 mm abarca los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales hacia las menores altitudes de la cuenca, de 1 200 msnm e incluye las poblaciones de Zomelahuacan, Carboneras, La Virgen y Las Minas, todas ellas localizadas hacia el norte de la región de estudio.

TABLA 12
PRECIPITACIÓN (MEDIA MENSUAL EN mm)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Las Minas	60.6	54.7	46.5	51.9	78.3	171.9	108.8	117.3	331.4	228.1	128.1	62.9	1 440.5
Las Vigas	21.6	10.7	12.6	7.8	35.9	241.1	327.6	276.2	256.5	82.4	31.6	16.7	1 320.7
Los Pescados	17.7	19.4	15.7	29	46.5	127.4	119.0	106.7	164.2	85.1	35.4	20.2	786.3
Perote	8.9	18.4	10.3	25.9	37	77.2	45.6	32	123	43.5	23.9	10.8	456.5
La Tembladera	43.3	38.5	35.5	57.4	75	247.8	299.9	287.3	303.3	98.3	52.7	43.9	1 582.9

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información del Servicio Meteorológico Nacional

Con base en la información referente a la precipitación, se puede observar que es en el período comprendido del mes de junio al de septiembre donde se presentan los mayores volúmenes y en el caso de la estación Las Minas, inclusive el mes de octubre.

Los mayores valores de la precipitación se localizan cerca del punto terminal del trabajo, en las dos estaciones situadas en el norte de la cuenca: Las Minas con 1 440.5 mm y Las Vigas con 1 320.7 mm. Los menores valores están en la región de la cabecera, en la estación Perote, donde se presenta la menor cantidad de precipitación: 456.5 mm.

En la estación Perote, es desde el mes de abril y hasta noviembre donde hay incremento de la precipitación, sin embargo, la suma de estos meses apenas rebasa la precipitación del mes de septiembre registrada en la estación Las Minas, cercana al punto terminal del trabajo. El mayor valor de la precipitación se presenta durante el mes de septiembre en todas las estaciones, excepto en la de Las Vigas, cuando tiene su máximo en el mes de julio. En la estación de La Tembladera hay 1 582.9 mm que representa el más alto valor y 456.5 mm en la estación Perote, el menor de todos.

Por lo que respecta a las menores precipitaciones, éstas ocurren durante los meses de diciembre a abril, aunque en las estaciones Perote y La Tembladera, se pueden considerar desde el mes de noviembre.

En casi todas las estaciones consideradas ocurren las menores precipitaciones durante el mes de marzo, excepto en la estación de Las Vigas que sucede en abril y en la estación de Perote que ocurre en enero. El menor valor de precipitación mensual ocurrió en el mes de abril con 7.8 mm en la estación de Las Vigas y el menor valor fue en septiembre con 331.4 mm en la estación de Las Minas.

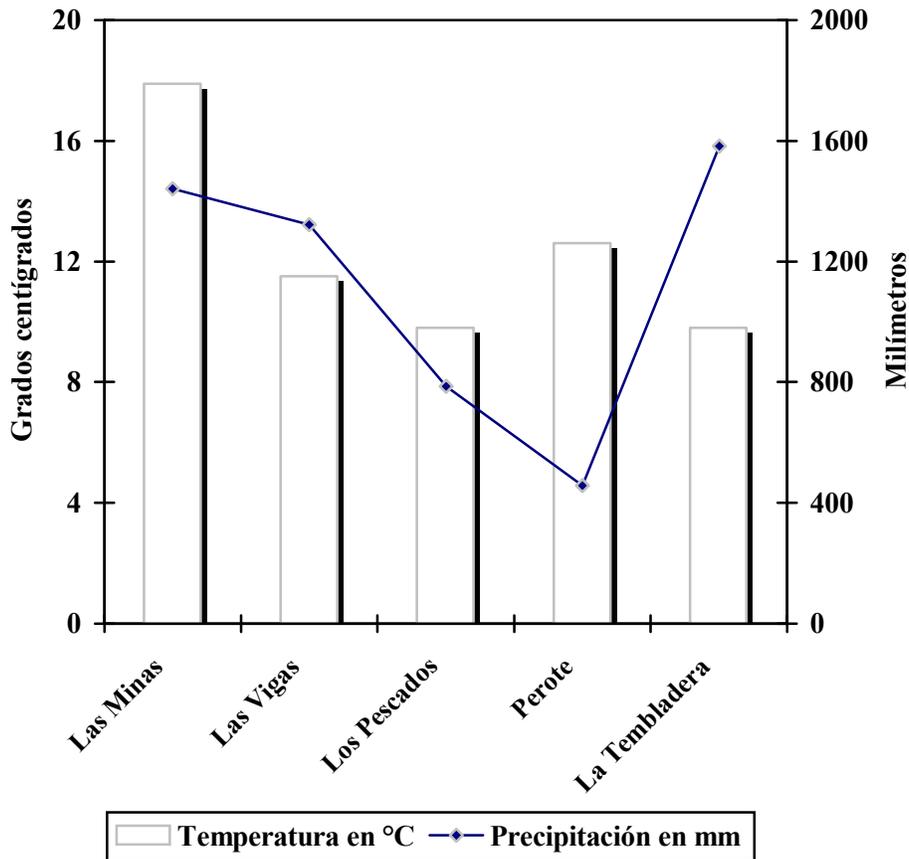


Figura 16. Temperatura y precipitación en las estaciones climatológicas de la cuenca del río Las Minas, estado de Veracruz.

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información del Servicio Meteorológico Nacional

La figura 16 permite apreciar que la estación climatológica de Las Minas es la que presenta las mayores temperaturas en el período de registro. Las menores temperaturas se registraron en la estación de Los Pescados en ese mismo período.

La precipitación es mayor en la estación La Tembladera, aunque esta se localiza fuera de la cuenca de estudio.

En el interior de la cuenca, es la estación de Las Minas la que registró los mayores volúmenes de precipitación durante el período de observación. Las menores cantidades se registraron en la estación Perote, también ésta situada fuera de la cuenca.

6.3 Los climas en la cuenca del río Las Minas

La cuenca del río Las Minas presenta una región climática templada (C) de acuerdo con los parámetros empleados por W. Koeppen, en su clasificación climática. Se distinguen cinco subtipos del clima templado en la cuenca que se describen enseguida, conforme a la modificación climática hecha por Enriqueta García (1964).

1. C (w₂) b' Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, semifrío con verano fresco largo y temperatura media anual entre 5 °C y 12 °C y temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C.

Este tipo de clima abarca un área de 27.7 km², equivalente al 13.6 por ciento de la cuenca, desde las mayores altitudes en la cuenca de 4 282 a 3 000 msnm. Se localiza en la parte sur de la cuenca correspondiente a las Laderas altas del volcán Cofre de Perote, incluyendo el punto considerado como cabecera y también la unidad de relieve: Pie de monte superior. Se distinguen las poblaciones de El Conejo, Los Pescados Progreso y Vidal Díaz Muñoz. Las líneas isotermas notables son las de 4°, 6°, 8°, 10° y 12 °C.

También en esta región se localiza la estación climatológica Los Pescados en la población del mismo nombre. Los datos que registra son los siguientes: 9.8 °C de temperatura media mensual y 785.8 mm de precipitación. La estación La Tembladera no está ubicada dentro de la cuenca, pero sí está próxima a la línea parteaguas oriental, distante tres kilómetros y presenta una temperatura de 9.8 °C y 1582.9 mm de precipitación total.

2. C (w₂) x' Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual, mayor a 10.2 y la precipitación del mes más seco es menor a 40 mm. y el coeficiente P/T (precipitación/temperatura) es mayor de 55.0

Se presenta en colindancia con el anterior, abarca desde los 3 000 hasta los 2 400 msnm, incluye las regiones del noroeste y centro de la cuenca, cubriendo las unidades de Pie de monte superior e inferior, Laderas orientales del cerro Amolucan y Llanos de Perote. El área que abarca es de 80.3 km², equivalente al 39.6% de la superficie total, este es el tipo de clima que cubre la mayor superficie y se localiza en las poblaciones de Villa Aldama, Libertad en el noroeste de la cuenca, y en Cerro de León, Veinte de Noviembre, Cruz Blanca y Benito Juárez. Considerando las líneas isotermas, las temperaturas se presentan entre 12 °C y 14 °C y la precipitación desde 200 hasta 800 mm.

3. C (w₁) x' Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, intermedio en cuanto a humedad entre el C (w₀) y el C (w₂). La temperatura media anual se presenta entre 12 °C y 18 °C. El porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual es mayor a 10.2 y el coeficiente P/T tiene un rango de 43.2 a 55.0 El mes más frío tiene una temperatura entre -3 °C y 18 °C.

El área que ocupa es de 33.2 km², correspondiente al 16.3% del área total. Es el lugar más seco de la región en estudio, y aún de toda la entidad, se localiza en el extremo occidental de la unidad de relieve Llanos de Perote, abarca desde 3 000 hasta 2 400 msnm e incluye las poblaciones de Magueyitos, Sierra de Agua y Los Molinos.

Las líneas isotermas indican temperaturas de 12 °C a 14 °C y las isoyetas con cantidades inferiores a 700 mm y hasta los 800 mm. La estación climatológica Perote, situada a aproximadamente 4.5 km al oeste de la línea parteaguas occidental, indica una temperatura media de 12.6 °C y 456.5 mm. de precipitación.

4. C m (f) Clima templado húmedo con lluvias intensas de verano, precipitación del mes más seco menor de 40 mm y porcentaje de lluvia invernal mayor de cinco.

Este tipo de clima cubre una extensión de 53.9 km², esto es equivalente al 26.6% del área de la cuenca. Ocupa la unidad de Laderas de la subcuenca Tenexpanoya y los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales en su mayor extensión. Las altitudes que incluye son desde 3 140 msnm donde se ubica el cerro El Molinillo, hasta 1 600 msnm, por lo que se puede considerar a ésta como la región climática más amplia en cuanto a la altitud, abarcando aproximadamente 1 500 m. Se localiza en Las Vigas de Ramírez donde se sitúa la estación climatológica que tiene el mismo nombre y las poblaciones Manzanillo y El Llanillo. Las líneas isotermas son las de 12 °C, 14 °C y 16 °C y las isoyetas incluyen valores desde 1 200 hasta 1 500 mm.

Los datos recabados por la estación climatológica Las Vigas indican una temperatura media anual de 11.5 °C y 1 320.7 mm. La estación climatológica Las Minas también situada en esta región, localizada a dos y medio kilómetros del punto terminal, registra una temperatura media anual de 17.9 °C y 1 440.5 mm. de precipitación.

5. C f (m) Clima templado húmedo con lluvias todo el año, menos de 18% de lluvia invernal respecto a la anual, precipitación del mes más seco mayor de 40 mm.

El área ocupada es de 7.9 km², (3.9%), lo que significa que es la unidad climática de menor tamaño en la cuenca e incluye el punto terminal del trabajo. Abarca desde 1 400 hasta 1 200 msnm y semejante al tipo de clima anterior abarca la unidad de relieve de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. Las líneas isotermas son de 16 °C y 18 °C. No se distinguen poblaciones en esta región.

6.4 Estaciones climatológicas

6.4.1. Las Minas

Considerando los valores obtenidos en temperaturas y precipitación de la estación climatológica Las Minas, durante el periodo 1950 – 1995, registrados en la tabla 13, se puede distinguir en la figura 17 que las temperaturas medias tienen un comportamiento más o menos constante, van aumentando gradualmente y de manera predecible.

Puede observarse el incremento paulatino de la temperatura conforme aumentan los meses del año, alcanzando la máxima en el mes de mayo con 21.1 °C y comienza a descender a partir de junio, aunque en el mes de agosto se presenta un ligero incremento y a partir de septiembre continua el descenso hasta el mes de enero, para posteriormente en febrero nuevamente empezar a incrementarse. Entonces, los meses de menor temperatura son diciembre, enero y febrero. Las mayores temperaturas se registraron a partir del mes de abril y hasta el de agosto.

Los meses con mayor volumen de precipitación son: septiembre, octubre y junio; los meses de julio, agosto y noviembre también presentan una considerable cantidad de lluvia, aunque la suma de estos tres meses apenas rebasa la precipitación del mes de septiembre y las lluvias de los meses de julio y agosto no llegan a la cantidad del mes de octubre. Los meses de menor precipitación corresponden a los de diciembre hasta el mes de mayo.

TABLA 13
ESTACION CLIMATOLOGICA "LAS MINAS"

Coordenadas: 19° 41' Lat. N; 97° 08' Long. W Altitud 1365 msnm

Promedios mensuales de temperatura y precipitación en el período 1950 - 1995

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Temperatura (°C)	14.4	15.4	17.7	19.8	21.1	20.3	19.3	19.5	18.8	17.3	16	15	17.9
Precipitación (mm)	60.6	54.7	46.5	51.9	78.3	171.9	108.8	117.3	331.4	228.1	128.1	62.9	1 440.5

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información de la Comisión Federal de Electricidad

Es en esta estación climatológica donde ocurre la temperatura anual más alta de toda la cuenca, es decir, 17.9 °C y la cantidad de lluvia también es superior a todas con 1 440.5 mm. En la estación climatológica La Tembladera llueve 1 582.9 mm pero dicha estación no está situada dentro del área de estudio.

En el poblado de Las Minas en octubre de 1999 llovió intensamente durante dos días, escurriendo también mucha agua de las partes altas, el río Las Minas aumentó su caudal, subió tres metros, amplió su cauce hasta alcanzar 100 m. aproximadamente, entonces se desbordó y arrasó con algunas casas del poblado y con el Centro de Salud del mismo.

Dependiendo de las precipitaciones, el río Las Minas puede incrementarse al doble de tamaño en el mes de septiembre, en esa temporada los ciclones llegan a causar aguaceros de tres días consecutivos y en invierno ocurren las lluvias de "chichi" Eventualmente puede presentarse el fenómeno de la "sabana blanca" como es conocida en la región, la neblina.

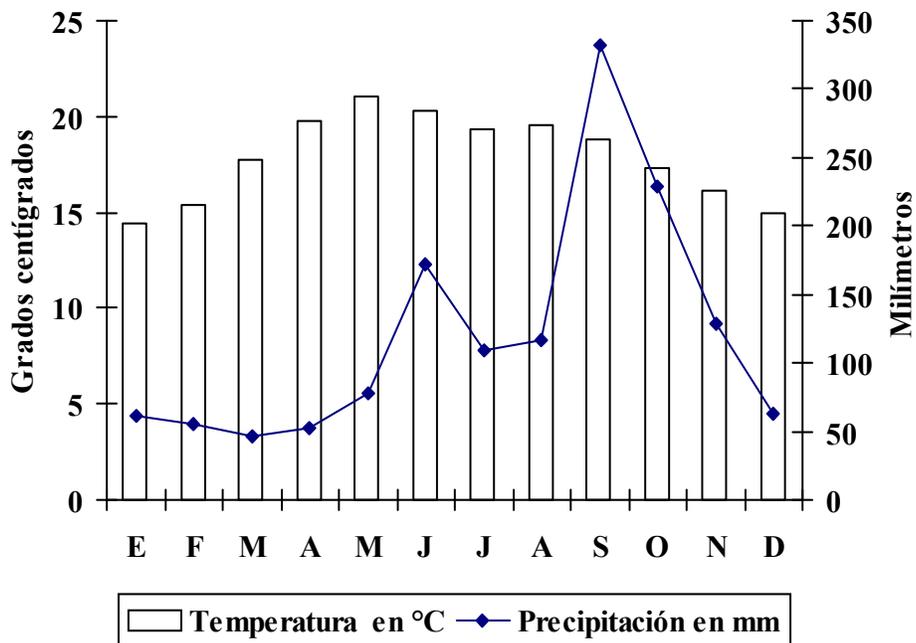


Figura 17. Climograma de la estación climatológica "Las Minas"

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información de la Comisión Federal de Electricidad

6.4.2 Las Vigas

Los datos referidos por la estación Las Vigas operada por el Servicio Meteorológico Nacional durante el período 1961 a 1990 se muestran en la tabla 14. En ella puede apreciarse que la temperatura más alta se presenta en el mes de mayo y la menor, de 8.4 °C en el mes de enero. Los meses más cálidos incluyen de abril a julio y los meses más fríos abarcan desde noviembre hasta febrero. Las temperaturas empiezan a aumentar desde principios de año hasta llegar a su máxima en el mes de mayo con 13.8 °C, entonces empieza a descender desde junio y hasta el inicio del año para así comenzar otra vez el ciclo.

TABLA 14
ESTACION CLIMATOLOGICA "LAS VIGAS"
 Coordenadas: 19° 39' Lat. N; 97° 06' Long. W Altitud 2400 msnm
Promedios mensuales de temperatura y precipitación en el período 1965 – 1995

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temp. (°C)	8.4	9.6	11.8	13.5	13.8	13.6	13.0	12.8	12.3	10.9	9.5	8.7	11.5
Precip. (mm)	22	11	12.6	7.8	35.9	241.1	327.6	276.2	256.5	82.4	31.6	16.7	1 320.7

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información del Servicio Meteorológico Nacional

La información recabada en la tabla 14, permite apreciar que el mayor número de meses, la temperatura es mayor a 10 °C y la suma de los meses de octubre a mayo (219.3 mm.) no igualan la cantidad precipitada en el mes de junio que es de 241.1 mm.

En cuanto a los meses con mayor cantidad de lluvias, éstos son de junio a septiembre, especialmente en julio que supera a los demás. Los de menor cantidad son de octubre a mayo y de ellos, el de menor precipitación es abril.

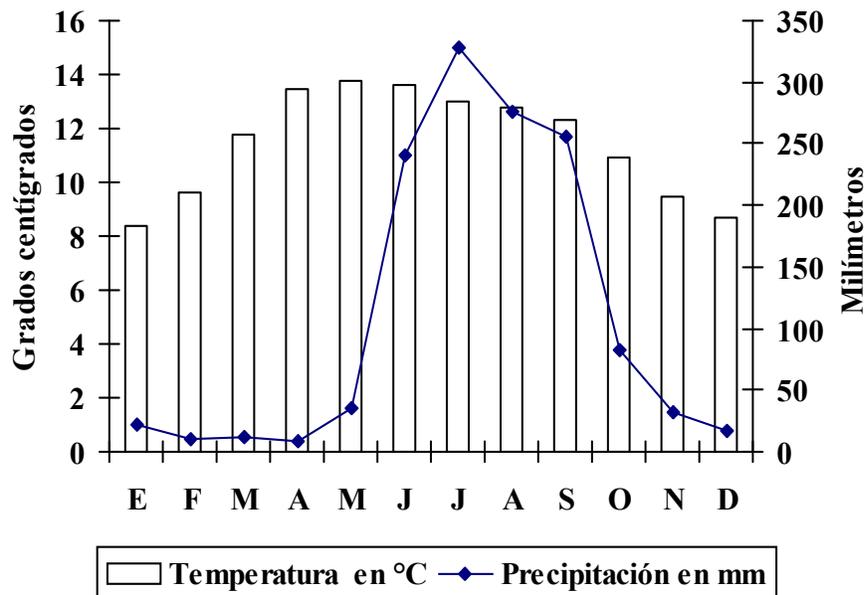


Figura 18. Climograma de la estación climatológica "Las Vigas"

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información del Servicio Meteorológico Nacional

La figura 18 muestra el comportamiento de la temperatura muy similar en los período de primavera y verano, así también la precipitación incrementada considerablemente de mayo a junio en mas de 200 mm, para aumentar aún mas (86.6 mm) en el mes de julio y mantenerse constante en agosto y septiembre para nuevamente descender en octubre.

6.4.3 Los Pescados

Los datos de temperatura y precipitación de la estación climatológica “Los Pescados”, operada por la Comisión Federal de Electricidad, durante el periodo: 1965 – 1995 se muestran en la tabla 15 y figura 19, y permiten apreciar lo siguiente.

TABLA 15
ESTACION CLIMATOLOGICA “LOS PESCADOS”
 Coordenadas: 19° 38` Lat. N; 97° 08` Long. W Altitud 2938 msnm
Promedios mensuales de temperatura y precipitación en el período 1965 – 1995

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura (° C)	7.5	8.6	10.7	11.9	12.1	11.2	10.3	10.2	9.8	8.8	8.5	7.9	9.8
Precipitación (mm)	17.7	19.4	15.7	29	46.5	127.4	118.5	107	164.2	85.1	35.4	20.2	785.8

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información de la Comisión Federal de Electricidad

Las temperaturas mayores se presentan en abril con 11.9 °C, mayo con 12.1 °C y en el mes de junio con 11.2 °C y las menores en los meses de diciembre y enero. No se observan grandes cambios en la temperatura y sí un aumento y disminución gradual, hasta llegar a su mínima de 7.5 °C en enero. La temperatura media anual es de 9.8 °C y es la menor que se registra dentro de la cuenca.

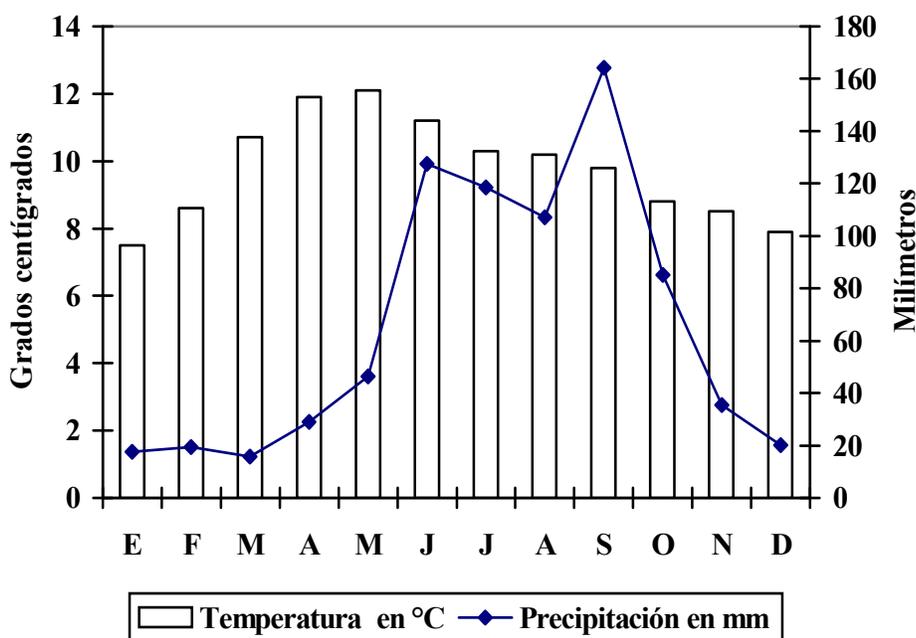


Figura 19. Climograma de la estación climatológica “Los Pescados”

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información de la Comisión Federal de Electricidad

En cuanto a la precipitación, los meses con mayor cantidad de lluvias son desde junio a septiembre, y estos cuatro meses suman 516.8 mm. Por el contrario, un mayor número de meses, de octubre a mayo, presentan en suma de 269 mm, tan solo un poco más de la mitad de lo que llueve en los cuatro anteriores. El mes con la menor cantidad de precipitación es marzo con 15.7 mm y el más lluvioso es septiembre con 164.2 mm. La cantidad de precipitación es de 785.8 mm y es la menor cantidad registrada en toda la cuenca.

6.4.4 Perote

La figura 20 muestra el comportamiento de la temperatura y precipitación durante un período de 15 años en la estación climatológica Perote, operada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

TABLA 16
ESTACION CLIMATOLOGICA "PEROTE"
 Coordenadas: 19° 35' Lat. N; 97° 16' Long. W Altitud 2394 msnm
Promedios mensuales de temperatura y precipitación en el período 1974 – 1988

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura (°C)	9.8	10.9	13.3	14.7	15.4	14.1	13.5	12.5	13.1	11.5	11.8	10.4	12.6
Precipitación (mm)	8.9	18.4	10.3	25.9	37	77.2	45.6	32	123	43.5	23.9	10.8	456.5

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información de la Secretaria de Recursos Hidráulicos

La tabla 16 registra el período de 1974 a 1988 y permite apreciar lo siguiente: Los meses de abril a junio son los que presentan mayores temperaturas, especialmente en mayo con 15.4 °C. donde ocurre la máxima y a partir del mes de julio comienza a descender, aunque en septiembre se da un incremento para seguir descendiendo a partir de octubre y hasta marzo. La menor temperatura ocurre en enero con 8.9 °C.

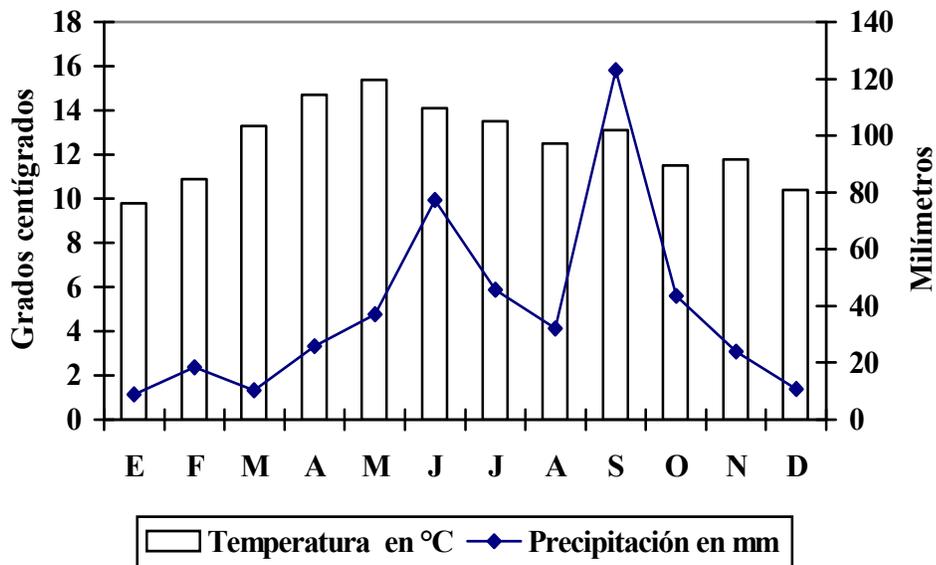


Figura 20. Climograma de la estación climatológica "Perote"

La figura 20 muestra el climograma correspondiente y se puede observar que los meses que presentan mayores cantidades de lluvia son: septiembre, cuando ocurre la máxima con 123 mm y junio con 77.2 mm que en suma constituyen el 43.8% del volumen total, en esos dos meses llueve casi la mitad de lo que llueve en todo el año, los diez meses restantes aportan el 56.2%. El mes menos lluvioso es enero, donde solo alcanza 8.9 mm.

6.4.5. La Tembladera

Esta estación climatológica operada por la Comisión Federal de Electricidad fue analizada en su información del período de 1965 a 1995. La tabla 17 y la figura 21 permiten observar su comportamiento.

TABLA 17
ESTACION CLIMATOLOGICA “LA TEMBLADERA”
 Coordenadas: 19° 31' Lat. N; 97° 06' Long. W Altitud 2959 msnm
Promedios mensuales de temperatura y precipitación en el período 1965 – 1995

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura (°C)	8.1	8.9	10.2	10.8	11.1	10.5	10.2	10	10	9.6	9.3	8.3	9.8
Precipitación (mm)	43.3	38.5	35.5	57.4	75	248	300	287.3	303.3	98.3	52.7	43.9	1 582.9

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información de la Comisión Federal de Electricidad

Los meses de marzo a septiembre son los de las mayores temperaturas, ya que la diferencia del mes con más temperatura que fue mayo a 11.1°C con los de menor valor que fueron septiembre y octubre es de 1.1°C. Las menores temperaturas se presentan en los meses de octubre a febrero siendo la mínima de 8.1 °C en enero, esto da una diferencia de 3.0 °C respecto al mes más cálido.

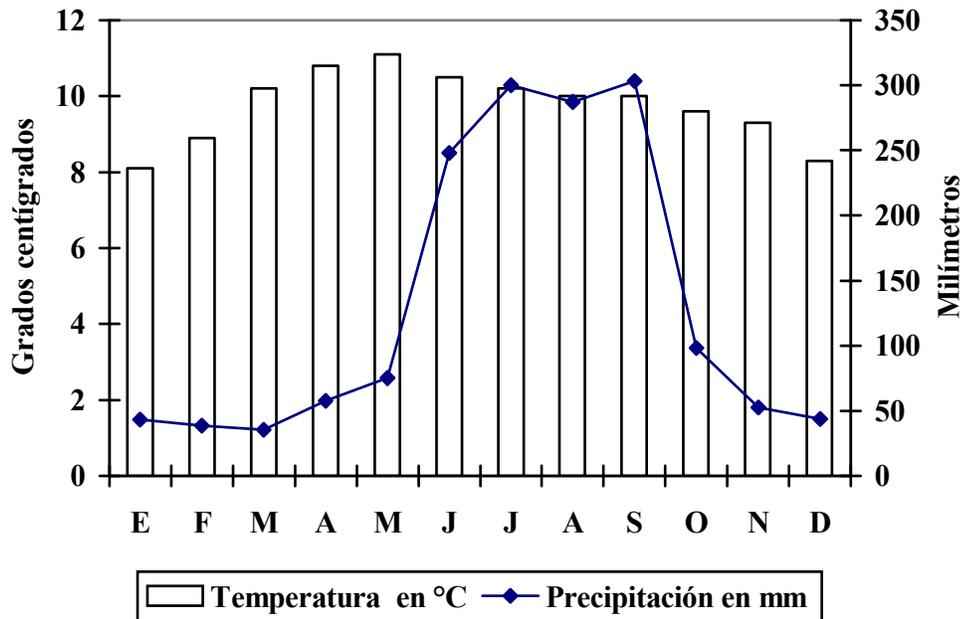


Figura 21. Climograma de la estación climatológica “La Tembladera”

Elaborado por Leticia Martínez Cortés con base en la información de la Comisión Federal de Electricidad

La precipitación anual máxima es de 1 582.9 mm, es la mayor cantidad registrada en todas las estaciones, aunque se debe aclarar que ésta se ubica fuera de la cuenca y al igual que con la estación climatológica de Los Pescados, la menor temperatura anual fue de 9.8 °C. Con respecto al registro de las precipitaciones, los meses de junio a septiembre son los de mayor cantidad, correspondiéndoles el 71.9% del volumen total, siendo septiembre el de mayor valor con 303.3 mm, los meses más secos son de octubre a mayo, el mes de marzo es el que tiene la menor cantidad con 35.5 mm.

La cuenca del río Las Minas muestra una región climática, la del clima C templado. La temperatura media anual incluye temperaturas inferiores a 4 °C hasta 18 °C, las mayores precipitaciones ocurren en el norte y las menores en el sur de la cuenca. El tipo de clima que abarca una mayor extensión es el C(w²)x' cubriendo una tercera parte de la cuenca.

La información plasmada en las tablas estadísticas y en las figuras correspondientes, permiten distinguir que las mas altas temperaturas en la cuenca, ocurren entre los meses de abril a septiembre y las mayores precipitaciones se presentan en los meses que abarcan de junio a septiembre. Lo anterior significa que la temporada calurosa sucede durante las estaciones de primavera y verano y la temporada de lluvias en verano, esto puede comprobarse observando el mapa de climas que muestra en toda la cuenca un clima templado con lluvias en verano, excepto en la región norte que incluye el punto terminal del trabajo, donde el clima es templado con lluvias todo el año.

CAPITULO 7

FLUVIOGRAFIA

5.0 Generalidades

Al observar el mapa del sistema de drenaje se nota que la distribución geográfica de los cauces es aparentemente irregular, se notan tres regiones a primera vista, una de ellas incluso carece de sistema de drenaje. En la porción del sureste en las laderas del volcán Cofre de Perote hay un conjunto de líneas que definen el sistema de drenaje y las uniones de torrenteras y arroyos hacia tres colectores principales. La segunda porción donde se tienen líneas de cauces y sistemas de drenaje definidos es en el extremo norte donde únicamente hay una subcuenca pequeña, bien definida que constituye el último afluente hacia el colector principal de la cuenca en estudio. También se puede apreciar algunos cauces de órdenes inferiores pero bastante largos y muy separados entre sí, como afluentes del arroyo Puerco. La tercera porción se ubica en el occidente de la cuenca donde no existen cauces que muestren un sistema de drenaje.

5.1 Descripción general de la red hidrográfica.

La red hidrográfica es el “conjunto de ríos y corrientes temporales, lagos y pantanos de un territorio determinado” (Lugo, 1989).

En el mapa fluviográfico de la cuenca del río Las Minas puede observarse que en las laderas altas los cauces presentan pocas curvas y algunos de ellos son casi rectos. También se nota que su longitud tiende a ser mayor con respecto a los de la porción baja del norte de la cuenca. Esto se debe principalmente al declive de las laderas, donde se tiene el mayor grado de inclinación y por el tipo de roca como andesitas, tobas y otros materiales sueltos, lo cual asociado con la energía cinética del agua facilita el movimiento del agua y su capacidad de arrastre, con tendencia lineal hacia abajo.

De manera general se puede considerar que el patrón de drenaje de la cuenca del río Las Minas es de tipo dendrítico. En las siguientes unidades básicas de relieve se muestra el mismo patrón pero bajo condiciones de orientación diferentes. En las Laderas altas del volcán Cofre de Perote situada entre los 4 200 y los 3 330 msnm se tiene dicho patrón de drenaje, las corrientes iniciales son en gran número de considerable longitud.

En la unidad de Pie de monte superior, situada entre los 3 200 y los 2 600 msnm, el patrón de drenaje es de tipo dendrítico, aquí puede observarse que las corrientes formadoras de la subcuenca del arroyo Frío tienen una dirección casi recta de norte a sur, y las corrientes que pertenecen a la subcuenca del arroyo Puerco siguen una trayectoria de sureste a noroeste. En esta región puede apreciarse el mayor número de cauces de toda la cuenca, lo que hace suponer que es el área mejor drenada.

En el Pie de monte inferior, que incluye altitudes entre 2 600 y 2 400 msnm, se distingue un patrón de drenaje dendrítico, orientados los cauces del norte a sur, pero algunos de los cauces pertenecientes a la subcuenca del arroyo Tenexpanoya están orientados de suroeste a noreste.

En la unidad de Laderas de la subcuenca Tenexpanoya, ubicada entre los 3 100 msnm y los 2 700 msnm, el patrón de drenaje es también dendrítico, sólo que algunas corrientes iniciales del extremo sur se presentan orientadas de oeste a este y algunas otras en sentido opuesto.

En los Llanos de Perote, situados entre los 2 540 y los 2 400 msnm casi no hay corrientes superficiales, las que existen, forman parte de la subcuenca del arroyo Churrero y tienen una orientación sureste-noroeste. El patrón de drenaje es de tipo dendrítico asimétrico, semejante a los dientes de un peine, se localiza en el norte donde se ubican las Laderas del cerro Amolucan.

En la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales en altitudes de los 2 200 msnm a los 1 200 msnm, se nota que en su extremo norte el patrón de drenaje es asimétrico. En el área de confluencia de los arroyos Puerco y Frío se distingue un drenaje de tipo dendrítico pinado y en el lado oriental un drenaje de tipo dendrítico formando parte de la subcuenca del arroyo Tenexpanoya orientada de sureste a noroeste.

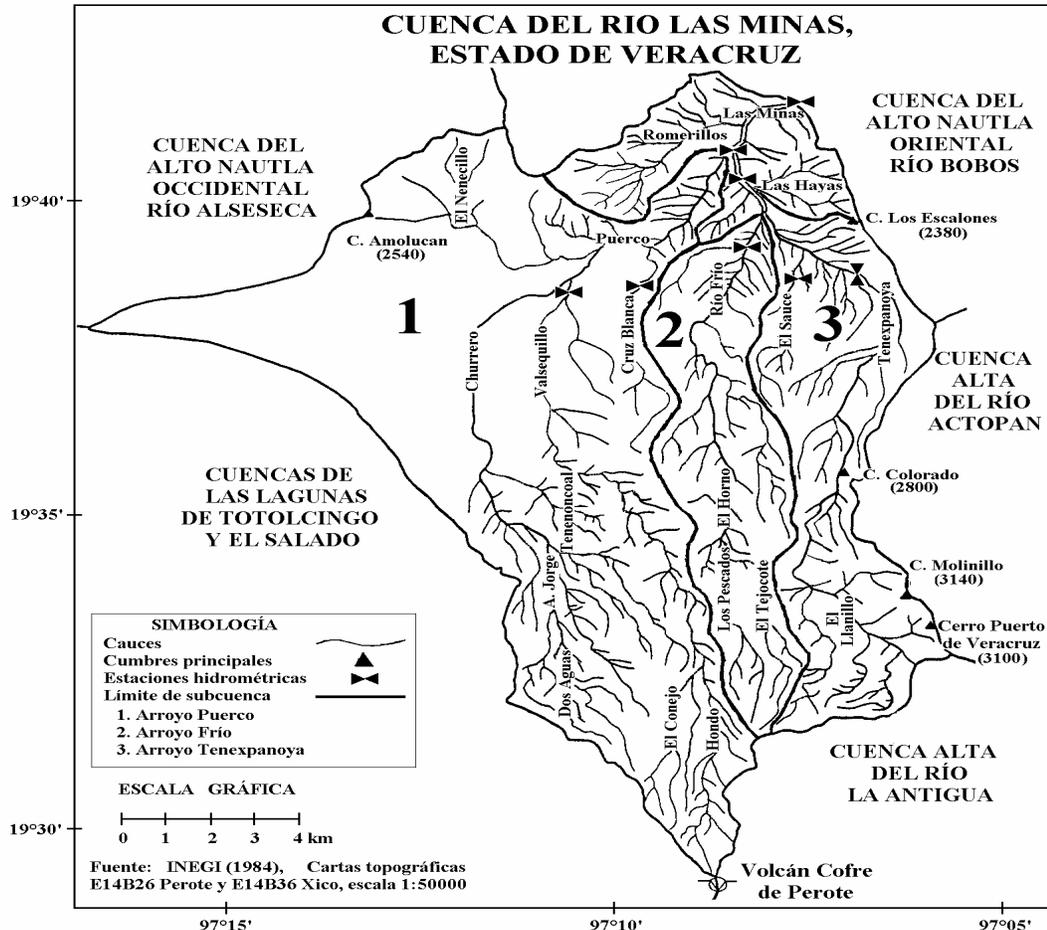


Figura 22. Subcuencas de cuarto orden en la cuenca del río Las Minas

La figura 22 permite apreciar las subcuencas de cuarto orden que integran a la cuenca del río Las Minas, en el estado de Veracruz. Aunque tienen sus inicios o cabeceras más altas en las laderas septentrionales del volcán Cofre de Perote, se considera necesario hacer varias observaciones.

La subcuenca del arroyo Puerco está localizada en la porción occidental de la cuenca, la del arroyo Frío en la porción central y la del arroyo Tenexpanoya en la parte oriental. La mayor de las tres se le denomina Puerco, ocupa un área de 57.9%; de menor tamaño es la del arroyo Tenexpanoya, con un 18.5%, y la menor de ellas, la del arroyo Frío tiene un 16% del área total.

En ese mismo orden, también se sitúan el mayor número de poblados en el espacio ocupado por la subcuenca del arroyo Puerco, y en menor número en la subcuenca del arroyo Tenexpanoya.

A continuación se describirán los sistemas de drenaje de las subcuencas citadas.

1. El arroyo Puerco es la única parte del río Las Minas que tiene en su porción occidental, como parte de su área de captación, una parte importante de la región correspondiente a las planicies orientales de la unidad de relieve de Llanos de Perote. De hecho esta subcuenca se desarrolla en seis de las siete unidades de relieve en que se ha dividido a la cuenca del río Las Minas. Esa parte de la cuenca se caracteriza porque en estos lugares, la infiltración es muy notable debido a los materiales litológicos del lugar (toba ácida y basalto) y por lo tanto carece de cauces verdaderos sin constituir un sistema de drenaje definido. Hacia el norte se localizan tres de las localidades más pobladas de la cuenca: Libertad, Villa Aldama y Magueyitos.

La subcuenca del arroyo Puerco ocupa un área de 116.8 km², lo que representa un 62.6% del área ocupada por las tres subcuencas y más de la mitad del área total de la cuenca. Así también tiene un 39.8% del total de cauces de primero, segundo y tercer órdenes, sus cabeceras se ubican en las Laderas occidentales del volcán Cofre de Perote, a una altitud entre los 3 600 y los 3 400 msnm al sur del poblado Los Conejos. En la parte media se definen tres arroyos principales: Jorge, Tenenoncoal y Valsequillo. En esta subcuenca estuvieron situadas dos estaciones hidrométricas: El Puerco y Romerillos.

2. La subcuenca del arroyo Tenexpanoya ocupa la parte oriental de la cuenca del río Las Minas, tiene un área de 37.4 km² (el 20% del espacio ocupado por las tres subcuencas de cuarto orden). Al inicio y final de la subcuenca es donde puede apreciarse el mayor número de cauces, el número total es equivalente a un 24.8% del total. Esta subcuenca tiene sus inicios en las Laderas orientales del volcán Cofre de Perote, entre los 3 100 y 3 000 msnm al sur del paraje nombrado El Llanillo.

El río principal inicia a los 2 900 msnm con el nombre de arroyo Llanillo, situado a un kilómetro del poblado del mismo nombre. Puede observarse que las laderas orientales donde se forman los afluentes de la margen izquierda de la corriente citada, la red hidrográfica está mejor definida ya que en ese lado se concentran el mayor número de afluentes de esta subcuenca. En esta región se situaron dos estaciones hidrométricas: El Sauce y Tenexpanoya. El límite norte del parteaguas incluye al cerro Los Escalones a 2 380 msnm y es en el extremo oeste, que también es el límite oriental de toda la cuenca, donde están situados los cerros el Colorado, El Molinillo y Puerto de Veracruz, éstos dos últimos separados entre sí por un kilómetro. Es la región menos poblada de las tres subcuencas, con solo cuatro poblados localizados, uno de ellos con el mismo nombre del arroyo principal: Tenexpanoya y otro el de Las Vigas de Ramírez.

3. La menor de las tres subcuencas, la del arroyo Frío, tiene un área de 32.4 km², equivalentes al 17.4% de la suma del área de las tres; está ubicada en la parte central de la cuenca del río Las Minas, tiene una forma alargada de sur a norte y cuenta con dos arroyos principales: Los Pescados y El Tejocote, que unidos forman el arroyo que le da nombre a la subcuenca. En los últimos 2.5 km al punto considerado como desembocadura del arroyo Frío, hay numerosas corrientes cortas que vierten sus aguas directamente a dicho cauce. En esta subcuenca estuvo instalada la estación hidrométrica El Suspiro, a un kilómetro antes de la desembocadura de dicho río. Del total de cauces de los anteriores órdenes, en esta región hay un 17.9%. La subcuenca del arroyo Frío, tiene semejanza con la anterior, en lo que se refiere al área ocupada y la dirección que sigue su red hidrográfica. En el extremo noroeste no se aprecian corrientes superficiales, esto es, en la unidad de los Llanos de Perote, pero en la parte norte y central, hay abundantes cauces, algunos de ellos son de gran longitud, como es el caso del arroyo Valsequillo que se inicia a una distancia aproximada de 1.75 km de la cabecera de la cuenca, sigue una dirección noroeste en la parte central de la cuenca y tiene una longitud de 35 km.

De manera general, puede considerarse que los ríos de la margen derecha son más numerosos aunque de menor extensión que los de la otra margen.

La cabecera principal de la cuenca del río Las Minas se localiza en la parte central norte, donde está situado el volcán Cofre de Perote. A una distancia de 1.75 km. de la cuenca, la corriente principal es ya de tercer orden y tiene una longitud de 17 km. desde su inicio hasta donde se une con el arroyo Puerco y a una distancia aproximada de 350 m. de esta confluencia estuvo funcionando la estación hidrométrica denominada El Puerco. La confluencia de los arroyos Tenexpanoya y Frío ubicada a 2 km aproximadamente del cerro Los Escalones, en el norte de la cuenca, constituye de una manera más definida el cauce del río Las Minas.

5.2 Jerarquía de los cauces y de las subcuencas internas

La cuenca del río Las Minas está constituida internamente por tres subcuencas de cuarto orden, que son las siguientes: Puerco, Frío y Tenexpanoya.

Para el caso del presente trabajo, los cauces y sus respectivas subcuencas fueron numerados de manera consecutiva (ver mapa 9). Con el fin de poder identificar en el mapa las subcuencas clasificadas según su jerarquía se utilizó el criterio normado por Horton y Strahler (1990), de tal modo que cada subcuenca quedó circunscrita por la línea divisoria del mismo orden, correspondiente al número de orden del cauce. (tablas 18 - 21)

Para lograr una mayor visualización cartográfica se elaboraron cuatro mapas, cada uno correspondiente a un número de orden, estos no están incluidos en el trabajo, únicamente se presentan los de tercer y cuarto orden en forma de figuras (22 y 23).

El mapa que presenta el mayor número de subdivisiones es el correspondiente a las subcuencas de los cauces de primer orden, las subdivisiones disminuyen conforme aumenta la jerarquía.

Para el trazo de las líneas divisorias de las subcuencas de primer y segundo orden se pensó que era adecuado dibujarlas en mapas exclusivamente hidrográficos, dada la cantidad de información contenida. En el caso de las subcuencas de tercero y cuarto orden, las líneas divisorias se trazaron en mapas topográficos base, donde están incluidas las curvas de nivel, algunos poblados, carreteras y la nomenclatura correspondiente.

7.2.1 Subcuencas de primer orden

Las subcuencas de primer orden son muy numerosas: 358. De manera general, son las más pequeñas, sus tamaños son variables, desde los 0.02 km² hasta los 1.63 km². El área total equivale a 63.2 km², esto le corresponde un 31.1% de la cuenca. (tabla 18). El mayor número de ellas se localiza en la región noreste de la cuenca en altitudes que van desde los 2 200 hasta los 1 200 msnm, en la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales.

Hacia la parte central se localizan subcuencas de primer orden con la mayor área, y no tienen una orientación determinada. Las de menor extensión se ubican hacia el norte de la cuenca, coinciden con la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. Los cauces de mayor longitud están distribuidos en las otras regiones de la cuenca, en especial, en las regiones próximas a la cabecera. Del lado oriental donde está situada la unidad Llanos de Perote, no se distingue ninguna subcuenca de primer orden.

TABLA 18
SUBCUENCAS DE PRIMER ORDEN
(Áreas en km²)

Nu	A	Nu	A	Nu	A	Nu	A	Nu	A	Nu	A	Nu	A
1.1	0.21	1.53	0.11	1.105	0.03	1.157	0.33	1.209	0.15	1.261	0.69	1.313	0.09
1.2	0.13	1.54	0.06	1.106	0.1	1.158	1.63	1.21	0.2	1.262	0.05	1.314	0.07
1.3	0.11	1.55	0.1	1.107	0.07	1.159	0.31	1.211	0.17	1.263	0.08	1.315	0.1
1.4	0.1	1.56	0.03	1.108	0.32	1.16	0.29	1.212	0.43	1.264	0.1	1.316	0.13
1.5	0.14	1.57	0.03	1.109	0.58	1.161	0.15	1.213	0.16	1.265	0.11	1.317	0.08
1.6	0.07	1.58	0.4	1.11	0.1	1.162	0.17	1.214	0.05	1.266	0.09	1.318	0.1
1.7	0.12	1.59	0.02	1.111	0.06	1.163	0.07	1.215	0.45	1.267	0.04	1.319	0.07
1.8	0.12	1.60	0.04	1.112	0.15	1.164	0.36	1.216	0.23	1.268	0.03	1.32	0.04
1.9	0.13	1.61	0.16	1.113	0.45	1.165	0.05	1.217	0.03	1.269	0.04	1.321	0.08
1.10	0.09	1.62	0.06	1.114	0.28	1.166	0.04	1.218	0.04	1.27	0.03	1.322	0.12
1.11	0.11	1.63	0.08	1.115	0.57	1.167	0.03	1.219	0.16	1.271	0.11	1.323	0.07
1.12	0.21	1.64	0.39	1.116	0.02	1.168	0.09	1.22	0.09	1.272	0.06	1.324	0.1
1.13	0.9	1.65	0.09	1.117	0.1	1.169	0.04	1.221	0.23	1.273	0.13	1.325	0.02
1.14	0.6	1.66	0.4	1.118	0.24	1.17	0.1	1.222	0.09	1.274	0.13	1.326	0.09
1.15	0.44	1.67	0.21	1.119	0.08	1.171	0.1	1.223	0.1	1.275	0.16	1.327	0.11
1.16	0.08	1.68	0.2	1.12	0.08	1.172	0.12	1.224	0.04	1.276	0.14	1.328	0.07
1.17	0.05	1.69	0.07	1.121	0.11	1.173	0.08	1.225	0.09	1.277	0.09	1.329	0.09
1.18	0.32	1.70	0.04	1.122	0.05	1.174	0.07	1.226	0.05	1.278	0.05	1.33	0.12
1.19	0.19	1.71	0.12	1.123	0.09	1.175	0.06	1.227	0.1	1.279	0.04	1.331	0.09
1.20	0.17	1.72	0.6	1.124	0.03	1.176	0.05	1.228	0.19	1.28	0.1	1.332	0.09
1.21	0.04	1.73	0.4	1.125	0.05	1.177	0.09	1.229	0.35	1.281	0.09	1.333	0.11
1.22	0.09	1.74	0.08	1.126	0.14	1.178	0.17	1.23	0.25	1.282	0.11	1.334	0.07
1.23	0.07	1.75	0.07	1.127	0.06	1.179	0.02	1.231	0.46	1.283	0.16	1.335	0.04
1.24	0.09	1.76	0.12	1.128	0.25	1.18	0.04	1.232	0.06	1.284	0.13	1.336	0.67
1.25	0.15	1.77	0.04	1.129	0.17	1.181	0.11	1.233	0.19	1.285	0.04	1.337	0.18
1.26	0.08	1.78	0.02	1.13	0.34	1.182	0.07	1.234	0.19	1.286	0.04	1.338	0.05
1.27	0.16	1.79	0.02	1.131	0.15	1.183	0.04	1.235	0.05	1.287	0.12	1.339	0.17
1.28	0.37	1.80	0.13	1.132	0.16	1.184	0.15	1.236	0.35	1.288	0.09	1.34	0.06
1.29	0.2	1.81	0.82	1.133	0.45	1.185	0.17	1.237	0.14	1.289	0.31	1.341	0.05
1.30	0.07	1.82	0.3	1.134	0.34	1.186	0.07	1.238	0.09	1.29	0.39	1.342	0.05
1.31	0.09	1.83	1	1.135	0.72	1.187	0.12	1.239	0.06	1.291	0.42	1.343	0.04
1.32	0.16	1.84	0.54	1.136	0.17	1.188	0.3	1.24	0.12	1.292	0.7	1.344	0.17
1.33	0.07	1.85	0.05	1.137	0.63	1.189	0.06	1.241	0.07	1.293	0.49	1.345	0.08
1.34	0.04	1.86	0.15	1.138	0.12	1.19	0.12	1.242	0.1	1.294	0.82	1.346	0.05
1.35	0.04	1.87	0.06	1.139	0.13	1.191	0.17	1.243	0.08	1.295	0.18	1.347	0.09
1.36	0.04	1.88	0.04	1.14	0.28	1.192	0.23	1.244	0.07	1.296	0.17	1.348	0.08
1.37	0.02	1.89	0.07	1.141	0.13	1.193	0.06	1.245	0.12	1.297	0.08	1.349	0.04
1.38	0.16	1.90	0.13	1.142	0.31	1.194	0.13	1.246	0.17	1.298	0.07	1.35	0.05
1.39	0.16	1.91	0.51	1.143	0.16	1.195	0.18	1.247	0.09	1.299	0.06	1.351	0.11
1.40	0.09	1.92	0.34	1.144	0.3	1.196	1.15	1.248	0.61	1.30	0.02	1.352	0.04
1.41	0.07	1.93	0.14	1.145	0.07	1.197	0.71	1.249	0.2	1.301	0.07	1.353	0.08
1.42	0.05	1.94	0.04	1.146	0.19	1.198	0.23	1.25	0.22	1.302	0.15	1.354	0.12
1.43	0.07	1.95	0.06	1.147	0.34	1.199	0.36	1.251	0.23	1.303	0.13	1.355	0.29
1.44	0.08	1.96	0.02	1.148	0.08	1.20	0.12	1.252	0.2	1.304	0.14	1.356	0.21
1.45	0.37	1.97	0.31	1.149	0.08	1.201	0.13	1.253	0.24	1.305	0.07	1.357	0.93
1.46	0.81	1.98	0.33	1.15	0.05	1.202	0.1	1.254	0.04	1.306	0.1	1.358	0.04
1.47	0.95	1.99	0.2	1.151	0.05	1.203	0.45	1.255	0.08	1.307	0.06		
1.48	0.81	1.1	0.08	1.152	0.39	1.204	0.11	1.256	0.21	1.308	0.14		
1.49	0.95	1.101	0.05	1.153	0.16	1.205	0.08	1.257	0.24	1.309	0.18		
1.50	0.32	1.102	0.33	1.154	0.21	1.206	0.25	1.258	0.12	1.31	0.11		
1.51	0.23	1.103	0.1	1.155	0.07	1.207	0.12	1.259	0.14	1.311	0.29		
1.52	0.03	1.104	0.08	1.156	0.12	1.208	0.86	1.26	0.12	1.312	0.18		

Total 63.2 km²; 31.1% de la cuenca

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

7.2.2 Subcuencas de segundo orden

Las subcuencas de segundo orden se constituyen por las de primer orden y sus interfluvios, son de mayores dimensiones que las anteriores, el área total es de 82.63 km², equivalente a 40.7% de la cuenca.

En la tabla 19 se muestra el listado de las sesenta y nueve subcuencas de segundo orden y su área respectiva. Puede observarse que la superficie entre ellas es variable, desde los 0.25 hasta los 12.17 km². Las de mayor extensión están situadas en la parte sur de la cuenca, excepto la más grande localizada en el extremo noroeste. En el centro hay algunas de similar tamaño, en las unidades de Pie de monte superior e inferior.

TABLA 19
SUBCUENCAS DE SEGUNDO ORDEN
(Área en km²)

Nu	A												
2.1	0.52	2.11	0.93	2.21	2.26	2.31	0.88	2.41	1.54	2.51	0.47	2.61	0.32
2.2	0.57	2.12	3.02	2.22	0.84	2.32	0.98	2.42	1.24	2.52	1.58	2.62	0.86
2.3	0.6	2.13	1.57	2.23	0.94	2.33	1.34	2.43	0.31	2.53	0.52	2.63	1.24
2.4	3.15	2.14	0.52	2.24	1.21	2.34	2.32	2.44	0.92	2.54	0.25	2.64	1.13
2.5	2.45	2.15	0.15	2.25	1.01	2.35	3.31	2.45	1.03	2.55	6.37	2.65	0.65
2.6	1.52	2.16	0.68	2.26	0.08	2.36	0.66	2.46	0.86	2.56	1.97	2.66	0.28
2.7	2.14	2.17	0.53	2.27	0.61	2.37	0.86	2.47	0.67	2.57	0.87	2.67	0.41
2.8	0.9	2.18	0.25	2.28	0.39	2.38	1.4	2.48	0.54	2.58	0.38	2.68	0.71
2.9	0.34	2.19	1.36	2.29	0.19	2.39	0.58	2.49	0.57	2.59	12.2	2.69	0.64
2.10	0.47	2.20	5.14	2.30	1.06	2.40	0.69	2.50	0.58	2.60	1.13		

Total 82.63 km²; 40.7% de la cuenca

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

Una tercera parte de las subcuencas de este orden, se sitúan en el norte de la región en estudio, en altitudes variables, desde los 2 200 hasta los 1 200 msnm. El menor número de estas subcuencas está en la región de la cabecera. En este caso, las subcuencas se localizan desde 4 200 hasta 3 200 msnm. Las de menor tamaño se distinguen hacia el norte coincidiendo con la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales.

Las subcuencas localizadas en la cabecera y parte media están orientadas de sur a norte, las de las partes bajas de la margen izquierda, pertenecientes a la subcuenca del arroyo Romerillos, están orientadas de oeste a este, en las unidades: Laderas del volcán Cofre de Perote, Pie de monte superior y Pie de monte inferior. Las situadas en la margen derecha están orientadas de este a oeste formando parte del arroyo Las Hayas.

7.2.3 Subcuencas de tercer orden

Las subcuencas de tercer orden son trece, en conjunto tienen un área de 86.1 km², equivale a un 42.4% de la cuenca. Las extensiones son variables, desde los 1.9 km² hasta los 27.9 km² (ver tabla 20)

La subcuenca de mayor extensión de esta categoría, está localizada desde el inicio de la cabecera y siguiendo una dirección hacia el oeste, llega hasta más de la mitad de la cuenca, incluye altitudes desde los 4 200 msnm hasta los 2 400 msnm.

TABLA 20
SUBCUENCAS DE TERCER ORDEN
(Área en km²)

Nu	A	Nu	A	Nu	A	Nu	A	Nu	A
3.1	2.1	3.4	27.9	3.7	3.2	3.10	4.3	3.13	7.9
3.2	5	3.5	4.4	3.8	8.2	3.11	1.9		
3.3	8.7	3.6	4.7	3.9	4.8	3.12	3		

Total: 86.1 km²; 42.4% de la cuenca

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

La mayoría de estas subcuencas tienen una orientación de sur a norte, excepto las dos últimas, situadas en la parte septentrional de la región de estudio, que están orientadas en forma opuesta. En la margen izquierda, el arroyo Romerillos tiene una dirección de oeste a este y en la margen derecha, el arroyo Las Hayas, en sentido contrario.

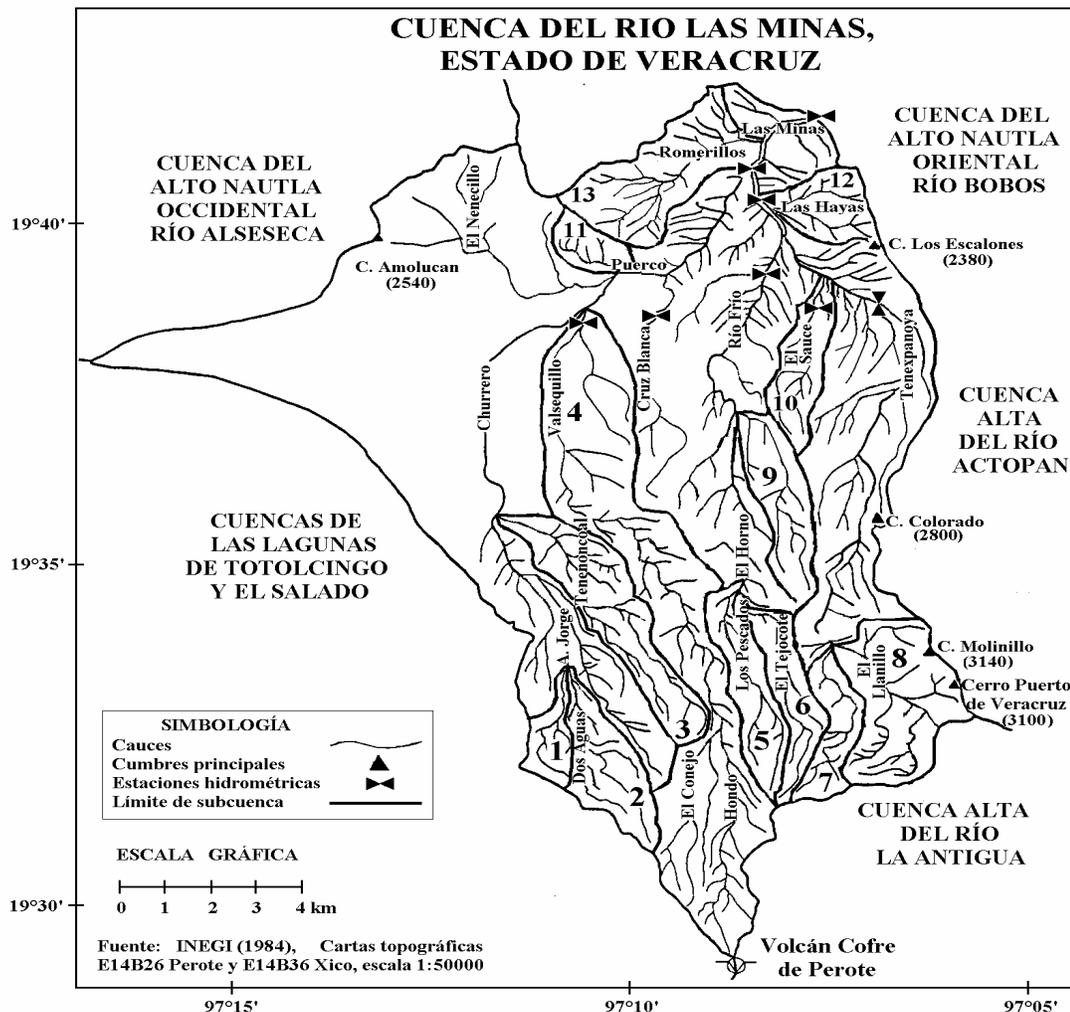


Figura 23. Subcuencas de tercer orden en la cuenca del río Las Minas

La figura 23 permite observar la distribución y localización de las trece subcuencas de tercer orden formadas en la cuenca del río Las Minas. Están numeradas de la cabecera hacia el punto terminal. Las primeras ocho subcuencas se distinguen en el sur, y son de tamaños semejantes, excepto la que tiene el número cuatro, que es de hecho la más extensa en la cuenca, ya que ocupa un área de 27.9 km².

Las subcuencas situadas en el centro de la cuenca son las que tienen los números nueve y diez. Las que se localizan en el norte de la cuenca son las tres restantes. La menor de ellas y de toda la cuenca, cubre una superficie de 1.9 km² y se ubica hacia el noreste y puede distinguirse con el número once.

La figura referida no muestra los núcleos de población, carreteras, ni las curvas de nivel que si están plasmados en el mapa de trabajo no incluido en la tesis. La delimitación de las cuencas de tercer orden se hizo con base en la jerarquización de los cauces por el número de orden, de modo independiente de los nombres con que se conocen localmente.

7.2.4 Subcuencas de cuarto orden

En la tabla 21 se muestran los datos correspondientes a las tres subcuencas de cuarto orden, enlistadas de la margen derecha a la izquierda son: Tenexpanoya, Río Frío y Puerco. El área que cubren es de 186.6 km², equivalente a 92.1% del área total de la cuenca del río Las Minas.

TABLA 21
SUBCUENCAS DE CUARTO ORDEN
(Área en km²)

Nombre	Nu	A
Tenexpanoya	4.1	37.4
Río Frío	4.2	32.4
Puerco	4.3	117

Total 186.6 km²; 92.1% de la cuenca

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

La subcuenca del arroyo Tenexpanoya está orientada de sur a norte y ocupa las unidades de Pie de monte superior e inferior, Laderas de la subcuenca Tenexpanoya y Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales (figura 22).

La subcuenca de arroyo Frío está orientada también de sur a norte, incluye altitudes desde 3 300 hasta 1 600 msnm y ocupa las unidades de las Laderas del volcán Cofre de Perote, de la subcuenca Tenexpanoya, Pie de monte superior e inferior y los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales.

La subcuenca del arroyo Puerco, la más grande, abarca una extensión de 116.8 km² incluye altitudes desde la línea divisoria de aguas en la cabecera hasta los 1 400 msnm, está orientada de sur a noroeste y norte.

7.3 Cuantificación de los cauces

Una gran parte de la porción meridional de la cuenca del río Las Minas está ubicada en las laderas del norte del volcán Cofre de Perote, las cuales tienen declives moderados. Sin embargo, hacia la parte baja, al norte de la cuenca, se inician una serie de desniveles notables a manera de escalones, desde aproximadamente los 2 300 msnm hasta el punto terminal del trabajo a los 1 200 msnm.

Esta porción de escalones corresponde a la unidad de relieve llamada Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales (ver mapa de unidades básicas de relieve).

En esa región, las laderas más altas se localizan en la porción noreste como parte de las laderas del cerro Los Escalones. Hacia el norte de la cuenca, se distinguen tres regiones con numerosos segmentos cauces, orientados de este a oeste, muy próximas una de otra y a dos kilómetros del punto terminal.

Por el número de segmentos que tienen y su orientación de este a oeste, se distinguen las siguientes regiones: mayor, mediana, escasa y nula.

1. Mayor. Incluye el mayor número de cauces y está dividida a su vez, en tres regiones.
 - a. El mayor número de cauces está localizado en el extremo noreste, incluye altitudes de 2 100 hasta 1 700 msnm. En esta región confluyen los arroyos Tenexpanoya y Río Frío para formar el río Las Minas y está situada a 1.5 km del cerro Los Escalones
 - b. La segunda región se ubica un poco más hacia el norte, desde 1 800 hasta 1 500 msnm, en la desembocadura del arroyo Churrero en el río Las Minas, donde estuvo situada la estación hidrométrica Borregos.
 - c. La tercera región se ubica hacia el nor noroeste a partir de 2 200 hasta 1 500 msnm. Incluye los arroyos Ánimas y Borregos que forman al arroyo Romerillos. A diferencia de las dos primeras zonas, ésta dista solamente 1.5 km de su confluencia con el río Las Minas.
2. Mediana. En esta región se distinguen también tres grupos:
 - a. Es la mayor de las tres y donde se localizan ocho de las trece subcuencas de tercer orden. Abarca el 16% del área total y está muy espaciada. Se ubica entre los 3 900 y los 2 500 msnm y su dirección es de sur hacia el centro este y oeste.
 - b. Otra área está situada hacia el centro este de la cuenca partir de los 2 800 hasta los 2 400 msnm, los cauces predominantes son de primer y segundo órdenes, incluye tres kilómetros de cauces de cuarto orden.
 - c. La tercera región se localiza entre los 2 400 y los 1 300 msnm. hacia el norte y nor noreste de la cuenca, el mayor número de cauces es de primer orden y la mayoría se localizan en el área de confluencia de las tres corrientes principales con 4.5 km de longitud de cauces de cuarto orden.
3. Escasa. Se nota un área de sur a norte; de la cabecera hasta el punto terminal del trabajo.
4. Nula. Hay dos espacios notables donde se carece de corrientes superficiales y estos son:
 - a. En la parte media centro occidental, ocupando una pequeña extensión, equivalente a dos kilómetros de superficie de la cuenca.
 - b. En la unidad Llanos de Perote, cubriendo un área considerable de 30 km² donde no se distingue ningún cauce superficial, debido al material litológico existente.

7.4 Orden de los cauces

La formación de un cauce de segundo orden se hace con la unión de dos cauces de primer orden; un cauce de tercer orden se forma con la unión de dos de segundo orden y así sucesivamente. Se puede considerar que el río Las Minas y su cuenca respectiva son de quinto orden.

Los cauces de primer orden son 358, equivalentes al 80.6% del total de cauces, y están presentes en casi toda la cuenca, excepto en la región noroeste coincidente con la unidad de Llanos de Perote.

Los cauces de segundo orden son sesenta y nueve, equivalentes al 15.6% del total, en este caso aparte de la región noroeste, no se distinguen cauces de este orden en el norte, centro y centro sur de la cuenca.

Los cauces de tercer orden son trece y le corresponden un 2.9% del total de ellos. Los cauces están numerados consecutivamente del 3.1 al 3.13, los primeros diez cubren aproximadamente la mitad de la cuenca, del centro al sur de la misma. Los tres cauces siguientes están situados en el extremo norte cercanos al punto terminal del trabajo y orientados en sentido opuesto a los primeros diez, es decir de oeste a este.

Los cauces de cuarto orden son tres. El arroyo Puerco tiene una longitud de 17.5 km, el arroyo Tenexpanoya mide 13 km y el arroyo Frío, 11 km.

TABLA 22
DATOS MORFOMETRICOS AREALES
 Orden: 5 Área: 203 km² Perímetro: 76 km

Nu	Número de cauces	Área (km ²)	Área media (km ²)	Relación de área
1	358	63.2	0.1765	6.7847
2	69	82.6	1.1975	5.5306
3	13	86.1	6.623	9.3915
4	3	186.6	62.2	3.257
5	1	203.0	203.0	

Total: 621.09 km²

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

7.4.1 Relación de confluencia

La relación de confluencia es la relación existente entre el número de cauces de un orden dado con respecto al número de cauces del orden superior inmediato y así sucesivamente, hasta llegar al cauce principal que es un solo segmento. Este parámetro indica de manera general que tan homogéneo es el sistema fluvial.

Para el caso de la cuenca del río Las Minas, los valores resultantes de la relación de confluencia se muestran en la figura 24, y son los siguientes:

1. Del primero al segundo orden hay un valor de 5.2 lo que supone la existencia de una red hidrográfica en la que los segmentos de cauce de la primera jerarquía constituyen un sistema con una gran cantidad de afluentes (358). En la unidad de los Llanos de Perote no se observan en la superficie cauces, lo que hace suponer que éstos se insumen en la toba ácida que forma el basamento, además es una región con poca precipitación, inferior a 700 mm
2. El número de segmentos de cauce del segundo al tercer orden es de 69, el valor de la relación de confluencia es de 5.3 La longitud total de éste orden es de 49 km, lo que implica un 25% de la longitud de los cauces de primer orden.

3. La relación de confluencia del tercero al cuarto orden es de 4.3 El número de cauces de tercer orden es de trece. Solo uno de esos cauces tiene gran longitud, aproximadamente dieciocho kilómetros, nace aproximadamente a un kilómetro de la cabecera de la cuenca, y se dirige hacia la parte norte, uniéndose al arroyo Puerco de cuarto orden, a los 2 400 msnm. Considerando la longitud total de los cauces de tercer orden, éste que en la región central recibe el nombre de arroyo Valsequillo, constituye casi la mitad (el 47%) de la longitud total de este orden.

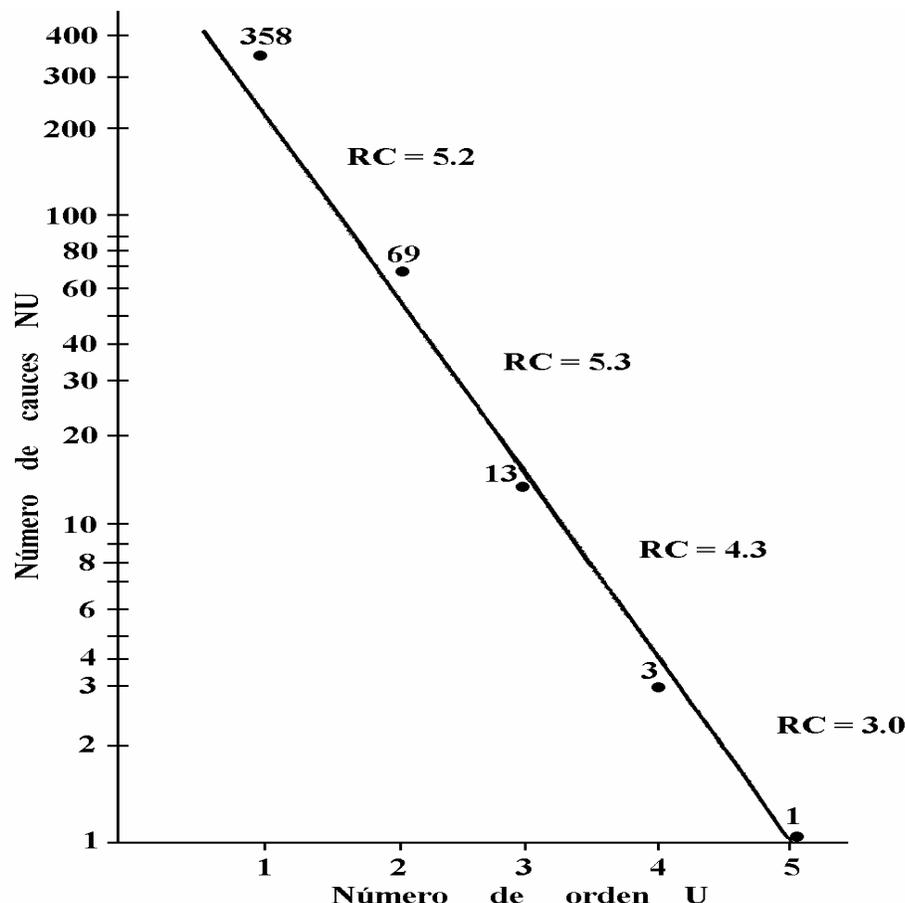


Figura 24. Relación de confluencia del sistema de cauces de la cuenca del río Las Minas.

TABLA 23
DATOS MORFOMETRICOS LINEALES
Área: 203 km² Perímetro: 76 km

Nu	Numero de cauces	Relación de confluencia	Longitud de cauces (km)	Porcentaje de longitud	Longitud media	Relación de longitud	Frecuencia de cauces	Densidad de drenaje
1								
2	358		194	61	0.54		1.76	3.06
3	69	5.2	49	15.4	0.71	1.31	0.34	0.59
4	13	5.3	38	11.9	2.9	4.08	0.064	0.44
5	3	4.3	33	10.4	11	3.79	0.014	0.17
	1	3	4	1.3	4	0.36	0.013	0.019
Total	444		318	100				

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

4. El valor de la relación de confluencia del cuarto al quinto orden es de 3.0 (el menor valor). Con una longitud de 4 km los cauces de cuarto orden están orientados de sur a norte y los llamados arroyos Tenexpanoya y Frío están situados del lado oriental. El valor medio de la relación de confluencia es de 4.1 El menor valor es de 3.0 y el mayor es de 5.2, esto hace suponer que en la red fluvial de toda la cuenca del río Las Minas, aparentemente y en términos generales, hay una relación equitativa.

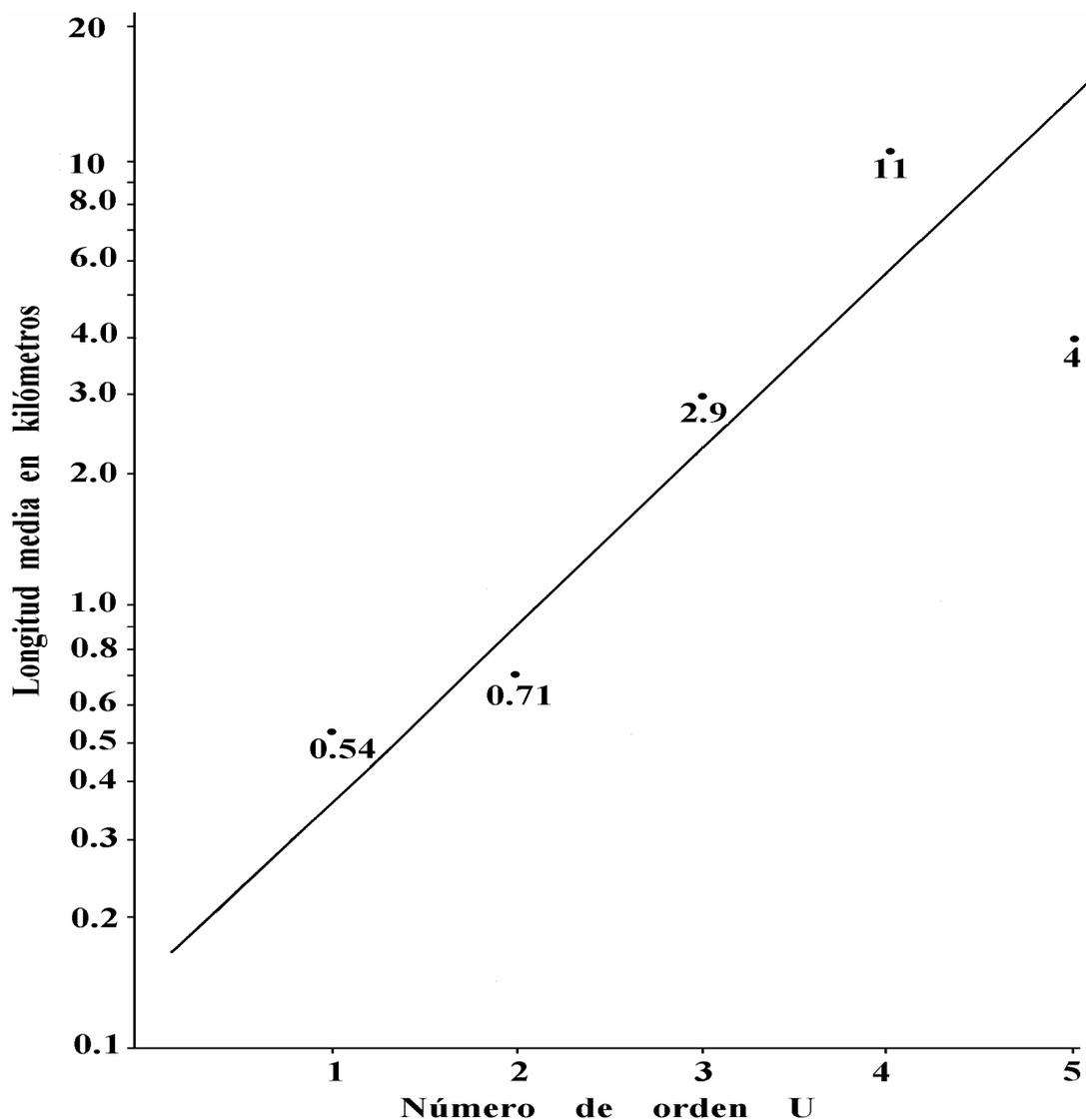


Figura 25. Relación de longitud del sistema de cauces de la cuenca del río Las Minas.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

7.4.2. Relación de longitud

La relación de longitud indica cuantas veces o en que proporción se incrementa la longitud media de los cauces de un orden con respecto al orden inmediato anterior. Según Arthur N. Strahler (1990) la relación de longitud muestra la tendencia del crecimiento medio de la longitud de los cauces a partir de los segmentos de primer orden (ver tablas 18 a 21 y figura 25).

En el mapa del sistema de drenaje de la cuenca del río Las Minas, las longitudes de los cauces, se puede apreciar, una gran heterogeneidad, tanto en las longitudes por el número de orden y por su distribución espacial.

Los sesenta y nueve cauces de segundo orden en su mayoría son de corta longitud, y miden en promedio 0.76 km, la mayor parte están situados en la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales y en la de Pie de monte superior. La longitud media de los cauces de segundo orden se incrementa 1.31 veces con respecto a la longitud media de los de primer orden. Los cauces de segundo orden son un kilómetro y trescientos diez metros más largos que los de primer orden.

Los cauces de tercer orden que inician en las subcuencas de los arroyos Frío y Tenexpanoya son semejantes en dirección y en longitud. Estos cauces son 4 kilómetros con 80 metros más largos que los de segundo orden. Por último, los cauces de cuarto orden son los de mayor longitud, entre ellos destaca el arroyo Puerco que tiene dieciséis kilómetros, localizado en la margen occidental, se inicia como un cauce de ese orden a los 3 300 msnm con el nombre de arroyo Jorge hasta los 1 400 msnm, donde se une con el arroyo Tenexpanoya para dar origen al río Trinidad y Minas.

El arroyo Frío tiene 7.2 km de longitud e inicia a los 3 280 msnm y termina a los 1 600 msnm donde se une con el arroyo Tenexpanoya situado en la margen oriental, el cual tiene una longitud de 9.8 km e inicia a los 3 200 msnm. La longitud media de los cauces de cuarto orden se incrementa 3.97 con respecto a la longitud media, esto es, que los cauces de cuarto orden son en promedio tres kilómetros con setecientos noventa metros más largos que los cauces de tercer orden.

El cauce principal de la cuenca, el río Las Minas, es de quinto orden y tiene hasta el punto terminal que se determinó convencionalmente, una longitud de cuatro kilómetros., la relación de longitud del cuarto al quinto orden tiene un decremento muy notable: 0.36, sin embargo, aquí cabe precisar que esto se debe al hecho de que se cortó este río en un punto arbitrario, para el presente trabajo, por lo anterior no se puede considerar como un valor representativo.

Los valores de segundo a tercer orden y los de cuarto a quinto, están desproporcionados, esto puede deberse a características físicas de la cuenca tales como las variaciones de pendiente, la litología heterogénea y los diferentes tipos de suelos y de vegetación. En cuanto a la relación de longitud, las diferencias son notables ya que los cauces de tercer y cuarto orden tienen una mayor longitud que los dos primeros órdenes.

7.5 Frecuencia de cauces

La frecuencia de cauces total de la cuenca, es la relación existente entre el número total de cauces de todos los órdenes y el área de la misma. El resultado es una idea general del promedio de cauces por kilómetro cuadrado, suponiendo una distribución uniforme (ver tabla 23). Un aspecto más cercano a la realidad es obtener la frecuencia de cauces en un mapa y efectuar los cálculos directamente. Esto se hizo, utilizando la cuadrícula impresa de las coordenadas UTM de un kilómetro cuadrado y en cada uno de ellos, se hizo el conteo.

El mapa de distribución geográfica de la frecuencia de cauces permite observar que los valores de uno a cuatro considerados como de frecuencia baja y los de cinco a ocho, de frecuencia media, son los que predominan en la cuenca (mapa 10).

Los valores de frecuencia baja están distribuidos de modo aleatorio en gran parte de la cuenca, sin embargo, predominan hacia el centro de la región de estudio. Los valores de frecuencia media también están localizados en la mayor parte, pero predominan en el centro y sur de la cuenca donde se notan más de la mitad de ellas.

La frecuencia de cauces alta, de nueve a doce, se ubica en la parte cercana al punto terminal, donde confluyen los arroyos Tenexpanoya, Frío y Puerco, hacia el norte de la cuenca. Algo que es notable en este mapa es la ausencia de cauces, nombrada nula, en el oeste en la unidad de Llanos de Perote.

7.6 Densidad de drenaje

Para efectuar un análisis más detallado del sistema de drenaje del área en estudio se incorporó la densidad de drenaje (Strahler, 1990). Este concepto se puede manejar de dos maneras: densidad de drenaje total o absoluta y densidad de drenaje.

La densidad de drenaje total de la cuenca, es la relación que hay entre la longitud total de cauces en la cuenca y el área total de la misma. Este es un concepto absoluto y por lo tanto general e impreciso. En cambio la densidad de drenaje relativa o particular se refiere a la ubicación geográfica que tiene este coeficiente en cada parte de la cuenca. Para ello, se aprovecha la cuadrícula de las coordenadas UTM por kilómetro cuadrado y se miden acumulativamente la longitud de los segmentos cauces de todo los ahí ubicados, sin importar el número de orden. De esta manera se obtiene el mapa de la ubicación geográfica de la densidad de drenaje (mapa 11).

Este mapa permite observar de manera objetiva tanto la ubicación geográfica de la densidad de drenaje, como la distribución espacial de un parámetro. El mapa correspondiente a la cuenca del río Las Minas permite observar cuatro rangos de densidad: baja, media, alta y muy alta.

- a. La densidad de drenaje considerada baja es de 0.1 a 1.3 km/km² está distribuida en toda la cuenca, predomina hacia el centro y norte de la misma.
- b. La densidad media es de 1.4 a 2.5 km/km² también se localiza en toda la cuenca, aunque es mayor en el sur y centro de la región.
- c. La densidad alta está uniformemente espaciada y distribuida en toda la cuenca, exceptuando la región occidental, donde se localiza la unidad de Llanos de Perote, que al carecer de cauces superficiales, se considera que su densidad de drenaje es inexistente
- d. La densidad de drenaje muy alta (de 3.9 a 5.0 km/km²), está localizada en la unidad de los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales, hacia el norte de la cuenca, en la región de confluencia de los tres arroyos más importantes: Tenexpanoya, Frío y Puerco, próxima al punto terminal. También se localiza en el extremo occidental el inicio de un cauce de cuarto orden que aguas abajo se llamará Churrero y más abajo, Puerco

Se puede considerar que el río Las Minas y su cuenca respectiva son de quinto orden. Así entonces, la cuenca del río Las Minas está formada por una red hidrográfica constituida por 444 segmentos cauce, del primero al quinto orden, con un total de 318 km de longitud.

La densidad de drenaje de la cuenca es de 1.56 y su frecuencia de cauces es de 2.187. La longitud media de los cauces del primero al quinto orden es de 19.15 km. A continuación se procederá a describir la densidad de drenaje respecto de las unidades básicas de relieve en que se dividió a la cuenca.

Hacia el sur, en la unidad de las Laderas del volcán Cofre de Perote la densidad de drenaje es baja y media, con valores comprendidos entre 0.1 a 3.5 km/km². Predominan cauces de primer y segundo orden; los de primer orden son largos y tienden a ser poco sinuosos y están espaciados entre sí. Con cierto contraste, en la porción oriental están relativamente aglomerados. En algunos lugares de alta densidad de drenaje se observa que la distribución de valores forma continuidades.

En la unidad de Pie de monte superior predomina la densidad media y baja, los valores representados incluyen desde 0.1 hasta 4.0 km/km² y presentan continuidad, los cauces de primer y segundo orden son los más abundantes aunque de menores longitudes, en esta unidad inician cauces de tercer orden. La densidad de drenaje alta también se observa en algunos lugares sin formar continuidad, está en áreas dispersas, no se observa ningún patrón. En la porción occidental hay una densidad muy alta formando una continuidad a lo largo del arroyo Jorge, que es la cabecera de uno de los colectores principales, el cual aguas abajo se identifica como arroyo Puerco.

Hacia el centro de la cuenca, en la unidad de Pie de monte inferior predomina la densidad media formando una continuidad a lo largo, desde donde está la cabecera del arroyo Frío hasta el límite de dicha unidad básica de relieve. La densidad baja no ofrece una continuidad definida, los valores incluyen desde 0.1 a 3.0 km/km²

En la unidad de las Laderas de la subcuenca Tenexpanoya tiene en su parte alta densidad de drenaje baja con predominio de cauces de primer orden y hacia la parte central la densidad es media y está constituida por cauces de segundo orden y algunos afluentes de primero. La porción oriental se extiende de manera notable de sur a norte, constituyendo la cabecera y porción media del arroyo Tenexpanoya, debido a su forma alargada ésta unidad que constituye una subcuenca, tiene predominio de densidad media de 1.4 a 2.5 km/km² y tiende a formar una continuidad hacia la porción alta. En algunas partes sin presentar continuidad hay densidad de drenaje alta, únicamente en la parte baja hay un lugar donde la densidad es muy alta, con un valor de 4.0 km/km² lo que contrasta con las porciones de la parte baja que son de densidad de drenaje baja de 0.1 a 1.3 km/km²

La unidad de las Laderas del cerro Amolucan es una región muy poco montañosa, se caracteriza por presentar relieve constituido por cerros de poca elevación, cuyas laderas forman lomas y colinas poco inclinadas. Predomina la densidad de drenaje baja de 0 a 2.0 km/km², está constituida por cauces de primer orden, algunos de ellos son largos y casi rectos, y se prolongan hacia los Llanos de Perote.

En la unidad de los Llanos de Perote que coincide con la parte media del arroyo Puerco, se distinguen dos porciones que contrastan entre sí por su densidad de drenaje. A primera vista se nota de inmediato que gran parte de la porción occidental, ubicada hacia la margen izquierda del arroyo Puerco carece de drenaje, por lo tanto la densidad de drenaje es de 0, excepto en la porción extrema sur y extrema norte con valores de 0.2 a 3 km/km². La porción territorial ubicada hacia la margen derecha del arroyo Puerco tiene un sistema de cauces bastante definido constituido básicamente por cauces de primer y segundo orden, muy largos y en algunos casos provenientes del Pie de monte superior.

En el extremo sur predomina la densidad de drenaje media y baja con valores de 0.3 a 3.0 km/km². Se nota que este arroyo no recibe ningún afluente por más de 7 km. En el mapa correspondiente se puede ver que de hecho hay porciones de la margen derecha donde tampoco hay cauces adyacentes, en la misma margen en su extremo sur, la densidad de drenaje es alta con 3.0 km/km² y disminuye a densidad media de 1.5 a 2.5 km/km² en la porción sureste, donde tiende a formar una continuidad. Aquí únicamente hay un lugar con densidad alta de 3.0 km/km² y después, ante la carencia de sistema de drenaje la densidad es baja, aunque podría considerarse prácticamente nula, ya que únicamente se tienen algunos cuantos colectores que son los que le otorgan el valor local de 0.2 a 1 km/km². Los cauces tienden a estar separados entre sí, hacia el extremo norte la densidad de drenaje vuelve a aumentar hacia los valores medio y bajo de 1 a 2 km/km² antes de entrar a la unidad de lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales.

La unidad de Lomeríos, cañada y barrancas septentrionales como ya se indicó, constituye la porción más baja de la cuenca y es donde se inician desniveles notables del terreno hacia las planicies ubicadas aguas abajo. Por lo tanto, derivado de dicho aspecto en esta porción de la cuenca, se tienen cauces de cuarto orden bien definidos los cuales reciben algunos afluentes de segundo orden o incluso de tercero. En ese lugar se pueden distinguir, en general, dos porciones territoriales definidas por la densidad de drenaje y por la estructuración del sistema fluvial. La primera y más importante se ubica hacia el oriente, identificado por la confluencia de los arroyos Tenexpanoya y Frío, a partir del cual se constituye el río Las Minas, este recibe aguas abajo, aproximadamente a 2 km en su margen izquierda, al arroyo Puerco como afluente.

La segunda porción está constituida por la corriente del arroyo Romerillos ubicada en la región noroccidental, la cual es de poca importancia tanto por su extensión como por el desarrollo del sistema de cauces y la poca agua que aporta. En la porción oriental la densidad de drenaje que predomina es alta con valores de 3.0 km/km², cabe indicar que estos valores se deben a la gran cantidad de cauces de primer orden, la mayoría de los cuales son largos y medianos, relativamente próximos entre sí, que son afluentes de los colectores principales. Los valores de la densidad de drenaje incluye valores de 0 a 5.0 es en esta porción territorial donde se localiza la densidad de drenaje muy alta.

La cuenca del río Las Minas presenta de manera general, un tipo de drenaje dendrítico. En el sentido de norte a sur se localizan el mayor número de cauces, por lo que se considera que es esa región la mejor drenada en la cuenca. En la unidad de los llanos de Perote casi no hay corrientes superficiales. La cuenca de estudio está formada por tres subcuencas de cuarto orden, la mayor de ellas es la del arroyo Puerco con una superficie superior al 57%. En esta parte de la cuenca es donde hay una infiltración notable debido a los materiales litológicos compuestos de toba ácida y basalto.

Las cuencas de primer orden constituyen una tercera parte de la cuenca, el mayor número de ellas se localiza en el noreste en altitudes bajas de 2200 a 1200 msnm. La densidad de drenaje es de 1.56 y la frecuencia de cauces es de 2.1. Las frecuencias de cauces baja y media son las que predominan en la cuenca y la longitud media de los cauces es de 19.1 km.

CAPITULO 8

BALANCE HIDROLÓGICO

5.0 Generalidades

Con la finalidad de completar el estudio hidrogeográfico de la cuenca del río Las Minas, es necesario obtener el balance hidrológico de la misma, ya que éste permite conocer el funcionamiento del ciclo hidrológico local.

El balance hidrológico de una cuenca, es la relación existente entre dos aspectos muy importantes del ciclo hidrológico, que son los siguientes:

1. La precipitación que implica el ingreso de una cantidad de agua al sistema hidrológico y;
2. La distribución y salida del agua de la cuenca a través de la infiltración, escurrimiento, evaporación y transpiración.

Así entonces, los parámetros a considerar son la temperatura y la precipitación obtenidas de los registros meteorológicos de las estaciones climatológicas consideradas, así como los datos de escurrimiento conseguidos en los registros de las estaciones hidrométricas incluidas en el área de la cuenca.

Con los datos de temperatura, precipitación y escurrimiento se pueden inferir los de evapotranspiración e infiltración para así poder realizar el balance hidrológico general. La importancia de éste en una cuenca consiste en conocer cuantitativamente el ingreso del agua y la distribución de la misma. Los balances hidrológicos de la cuenca del río Las Minas se obtuvieron con base en el cálculo de la precipitación media por el método de isoyetas, el cálculo de la temperatura media con la información de las isotermas y los porcentajes de escurrimiento fueron recabados considerando los coeficientes de escurrimiento con base en los declives, la litología y la cobertura vegetal. Cabe indicar que el balance de agua global es una aproximación y resultado de la suma de todos los balances hidrológicos de las subcuencas.

5.1 Precipitación.

La precipitación es el elemento climático que tiene mayor importancia en un estudio hidrográfico puesto que, en la mayoría de los casos, constituye la principal fuente de origen y de alimentación de un río. La precipitación en la cuenca del río Las Minas, como ya se ha indicado, está condicionada por un lado a la orografía y por otro a la circulación general de la atmósfera, ya que las masas de aire húmedo y caliente transportan la humedad procedente del Golfo de México hacia el noroeste durante las estaciones de verano y comienzos del otoño, estableciendo así la época lluviosa que inicia normalmente en junio y continúa hasta septiembre.

El mapa de coeficiente de escurrimiento (número 12) tiene señaladas las líneas isoyetas que incluyen valores inferiores a 600 hasta más de 1 500 mm. Puede apreciarse en el mapa citado, que las líneas isoyetas presentan un cierto paralelismo, las de mayor valor son las que están situadas hacia el lado oriental de la cuenca y disminuyen dichos valores hacia el occidente de la misma, por ejemplo, la estación de Perote (situada fuera del área de estudio) presenta 456.5 mm.

El área cubierta por cada rango de líneas isoyetas es el siguiente:

Menor	a	600 mm	1.49 km ²
600	a	700 mm	11.39 km ²
700	a	800 mm	31.48 km ²
800	a	1 000 mm	53.18 km ²
1 000	a	1 200 mm	59.57 km ²
1 200	a	1 500 mm	33.25 km ²
Mayor	a	1 500 mm	12.64 km ²
Total			203.0 km²

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

Considerando los valores anteriores, puede inferirse que la cuenca está situada en su extensión mayor en rangos de precipitación de 700 a 1 500 mm, ya que sumados estos 4 rangos de mayor superficie, es igual a 177.48 km², equivalente al 87.42% del área total.

TABLA 24
PRECIPITACION

Unidad básica de relieve	Área en km ²	Área acumulada	Lámina teórica de precipitación en mm	Volumen en 10 ⁶ m ³	Volumen acumulado	% de volumen total	% de área
1	18.7	18.7	934	17.474	17.474	8.5	9.2
2	25.2	43.9	1238	31.189	48.663	15.1	12.4
3	40.3	84.2	953	38.424	87.087	18.6	19.9
4	19	103.2	1104	20.985	108.072	10.2	9.4
5	14.4	117.6	914	13.161	121.233	6.3	7.1
6	54.7	172.3	791	43.291	164.524	20.9	26.9
7	30.7	203	1375	42.208	206.732	20.4	15.1
Total	203	203	7309	206.732	206.732	100	100

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

Por lo que respecta a la tabla 24, que considera los volúmenes de precipitación por unidades básicas de relieve, se puede afirmar que la unidad de Llanos de Perote presenta el mayor volumen de precipitación con $43.291 \times 10^6 \text{ m}^3$ y es también la unidad que cubre un porcentaje areal mayor de 26.9%. También los Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales tienen un gran volumen de $42.208 \times 10^6 \text{ m}^3$, aunque la supera en porcentaje areal la unidad de Pie de monte superior y tiene el tercer volumen de importancia con $38.424 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Los volúmenes menores están registrados en las Laderas orientales del cerro Amolucan con $13.161 \times 10^6 \text{ m}^3$ y en las Laderas altas del volcán Cofre de Perote con $17.474 \times 10^6 \text{ m}^3$ y son también las unidades de porcentaje areal menor en la cuenca con 7.1% y 9.2% respectivamente.

5.2 Evapotranspiración

La evaporación es otro elemento muy importante a considerar en el ciclo hidrológico, ya que representa las pérdidas mayores en ese evento. Es necesario considerar también las pérdidas que tienen el suelo y las plantas del líquido vital lo que en conjunto se le conoce como evapotranspiración. Para el caso de la cuenca del río Las Minas, este proceso fue calculado utilizando la fórmula de Turc, que se describe enseguida.

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

E = Evapotranspiración en mm
 P = Precipitación media anual en mm
 L = Variable según la temperatura
 $L = 300 + 25 T + 0.05 T^2$
 T = Temperatura media anual en °C

La información resultante está condensada en la tabla 25 y muestra que los valores más altos de este parámetro son los correspondientes a las regiones de mayor área de la cuenca como son las de las unidades de Llanos de Perote con un volumen de $29.971 \times 10^6 \text{ m}^3$; Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales con $23.144 \times 10^6 \text{ m}^3$ y el Pie de monte superior con $21.665 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Los volúmenes menores de evapotranspiración se ubican en las regiones menos extensas como son las Laderas orientales del cerro Amolucan con $8.628 \times 10^6 \text{ m}^3$; Pie de monte inferior con $11.727 \times 10^6 \text{ m}^3$ y el valor mas bajo se localiza en las Laderas altas del volcán Cofre de Perote con $8.692 \times 10^6 \text{ m}^3$.

TABLA 25
EVAPOTRANSPIRACION

Unidad básica de relieve	Área en km ²	Lamina teórica de precipitación en mm	T en °C	Lámina teórica de ET en mm	% parcial de lámina ET	Volúmen de ET en 10 ⁶ m ³	Volumen acumulado	% Volumen total de ET	% Area
1	18.7	934	8.3	465	49.8	8.692	8.692	7.4	9.2
2	25.2	1 238	11	570	46	14.362	23.054	12.1	12.4
3	40.3	953	11.1	538	56.4	21.665	44.719	18.3	19.9
4	19	1 104	12.9	617	55.9	11.727	56.446	9.9	9.4
5	14.4	914	13.7	599	65.5	8.628	65.074	7.3	7.1
6	54.7	791	13.2	548	69.3	29.971	95.045	25.4	26.9
7	30.7	1 375	15.6	754	54.8	23.144	118.189	19.6	15.1
Total	203	1 018	12.26	584	57	118.189	118.189	100	100

T = Temperatura ET = Evapotranspiración

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

5.3 Escurrimiento

El escurrimiento superficial es otra etapa importante del ciclo hidrológico, por ello es necesario considerarla para el estudio de la cuenca del río Las Minas. Dicho parámetro fue determinado principalmente con base en la información disponible en tres boletines publicados por la Comisión Federal de Electricidad.

La tabla 26 que concentra los valores del escurrimiento muestra que el mayor volumen coincide con el punto terminal de la cuenca con $7.519 \times 10^6 \text{ m}^3$. La segunda área en volumen de importancia es la de Llanos de Perote con $5.422 \times 10^6 \text{ m}^3$, ésta cubre la mayor superficie de la cuenca. De las áreas con menor extensión, la de Pie de monte inferior tiene un volumen de $4.101 \times 10^6 \text{ m}^3$. En cuanto a los menores volúmenes le corresponden las menores áreas en las Laderas orientales del cerro Amolucan con un valor de $1.315 \times 10^6 \text{ m}^3$ y las Laderas altas del volcán Cofre de Perote con $2.066 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Fue considerada también la información del mapa de aguas superficiales (INEGI) que comprende los coeficientes de escurrimiento, las líneas isotermas e isoyetas. Dicho mapa también incluye la ubicación de las cinco estaciones climatológicas y las ocho estaciones hidrométricas cuyos valores fueron utilizados para el presente estudio.

TABLA 26
ESCURRIMIENTO

Unidad básica de relieve	Área en km^2	Lámina teórica de P en mm	Volumen de R en 10^6 m^3	Volumen acumulado	Lámina teórica de R en mm	Coefficiente teórico de R en %	% Volumen parcial de R.	% Volumen total de R	% Área	Volumen de P en 10^6 m^3
1	18.7	934	2.066	2.066	110	11.8	11.8	7.8	9.2	17.474
2	25.2	1238	3.273	5.339	130	10.5	10.5	12.3	12.4	31.189
3	40.3	953	2.976	8.315	74	7.8	7.7	11.1	19.9	38.424
4	19	1104	4.101	12.416	216	19.6	19.5	15.3	9.4	20.985
5	14.4	914	1.315	13.731	91	9.9	10	4.9	7.1	13.161
6	54.7	791	5.422	19.153	99	12.5	12.5	20.4	26.9	43.291
7	30.7	1375	7.519	26.672	245	17.8	17.8	28.2	15.1	42.208
Total	203	1018	26.672	26.672	131	12.8	12.8	100	100	206.732

R = Escurrimiento P = Precipitación

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

El mapa de aguas superficiales elaborado para la cuenca en estudio, permite observar tres rangos de coeficientes de escurrimiento: 5 a 10%, 10 a 20% y 20 a 30%

1. El coeficiente de escurrimiento del 10% al 20% es el que ocupa la mayor extensión en la cuenca, con 157.9 km² equivalentes a un 77.8% del área total. Está distribuido en toda la cuenca excepto en el extremo norte muy próximo al punto terminal.
2. El coeficiente de escurrimiento del 5% al 10% ocupa un área de 35.9 km² que corresponde a un 17.7% del área total y se localiza en la región centro y sur de la cuenca.
3. El coeficiente de escurrimiento del 20% al 30% es el que ocupa la menor área con solo 9.2 km² y un 4.5% puede observarse en el extremo norte en el punto terminal y en el extremo noroeste.

TABLA 27
VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL
(Miles de metros cúbicos)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Las Animas	568	511	544	519	526	534	562	552	628	709	598	593	570.3
Borregos	1 152	1 014	1 097	1 054	1 080	1 094	1 138	1 125	1 269	1 348	1 186	1 178	1 144.6
El Puerco	1 182	1 038	1 158	1 087	1 074	1 167	1 189	1 124	1 829	2 213	1 292	1 220	1 297.8
Romerillos	6 057	5 657	6 175	5 993	6 210	6 111	6 465	6 507	6 578	7 084	6 651	6 439	6 327.3
El Sauce	89.7	79.4	80.9	77.1	77.1	92	89.1	79.3	1 77.7	209	118.7	108	106.5
El Suspiro	130	111	112	111	122	128	127	124	194	329	189	153	152.5
Tenexpanoya	766.2	636.7	669	615.8	628.6	800.8	859	7 15.3	1 900	2 419.6	1 303	981.5	1 024.6
T. y Minas	8 902	7 964	8 401	7 856	7 966	8 272	8 459	8 687	10 240	10 969	10 022	9 361	8 924.9

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

La tabla 27 hace referencia a los volúmenes de escurrimiento medio mensual de las ocho estaciones hidrométricas localizadas en la cuenca y permite apreciar que El Sauce tiene los registros hidrométricos de menor valor, aún en octubre, cuando presenta su mayor volumen de 209 000 m³

En cuanto a los mayores volúmenes, éstos se distinguen en la estación Trinidad y Minas, con un máximo de 10 969 000 m³ también en octubre y el mínimo de 7 856 000 m³ en abril, este último valor aún mayor que el máximo volumen de todas las estaciones hidrométricas consideradas. De manera general puede afirmarse que los valores más altos se registraron durante octubre y los menores en febrero, al menos en cinco de las estaciones y en abril en las otras tres.

Los valores de registro de las estaciones El Puerco y Borregos son muy parecidos entre sí, de igual manera, son semejantes entre ellos los valores de las estaciones Romerillos y Trinidad y Minas. Los valores anuales más altos pertenecen a estas dos últimas estaciones.

Las estaciones: El Puerco, Borregos y Tenexpanoya tienen valores anuales muy similares, superiores a 1 000 000 m³ Las estaciones con los menores valores anuales son Las Animas, El Suspiro y El Sauce.

8.3.1 Estaciones hidrométricas.

Las estaciones hidrométricas localizadas en el área de estudio son ocho: El Puerco, Romerillos, El Suspiro, El Sauce, Tenexpanoya, Las Animas, Borregos y Trinidad y Minas (figura 26).

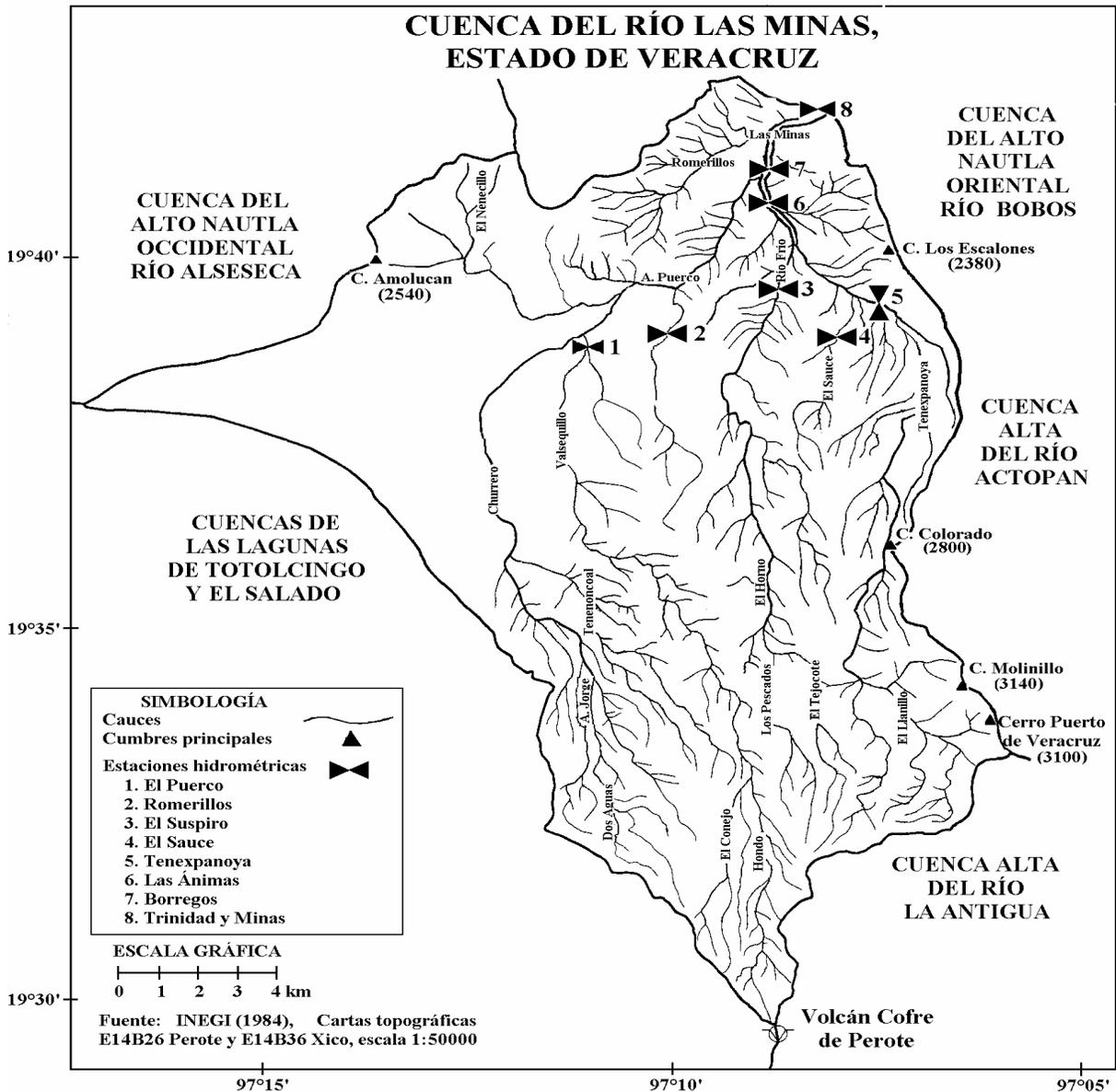


Figura 26. Estaciones hidrométricas en la cuenca del río Las Minas

Por el número de años de registro, las estaciones hidrométricas más importantes son: Las Animas, Borregos, Romerillos y la situada en el punto terminal de la cuenca: Trinidad y Minas. La estación Borregos y Las Animas tuvieron treinta y dos años de registro cada una; Romerillos registró durante veintisiete años y Trinidad y Minas lo hizo por dieciséis años. Las estaciones con menos años de registro son: El Suspiro, El Sauce, Tenexpanoya con seis años cada una y El Puerco con tres años.

El objetivo para el que se establecieron las estaciones hidrométricas referidas, fue el conocer el régimen de la corriente para determinar los volúmenes utilizados para generar y aprovechar sus aguas en la Central hidroeléctrica Minas y es posible que al tener los datos de los registros hidrométricos de al menos tres y seis años, se considerara suficiente para determinar los volúmenes utilizados para generar electricidad y no prosiguieron sus registros.

Para cada una de las estaciones hidrométricas localizadas en la cuenca, se elaboraron las tablas de volúmenes de escurrimiento medio mensual y de volumen mensual, ambas en miles de m³, así como también se hizo la gráfica respectiva. A continuación se procederá a describir características generales tales como la localización geográfica de la estación hidrométrica, el origen y/o desembocadura de la corriente que capta dicha estación y también se muestran las tablas y gráficas correspondientes.

8.3.1.1 Estación hidrométrica El Puerco.

Localizada sobre el arroyo Puerco a 2 km. aguas arriba de su afluencia al arroyo Borregos, a dos kilómetros al noroeste de la población Cruz Blanca del municipio de Villa Aldama. La corriente del arroyo Puerco tiene su inicio a los 2700 msnm, distante un kilómetro y medio al oeste de la localidad Los Pescados. En su origen como cauce de cuarto orden, se le conoce como arroyo Jorge, cinco kilómetros aguas abajo se le une el arroyo Tenenoncoal de tercer orden, entonces la corriente se llama arroyo Churrero. Diez kilómetros aguas abajo y a partir de su unión con el arroyo Cruz Blanca de segundo orden, se le nombra arroyo Puerco. Recorre tres kilómetros aguas abajo y deposita sus aguas en el caudal del río Las Minas, en el lugar donde estuvo situada la estación hidrométrica Borregos, a dos kilómetros al sur del poblado Las Minas. Es la estación que tiene el menor número de años de registro: tres.

TABLA 28
ESTACION HIDROMÉTRICA “EL PUERCO”
Coordenadas: 19° 38'48" N; 97° 10'12" W Período: 1949 -1951
Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1 182	1 038	1 158	1 087	1 074	1 167	1 189	1 124	1 829	2 213	1 292	1 220	1 297.75

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

Con relación al volumen de escurrimiento medio mensual, la tabla 28 registra el período de 1949 a 1951, tiempo de funcionamiento de la estación, el mes que registró el mayor volumen fue octubre con 2 213 000 m³ y el de menor cantidad fue febrero con 1 038 000 m³. Esto representa que el volumen de escurrimiento del mes de mayor valor es más del doble que el de menor volumen.

TABLA 29
ESTACION HIDROMÉTRICA “EL PUERCO”
Coordenadas: 19° 38'48" N; 97° 10'12" W Período: 1949 -1951
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1949	1 159	1 058	1 188	1 113	1 106	1 104	1 172	1 114	2 801	1 772	1 311	1 206	1 6104	1 342
1950	1 217	1 075	1 173	1 135	1 063	1 270	1 177	1 129	1 118	3 051	1 341	1 201	1 5950	1 329
1951	1 170	982	1 114	1 014	1 054	1 128	1 218	1 128	1 567	1 817	1 223	1 253	1 4668	1 222
Σ	3 546	3 115	3 475	3 262	3 223	3 502	3 567	3 371	5 486	6 640	3 875	3 660		
Media	1 182	1 038.3	1 158	1 087	1 074	1 167	1 189	1 124	1 829	2 213	1 292	1 220		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

La tabla 29 muestra que el volumen de escurrimiento mensual más alto se presentó durante septiembre y octubre, excepto en 1950 cuando fueron octubre y noviembre, el máximo valor fue en octubre de 1950 con 3 051 000 m³. Los menores valores fueron registrados durante abril y mayo de 1951. El valor mínimo fue de 982 000m³ en febrero de 1951.

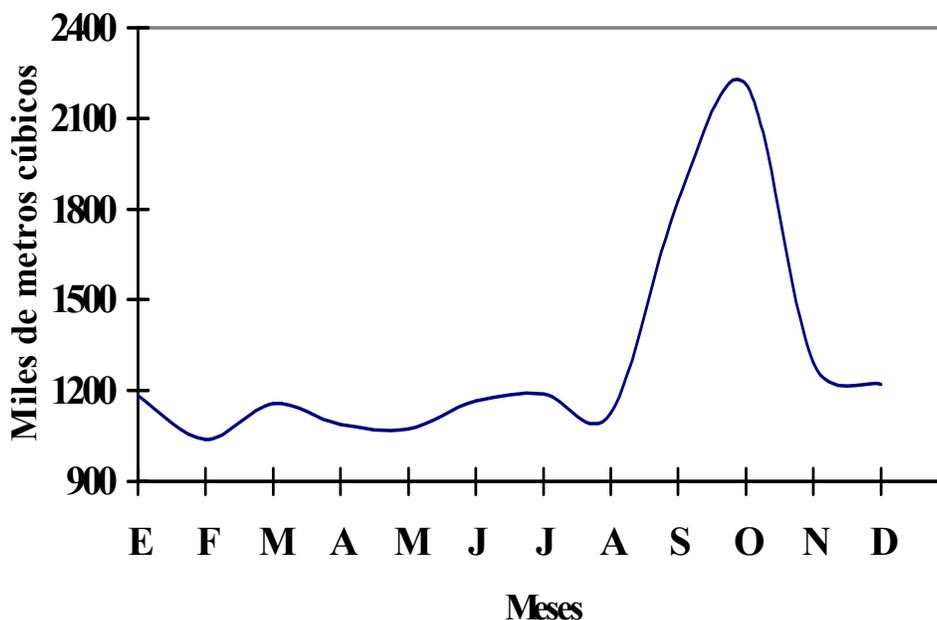


Figura 27. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1949-1951) en la estación hidrométrica “El Puerco”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 28)

La figura 27 muestra el comportamiento de los volúmenes de escurrimiento medio mensual referidos y puede apreciarse que de enero a agosto los valores son muy parecidos y bajos en comparación a septiembre y octubre, incrementándose notablemente en esos dos últimos meses para disminuir nuevamente en noviembre y diciembre.

8.3.1.2 Estación hidrométrica Romerillos.

Estuvo situada a 1.3 km al norte de las poblaciones de Cruz Blanca, perteneciente al municipio de Villa Aldama y 3 km al sursuroeste de Las Minas, está localizada en la unidad de relieve Pie de monte superior.

La corriente nombrada canal romerillos se deriva por la margen derecha del arroyo Borregos a la altura de la estación hidrométrica del mismo nombre. Sigue un curso medio hacia el noreste y recibe por margen derecha a un canal alimentador que capta los escurrimientos de los arroyos Tenexpanoya, El Sauce, El Suspiro y El Puerco. Termina su curso al descargar sus aguas en el tanque almacenador de la central hidroeléctrica Minas.

TABLA 30
ESTACION HIDROMÉTRICA “ROMERILLOS”
 Coordenadas: 19° 39'06” N; 97° 10'27”W Período: 1956 -1982
Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
6057	5657	6175	5993	6210	6111	6465	6507	6578	7084	6651	6439	6327.25

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

En cuanto al volumen de escurrimiento medio mensual para el período de 1956 a 1982, la tabla 30 permite apreciar que el mes con el valor más alto fue octubre con 7 084 000 m³ y la menor cantidad ocurrió en febrero con 5 657 000 m³.

TABLA 31
ESTACION HIDROMÉTRICA “ROMERILLOS”
 Coordenadas: 19° 39'06” N; 97° 10'27”W Período: 1956 -1982
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1956	3116	4293	4833	5801	6702	5628	6680	6688	6117	7245	7760	7071	71934	5995
1957	7555	7160	7994	7363	7814	7556	7901	7882	7829	8269	7067	6593	90983	7581.9
1958	6864	6024	6576	6188	6565	6383	7017	6929	6796	7632	5680	6284	78938	6578.2
1959	6801	6651	7725	7948	7972	7595	7567	7777	7320	5177	6539	1669	80741	6728.4
1960	915	2271	1263	1211	722	966	732	807	1626	1167	728	1006	13414	1117.8
1961	1379	1066	1391	2096	2331	3367	6970	7233	7538	8669	8705	6885	57630	4803
1962	5607	6813	8170	7753	8751	8552	8514	8404	7945	7641	6549	6415	91114	7592.8
1963	6107	5468	5928	5725	5877	5635	5891	5927	5800	7157	6429	6423	72367	6030.6
1964	6723	4593	5080	4959	5112	5140	5316	5170	5095	5628	5927	5903	64646	5387.2
1965	5870	5242	5739	5573	5669	5133	5504	5380	5397	5892	5945	5927	67271	5605.9
1966	5656	4167	5130	4825	5180	5012	5187	5114	5293	5801	5747	5603	62715	5226.3
1967	5548	4972	5449	5240	5359	5261	5364	5344	5686	6683	5071	5425	65402	5450.2
1968	5298	4978	5334	5228	5378	5166	5505	5304	5408	5883	5514	5942	64938	5412
1969	5829	5239	5681	5361	5660	4990	5303	5764	6775	6834	6273	6072	69781	5815.1
1970	5998	5510	5955	5618	5630	5394	5630	6083	6145	7197	6728	6674	72562	6046.8
1971	7035	6386	6389	6329	6211	6031	6329	6397	6086	6929	7508	7635	79265	6605.4
1972	7143	6535	6817	6560	6680	7017	7222	7692	7039	7615	7514	7654	85488	7124
1973	7375	6481	7030	6807	7060	6805	6756	7349	7561	7794	7509	7851	86378	7198.2
1974	7651	6670	7123	6713	7054	7688	8438	7854	7714	8473	6941	6923	89242	7436.8

1975	6460	6618	7440	7178	7323	7285	7204	7160	7577	8155	7487	7346	87233	7269.4
1976	8050	7178	7719	7419	7772	7829	7886	8052	7860	8431	7852	7879	93927	7827.3
1977	7656	6632	7485	7126	7355	7144	6746	6019	6074	6133	6135	7303	81808	6817.3
1978	5904	5578	6187	5955	6055	6227	6381	6350	6992	8535	7717	7565	79446	6621
1979	4241	5878	6466	5989	6123	6964	7228	7570	7695	7746	7762	7896	81558	6797
1980	7607	6917	7024	6700	6996	6761	6921	7006	7059	8247	7892	7544	86674	7222.8
1981	7378	6617	7252	6933	7006	7198	8395	8327	8740	8845	7866	7887	92444	7703.7
1982	7760	6809	7540	7210	7317	6058	5975	6111	6437	7195	6738	6744	81894	6825
Σ	163526	152746	166720	161808	167674	164785	174562	175693	177604	190973	179583	174119		
Media	6056.5	5657.3	6174.8	5992.9	6210.1	6103.1	6465.3	6507.1	6577.9	7073.1	6651.2	6448.9		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

Los volúmenes mensuales más altos durante el período considerado de 27 años, ocurrieron en octubre durante trece años, noviembre por cuatro años, diciembre en tres y enero por otros tres. El valor máximo ocurrió en octubre de 1981 con 8 845 000 m. Por lo que respecta a los menores valores, estos se registraron en febrero por doce años; enero y junio durante cuatro años, diciembre por dos y en abril, mayo, julio, agosto y noviembre por un año. El valor mínimo registrado fue de 722 000 m³ en mayo de 1960 (tabla 31).

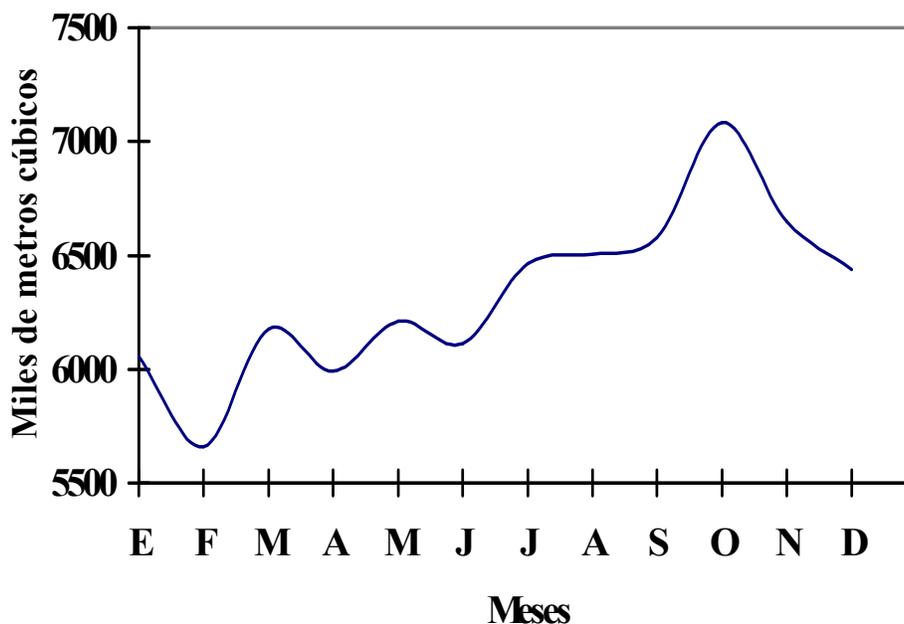


Figura 28. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1956-1982) en la estación hidrométrica “Romerillos”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 30)

La figura 28 permite apreciar un incremento del mes de julio a octubre, cuando ocurre el valor máximo, empezando a disminuir en noviembre y hasta febrero donde sucede el mínimo. En marzo comienza a aumentar pero disminuye en abril, a partir de mayo nuevamente asciende hasta aumentar y llegar al máximo ya considerado.

8.3.1.3 Estación hidrométrica El Suspiro.

Su localización geográfica la sitúa a 1.2 km. al sur del poblado nombrado Rinconada, perteneciente al municipio de Las Minas. Esta estación y las numeradas del cuatro al ocho, están situadas en la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales.

El arroyo El Suspiro nace en el Cofre de Perote a 4 250 msnm, se desarrolla con rumbo norte en una región de topografía accidentada, recibe por margen derecha a su principal aportador, el arroyo Tenexpanoya y tres kilómetros aguas abajo afluye al arroyo Borregos por su margen derecha, a un kilómetro al oriente del poblado Las Minas.

TABLA 32
ESTACION HIDROMÉTRICA “EL SUSPIRO”
Coordenadas: 19° 38'36" N; 97° 09'24" W Período: 1949 -1954
Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
130	111	112	111	122	128	127	124	194	329	189	153	153

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

Los volúmenes de escurrimiento medio mensual mostrados en la tabla 32, durante el período de 1949 a 1954 permite observar que el mayor valor ocurrió en octubre con 329 000 m³ y el menor en febrero con 111 000 m³.

TABLA 33
ESTACION HIDROMÉTRICA “EL SUSPIRO”
Coordenadas: 19° 38'36" N; 97° 09'24" W Período: 1949 -1954
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1949	124	102	124	120	120	117	114	122	173	182	133	124	1 555	129.6
1950	128	112	125	120	124	124	124	124	120	194	123	124	1 542	128.5
1951	121	84	64	89	124	129	125	124	207	182	123	129	1 501	125.1
1952	124	116	112	108	125	150	135	124	336	710	324	204	2 568	214
1953	157	135	125	120	124	120	130	124	140	225	185	154	1 739	144.9
1954	124	116	124	109	114	129	135	124	189	478	245	183	2 070	172.5
Σ	778	665	674	666	731	769	763	742	1 165	1 971	1 133	918		
Media	129.7	110.8	112.3	111	121.8	128.2	127.2	123.7	194.2	328.5	188.8	153		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

Los volúmenes mensuales registrados durante seis años muestran que los más altos valores ocurrieron durante octubre, excepto en 1951 cuando fue en septiembre. El mayor de todos se presentó en octubre de 1952 con 710 000 m³. En cuanto a los menores valores se registraron durante abril por tres años, febrero durante 2 años y marzo por un año, siendo el menor el de marzo de 1951 con 64 000 m³ (tabla 33).

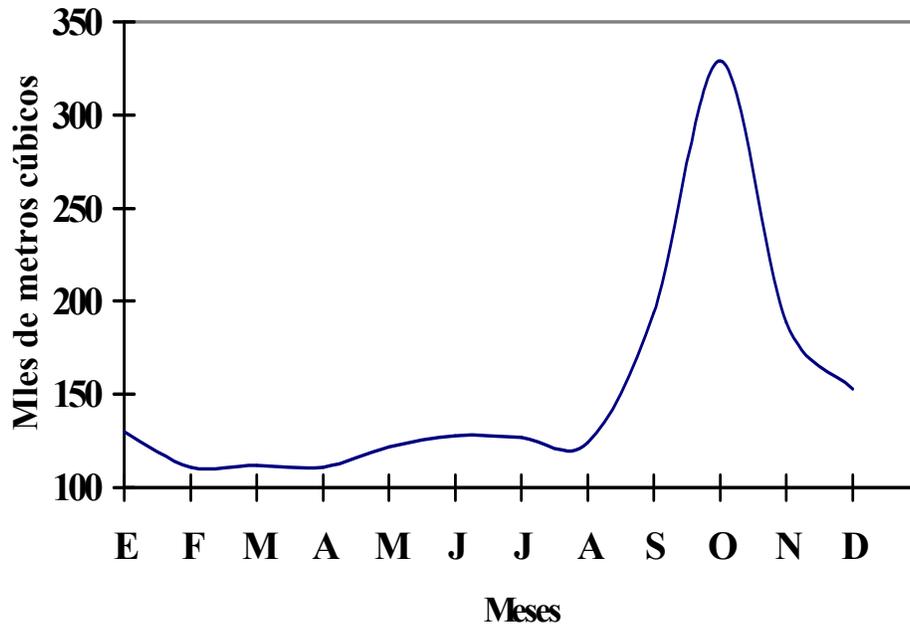


Figura 29. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1949-1954) en la estación hidrométrica “El Suspiro”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 32)

En la figura 29 se puede observar que los valores disminuyen del mes de febrero a abril, siendo muy semejantes y se incrementa y tienen similitud de mayo a agosto, presentándose un incremento notable a partir de septiembre, alcanzando su valor máximo en octubre y disminuyendo a casi el valor de dos meses anteriores, en el de noviembre, empezando a decrecer en diciembre.

8.3.1.4 Estación hidrométrica El Sauce.

Estuvo situada a 750 m. al norte de la población Casablanca del municipio de Las Vigas de Ramírez, localizada sobre el arroyo El Sauce a 500 m aguas arriba de su afluencia al arroyo Tenexpanoya y dentro de la unidad básica de relieve de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. Al igual que con la anterior, esta estación tuvo registros por seis años, de 1949 a 1954.

El arroyo el Sauce nace a 2 500 msnm a 12 km al noreste de Perote. Se desarrolla rumbo norte, atraviesa la carretera México-Perote-Jalapa y afluye por margen izquierda al arroyo Tenexpanoya.

TABLA 34
ESTACION HIDROMÉTRICA “EL SAUCE”
 Coordenadas: 19° 39’06” N; 97° 08’21”W Período: 1949 -1954
Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
89.7	79.4	80.9	77.1	77.1	92	89.1	79.3	177.7	209	118.7	108	106.5

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

La tabla 34 registra los valores obtenidos en el volumen de escurrimiento medio mensual, el mayor fue de 209 000 en octubre y el menor de 77.1 miles de m³.

TABLA 35
ESTACION HIDROMETRICA EL SAUCE
 Coordenadas: 19° 39'06" N; 97° 08'21" W Período: 1949 -1954
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1949	70.2	63.2	71.4	66.4	67	66.8	70.2	67.8	187	124.3	89.1	82.2	1 026	85.5
1950	84.3	71.2	71.2	68.4	68.6	76.8	69.8	69.4	68.6	199.4	93.4	83	1 024	85.3
1951	77.9	68.8	69.8	66	67	73.6	71.2	73	132.9	116.6	82.8	84.1	984	82.0
1952	73.8	67	69	70	71.2	138.5	103	83.4	372.3	286.5	166.6	147.5	1 649	137.4
1953	124	112.5	108	100	95	96.9	108.2	93.1	127.5	205.4	133.9	121	1 426	118.8
1954	108.5	93.9	96.3	91.9	94	99.9	112.2	89.2	178	322	146.5	130.5	1 563	130.2
Σ	538.7	476.6	485.7	462.7	462.8	552.5	534.6	475.9	1 066.3	1 254.2	712.3	648.3		
Media	89.8	79.4	81.0	77.1	77.1	92.1	89.1	79.3	177.7	209.0	118.7	108.1		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

En cuanto al volumen mensual que se muestran en la tabla 35, los valores máximos ocurrieron durante septiembre y octubre y los mínimos se registraron durante febrero, abril y agosto. El máximo se registró en septiembre de 1952 con 372.3 y el mínimo fue de 63.2 en febrero de 1949.

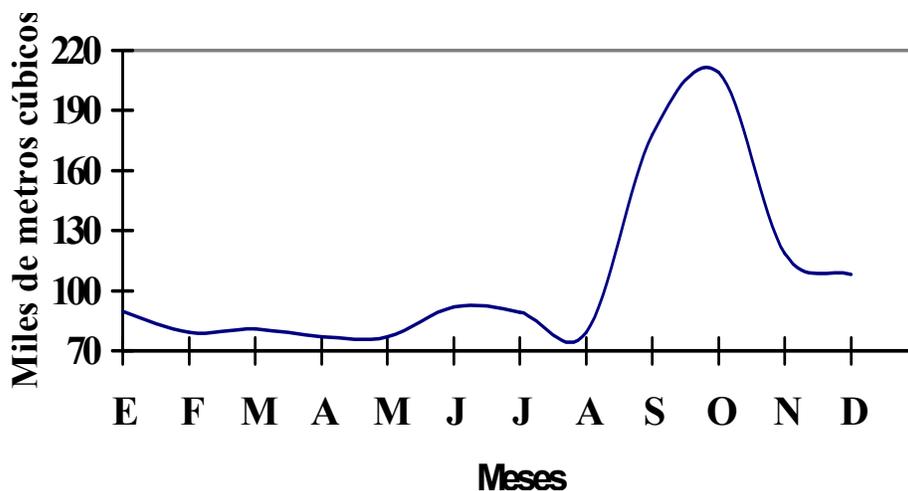


Figura 30. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1949-1954) en la estación hidrométrica “El Sauce”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 34)

La figura 30 permite apreciar que los mínimos valores se muestran durante los meses de abril y mayo, comenzando a ascender en junio para decrecer en julio y agosto y nuevamente incrementarse en septiembre y alcanzar su valor máximo en octubre para disminuir en noviembre y diciembre hasta llegar a abril nuevamente.

8.3.1.5 Estación hidrométrica Tenexpanoya.

Se localiza sobre el arroyo Tenexpanoya a un kilómetro aguas arriba de su afluencia al arroyo El suspiro, a 1.7 km al sureste de la población Tenexpanoya que forma parte del municipio de Tatatila. Esta estación estuvo funcionando por seis años, desde 1949 hasta 1954.

El arroyo Tenexpanoya nace a 2 600 msnm con el nombre de arroyo Zacapoaxtla, pasa por el poblado de Las Vigas y más adelante ya es conocido como arroyo Tenexpanoya y recibe la aportación por margen izquierda del arroyo El Sauce. Finalmente afluye al arroyo El Suspiro por su margen derecha. Está ubicada sobre la unidad de relieve de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales.

La tabla 36 registra los volúmenes de escurrimiento medio mensual de ese período, tuvo su valor máximo en octubre con 2 419.6 miles de m³ y el menor en abril con 615.8 miles de m³.

TABLA 36
ESTACION HIDROMÉTRICA “TENEXPANOYA”
Coordenadas: 19° 39'18" N; 97° 07'57" W Período: 1949 -1954
Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
766	636.7	669	615.8	628.6	800.8	859	715.3	1900	2419.6	1303	981.5	1025

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

La tabla 37 muestra los valores del escurrimiento mensual donde los meses con volúmenes mayores, fueron septiembre y octubre y el máximo valor fue registrado en octubre de 1954, con 3695.3 miles de m³.

Los meses con volúmenes menores registrados fueron abril por 4 años, junio en 1949 y agosto en 1950. El valor menor ocurrió en abril de 1951 con 550.8 miles de metros cúbicos.

TABLA 37
ESTACION HIDROMÉTRICA “TENEXPANOYA”
Coordenadas: 19° 39'18" N; 97° 07'57" W Período: 1949 -1954
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1949	686.5	572.4	647.9	577.7	564.4	557.1	578.5	562.3	2261.4	1734.1	981.3	751.9	10476	873.0
1950	709.9	627.4	636.7	610.3	581.2	663.5	615.9	568.6	582	2312.6	1075.1	813.9	9797	816.4
1951	684.9	593.3	624.3	550.8	585.4	623.9	659.7	667	1481.5	1734.6	901.2	761.7	9868	822.4
1952	718.1	632.2	647.5	618.1	673.7	1567	1409	1027	3532.6	2734.5	1765.2	1370	16695	1391.3
1953	973.5	744	747.9	666.6	680	681.5	774.2	684.3	1257.1	2306.6	1512.8	998.7	12027	1002.3
1954	824.5	695.9	710	671.8	684.4	712.1	1120	782.7	2285.8	3695.3	1582.6	1193	14958	1246.5
Σ	4597	3865	4014	3695	3769	4805	5158	4292	11400	14518	7818.2	5889		
Media	766.2	644.2	669.1	615.9	628.2	800.9	859.6	715.3	1900.1	2419.6	1303.0	981.5		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

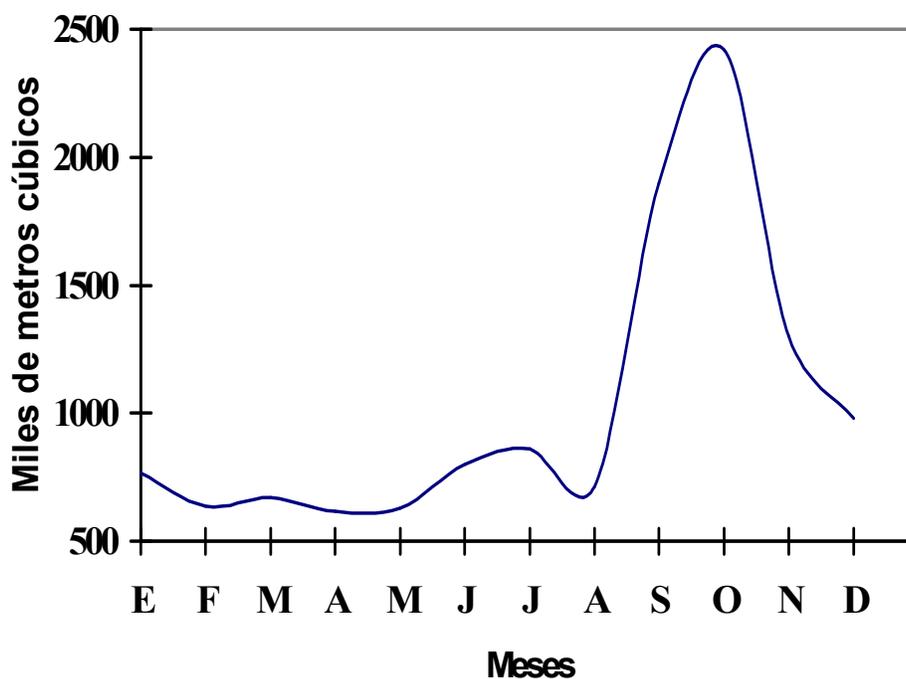


Figura 31. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1949-1954) en la estación hidrométrica “Tenexpanoya”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 36)

La figura 31 permite observar que de manera general, los valores de enero a mayo son constantes y semejantes, incrementándose a partir de junio y julio, decreciendo en agosto para aumentar nuevamente en septiembre, alcanzar su máximo en octubre y empezar a decrecer en noviembre.

8.3.1.6 Estación hidrométrica Las Animas.

Estuvo situada sobre el arroyo Las Animas a 200 m aguas arriba de la afluencia de éste al arroyo Borregos, y a 750 m de la estación hidrométrica Borregos y a la misma distancia al suroeste de la planta hidroeléctrica Las Minas.

El arroyo Las Ánimas nace a 2750 msnm a nueve kilómetros al oriente de la Ciudad de Perote, se desarrolla rumbo al nornoreste en una región de topografía regular y afluye por margen derecha al arroyo Borregos, a cuatro kilómetros al suroeste del poblado Las Minas.

Esta estación también está situada sobre la unidad de relieve de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales. Es una de las dos estaciones hidrométricas que tiene el mayor número de años de registro, desde 1951 a 1982.

TABLA 38
ESTACION HIDROMÉTRICA “LAS ANIMAS”
 Coordenadas: 19° 39'00” N; 97° 10'54”W Período: 1951 -1982
Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
568	511	544	519	526	534	562	552	628	709	598	593	570.3

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

La tabla 38 permite distinguir que el volumen de escurrimiento medio mensual tuvo el valor más alto en octubre con 709 000 m³ y el menor ocurrió en febrero con 511 000 m³

TABLA 39
ESTACION HIDROMÉTRICA “LAS ANIMAS”
 Coordenadas: 19° 39'00” N; 97° 10'54”W Período: 1951 -1982
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1951	679	588	549	510	519	514	531	531	591	793	588	590	6983	581.9
1952	527	493	529	526	529	614	658	611	975	1085	789	718	8054	671.2
1953	651	588	651	570	543	576	603	591	763	921	698	639	7794	649.5
1954	569	494	531	482	465	476	547	491	805	1102	570	559	7091	590.9
1955	527	476	527	492	465	434	557	537	695	1582	641	689	7622	635.2
1956	655	609	639	606	589	582	597	551	957	703	637	631	7756	646.3
1957	589	536	589	570	582	532	589	608	630	611	574	569	6979	581.6
1958	539	476	527	510	527	512	561	531	527	576	587	601	6474	539.5
1959	563	480	543	518	537	598	569	533	585	732	798	776	7232	602.7
1960	713	667	691	630	653	636	684	541	593	549	512	615	7484	623.7
1961	539	486	545	510	529	528	567	610	599	744	682	623	6962	580.2
1962	589	490	535	540	559	510	527	527	536	543	524	575	6455	537.9
1963	589	547	565	558	509	450	556	617	622	693	582	601	6889	574.1
1964	589	501	547	496	483	518	603	595	528	573	548	571	6552	546
1965	545	476	527	510	527	492	489	479	516	551	568	589	6269	522.4
1966	535	474	527	510	517	488	527	527	575	588	572	537	6377	531.4
1967	531	490	539	510	481	516	519	469	573	663	578	533	6402	533.5
1968	531	491	519	502	519	518	527	535	526	589	568	597	6422	535.2
1969	557	476	527	520	527	510	507	549	598	678	580	557	6586	548.8
1970	529	514	565	510	527	522	533	539	567	638	570	589	6603	550.3
1971	537	480	529	516	527	512	527	483	470	537	608	527	6253	521.1
1972	529	493	527	510	527	563	568	593	570	585	566	599	6630	552.5
1973	547	476	527	514	513	512	533	553	546	573	544	529	6367	530.6
1974	471	428	561	516	535	561	547	527	657	771	616	589	6779	564.9
1975	565	510	527	510	511	532	575	483	624	756	572	557	6722	560.2
1976	614	551	557	504	533	598	613	601	596	677	602	597	7043	586.9
1977	561	518	527	502	545	530	515	525	516	557	560	547	6403	533.6
1978	543	506	543	492	485	560	589	585	648	739	588	589	6867	572.3
1979	587	502	511	480	517	574	583	600	728	601	590	583	6856	571.3
1980	567	531	527	492	525	508	473	520	671	657	574	563	6608	550.7
1981	541	478	453	502	492	568	647	647	682	658	586	589	6843	570.3
1982	567	512	461	494	533	532	563	561	620	664	552	541	6600	550
∑	18175	16337	17422	16612	16830	17076	17984	17650	20089	22689	19124	18969		
Media	568	510.5	544.4	519.1	525.9	533.6	562	551.6	627.8	709	597.6	592.8		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

En la tabla 39 se condensa la información referente al volumen de escurrimiento mensual en miles de metros cúbicos, registrado durante treinta y dos años. Los valores máximos ocurrieron durante los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y aún en enero, siendo el máximo el de octubre de 1955 con 1 582 000 m³. Los valores menores no tienen continuidad, se registraron desde febrero hasta septiembre y aún en el año de 1960 fue el mes de noviembre. El valor mínimo fue de 428 000 m³ en febrero de 1974

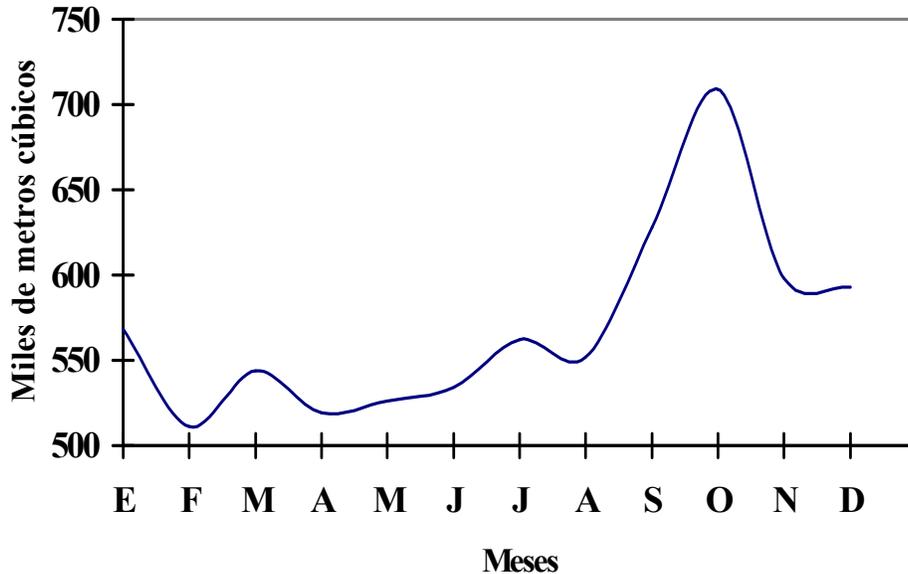


Figura 32. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1951-1982) en la estación hidrométrica “Las Animas”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 38)

La figura 32 permite apreciar una similitud de valores desde enero hasta agosto, en septiembre comienza a ascender alcanzando su máximo en octubre y empieza a decrecer en noviembre.

8.3.1.7 Estación hidrométrica Borregos.

Estuvo situada sobre el arroyo Borregos a 300 m aguas arriba de la afluencia por margen derecha del arroyo Las Animas, y a 900 m al sur de la población de Las Minas. Al igual que la anterior estación tiene el mayor número de años de registro incluyendo los años de 1951 hasta 1982.

El arroyo Borregos nace en el Cofre de Perote a 4 250 msnm, siendo conocido en sus orígenes como arroyo Borregos. Se desarrolla con rumbo norte y luego cambia al noreste, recibiendo por margen derecha las aportaciones de los arroyos: Las Animas, El Suspiro y Puerco. Mas adelante recibe los nombres de río Trinidad, Bobos y Nautla, desembocando finalmente en el Golfo de México.

TABLA 40
ESTACION HIDROMÉTRICA “BORREGOS”
 Coordenadas: 19° 39'06” N; 97° 11'09”W Período: 1951 -1982
Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
1152	1014	1097	1054	1080	1094	1138	1125	1269	1348	1186	1178	1145

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

La tabla 40 referente al volumen de escurrimiento medio mensual de la estación Borregos, muestra que el mayor valor se registró en octubre con 1 348 000 m³ y el menor en febrero con 1 014 000 m³.

TABLA 41
ESTACION HIDROMÉTRICA “BORREGOS”
 Coordenadas: 19° 39'06” N; 97° 11'09”W Período: 1951 -1982
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1951	1178	1064	1187	1125	1085	1072	1091	1091	1176	1371	1170	1198	13808	1150.7
1952	1148	1015	1088	1068	1102	1257	1282	1202	1827	1889	1350	1327	15555	1296.3
1953	1271	1148	1271	1230	1181	1231	1270	1181	1383	1616	1386	1307	15475	1289.6
1954	1271	1170	1258	1140	1178	1129	1261	1190	1571	1924	1288	1271	15651	1304.3
1955	1271	1148	1226	1140	1178	1113	1285	1223	1607	2493	1356	1369	16409	1367.4
1956	1333	1247	1281	1230	1211	1218	1282	1199	1796	1384	1326	1336	15843	1320.3
1957	1281	1130	1178	1119	1153	1071	1163	1109	1193	1248	1232	1265	14142	1178.5
1958	1281	1139	1112	1061	1085	1053	1142	1106	1094	1215	1230	1312	13830	1152.5
1959	1148	986	1108	1076	1111	1145	1120	1051	1117	1231	1098	1085	13276	1106.3
1960	1067	1015	1085	1046	1023	990	1039	1036	1118	1019	991	1137	12566	1047.2
1961	1076	974	1030	990	1023	1056	1062	1117	1121	1361	1356	1170	13336	1111.3
1962	1178	978	1029	1102	1085	1050	1088	1094	1086	1097	1050	1103	12940	1078.3
1963	1085	983	1067	1042	1023	990	1096	1100	1141	1272	1179	1178	13156	1096.3
1964	1178	1066	1085	1050	1091	1104	1160	1178	1027	1136	1090	1156	13321	1110.1
1965	1082	424	1025	992	1027	996	1025	1025	998	1075	1026	1023	11718	976.5
1966	1023	926	1023	990	1027	934	1025	963	1102	1128	1043	1014	12198	1016.5
1967	987	926	1011	990	933	986	930	939	1153	1206	1053	1047	12161	1013.4
1968	1023	957	1017	990	1023	993	1031	1025	1019	1124	1024	1101	12327	1027.3
1969	1080	901	936	939	1027	990	999	1111	1860	1305	1184	1151	13483	1123.6
1970	1061	1016	1091	1021	1029	1029	1100	1112	1192	1415	1160	1184	13410	1117.5
1971	1097	980	1112	1082	1073	991	1023	1031	1011	1193	1274	1086	12953	1079.4
1972	1091	1015	1085	1018	1025	1138	1231	1178	1050	1158	1115	1087	13191	1099.3
1973	1118	989	1085	1050	1103	1091	1097	1156	1146	1192	1131	1142	13300	1108.3
1974	1085	986	1081	1065	1100	1280	1203	1085	1332	1443	1157	1184	14001	1166.8
1975	1169	998	1085	1048	1075	1095	1151	1032	1269	1465	1143	1124	13654	1137.8
1976	1210	1087	1085	1018	1128	1247	1306	1274	1254	1365	1237	1243	14454	1204.5
1977	1139	1049	1115	1025	1103	1074	1010	1063	1080	1169	1191	1184	13202	1100.2
1978	1127	1019	1115	1032	1041	1155	1247	1262	1359	1355	1236	1247	14195	1182.9
1979	1241	1037	1063	1019	1067	1200	1208	1293	1454	1307	1254	1172	14315	1192.9
1980	1157	1060	1057	1022	1147	1079	1029	1104	1406	1341	1185	1073	13660	1138.3
1981	1107	976	1049	996	1023	1162	1320	1324	1391	1298	1213	1240	14099	1174.9
1982	1226	1052	1070	998	1095	1101	1151	1136	1288	1350	1221	1187	13875	1156.3
Σ	36789	32461	35110	33714	34575	35020	36427	35990	40621	43145	37949	37703		
Media	1149.7	1014	1097	1054	1080	1094	1138	1125	1269	1348	1186	1178		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

En cuanto a los volúmenes mensuales registrados durante treinta y dos años, muestran que los meses de volúmenes mayores fueron septiembre, octubre, noviembre y diciembre. En 1964, el máximo ocurrió en agosto y en 1972 fue en julio. El valor más alto registrado en ese período fue el de octubre de 1955, con 2 493 000 m³. En lo que respecta a los valores menores ocurrieron en febrero durante veinte años, en junio por cinco años, en abril por cuatro años, aún en julio de 1977, agosto de 1956 y septiembre en 1964. El valor mínimo fue de 424 000 m³ en febrero de 1965 (tabla 41).

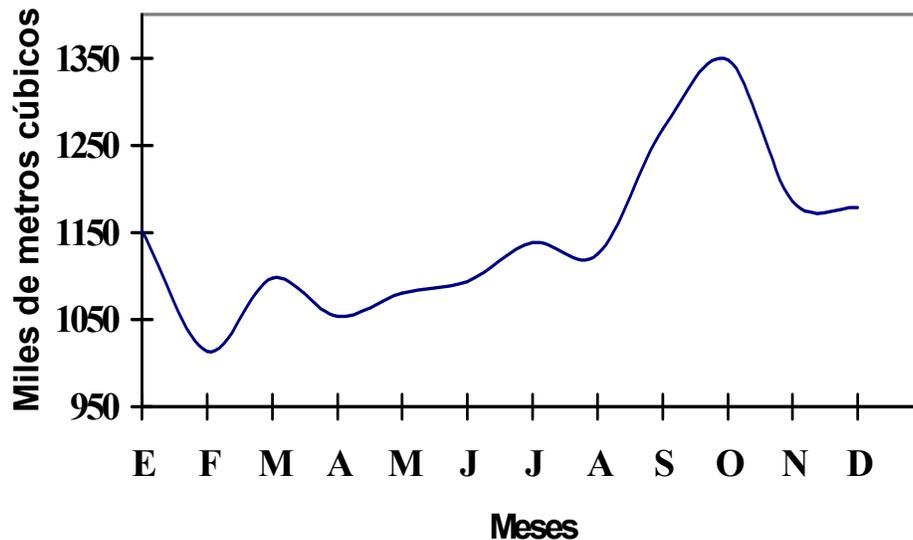


Figura 33. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1951-1982) en la estación hidrométrica “Borregos”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 40)

La figura 33 permite observar que a partir del mes de febrero cuando ocurre de manera general el volumen mínimo comienza a incrementarse paulatinamente los valores siendo estos semejantes entre sí, del mes de marzo a junio; a partir de julio se incrementa hasta llegar a su máximo en octubre y comenzar a decrecer a partir de noviembre y hasta enero.

8.3.1.8 Estación hidrométrica Trinidad y Minas.

Ubicada sobre el río Trinidad a 1.5 km aguas debajo de la afluencia por margen derecha del arroyo El suspiro y a una distancia igual al noroeste de la central hidroeléctrica Minas. También esta situada a una distancia aproximadamente igual al noreste del poblado de Las Minas y a 250 m del banco de material. El río Trinidad nace en el Cofre de Perote a 4 250 msnm siendo conocido en sus orígenes como arroyo Borregos. Al recibir por margen derecha las aportaciones del arroyo El suspiro cambia a río Trinidad, localizado a la altura de dicha confluencia, la planta hidroeléctrica Las Minas. Más adelante se le conoce con los nombres de río Bobos y Nautla para desembocar en el Golfo de México.

TABLA 42
ESTACION HIDROMÉTRICA “TRINIDAD Y MINAS”
 Coordenadas: 19° 41’18” N; 97° 09’06” W Período: 1959 -1974
 Volumen de escurrimiento medio mensual en miles de m³

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
8902	7964	8401	7856	7966	8272	8459	8687	10240	10969	10022	9361	8925

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

En la tabla 42 se registra el volumen de escurrimiento medio mensual, el mayor valor ocurrió en el mes de octubre con 10 969 000 m³ y el menor registrado fue de 7 856 000 m³ en el mes de abril.

TABLA 43
ESTACION HIDROMÉTRICA “TRINIDAD Y MINAS”
 Coordenadas: 19° 41'18" N; 97° 09'06" W Período: 1959 -1974
Volumen de escurrimiento mensual en miles de m³

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	S	Media
1959	11299	10481	10346	8479	8194	8872	8046	7517	8772	10720	9296	9322	111344	9278.7
1960	8340	7552	8196	7979	7409	7274	8095	8759	9414	9047	8634	8818	99517	8293.1
1961	8878	7844	8481	7885	7921	8230	8821	9184	8629	12874	16932	10951	116630	9719.2
1962	10471	8915	9921	9667	9721	9379	9151	9161	9450	8896	8220	8732	111684	9307.0
1963	8234	7396	7800	7664	7949	7418	7971	7964	9637	10280	9837	9354	101504	8458.7
1964	8956	7894	8082	7685	7822	7925	8137	7926	7290	9649	8674	10092	100132	8344.3
1965	9025	7576	7864	7331	7491	7492	7484	7191	7385	8825	8447	7995	94106	7842.2
1966	7657	7321	7841	7443	7670	7598	8002	7472	10580	10591	9376	8640	100191	8349.3
1967	8163	7294	7954	7438	7857	7565	7905	8033	12113	11627	9120	8729	103798	8649.8
1968	8185	7822	8027	7976	7987	8041	8639	8726	8630	10094	9110	10049	103286	8607.2
1969	9483	8035	8547	8017	8211	7886	8603	11279	18963	13400	10521	9622	122567	10213.9
1970	8614	8407	8444	7472	7599	7636	7610	8228	9742	11640	9358	8750	103500	8625.0
1971	8088	7149	7793	7619	7871	7743	7781	7782	7539	9381	11677	9062	99485	8290.4
1972	8178	7402	7861	7378	7475	8953	8977	9856	8573	9582	10289	9678	104202	8683.5
1973	8832	8068	8107	7700	8031	8067	9253	10714	11498	12409	10438	10857	113974	9497.8
1974	10026	8628	9149	7965	8243	12275	10861	9207	15619	16483	9797	9119	127372	10614.3
Σ	142429	127784	134413	125698	127451	132354	135336	138999	163834	175498	159726	149770		
Media	8901.8	7986.5	8400.8	7856.1	7965.7	8272.1	8458.5	8687.4	10239.6	10968.6	9982.9	9360.6		

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad

Por lo que respecta al volumen mensual durante 16 años, los meses de mayores valores son los de septiembre hasta diciembre, siendo el máximo de 18 963 000 m³ en septiembre de 1969. Los meses que registraron los menores valores ocurrieron en febrero por seis años, abril durante cuatro años, en junio y agosto por dos años y aún septiembre de 1964 y noviembre en 1962. El valor mínimo fue de 7 149 000 m³ en febrero de 1971.

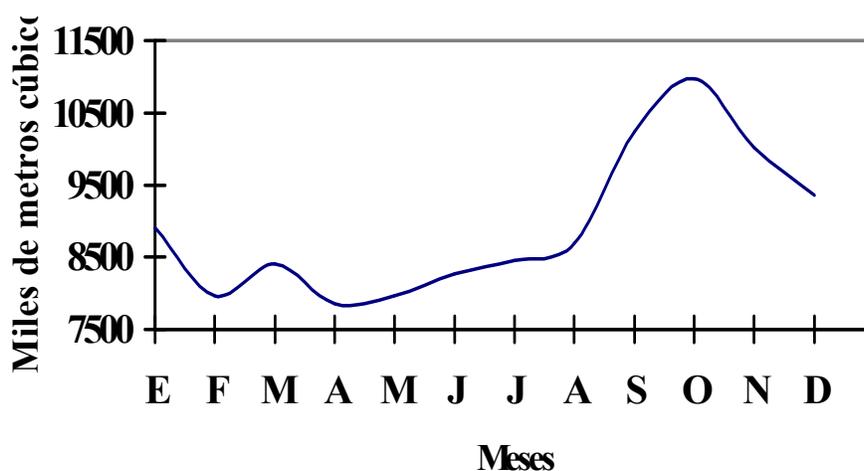


Figura 34. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (1959-1974) en la estación hidrométrica “Trinidad y Minas”, estado de Veracruz.

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en Boletines Hidrométricos de la Comisión Federal de Electricidad (tabla 42)

La figura 34 muestra que después de un aumento en marzo, decrece en abril y es a partir de este mes y hasta agosto, cuando ocurre un aumento paulatino y a partir de septiembre aumenta considerablemente hasta alcanzar su máximo en octubre y empezar a disminuir en noviembre y hasta febrero.

8.4 Infiltración

El análisis de este aspecto es importante en la cuenca del río Las Minas. Para ello se consideraron características fundamentales como son la litología, la edafología y la cobertura vegetal, además de otros aspectos tales como la cantidad de lluvia y la pendiente. De hecho, la infiltración y el coeficiente de escurrimiento son a la vez dos procesos hídricos opuestos.

La roca determina en gran medida la infiltración, complementada por las características del suelo y la densidad de la cobertura de la vegetación. Al tenerse la saturación, se inicia entonces, el proceso de escorrentía y lo que llega a los cauces constituye el escurrimiento encausado.

Observando el mapa editado por INEGI (1984) y plasmado en el mapa de trabajo número 13, llamado Posibilidades de existencia de agua subterránea, se pueden observar tres diferentes áreas de permeabilidad, que son las siguientes:

1. Se refiere al material consolidado con posibilidades bajas de infiltración, constituida principalmente de roca andesita, brecha volcánica intermedia y toba intermedia; ocupa la mayor parte de la cuenca con 153.3 km² equivalente al 75.5% del área total.

2. La segunda está formada por material consolidado con posibilidades altas de infiltración y constituida fundamentalmente por toba ácida y pequeñas porciones de toba intermedia y basalto. Es conveniente hacer notar que esta región está ubicada en el lado noreste de la cuenca, donde hay escasas corrientes superficiales, debido al insumo del escurrimiento antes de formar cauces. El área que ocupa es de 41.2 km² correspondiente al 20.3% del área total.

3. La tercera, la de menor área con 8.5 km² equivalente al 4.2% es de material no consolidado con posibilidades bajas de infiltración y se muestra dispersa en cinco pequeñas superficies que son las siguientes:

A) La primera se localiza en el extremo noreste de la cuenca, en la unidad de Laderas orientales del cerro Amolucan. Esta es la de mayor extensión de las cinco, con 7.45 km², está situada sobre un material de toba ácida y basalto. La segunda se sitúa a 500 m. de distancia del cerro Colorado en el centro, ocupa un área muy reducida de 0.07 km² sobre material de brecha volcánica básica. La tercera está en la parte extrema del norte a más de 2 000 msnm y sobre un material de caliza, abarca 0.29 km². La penúltima está ubicada sobre material de toba ácida y abarca un área de 0.21 km², está situada a 50 m. distante del punto considerado como terminal del trabajo.

B) Muy próxima a la anterior, se localiza la menor área, con 0.02 km², situada también sobre toba ácida.

TABLA 44
INFILTRACION

Unidad básica de relieve	Área en km ²	Lámina teórica de P en mm	Lámina teórica de ET en mm	Lámina teórica de R en mm	Σ ET + R en mm	Lámina de I en mm	Lámina teórica de I en mm	Volumen de I 10 ⁶ m ³	Volumen acumulado	% Volumen parcial	% Volumen total	% Area	Volumen de P 10 ⁶ m ³
1	18.7	934	465	110	575	359	359	6.705	6.705	38.4	10.9	9.2	17.474
2	25.2	1238	570	130	700	538	538	13.52	20.225	43.3	21.9	12.4	31.189
3	40.3	953	538	74	612	341	341	13.732	33.957	35.7	22.3	19.9	38.424
4	19	1104	617	216	833	271	271	5.133	39.09	24.5	8.4	9.4	20.985
5	14.4	914	599	91	690	224	224	3.2	42.29	24.3	5.2	7.1	13.161
6	54.7	791	548	99	647	144	144	7.827	50.117	18.1	12.6	26.9	43.291
7	30.7	1375	754	245	999	376	376	11.505	61.622	27.2	18.7	15.1	42.208
Total	203	1 018	582	131	713	305	305	61.62	61.62	30.2	100	100	206.73

P = Precipitación ET = Evapotranspiración R = Esgurrimiento I = Infiltración

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

La tabla 44 referente a los volúmenes de infiltración muestran que los más altos valores se localizan en las unidades básicas del relieve que cubren las mayores áreas y éstas son: Pie de monte superior con 13.732 x 10⁶ m³, Laderas de la subcuena Tenexpanoya con 13.520 x 10⁶ m³ y la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales con 11.505 x 10⁶ m³. Por lo que respecta a los menores volúmenes estos se distinguen hacia la unidad de las Laderas orientales del cerro Amolucan con un valor de 3.20 x 10⁶ m³ y Pie de monte inferior con 5.133 x 10⁶ m³.

Según Barradas (2005), la deforestación ocurrida en la región del Cofre de Perote ha generado el aumento de temperatura que causa el movimiento de las nubes de barlovento a sotavento, esto ha ocasionado la disminución de lluvias y por ello los mantos acuíferos no se han recargado. Dicha deforestación ha sido causada por el cambio de la cobertura arbórea original por pastizales y cultivos. También han disminuido las neblinas en los poblados de Las Minas y Los Pescados, ya que se han elevado a 1 700 y hasta 2 000 m., y traído como consecuencia la pérdida de humedad del bosque mesófilo con el riesgo de que desaparezcan algunas especies y haya cambios en la composición y estructura de la flora. Al disminuir las lluvias y aumentar las temperaturas, los bosques serán más secos y habrá entonces, un riesgo mayor de incendios forestales.

Lo indicado anteriormente causa preocupación, puesto que, a pesar de que el Cofre de Perote fue decretado en 1937 como Parque Nacional no se ha tenido cuidado de preservarlo. La tala inmoderada, el cultivo inadecuado y el saqueo de sus materiales forestales, ha generado una disminución de su extensión y con ello el riesgo de sufrir sequía y mayores pérdidas por incendios. El bosque mesófilo de montaña ocupa alrededor del diez por ciento del área de la cuenca y está ubicado en el extremo norte de la misma, los habitantes del poblado Las Minas identifican la niebla como "sabana blanca" y están conscientes de su importancia ya que es un proveedor de agua para sus bosques que les suministra además de resguardo, la presencia del líquido y el hábitat de numerosas especies importantes para su supervivencia, ya que esta es una región muy difícil por cuanto hay limitantes físicas como es el acceso al lugar.

El hecho de considerar la infiltración es importante para el presente y futuro, por la relación con las áreas de recarga, de reserva, abastecimiento e incluso para la “purificación” como un filtro natural del agua, ya que al disminuir la infiltración también se reduce la cobertura vegetal originando una menor transpiración vegetal y un aumento de evaporación del suelo. La infiltración junto con las características geológicas condiciona algunos aspectos de las aguas subterráneas.

También es importante detectar en cada parte de la cuenca las áreas de infiltración, como en el caso de los Llanos de Perote, que tiene menor inclinación y poca lluvia; en la unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales puede haber mayor infiltración por la presencia de calizas y vegetación y marcar una transición geológica, entre las rocas ígneas y sedimentarias, además de que ahí se localiza una parte pequeña pero importante de cobertura forestal en la cuenca.

8.5 Balance hidrológico general

El balance hidrológico de la cuenca del río Las Minas fue elaborado considerando los valores de la precipitación media, de los cálculos de evapotranspiración y los datos de infiltración y escurrimiento obtenidos en los mapas correspondientes y en los registros hidrométricos de los boletines hidrológicos números cinco, nueve y dieciséis publicados por la Comisión Federal de Electricidad.

TABLA 45
BALANCE HIDROLOGICO GLOBAL DE LA CUENCA DEL RIO LAS MINAS

Fases	Lámina teórica en mm	Volumen en 10 ⁶ m ³	Porcentaje
Precipitación	1018	206.732	100
Evapotranspiración	582	118.189	57.2
Escurrecimiento	131	26.672	12.9
Infiltración	305	61.622	29.8

Elaboró: Leticia Martínez Cortés con base en INEGI (Perote, 1984 y Xico, 1983).

La tabla 45 y la figura 35, permiten observar que el volumen de evapotranspiración es el que ocupa la mayor cantidad de volumen en el balance, con 118.2 millones de metros cúbicos, equivalentes al 57% del agua que ingresa por lluvia en la cuenca. Esto tiene relación con lo siguiente: más de la mitad del área de la cuenca se utiliza para la actividad agrícola, es decir un 58.4%, más de una tercera parte está ocupada por bosques (32.5%) y un 9% está dedicado a los pastizales inducidos. Aunque las temperaturas no son elevadas en la cuenca, la cobertura forestal y los cultivos transpiran una gran cantidad de agua.

La infiltración ocupa 61.6 millones de metros cúbicos, esto equivale a casi un 30% del volumen precipitado. Las regiones donde más se infiltra son el sur y sureste de la cuenca, penetra el 55% del agua infiltrada en la región de estudio. Estas son las áreas donde predomina la roca de tipo ígneo y el suelo de origen volcánico, también hay actividad agrícola, pastizal inducido y presencia de bosques.

El escurrimiento es la fase del ciclo hidrológico menos cuantiosa en la cuenca. Presenta un volumen de 26.7 millones de metros cúbicos, esto equivale al 12.9%. La mayor parte de los poblados de la cuenca están situados cerca de los cauces, esto significa que el agua que escurre, es utilizada para regar los cultivos y para el consumo humano. También la presencia de los bosques implica la absorción del líquido en grandes cantidades. Así entonces se tiene que, más de la mitad de la lámina precipitada es evapotranspirada, casi una tercera parte se infiltra y un poco más de la décima parte escurre.

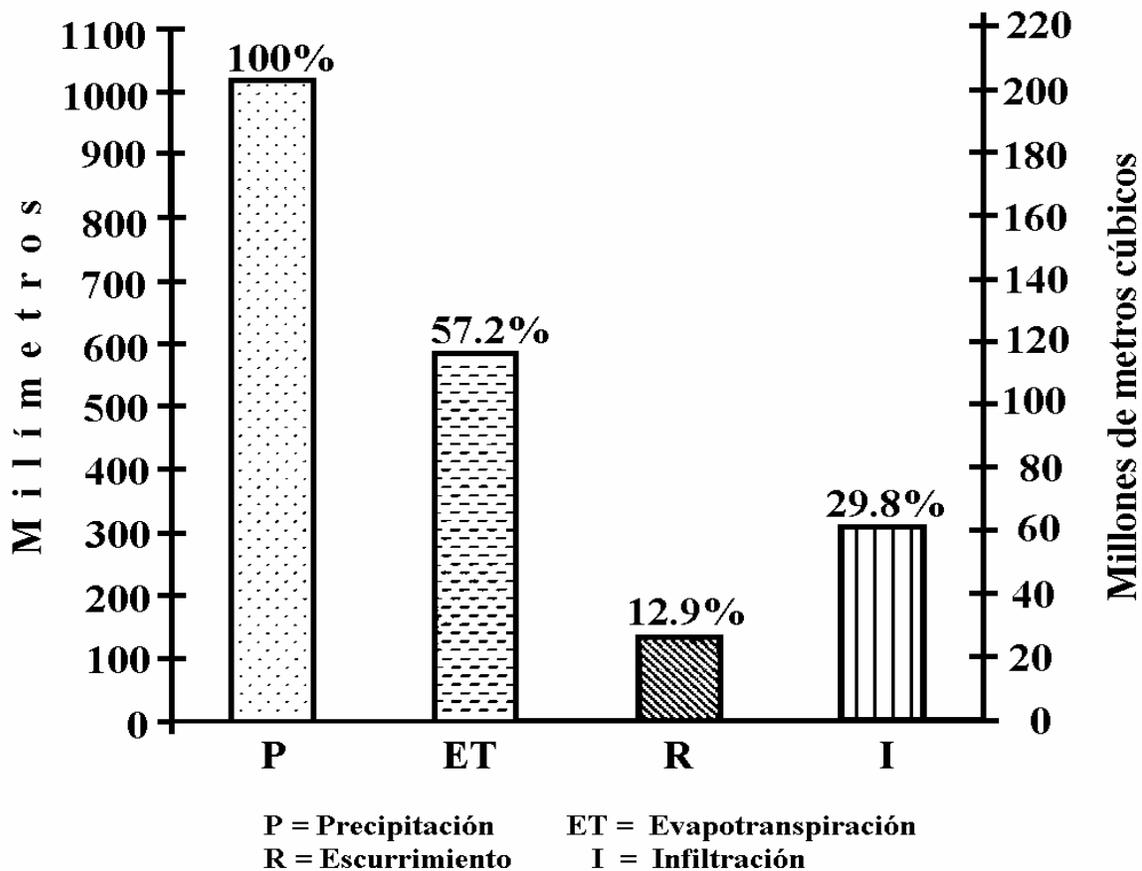


Figura 35. Balance hidrológico global de la cuenca del río Las Minas

El cálculo del balance hídrico permite conocer el funcionamiento del ciclo hidrológico global en la cuenca del río Las Minas. La precipitación media fue calculada por las líneas isoyetas, las de mayor valor se localizan hacia el oriente y las menores hacia el occidente de la cuenca. Los rangos de precipitación que cubren casi tres cuartas partes de la superficie de la cuenca comprenden líneas de 800 a 1 500 mm. La mayor cantidad de evapotranspiración se localiza en los Llanos de Perote. El porcentaje de esguerrimiento fue calculado considerando los declives, la litología y la cobertura vegetal, el mayor volumen se registró en el punto terminal de la cuenca.

Fueron ocho el número de estaciones hidrométricas que se encargaron del registro de los volúmenes en el área de estudio, de ellas la estación que cuantificó los mayores volúmenes fue la de Trinidad y Minas. La mayor infiltración se localiza en la unidad básica del relieve de Pie de monte superior. El material consolidado con posibilidades bajas de infiltración es el que cubre más de tres cuartas partes de la superficie de la cuenca y está asentado sobre material litológico de andesita, brecha volcánica intermedia y toba intermedia.

SÍNOPSIS GEOGRAFICA

A manera de sinopsis se presentan en la tabla 46, las características particulares del territorio, expresadas por medio de los mapas temáticos y su descripción textual, simplificados al mínimo. Fue elaborada con el objetivo de mostrar una visión general de las características geográfico-físicas de la cuenca de estudio, que determinan o influyen en el ciclo hidrológico y su respectivo balance global y también muestra los resultados que permitirán emitir algunas opiniones y sugerencias al respecto.

La cuenca del río Las Minas fue dividida para su estudio en subregiones llamadas unidades básicas del relieve, de esta manera se enlistan las siete unidades en la primera columna de la tabla citada. La tabla se elaboró con base en el contenido de los capítulos del presente trabajo y en ella se plasman los aspectos predominantes y lo que tiene más ponderación, también permite apreciar las similitudes y diferencias existentes y expresar las relaciones entre las características de cada lugar.

A continuación se procederá a interpretar la sinopsis geográfica mencionada, relacionando las unidades básicas del relieve con los demás aspectos enlistados en las columnas.

1. En las laderas altas del volcán Cofre de Perote, una de las dos unidades de relieve de menor extensión en la cuenca y la de mayor altitud, las temperaturas incluyen desde los 4 °C a los 8 °C, también las menores, y la precipitación es de 934 mm, la evapotranspiración (la más baja de la región) está determinada por las bajas temperaturas y aunada la baja transpiración que generan la vegetación de bosques que predominan. Las rocas que más abundan son la andesita y la brecha volcánica intermedia, ambas de origen volcánico que sustentan suelos esponjosos o muy sueltos y susceptibles a la erosión. Otro tipo de suelo localizado también en esta unidad es de tipo somero y pedregoso por lo menos en los primeros cincuenta centímetros de profundidad y de fertilidad moderada. Los suelos en esta unidad son utilizados en agricultura de temporal con bajos rendimientos pues retienen mucho el fósforo y éste no puede ser tomado por las plantas, los cultivos son de maíz, papa, haba y avena; los dos primeros son altamente desgastantes y agotadores del suelo. Extensas áreas han sido desmontadas para abrir campos de cultivo con el fin de sustentar la única población localizada en esta unidad: El Conejo que cuenta con 907 habitantes; también se identifican pastos inducidos en la porción sur de la cuenca. La infiltración es alta en buena medida por la textura del suelo que es muy poroso y la inclinación del terreno que incluye declives de 24° a 12°, 12° a 6° y 6° a 3°. El escurrimiento también determinado por las pendientes no es muy alto, de hecho está clasificado como medio ya que representa la mitad del mayor escurrimiento en la cuenca localizado en el punto terminal del trabajo. La densidad de drenaje es inexistente y la frecuencia de cauces es intermedia y baja, predominando los cauces de primer orden.

2. En la unidad de Pie de monte superior, la segunda más extensa de la cuenca, las temperaturas empiezan a aumentar aunque la precipitación no se incrementa, por ello la evapotranspiración aumentó un poco más del diez por ciento respecto de la anterior unidad, es más extensa la presencia de los bosques y ello permite una baja transpiración. El tipo de roca de naturaleza volcánico permiten el sustento de suelos de baja compactación pero pobres en materia orgánica y nutrientes y con rocas duras entre los cincuenta y cien centímetros de profundidad. También se practica la agricultura de temporal con bajos rendimientos y con los mismos cultivos arriba señalados para sustentar a las poblaciones de Los Pescados, El Progreso, Vidal Díaz Muñoz, San Isidro y Ejido 20 de Noviembre que en suma tienen 2110 habitantes. La infiltración es alta también por la textura del suelo que es muy poroso; el escurrimiento es el más bajo de la cuenca debido a que la pendiente se ha reducido, predominan declives de 3° a 1° 30', de los más bajos en la región, y de 6° a 3°. La densidad de drenaje es en su mayor parte media y solo en el extremo sur es muy alta: predominan los cauces de primer orden y la frecuencia de cauces es intermedia y baja.

3. En la unidad de Pie de monte inferior la temperatura aumenta 2 °C más respecto de la anterior y llega a 14 °C, la precipitación es alta y también la evapotranspiración. Las rocas predominantes son tobos y su origen volcánico justifica el tipo de suelos como el de las unidades anteriores. La amplia superficie dedicada a la agricultura de temporal, tanto anual como permanente, explica la disminución de la cobertura forestal. Los cultivos son de maíz, frijol, papa, avena, manzana y ciruela, ello permite el sustento de muchas personas distribuidos en seis localidades: Benito Juárez, Tejerías, Cruz Blanca, Casa Blanca, El Manzanal y Manzanillo. El escurrimiento es muy alto y la infiltración es mediana debido a las bajas pendientes, ya que predominan los declives de 3° a 1°30'. La densidad de drenaje y la frecuencia de cauces son media y baja, predominan los cauces de primer y segundo órdenes.

4. Las laderas de la subcuenca Tenexpanoya localizadas en el lado suroriental de la cuenca del río Las Minas, muestran una altitud semejante a la de la unidad de Pie de monte Superior, la temperatura es de 10 °C a 12 °C y la evapotranspiración también es media en ambas unidades. De hecho puede considerarse a esta unidad como una continuación del Pie de monte, por ello la semejanza en muchas características como en el tipo de basamento, la cubierta edáfica y aún la presencia de vegetación y actividad humana. Existe también la única porción de litosol en la cuenca, este tipo de suelo tiene una profundidad menor de diez centímetros hasta la roca, en esta unidad permite la presencia de bosque de pino como vegetación secundaria arbórea. Aunque solo hay dos localidades asentadas en esta región, es la que tiene el mayor número de habitantes por unidades básicas de relieve, equivalente al 31.2%. Hay 8504 personas habitando en El Llanillo y Las Vigas de Ramírez, dedicadas en su mayoría a la agricultura de temporal anual y permanente. Es en esta región de la cuenca donde hay mayor cantidad de lluvias. La precipitación y el escurrimiento son altos y el nivel de infiltración se considera como el más alto de toda la cuenca. Tanto la evapotranspiración como la infiltración ocupan un porcentaje similar del agua precipitada, alrededor del cuarenta y cinco por ciento cada una las mayores pendientes se localizan en el límite oriental de la cuenca, en las laderas de los cerros localizados en la unidad, los declives incluyen más de 45°, 45° a 24°, 24° a 12° y 12° a 6° y de 6° a 3°, aunque predominan los declives de 3° a 1° 30'. La densidad de drenaje es baja y media, en el extremo norte es muy alta. La frecuencia de cauces es baja e intermedia con predominio de cauces de primer orden

5. Las laderas orientales del cerro Amolucan situadas en el extremo noroeste son de hecho una continuidad de la unidad de los Llanos de Perote, puede notarse en aspectos como la altitud similar, la temperatura igual: 12° a 14°C y lo relacionado con la estructura geológica, la cubierta edáfica y también el uso del suelo y la vegetación.. Hay dos localidades en la unidad: Libertad y Villa Aldama, de las mas pobladas en la cuenca, tienen en total 4730 habitantes, lo que equivale al 17.3%. Los aspectos relacionados con el balance hídrico muestran una semejanza en cuanto a la estimación considerada, pues tanto a la precipitación, la evapotranspiración, el escurrimiento y la infiltración, se les da un rango de nivel medio en la cuenca. La evapotranspiración ocupa más del sesenta y cinco por ciento del agua precipitada, alrededor del veinticinco por ciento se infiltra y el diez por ciento restante escurre. Los declives predominantes son de 6° a 3° y de 3 a 1°30', también hay menores a 1°30' y de 12° a 6°. La densidad de drenaje y la frecuencia de cauces se consideran como bajos e inexistentes.

6. Los Llanos de Perote son la unidad de relieve mas extensa en la cuenca y la que tiene las menores pendientes, los declives son en su mayor parte menores a 1°30' y una pequeña área de 3° a 1°30'. Las altitudes van de 2600 a 2400 msnm. Como se mencionó en la unidad anterior, las semejanzas se refieren al tipo de roca que es de toba ácida y basalto, ambas del Cuaternario. En esta unidad hay un tipo de suelo distinta al del resto de la cuenca, este es Regosol éutrico-calcárico y fluvisol calcárico de textura gruesa. Es un tipo de suelo rico en nutrientes y con presencia de cal a menos de cincuenta centímetros de profundidad. Son suelos formados por materiales acarreados por el agua, por ello presentan capas alternadas de arena, arcilla o grava. Su textura indica que hay mucha arena en los treinta centímetros superficiales.

Lo anterior explica que en la mayor parte de esta unidad se practica la agricultura de temporal anual y permanente con cultivos de maíz, avena, papa, manzana y maguey pulquero. Hay también presencia de bosques de pino y pastizal inducido. Este tipo de suelos permite rendimientos moderados y sustentan a la mayor parte de los 5586 habitantes de cinco localidades en la unidad: Magueyitos, Cerro de León, Los Molinos, Sierra de Agua y Veinte de Noviembre, representan el 20.5% del total de población en la cuenca. La localidad Los Molinos es de hecho la más poblada en la cuenca, después de Las Vigas de Ramírez (insertada parcialmente en la cuenca). La precipitación es la más baja de la cuenca, de esa cantidad, alrededor del setenta por ciento se evapotranspira, y el veinte por ciento se infiltra, lo que significa un diez por ciento de escurrimiento. Esto explica en gran parte, el hecho de que en más de la mitad de esta unidad no hay corrientes superficiales y tanto la densidad de drenaje como la frecuencia de cauces sean baja e inexistente. Es de suponer que en esta región de la cuenca es donde puede haber mayor recarga de acuíferos, debido a la consistencia de la estructura geológica que implica un material consolidado con posibilidades altas.

7. La unidad de Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales comprende las menores alturas en la cuenca, pero también los mayores declives, éstos incluyen desde superiores a 45°, de 45° a 24°, 24° a 12°, 12° a 6° y 6° a 3°. En esta unidad de relieve se localiza la roca caliza de la cuenca, el tipo de suelo es muy fértil con presencia de arcilla en el subsuelo y son utilizados con fines agrícolas y rendimientos moderados; con pastizales cultivados o inducidos pueden dar buenos rendimientos en la ganadería, de hecho es la única región identificada con ganado bovino en la cuenca. Los rendimientos forestales son muy altos, ello explica la presencia del bosque mesófilo de montaña, solamente localizado en esta unidad. Este tipo de suelo tiene alta susceptibilidad a la erosión. La presencia de 2789 habitantes, en esta unidad básica de relieve, distribuidos en 8 localidades: Carboneras, La Mancuerna, Las Minas, San Miguel, Rinconada, Romerillos, Tenexpanoya y Zomelahuacan explica la actividad agrícola de temporada anual con cultivos de maíz, frijol, aguacate y pera. Las temperaturas son las más altas de la cuenca: 14 °C a 18 °C, la precipitación es la más alta y de ella, el cincuenta por ciento se evapotranspira, el treinta por ciento se infiltra y el veinte por ciento escurre. La infiltración está determinada por el tipo de roca caliza que es altamente permeable y por la inclinación del terreno que en algunas partes llega a la verticalidad. La densidad de drenaje es muy alta, alta y baja y la frecuencia de cauces es intermedia alta y baja, predominan los cauces de primer orden, es en esta región donde se concentran los escurrimientos para formar el río Las Minas.

De esta manera es como puede apreciarse en un cuadro de información general, las características relevantes de la cuenca del río Las Minas, que la hacen peculiar y plasma también las similitudes y diferencias en las regiones en que se ha dividido a la misma.

TABLA 46

TABLA SINÓPTICA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y BALANCES HIDRICOS GENERALES EN LA CUENCA DEL RIO LAS MINAS

UNIDADES BÁSICAS DEL RELIEVE (UBICACIÓN)	ALTITUD EN MSNM	DECLIVES DOMINANTES	LITOLOGÍA	EDAFOLOGÍA	USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN	T EN °C (1)	P EN MM (2)	CLIMA DOMINANTE (KOEPPEN)	FRECUENCIA DE CAUCES	DENSIDAD DE DRENAJE	PRECIPITACIÓN (3)	EVAPOTRANSPIRACIÓN (3)	ESCURRIENTO (3)	INFILTRACIÓN (3)	POBLACIÓN Y USO DEL AGUA
1. Laderas altas del volcán Cofre de Perote (18.7 km ² 9.2 %) Sur	4282 a 3000	De 6° a 3°, 12° a 6°, 24° a 12° en laderas del volcán	Abunda andesita y una menor porción de brecha volcánica intermedia	Predomina el andosol órtico y regosol eútrico de textura media y de fase física lítica profunda	Agricultura temporal (maíz, papa, avena y papa). Bosque de pino y oyamel. Pastizal inducido y pradera de alta montaña	4 6 8	934 (Media)	Cw Templado con lluvias en verano	Intermedia y baja	Nula	934 mm 17.474 Media	465 mm 8.692 Baja	110 mm 2.066 Medio	359 mm 6.705 Alta	El Conejo Uso doméstico y agrícola
2. Pie de monte superior (40.3 km ² 19.9 %) Centro sur	3200 a 2600	De 6° a 3°, 3° a 1°30', pequeña área mayor a 45° y de 45° a 24°	Cobertura similar: brecha volcánica intermedia y andesita	Área semejante de andosol órtico húmico y andosol húmico órtico de textura media y fase física lítica profunda	Extensión similar de agricultura temporal (maíz, papa, avena y haba) y bosque de pino	10 a 12	953 (Media)	Cw Templado con lluvias en verano	Intermedia y baja	Predomina la media. Muy alta en el extremo sur	953 mm 38.424 Media	538 mm 21.665 Media	74 mm 2.976 Bajo	341 mm 13.732 Alta	Ejido 20 de noviembre El Progreso, Los Pescados San Isidro, Vidal Díaz Muñoz. Uso forestal, agrícola y doméstico
3. Pie de monte inferior (19.1 km ² 9.4 %) Centro	2600 a 2400	De 3° a 1°30' menor a 1°30' y de 6° a 3°	Predomina toba intermedia y una porción menor de toba ácida	Predomina el andosol órtico húmico de textura media y de fase física lítica profunda	Agricultura temporal (maíz, papa y avena) y permanente (manzana y ciruela). Bosque de pino encino, pastizal inducido	12 a 14	1104 (Alta)	Cw Templado con lluvias en verano y Cm Templado con lluvias intensas en verano	Baja e intermedia	Predominan media y baja	1104 mm 20.985 Alta	617 mm 11.727 Alta	216 mm 4.101 Alto	271 mm 5.133 Media	Benito Juárez, Casa Blanca, Cruz Blanca, El Manzanal, Tejerías Manzanillo. Uso doméstico, agrícola y forestal
4. Laderas de la subcuena Tenexpanoya (25.2 km ² 12.4 %) Centro este	3100 a 2600	Predomina de 6° a 3°, menor área de 12° a 6° y 6° a 3°. Pequeña área de 24° a 12°, 45° a 24° y mayor a 45°	Abunda brecha volcánica intermedia, andesita y menor cantidad de basalto y brecha volcánica básica	Predomina andosol órtico húmico de textura media y fase física lítica profunda	Predomina pastizal inducido y área similar de agricultura de temporal (papa) y bosque de pino	10 a 12	1238 (Alta)	Cm Templado con lluvias intensas en verano Cw Templado con lluvias en verano	Baja e intermedia	Baja y media Muy alta en el extremo norte	1238 mm 31.189 Alta	570 mm 14.362 Media	130 mm 3.273 Medio	538 mm 13.520 Muy alta	El Llanillo, Las Vigas. Uso doméstico, agrícola y forestal
5. Laderas orientales del cerro Amolucan (14.4 km ² 7.1 %) Noroeste	2400	De 6° a 3°, 3° a 1°30' y una pequeña área de 12° a 6°	Predomina la toba ácida. Hay basalto, toba intermedia y andesita.	Área similar de andosol húmico órtico de textura media y regosol eútrico calcárico de textura gruesa	Predomina agricultura de temporal (maíz, frijol, avena y papa) y permanente (manzana y ciruela). Bosque de pino, pastizal inducido	12 a 14	914 (Media)	Cw Templado con lluvias en verano y Cm Templado con lluvias intensas en verano	Baja y nula	Baja y nula	914 mm 13.161 Media	599 mm 8.628 Media	91 mm 1.315 Medio	224 mm 3.20 Media	Libertad, Villa Aldama. Uso agrícola, doméstico y forestal
6. Llanos de Perote (54.6 km ² 26.9 %) Centro oeste	2600 a 2400	Menos de 1°30' y de 3° a 1°30'	Área similar de basalto y toba ácida, menor área de toba intermedia y andesita	Predominan regosol eútrico calcárico y fluvisol calcárico de textura gruesa	Predomina agricultura temporal (maíz) y hay agricultura permanente (manzana y maguey pulquero). Bosque de pino y pastizal inducido	12 a 14	791 (Baja)	Cw Templado con lluvias en verano y Cm Templado con lluvias intensas en verano	Baja y nula	Predominan nula y baja	791 mm 43.291 Baja	548 mm 29.971 Media	99 mm 5.422 Medio	144 mm 7.827 Baja	Cerro de León, 20 de Noviembre, Sierra de Agua, Los Molinos, Magueyitos. Uso agrícola, doméstico y forestal
7. Lomeríos, cañadas y barrancas septentrionales (30.7 km ² 15.1 %) Norte	2400 a 1200	Mayor a 45°, 45° a 24°, 24° a 12°, 12° a 6°	Predomina la caliza. Hay basalto y una pequeña área de toba básica	Predominan andosol húmico órtico y luvisol crómico de textura media	Predominan bosque mesófilo de montaña y agricultura de temporal (maíz, frijol) y permanente (aguacate y pera) Pastizal inducido.	14 16 18	1375 (Alta)	Cm Templado con lluvias intensas en verano y Cf Templado con lluvias todo el año	Intermedia, alta y baja.	Predominan muy alta, alta y baja	1375 mm 42.208 Alta	754 mm 23.144 Muy alta	245 mm 7.519 Alto	376 mm 11.505 Alta	Carboneras, Las Minas, La Mancuerna, San Miguel Rinconada, Tenexpanoya Romerillos, Zomelahuacan Uso forestal, agrícola y doméstico

(1) Temperatura media anual en grados centígrados

(2) Precipitación total

(3) Balance hídrico en milímetros y en volumen 10⁶ m³

RESULTADOS

Con base en la recopilación bibliográfica y cartográfica se logró elaborar una serie de mapas, a manera de un atlas para la cuenca del río Las Minas. De acuerdo con la temática cartográfica, se cuantificó y procesó el contenido espacial de las diversas características geográficas. Se efectuó la interpretación, análisis y descripción en forma monográfica. Acorde a los objetivos de la tesis se simplificaron los contenidos del mapa topográfico y se elaboraron como aportación original los mapas de declives, clasificación de cauces, frecuencias de cauces y densidad de drenaje.

Por medio de la cuantificación espacial de los contenidos temáticos de cada mapa y la interpretación de las características, se efectuaron sobreposiciones cartográficas a fin de establecer las posibles correlaciones espaciales de los diversos lugares de la cuenca y con ello se encontraron algunas causas y efectos que condicionan a cada una de las fases del ciclo hidrológico.

- Se efectuó un análisis orográfico-altimétrico que permitió conocer cuales son las condiciones generales del relieve de la cuenca. Uno de los aspectos interesantes es la gran diferencia de altura de 3082 metros que existe entre la cumbre del volcán Cofre de Perote hasta las barrancas septentrionales y los cambios de características físicas que de ello se derivan. A pesar de la presencia de las laderas inclinadas de este gran volcán y las diferencias altitudinales, se detectó que en realidad los relieves montañosos solo abarcan una tercera parte del área de la cuenca, aproximadamente. Los otros lugares están constituidos por laderas con poca inclinación o incluso forman llanuras ligeramente inclinadas, con porciones casi planas, como son los Llanos de Perote.
- De acuerdo con los aspectos altitudinales y del relieve, asociado a las características geográficas, se logró identificar y delimitar dentro del área de la cuenca a siete Unidades Básicas del Relieve, en concordancia con sus propias características geográficas físicas, subcuencas internas y sistemas de drenaje, lo cual sirvió de base para los balances hídricos de cada una. Lo anterior se puede relacionar con el comportamiento de las fases del ciclo hidrológico local y sus respectivos balances. En sí puede considerarse, a cada unidad como una micro región fisiográfica, con un buen grado de validez, en términos generales.
- Mediante el análisis del mapa de declives, se puede afirmar, como un aspecto curioso o de excepción que las mayores inclinaciones están ubicadas en la parte norte de la cuenca, que es la porción más baja de la misma. Ahí mismo se inician las barrancas y cañadas del río Bobos, el cual a su vez constituye la parte media del río Nautla oriental. En contraposición también se detectó que en realidad solo existen declives muy marcados, que abarcan áreas muy pequeñas, en la parte alta del volcán Cofre de Perote. Se logró identificar también, otra área con declives notables en el centro oriente, en la vecindad con la cuenca alta del río Actopan. Con base en lo precedente se puede inferir que en realidad la mayor parte de la cuenca del río Las Minas, tiene una superficie constituida por declives intermedios de 3° a $1^{\circ}30'$ en la parte oriental y de 6° a 3° en la región occidental.
- El noventa y tres por ciento de las rocas localizadas en la cuenca del río Las Minas son ígneas extrusivas, el siete por ciento restante es de rocas sedimentarias, situadas específicamente en el noreste de la cuenca en el punto terminal del trabajo. Tres tipos de tobas son las rocas más abundantes con dos quintas partes del total, se localizan hacia el noroeste de la cuenca y ocupan la mayor parte de los Llanos de Perote. Las rocas andesíticas son las segundas más abundantes con 23.3 por ciento del total y se localizan hacia el centro y sur, ocupan el sureste de la unidad de los Llanos de Perote. La roca caliza solo cubre el siete por ciento del área total, este tipo de roca es

importante porque representa áreas de recarga acuífera. En este sentido las características litológicas tienen un papel destacado con respecto a los procesos de infiltración y por lo tanto puede considerarse a la cuenca superficial como un área de recarga para los acuíferos.

- Un poco más de las tres cuartas partes de la cobertura edáfica de la cuenca es la unidad de los andosoles, suelos formados de ceniza volcánica. Esta unidad se extiende en casi toda la cuenca, excepto en el extremo noreste. El tipo de suelo más abundante de ellos es el andosol òrtico y hùmico de clase textural media y de fase física lítica profunda, el cual cubre cerca de una tercera parte de la superficie de la cuenca, se localiza en la porción central de la cuenca y en el centro oeste. La segunda unidad de suelo más abundante es la del regosol eùtrico, regosol calcàrico y fluvisol calcàrico con aproximadamente una quinta parte de total, se localiza hacia el noroeste de la región de estudio. Algunos tipos de suelos permiten una infiltración abundante y poca retención, sobre todo en las porciones inclinadas. En algunas partes, la carencia de humedad en los suelos impide el crecimiento de la vegetación, por ello hay paisajes semejantes a los de las regiones áridas, en donde la lluvia es escasa en realidad. En otros lugares donde la textura del suelo es fina hay retención de humedad y los diversos tipos de estratos vegetales tienden a presentar una mayor abundancia. Obviamente este aspecto ha sido bastante modificado por la ampliación de las áreas de cultivo y por la tala inmoderada.
- Se detectó que originalmente la cuenca del río Las Minas y sus áreas adyacentes tuvieron una gran cobertura de vegetación natural constituida principalmente de bosques. Actualmente hay muy poca vegetación natural, localizada en algunas porciones de las partes altas de las laderas del norte del volcán Cofre de Perote. La vegetación actual corresponde a plantas introducidas y el uso del suelo es eminentemente agrícola. El tipo de vegetación natural que cubre la mayor superficie en la cuenca del río Las Minas es de bosques. Ocupan una tercera parte de la cuenca., y de ellos el más abundante es el bosque de pino.
- Con base en la información cartográfica y la observación directa en campo se puede decir que, el uso del suelo en gran parte de la cuenca tiene influencia humana y alteraciones notables en varios sitios. A partir del análisis hecho en el presente trabajo es posible pronosticar que la agricultura continuará extendiéndose hacia algunos lugares inadecuados para dicha actividad, ello causará mayores problemas y destrucción de las condiciones naturales. El impacto del hombre sobre la naturaleza es palpable en el área de estudio, el uso del suelo más extendido en la cuenca es el de la agricultura de temporal de cultivo anual y permanente; ocupa algo más de la mitad del total, predominan los cultivos de maíz, fríjol, maguey, haba, papa, avena, aguacate y pera, localizados especialmente hacia el centro, noreste y sur de la misma. El pastizal inducido solamente representa el 8.9% del total. El cultivo de la papa es el más extendido en la región del Parque Nacional Cofre de Perote, parte de esa área está incluida en la cuenca del río Las Minas, eso implica que se ha reducido la cobertura boscosa próxima a la cabecera de la cuenca de estudio.
- El clima templado es el que predomina en la cuenca del río Las Minas. De este tipo de clima se distinguen cinco subtipos de acuerdo con la modificación hecha por García (1964). Esto fue determinado con la ayuda de los registros de temperatura y precipitación de cinco estaciones climatológicas localizadas dentro y en regiones próximas a la cuenca. Debido a las diferencias de altitud, las temperaturas cambian rápidamente a partir de las laderas del volcán Cofre de Perote en tramos cortos. En el lado noroeste, hacia el cerro Amolucan, se percibe en cambio que las diferencias de temperatura son paulatinas, los cambios de temperatura son menos marcados debido a que también el descenso es pausado, debido a la diferencia de desnivel de las laderas del volcán Cofre de Perote, hacia la porción sureste del cerro Amolucan. Los datos de temperatura en la cuenca incluyen valores menores a 4 °C en la región próxima a la cabecera hasta más de 18°C en

el extremo norte, próximo al punto terminal de la misma. La temperatura empieza a incrementarse a partir de los 4° C en las laderas altas del volcán Cofre de Perote hasta llegar a los 8 °C. Conforme se desciende, la temperatura continúa aumentando hasta llegar a los 12 °C en la parte media de la cuenca. El aumento es mayor en la porción norte de la cuenca donde alcanza los 14° y hasta 18 °C.

- En la cuenca del río Las Minas, la precipitación no es uniforme, tiene un aumento paulatino con dirección este a oeste e inclusive al noroeste, inicia con 600 milímetros en la unidad de los Llanos de Perote hasta más de 1500 milímetros en la región del punto terminal de la cuenca. Con base en el análisis de los datos de lluvia se considera que la precipitación media en la cuenca del río Las Minas no es abundante. En cuanto a las estimaciones de la distribución mensual de la lluvia a lo largo del año, los registros indican que son máximas durante el período que comprende los meses de junio a septiembre y mínimas durante los meses de diciembre a abril. Esto implica, de manera general, que el período seco tiene una duración un poco mayor con respecto al lapso húmedo, por este motivo, la evapotranspiración es mayor y la infiltración para la recarga y el agua de escurrimiento ocurren en menos tiempo. Las precipitaciones presentan contrastes notables entre la temporada de lluvias y la época de secas, ya que los registros de las estaciones climatológicas de la región, muestran que hay grandes diferencias entre los promedios mensuales máximos y mínimos de la época seca a la lluviosa, como en el caso de la estación Las Vigas, donde la diferencia es superior al noventa y seis por ciento. Con base en su lámina en milímetros, la precipitación se considera distribuida geográficamente en tres grupos en la región que abarca el presente estudio: alta en el norte, noreste, este y centro de la cuenca; media en el centro, sur y noroeste y baja en el oeste.
- Con la información del mapa de climas, los coeficientes de escurrimiento y los registros climáticos e hidrométricos se elaboraron tablas y gráficas con los datos específicos de la precipitación, evapotranspiración y el escurrimiento. Los valores de la infiltración registrados son de carácter general y se cubrieron de manera indirecta. Los diversos tipos de gráficas permitieron interpretar la información por su expresión de manera objetiva.
- La distribución de los cauces en la cuenca es irregular ya que únicamente en la porción del sureste, oriente y noreste se tiene un sistema de drenaje bastante definido; en las porciones del noroeste también existen sistemas de cauces, aunque son de importancia secundaria; hacia las porciones centrales, en el Pie de monte superior e inferior, no hay cauces debido a la litología del lugar y a la disminución de precipitación en ese sitio.
- El sistema fluviográfico de la cuenca del río Las Minas está formada por tres subcuencas de cuarto orden: la del arroyo Puerco en el occidente, la de Río Frío en el centro y del arroyo Tenexpanoya en el oriente. La mayor de las subcuencas es la del arroyo Puerco y la de menos extensión es la de Río Frío.
- El número total de cauces es de 444 que suman 318 kilómetros de longitud. Los ríos de la margen derecha son más numerosos aunque de menor longitud que los de la margen izquierda.
- Los coeficientes de escurrimiento superficial son distintos de un lugar a otro, y por lo tanto, la existencia mínima de cauces confirma la aptitud de la cuenca como región de recarga. En contraste, la porción oriental presenta varios cauces que tienen escurrimiento continuo lo que permite mover las turbinas de la planta hidroeléctrica Las Minas, de una manera prácticamente constante.

- La frecuencia de cauces predominante es baja y media y no existen cauces superficiales en la porción occidental de la cuenca correspondiente a la región de los Llanos de Perote. La densidad de drenaje es baja y media con cauces distribuidos en toda la cuenca.
- La evapotranspiración en la cuenca del río Las Minas representa el proceso de mayor volumen en el balance hídrico local, ya que la mayor pérdida de agua ocurre durante esta fase del ciclo hidrológico. La evapotranspiración se incrementa paulatinamente de las partes altas hacia las partes bajas de la cuenca, los mayores valores de la evapotranspiración coinciden con las mayores temperaturas medias anuales en la región. De acuerdo con la cantidad de la evapotranspiración anual, se establecieron tres categorías que son: alta en el norte y centro con 685 milímetros; media en el centro sur, centro oeste, noroeste y centro este con 563 milímetros; y baja en el sur de la cuenca con 465 milímetros.
- El volumen de escurrimiento dentro del ciclo hidrológico local, tiene el menor porcentaje de participación, sólo un 6.6 por ciento del total de agua que ingresa a la cuenca. Se presenta en términos generales, en las laderas, y de manera más definida en los cauces hacia el centro oeste. Los escurrimientos más abundantes ocurren en las partes bajas e intermedias de la cuenca. Los cauces iniciales o de primer orden están a partir de la cabecera hacia el punto terminal, y pueden originarse debido al deshielo o a la presencia de granizo. Los escurrimientos se van concentrando en los mayores cauces, donde puede haber mayor cantidad de arrastre de materiales sólidos y contenerlos en suspensión. Para el caso del escurrimiento fueron considerados tres rangos distribuidos en la cuenca de la siguiente manera: alto en el norte y centro con 230 milímetros; medio en el centro oriente, sur, centro oeste y noroeste con 108 milímetros, y bajo en el centro sur con 74 milímetros.
- Para el caso de la infiltración en la cuenca del río Las Minas se consideraron cuatro rangos de infiltración que son: muy alta en el centro oeste con 538 milímetros; alta en el norte, sur y centro sur con 358 milímetros; media en el centro y noroeste con 248 milímetros y baja en el centro occidente con 144 milímetros. .
- El balance hidrológico global de la cuenca del río Las Minas, muestra que: más de la mitad de la lámina precipitada se evapotranspira, una tercera parte se infiltra y un poco más de la décima parte escurre. El volumen de evapotranspiración ocupa la mayor cantidad de volumen en el balance general, con 118.2 millones de metros cúbicos, equivalentes al cincuenta y siete por ciento del agua que ingresa por lluvia en la cuenca. La infiltración ocupa 61.6 millones de metros cúbicos, esto equivale a casi un treinta por ciento del volumen precipitado. El volumen de escurrimiento es la fase del ciclo hidrológico menos cuantiosa en la cuenca con 26.7 millones de metros cúbicos, equivalentes a 12.9 por ciento.

Se considera que, la población localizada en la cuenca del río Las Minas, no altera el balance hídrico general debido a que no hay muchos habitantes, por el contrario, ha disminuido su número en algunas localidades y por consiguiente, se ha reducido también el consumo de agua.

SUGERENCIAS

En virtud de que el recurso agua es indispensable para la supervivencia y también para las actividades económicas es necesario tener cuidado del líquido vital, es por ello que deben conservarse las condiciones ecológicas para que las fases del ciclo hidrológico de la cuenca del río Las Minas tengan un funcionamiento normal y también para mantener en operación la planta hidroeléctrica Las Minas.

Por lo arriba expuesto y con la pretensión de beneficiar a la población local se hacen las siguientes recomendaciones:

- Es conveniente que una o varias dependencias gubernamentales como la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, efectúen un estudio por subcuencas del Parque Nacional Cofre de Perote que constituya un modelo para hacer estudios relacionados con el agua y la cobertura vegetal de las regiones altas con la finalidad de ampliar áreas de conservación, de bosques y reforestar, esto repercutirá en la infiltración de los mismos lugares.
- Es recomendable que las estaciones hidrométricas reinicien operaciones de registro, especialmente las cercanas a la planta hidroeléctrica Las Minas, como son las de Trinidad y Minas, Borregos y Las Animas. Esto se considera necesario ya que debe conocerse el comportamiento de las corrientes y los volúmenes de captación en las subcuencas, para planear una mejor utilización del agua. Este estudio podría llevarlo a cabo precisamente, la Comisión Nacional del Agua.
- Se sugiere hacer estudios mas detallados con mapas de mayor precisión y fotografías aéreas actualizadas, pueden ser relacionados al uso potencial del suelo agrícola o pecuario y de ordenamiento territorial de tipo multidisciplinario en las regiones críticas que muestren la cobertura vegetal actual y permitan establecer las comparaciones pertinentes en relación al avance de la erosión, la tala, el despoblamiento, etc. Las dependencias gubernamentales encargadas podrían ser la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Comisión Nacional del Agua, Comisión Federal de Electricidad, Instituto Nacional Forestal e Instituto Nacional de Ecología.
- Se considera factible hacer estudios concernientes a la demanda, abastecimiento y uso del agua en los principales poblados, para detectar de que manera influyen en el comportamiento y el balance del agua como recurso y establecer las bases para favorecer a los habitantes de la cuenca. El mapa de aguas subterráneas presentado en el trabajo, muestra las áreas que ofrecen mayores posibilidades, se propone que en tales áreas se realicen estudios puntuales que permitan la obtención del recurso. Este estudio podría efectuarlo la Comisión Nacional del Agua o Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Es necesario detectar en cada parte de la cuenca las áreas de infiltración, como en el caso de los Llanos de Perote, que tiene menor inclinación y poca lluvia y en esa unidad se localizan seis de las veintinueve localidades situadas dentro de la cuenca del río Las Minas, dos de ellas son de las mas pobladas en la región, lo que justifica el estudio sugerido.
- Debido a la necesidad de contar con registros climáticos confiables y actuales, se sugiere a la Comisión Federal de Electricidad, la instalación de tres estaciones climatológicas en la cuenca. La primera de ellas, situada en los alrededores de los viveros en las Vigas de Ramírez, la segunda en la región cercana al punto terminal del trabajo y una más en el área próxima al volcán Cofre de Perote. Este tipo de estudios –como el realizado- muestra la necesidad de contar con información veraz y actualizada.

- Se considera pertinente efectuar para la misma cuenca un balance hídrico general con base en los balances parciales de las subcuencas de los arroyos Puerco, Tenexpanoya y Frío. Obtenidos estos balances parciales se podrá integrar el de toda la cuenca y con los resultados obtenidos se podrá comparar y contrastar con los obtenidos por el procedimiento efectuado en el presente trabajo. Es conveniente que el estudio de la cuenca del río Las Minas se prosiga con base en la investigación hecha para la tesis. Con esta continuidad se pueden efectuar estudios regionales y lograr mejores resultados basados en las subcuencas principales o en las unidades básicas de relieve.
- La importancia de continuar la investigación consiste en obtener la información necesaria y con mayor detalle que permita tomar medidas para preservar el agua y mantener así el equilibrio ecológico en la región estudiada, que sustenta la habitación de más de 27 000 habitantes.

BIBLIOGRAFIA Y HEMEROGRAFIA CONSULTADA

- BALANZARIO, Zamorate, José R. (1974). *Catálogo geográfico*. México: Artes gráficas independientes.
- BARRADA Miranda, Víctor Luis (2005). "Disminuyen lluvias por la deforestación en el Cofre de Perote" en *Gaceta UNAM*, 23 de mayo de 2005, número 3810, pp. 8-10. Entrevista con Laura Romero.
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, (1964) *Boletín hidrométrico* # 5, México.
_____ (1965) *Boletín hidrométrico* # 9, México.
_____ (1971) *Boletín hidrométrico* # 42, México.
- DICCIONARIO PORRUA de Historia, Biografía y Geografía de México* (1964) México: Porrúa.
- GARCIA, Enriqueta (1988) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen*. México UNAM
- GARCIA, Enriqueta; FALCÓN, Zaida. (1977) *Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana* México: Porrúa.
- GEREZ Fernández, Patricia. (1994) "Bosques, vedas y cultura forestal en el Cofre de Perote. ¿En verdad funcionan las vedas? Parece que no". *La Jornada Ecológica*. 13 de septiembre de 1994.
- GUERRA, Felipe (1980) *Fotogeología*. México, UNAM.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI) (1999) *Anuario estadístico del Estado de Veracruz*. México.
_____ (1981) *Guías para la interpretación de cartografía geología*.
_____ (1981) *Guías para la interpretación de cartografía. Edafología*
_____ (1981) *Guías para la interpretación de cartografía Uso del suelo*
_____ (1989) *Guías para la interpretación de cartografía. Climatología*.
_____ (1990) *Guías para la interpretación de cartografía. Hidrología*.
_____ (1981) *Diccionario de datos edafológicos 1: 250 000*
_____ (1988) *Síntesis Geográfica del Estado de Veracruz. México*
- LEET-JUDSON (1977) *Fundamentos de geología física*. Limusa. México.
- LUGO Hubp, José. (1989) *Diccionario geomorfológico*. México: UNAM
- MADEREY Rascón, Laura (1977) *Agua de escurrimiento en la República Mexicana*. México: UNAM.
- MEDINA A. María Elena (1991) *Atlas climático de los municipios de Las Minas y Tatatila, (Estado de Veracruz)*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver.
- NAVARE Flores, Héctor (1985) *La vegetación del Cofre de Perote, Veracruz*, México: Biótica. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz.
- ORTIZ-VILLANUEVA, Bonifacio (1977) *Edafología*. México: Patena.
- SECRETARIA DE GOBERNACIÓN (1988) *Gobierno del Estado de Veracruz. Los municipios de Veracruz*. México: SEGOB.
- SOTO Mora Consuelo (1965) *Vocabulario geomorfológico*. México. UNAM
- STRAHLER, Arthur N. (1990). *Geografía Física*. Barcelona: Omega.
- TAMAYO, Jorge L. (1946). *Datos para la hidrología de la República Mexicana*. México: IPGH.
- TAMAYO, Mario (1991). *El proceso de la investigación científica*. México. Limusa.
- VARGAS Márquez, Fernando (1984). *Parques Nacionales de México y Reservas equivalentes. Pasado, presente y futuro*. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México, Instituto de Investigaciones Económicas de México. UNAM. México, D. F.
- VIVÓ, Jorge (1983) *La conquista de nuestro suelo*. México: UNAM.
- YARZA DE LA TORRE, Esperanza (1984). *Volcanes de México*. México: UNAM

CARTOGRAFIA CONSULTADA

1. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
 - 1980. Carta de climas México 1: 1 000 000
 - 1981. Carta fisiográfica México 1: 1 000 000
 - 1984. Carta hidrológica de aguas superficiales México 1: 1 000 000
 - 1987. Carta topográfica del Estado de Veracruz. 1: 1 000 000
 - 1982. Carta topográfica Veracruz E 14-3 1: 250 000
 - 1984. Carta geológica Veracruz E 14-3 1: 250 000
 - 1984. Carta edafológica Veracruz E 14-3 1: 250 000
 - 1984. Carta uso del suelo y vegetación Veracruz E 14-3 1: 250 000
 - 1984. Carta hidrológica de aguas superficiales Veracruz E 14-3 1: 250 000
 - 1984. Carta hidrológica de aguas subterráneas Veracruz E 14-3 1: 250 000
 - 1983. Carta topográfica Xico E 14 B 36 1: 50 000
 - 1984. Carta topográfica Perote E 14 B 26 1: 50 000

2. Secretaría de la Presidencia - UNAM.
 - 1970. Carta de climas Veracruz 14 Q – III 1: 500 000

3. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP)
 - 1982. Mapa de carreteras 1: 600 000
 - 1982. Mapa de carreteras. Estado de Veracruz 1: 1 000 000

4. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 1995).
 - Atlas de comunicaciones y transportes. México 1: 500 000

5. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 1999).
 - Comisión Nacional del Agua (CNA). Subdirección general de Programación.
Sistema de información geográfica del agua. Regiones Hidrológicas. 1: 4 000 000