

Estudio de información integrada
de la Cuenca Ríos
Actopan-Jamapa
y otros



USGS/NASA Landsat

**PORTADA DEL ESTUDIO DE INFORMACIÓN INTEGRADA DE LA CUENCA
DE LOS RÍOS ACTOPAN JAMAPA Y OTRAS**



Obras complementarias publicadas por el INEGI sobre el tema:

Síntesis de información geográfica del estado de Puebla; Síntesis de información geográfica del estado de Veracruz.

Catalogación en la fuente INEGI:

551.48 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México).
Estudio de información integrada de la Cuenca Ríos Actopan-Jamapa y otras /
Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2019.

xii, 117 p.

1. Hidrología - Investigación - Actopan, Río (Veracruz). 2. Hidrología -
Investigación - Jamapa, Río (México).

Conociendo México

01 800 111 4634

www.inegi.org.mx

atencion.usuarios@inegi.org.mx

 **INEGI Informa**  **@INEGI_INFORMA**

DR © 2019, **Instituto Nacional de Estadística y Geografía**

Edificio Sede

Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301

Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276 Aguascalientes,

Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI,

Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas.

Presentación

El **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)** tiene entre sus responsabilidades normar y coordinar el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica del país, insumos que son fundamentales en el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales; la oferta de información incluye el agua superficial del territorio nacional. El tema de la degradación ambiental en México ha adquirido mayor relevancia en épocas recientes, el crecimiento poblacional desordenado y las prácticas inadecuadas que se traducen en presión y deterioro del medio ambiente y sus ecosistemas, han provocado numerosos conflictos ambientales como: la deforestación de bosques, erosión de suelos, pérdida de biodiversidad, así como la contaminación y desabasto de agua. Ante esta situación es apremiante un cambio en la gestión de recursos naturales, que transite de un enfoque sectorial hacia una visión sistémica e integral, que emplee a la cuenca como unidad de análisis y planeación ya que ésta brinda la oportunidad de manejar los recursos naturales dentro de un contexto geográfico óptimo, y posibilita la caracterización de las dinámicas socioeconómicas, permitiendo establecer relaciones más precisas sobre la forma en que estas impactan dichos recursos (Garrido *et. al.*, 2007).

En la actualidad, en México, distintos organismos, dependencias e instituciones realizan esfuerzos por evaluar las condiciones de las cuencas hidrográficas del país, buscando identificar estrategias de manejo para mantener el estado de los recursos naturales y los procesos ecológicos existentes, con la finalidad de generar instrumentos de gestión y planificación adecuados con el fin de fijar metas sociales y económicas que conlleven a un desarrollo sustentable (Cruz, 2003).

Dada la importancia que reviste el tema ambiental resulta imperioso el desarrollo de estudios que permitan conocer el estado que guardan las cuencas del país y sus recursos naturales, por ello, **INEGI**, emprende el proyecto **Estudios de Información Integrada de Cuencas Hidrográficas de México** con el propósito de generar información hidrográfica de interés nacional.

Índice

Localización, límites y extensión	IX
1. Fisiografía y geología	1
1.1 Fisiografía	1
1.1.1 Provincias fisiográficas	1
1.1.1.1 Llanura Costera del Golfo Sur	1
1.1.1.2 Eje Neovolcánico	1
1.1.2 Subprovincias fisiográficas	1
1.1.2.1 Llanura Costera Veracruzana	1
1.1.2.2 Chiconquiaco	3
1.1.2.3 Lago y Volcanes de Anáhuac	3
1.1.3 Sistemas de topoformas	3
1.1.3.1 Lomerío	3
1.1.3.2 Llanura	3
1.1.3.3 Sierra	3
1.1.3.4 Valle	3
1.2 Geología	5
1.2.1 Geología histórica	5
1.2.2 Litología	5
1.2.3 Geología estructural	12
2. Condiciones climáticas y fenómenos hidrometeorológicos	15
2.1 Clima	15
2.2 Estaciones climatológicas	21
2.3 Temperatura	23
2.4 Precipitación	26
2.5 Fenómenos hidrometeorológicos	29
2.5.1 Ciclones	29
2.5.2 Heladas	32
2.5.3 Inundaciones	32
3. Vegetación y uso del suelo	35
3.1 Vegetación primaria	35
3.2 Tipos de vegetación	36
3.3 Uso del suelo	41
4. Análisis morfométrico, zonas funcionales e infraestructura hidráulica	43
4.1 Hidrografía superficial	43
4.1.1 Cuenca del río Jamapa	43
4.1.2 Cuenca del río La Antigua	47
4.1.3 Cuenca del río Actopan	49
4.1.4 Cuenca del río Agua Fría (Pajaritos)	50
4.1.5 Cuenca del arroyo Paso El Limón	50
4.1.6 Cuenca del arroyo Caño Gallegos	50
4.1.7 Cuenca de la laguna El Llano	51

4.1.8 Cuenca de la laguna Farallón	51
4.1.9 Cuenca de la laguna de La Sal	51
4.1.10 Cuenca de la laguna Verde	51
4.2 Morfometría	51
4.2.1 Cuenca del río Jamapa	52
4.2.2 Cuenca del río La Antigua	54
4.2.3 Cuenca del río Actopan	55
4.2.4 Cuenca del río Agua Fría (Pajaritos)	56
4.2.5 Cuenca del arroyo Paso El Limón	58
4.2.6 Cuenca del arroyo Caño Gallegos	59
4.2.7 Cuenca de la laguna El Llano	60
4.2.8 Cuenca de la laguna Farallón	61
4.2.9 Cuenca de la laguna de La Sal	62
4.2.10 Cuenca de la laguna Verde	64
4.3 Zonas funcionales	65
4.3.1 Zona funcional alta	66
4.3.2 Zona funcional media	66
4.3.3 Zona funcional baja	67
4.4 Infraestructura hidráulica	69
4.4.1 Estaciones hidrométricas	69
4.4.2 Plantas de tratamiento de agua residual	69
4.4.3 Vasos de presa y bordos	71
4.4.4 Distritos de riego	73
5. Densidad de la cubierta vegetal, permeabilidad del terreno y coeficiente de escurrimiento	79
5.1 Densidad de la cubierta vegetal	79
5.1.1 Densidad media	79
5.1.2 Densidad media baja	79
5.1.3 Densidad alta	79
5.1.4 Densidad media alta	79
5.1.5 Densidad baja	80
5.2 Permeabilidad del terreno	83
5.2.1 Permeabilidad media alta	83
5.2.2 Permeabilidad media baja	84
5.2.3 Permeabilidad media	84
5.2.4 Permeabilidad alta	84
5.2.5 Permeabilidad baja	85
5.3 Coeficiente de escurrimiento	87
5.3.1 Coeficiente de 10.1 a 15%	87
5.3.2 Coeficiente de 15.1 a 20%	88
5.3.3 Coeficiente de 25.1 a 30%	88
5.3.4 Coeficiente de 20.1 a 25%	88
5.3.5 Coeficiente de 5.1 a 10%	89
5.3.6 Coeficiente de 30.1 a 35%	89
5.3.7 Coeficiente de 35.1 a 49%	89
5.3.8 Coeficiente de 0 a 5%	89
6. Química del agua	93
6.1 Muestreo	93
6.2 Interpretación de datos fisicoquímicos	94
6.2.1 Grado hidrotimétrico	94
6.2.2 Índice de <i>Langelier</i>	98
6.2.3 Diagramas de <i>Gibbs</i>	100
6.2.4 Familias de agua	102

6.2.5 Diagramas de <i>Stiff</i>	103
6.2.6 Clasificación de agua para uso agrícola	105
6.2.7 Fosfatos	107
6.2.8 Nitratos	109
6.2.9 Oxígeno disuelto	109
Bibliografía	115

Localización, límites y extensión

El área de estudio denominada cuenca de los ríos Actopan-Jamapa y otras se localiza al oriente de la República Mexicana (Gráfica A), según la cartografía Cuencas Hidrográficas de México 2007, se sitúa en la Región Hidrográfica Papaloapan, en la vertiente del golfo de México. Colinda al norte con la Región Hidrográfica Norte de Veracruz, al este con el golfo de México, al oeste con la Región Hidrográfica Balsas y al sur con la región a la cual pertenece.

Las coordenadas geográficas extremas son al norte 19°45', al sur 18°44' de latitud norte; al este 95°57', al oeste 97°16' de longitud oeste (Gráfica B).

Comprende una superficie aproximada de 9 933 km², abarca la porción centro del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y sector oriental del estado de Puebla, el primero domina 95.03% del área, y el territorio de Puebla que se ubica en la porción oeste, ocupa 4.97% restante. El número de municipios dentro del área de estudio es mayor para Veracruz Ignacio de la Llave (Cuadro y mapa A).

Municipios en la cuenca

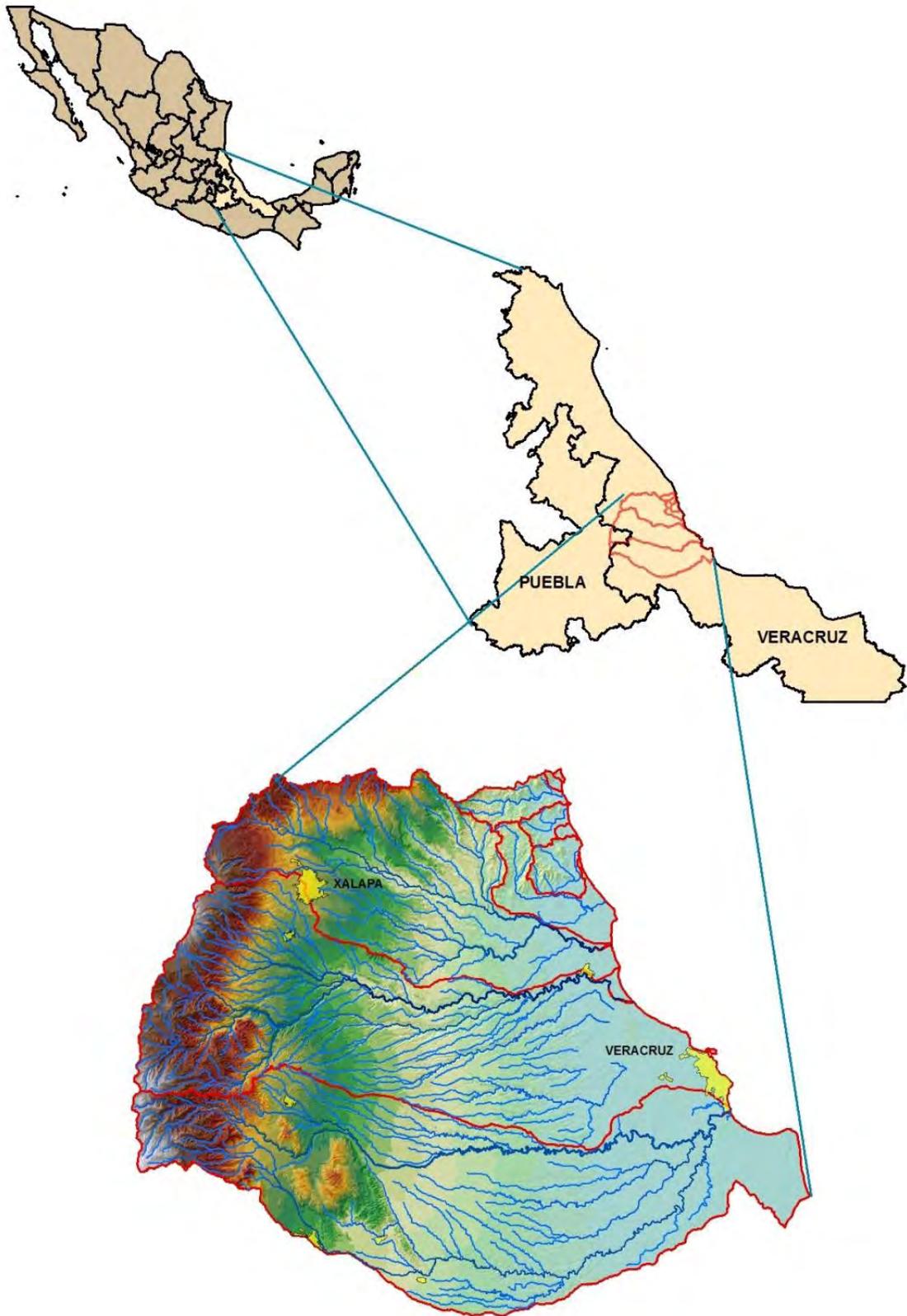
Cuadro A

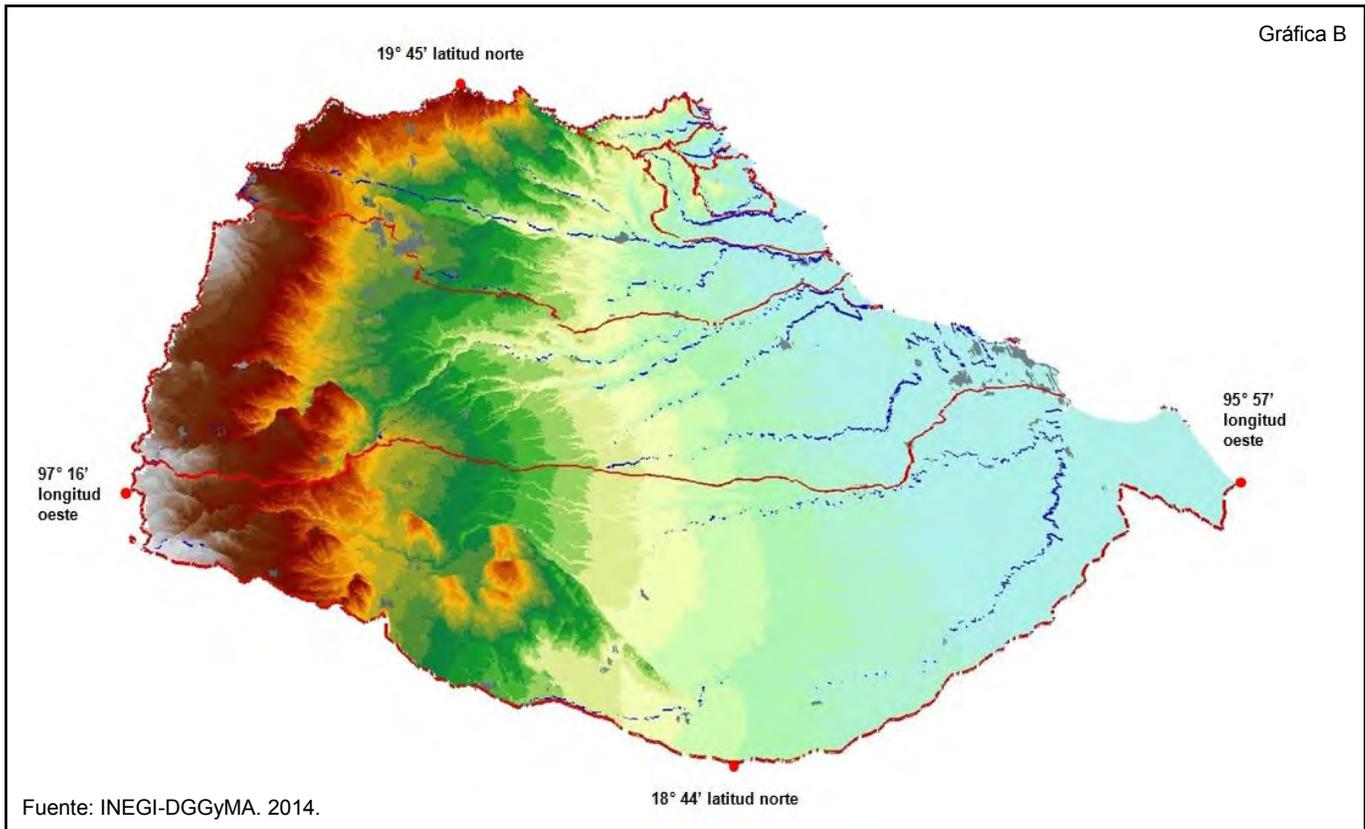
Estado	Municipios	Municipios	Municipios	
Veracruz	Acajete	Cotaxtla*	Rafael Lucio	
	Acatlán	Cuitláhuac*	Sochiapa	
	Actopan	Emiliano Zapata	Soledad de Doblado	
	Alpatláhuac	Fortín*	Tatatila*	
	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios*	Huatusco	Tenampa	
	Alvarado*	Ixhuacán de los Reyes	Teocelo	
	Amatlán de los Reyes*	Ixhuatlán del Café	Tepatlixco	
	Apazapan	Jalcomulco	Tepetlán	
	Atoyac	Jamapa	Tlacolulan*	
	Ayahualulco*	Jilotepec	Tlacotepec de Mejía	
	Banderilla	Juchique de Ferrer*	Tlalixcoyan*	
	Boca del Río	La Antigua	Tlalnahuayocan	
	Calchahuaco	La Perla*	Tlaltetela	
	Camarón de Tejeda	Landero y Coss*	Tomatlán	
	Carrillo Puerto	Las Vigas de Ramírez*	Tonayán*	
	Chiconquiaco*	Manlio Fabio Altamirano	Totutla	
	Chocamán*	Medellín*	Úrsulo Galván	
	Coacoatzintla	Miahuatlán*	Veracruz	
	Coatepec	Naolinco	Xalapa	
	Comapa	Paso de Ovejas	Xico	
	Córdoba*	Paso del Macho	Yanga	
	Cosautlán de Carvajal	Perote*	Zentla	
	Coscomatepec*	Puente Nacional		
	Puebla	Chichiquila	La Fragua*	Tlachichuca*
		Chilchotla*	Quimixtlán	

*Parte del municipio.

Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico, versión 5.0A, 2012.

El área de estudio se encuentra integrada por diez cuencas hidrográficas, ocho son exorreicas ya que vierten sus escurrimientos al golfo de México y las cuencas Laguna Verde y Laguna Farallón son endorreicas; las más extensas son las cuencas de los ríos Jamapa (Fotografía 1), La Antigua y Actopan. El rango altimétrico va desde 0 hasta 5 610 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.), punto de mayor elevación del país que corresponde a la cúspide del volcán Pico de Orizaba, también conocido como Citlaltépetl.

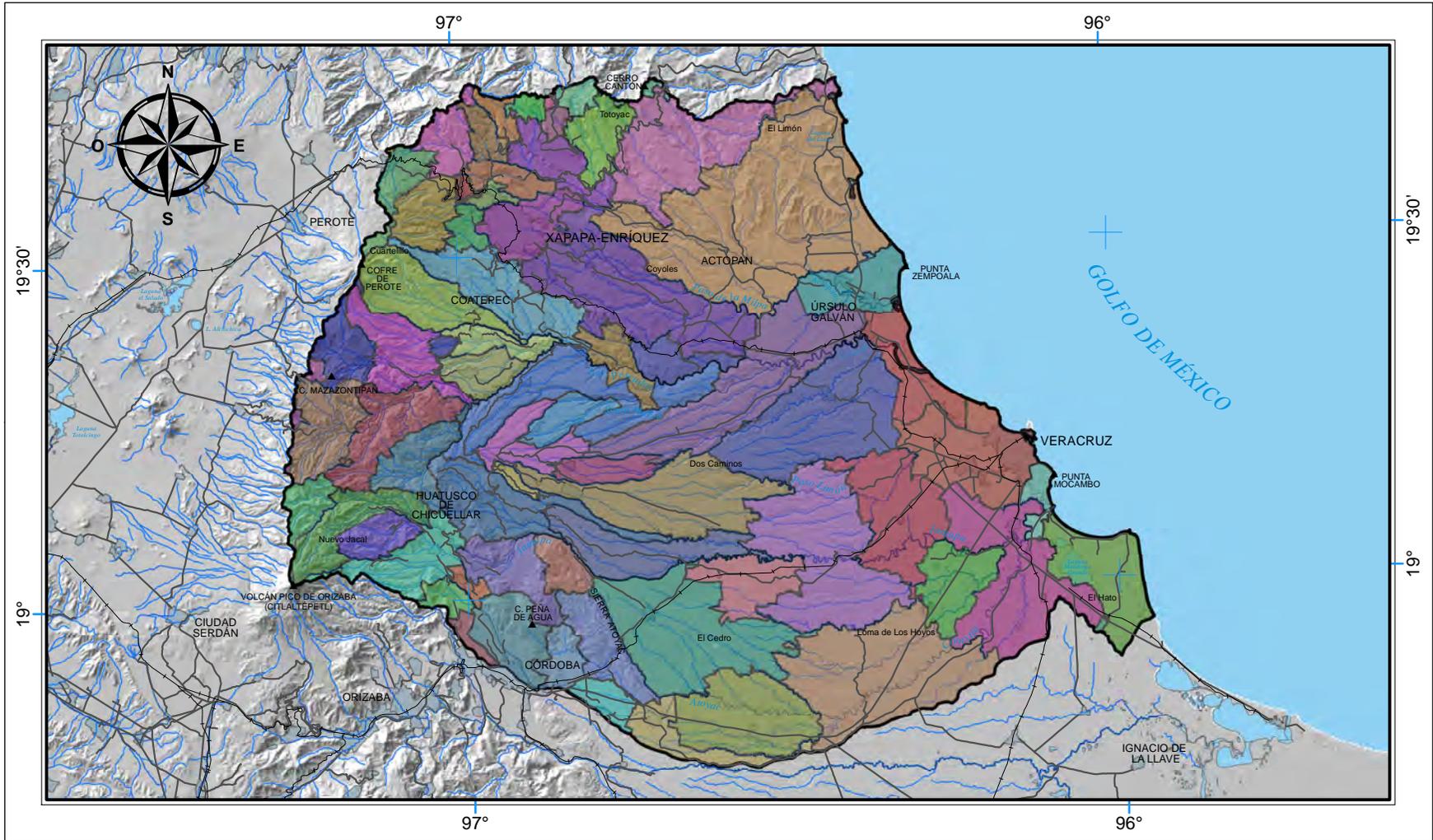




Fotografía 1.1: Vista del río Actopan, Veracruz de Ignacio de la Llave, noviembre de 2014.

Municipios

Mapa A



SIMBOLOGÍA

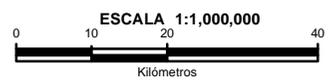
Acápete	Boca del Río	Cosautlán de Carvajal	Jamapa	Nailinco	Teocelo	Totutla
Acatlán	Calchahuaco	Coscomatepec	Jilotepec	Paso de Ovejas	Tepatlaxco	Ursulo Galván
Actopan	Camarón de Tejada	Cotaxtla	Juchique de Ferrer	Paso del Macho	Tepetitlán	Veracruz
Alpatláhuac	Carrillo Puerto	Cuicatlan	La Antigua	Perote	Tlachichuca	Xalapa
Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	Chichiquilla	Córdoba	La Perla	Puente Nacional	Tlacolulan	Xico
Avarado	Chiconquiaco	Emiliano Zapata	Lahaguá	Quimistán	Tlacoacapan de Mejía	Yanga
Amatán de los Reyes	Chilchotla	Fortín	Lándero y Coas	Rafael Lucio	Tlaxiaco	Zentla
Apazapan	Chocamán	Huatusco	Las Vigas de Ramírez	Sochiapa	Tlaxiaco	
Atzacan	Coacoatzacoatlán	Ixhuacán de los Reyes	Manlio Fabio Atamirano	Soledad de Doblado	Tlaltetela	
Ayahualulco	Coatepec	Ixhuatlán del Café	Medellín	Taratisa	Tomatlán	
Banderilla	Comapa	Jatcomulco	Mihuatlán	Tenampa	Tonayán	

LOCALIZACIÓN



CUENCA DE LOS RÍOS ACTOPAN-JAMAPA Y OTRAS

PROYECCIÓN: Cónica Conforme de Lambert
DATUM HORIZONTAL: ITRF92



Fuente: INEGI. Marco Geostadístico, versión 5.0A, 2012. XII

1. Fisiografía y geología

1.1 Fisiografía

La información fisiográfica que genera el INEGI se sustentó básicamente sobre el análisis de la información geológica del territorio nacional, mismo que permito diferenciar grandes conjuntos de rocas, con una geocronología casi uniforme que fueron llamadas provincias fisiográficas. La regionalización efectuada a la República Mexicana posibilitada la creación de jerarquías, creadas para trabajar las formas del relieve a varias escalas, mismas que ahora conforman el Sistema Fisiográfico de la DGGyMA.

1.1.1 Provincias fisiográficas

Una provincia fisiográfica es un conjunto estructural de origen geológico unitario, de gran extensión, con morfología propia y distintiva (INEGI, 2001). De acuerdo con la clasificación del Conjunto Nacional de Información Fisiográfica escala 1: 1 000 000 (INEGI, 2002), el área de estudio se ubica en parte de dos provincias fisiográficas (Cuadro 1.1). La porción centro y oriente corresponde a la margen occidental de la provincia Llanura Costera del Golfo Sur y el segmento norte y oriente pertenecen al extremo oriental de la provincia Eje Neovolcánico (Mapa 1.1)

1.1.1.1 LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR

A nivel nacional tiene una extensión aproximada de 79 274.44 km², se originó por un levantamiento regional que se produjo en el Oligoceno (Lugo Hubp *et al.*, 1990). En la zona de estudio esta provincia ocupa poco más de 55% que equivale a 5 479.22 km², afloran rocas sedimentarias como arenisca y conglomerado principalmente, además de ígneas extrusivas conformadas por tobos y basaltos; el rango altitudinal va de 1 060 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) al noreste de la ciudad de Córdoba, hasta la línea de costa y dominan las llanuras y los lomeríos.

1.1.1.2 EJE NEOVOLCÁNICO

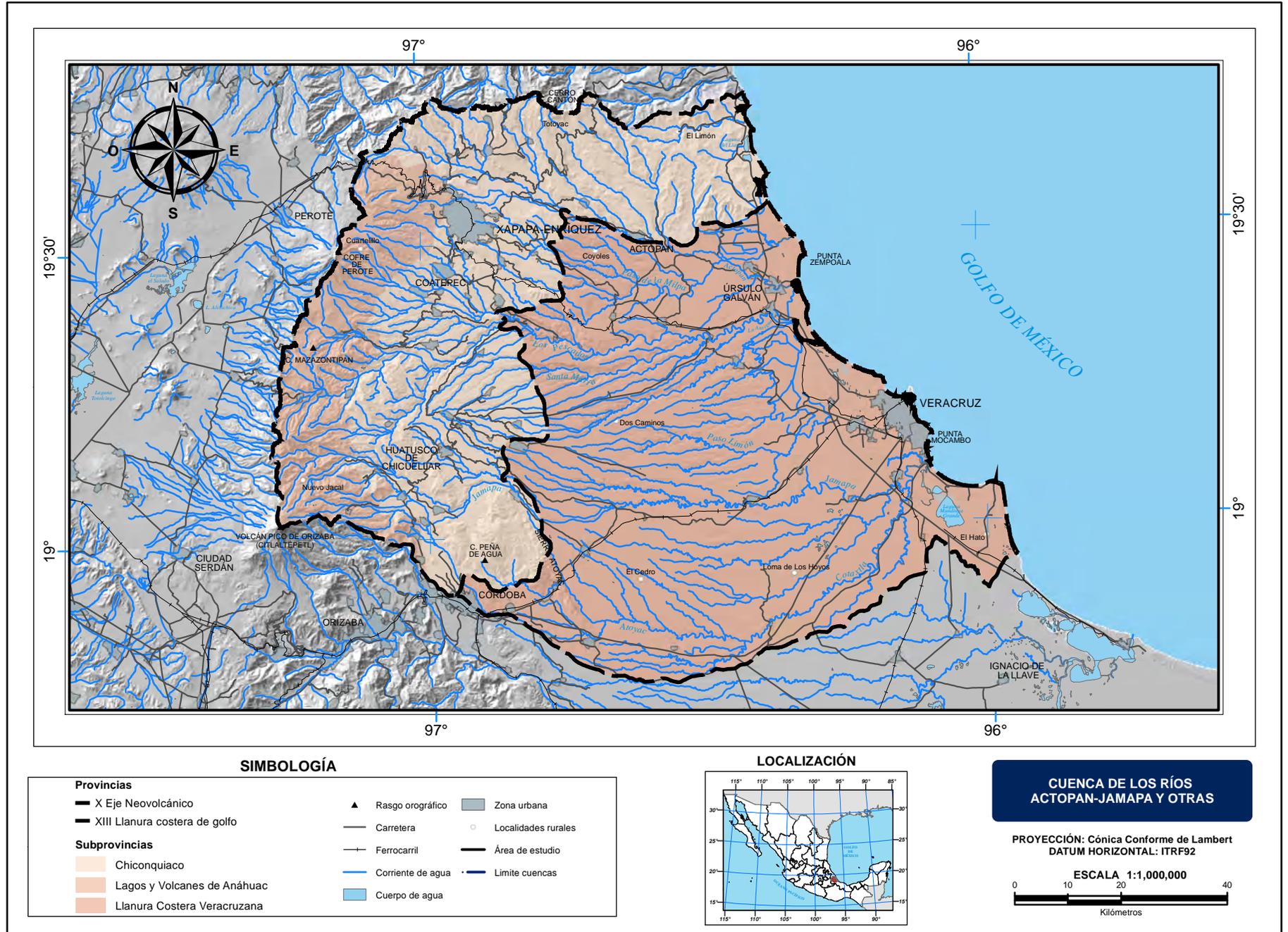
Tiene una extensión aproximada de 158 515.98 km² de los cuales 4 454.38 km² pertenecen a la zona de estudio, es decir 44.84% de la misma. La teoría más aceptada del origen de la provincia Eje Neovolcánico es la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Norteamericana con diversos ángulos (*Ibid.*); las altitudes oscilan de 5 610 m s.n.m. punto de mayor elevación del país correspondiente a la cúspide del volcán Pico de Orizaba o Citlaltépetl, hasta la línea de costa. Afloran rocas ígneas extrusivas representadas por basalto, andesita y tobos, asimismo del tipo sedimentario donde dominan las calizas de edad cretácica.

1.1.2 Subprovincias fisiográficas

La subprovincia fisiográfica es un área dentro de una provincia con un mismo origen y morfología, pero su extensión es reducida y así como también su variación morfológica. En la provincia Llanura Costera del Golfo Sur, se localiza la subprovincia Llanura Costera Veracruzana (Mapa 1.1). Dentro de la provincia Eje Neovolcánico se ubican las subprovincias Chiconquiaco y Lagos y Volcanes de Anáhuac.

1.1.2.1 LLANURA COSTERA VERACRUZANA

Se ubica en la parte centro y oriente del área de estudio, su límite norte se sitúa al sur de la ciudad de Actopan y norte de Mozomboa; la demarcación sur coincide con la zona de estudio; la porción el este lo define la línea de costa y el oeste lo representa la dirección preferente norte-sur que pasa al este de Xalapa, norte de Boca del Monte y norte de la ciudad de Córdoba. El relieve consta de llanuras, lomeríos y valles.



Fuente: INEGI. Conjunto Nacional de Información Fisiográfica, 1: 000 000. Ed. 1984. Versión digital 2002.

1.1.2.2 CHICONQUIACO

Dentro de la zona de estudio representa 33.9% del total, colinda al norte y oeste con la subprovincia Llanura Costera Veracruzana, por lo que sus límites son los mismos a los descritos con anterioridad, y en su relieve domina el lomerío y sierra.

1.1.2.3 LAGOS Y VOLCANES DE ANÁHUAC

Representa 10.94% del total del área, su límite norte se localiza entre las ciudades de Las Vigas de Ramírez y Xalapa; el sur se establece por la cota más elevada del volcán Pico de Orizaba y al este del mismo; al oriente colinda con la subprovincia Chiconquiaco y el oeste lo representa la misma demarcación de la zona de estudio. El relieve es de sierra volcánica y la llanura con lomerío en su extremo norte.

Distribución porcentual de la división fisiográfica

Cuadro 1.1

Provincia	Subprovincia	Porcentaje	
		Total	Parcial
Llanura Costera del Golfo Sur	Llanura Costera Veracruzana	55.16	55.16
	Eje Neovolcánico	44.84	
	Chiconquiaco		33.90
	Lagos y Volcanes de Anáhuac		10.94

Nota: Los cuerpos de agua están incluidos en las áreas de las provincias y subprovincias correspondientes.

Fuente: INEGI. Conjunto Nacional de Información Fisiográfica, 1:1 000 000. Ed. 1984. Versión digital, 2002.

1.1.3 Sistemas de topoformas

Con referencia al sistema de topoformas, considerado como un conjunto de formas del terreno asociadas a algún patrón estructural y/o degradativo (INEGI, 2001), se distinguen los siguientes (Mapa 1.2 y cuadro 1.2):

1.1.3.1 LOMERÍO

Ocupa 64.63% del total del área en estudio, incluye a los tipos de lomerío típico, de basalto, con llanuras y de aluvión antiguo; se le observa en el sector central, sur y noreste. Dominan en extensión las rocas ígneas extrusivas caracterizadas por toba básica, basalto y andesita; además de depósitos sedimentarios de arenisca conglomerado, caliza y material aluvial. El rango altitudinal varía de 2 740 m s.n.m. a la línea de costa.

1.1.3.2 LLANURA

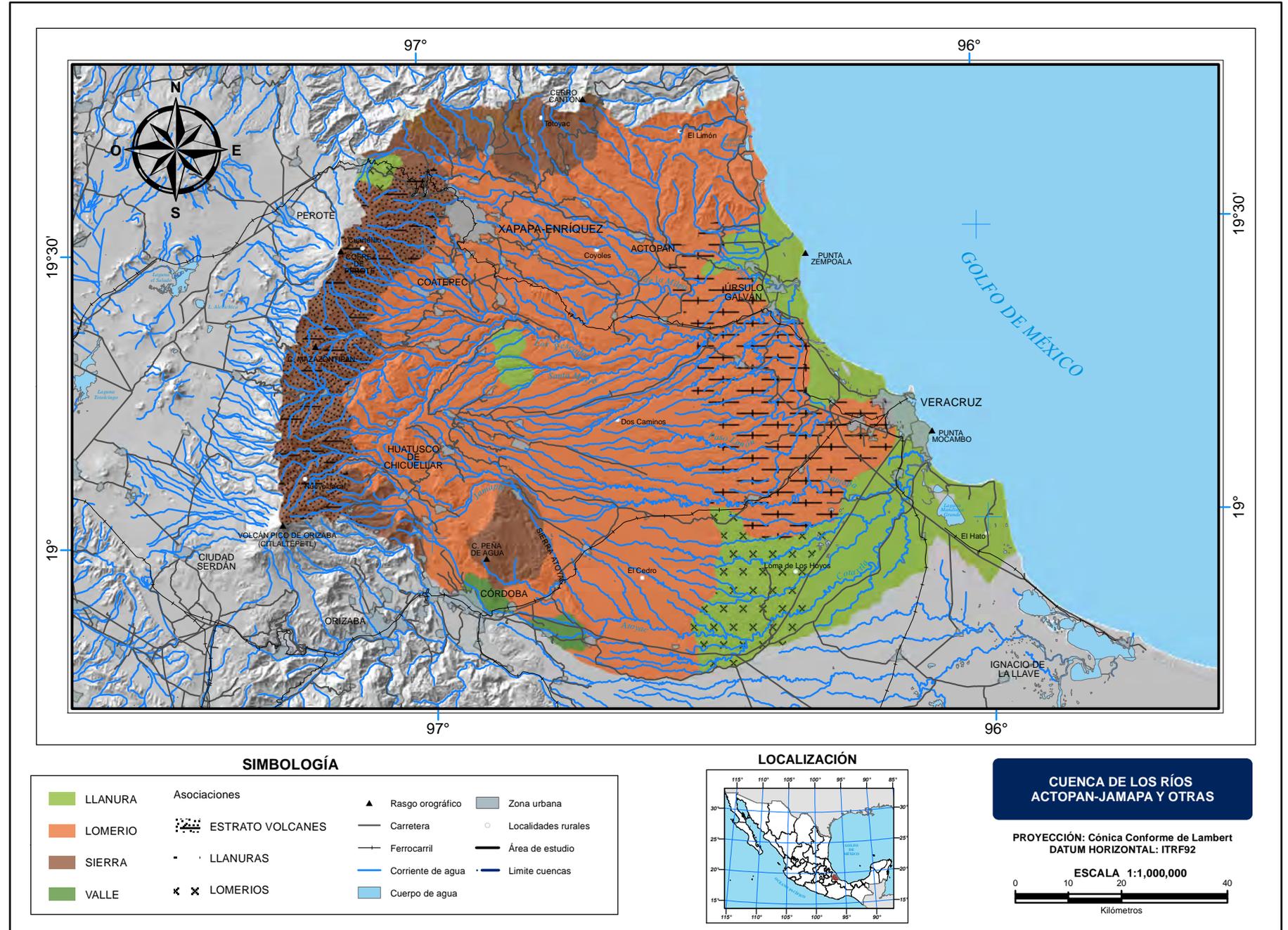
Le sigue en extensión con 17.27% del total, incluye llanura aluvial costera, llanura aluvial con lomerío, llanura de piso rocoso o cementado y llanura con lomerío. Se ubica de forma especial al oriente y sureste, así como en la porción central y en el extremo noroeste. Dominan en extensión los depósitos de material aluvial, eólico, lacustre y litoral; posteriormente material sedimentario caracterizado por la asociación de arenisca conglomerado y en menor extensión los afloramientos de toba intermedia y toba básica, en altitudes de 2 840 m s.n.m. a la cota cero.

1.1.3.3 SIERRA

Este sistema cubre 17.15% del total del área de estudio, en él se ubica el volcán Pico de Orizaba y el cerro Cofre de Perote, incluye a sierra volcánica con los siguientes tipos: con estratovolcanes o estratovolcanes aislados, de laderas escarpadas, de laderas tendidas y de laderas tendidas con mesetas. Se ubica en parte del sector norte, al poniente y suroeste. El material litológico predominante se forma de basalto, andesita, toba básica, toba intermedia y caliza, y las altitudes fluctúan de 5 610 a 500 m s.n.m.

1.1.3.4 VALLE

Es la topoforma de menor extensión con 0.95%, refiere a valle de laderas tendidas el cual se localiza al noreste de la ciudad de Córdoba, incluye además de material aluvial a rocas sedimentarias como conglomerado y caliza, en altitudes promedio de 1 000 a 400 m s.n.m.



Fuente: INEGI. Conjunto Nacional de Información Fisiográfica, 1: 000 000. Ed. 1984. Versión digital 2002.

Distribución porcentual de los sistemas de topoformas

Cuadro 1.2

Descripción Asociación	Porcentaje	
	Total	Parcial
Lomerío	64.63	
Típico		25.32
De basalto		21.10
Con llanuras		12.64
De aluvión antiguo		5.57
Llanura	17.27	
Aluvial costera		11.44
Aluvial con lomerío		4.32
De piso rocoso o cementado		0.66
Aluvial con lomerío de piso rocoso o cementado		0.49
Con lomerío		0.36
Sierra	17.15	
Volcánica con estratovolcanes o estratovolcanes aislados		9.47
Volcánica de laderas escarpadas		4.50
Volcánica de laderas tendidas		2.06
Volcánica de laderas tendidas con mesetas		1.12
Valle	0.95	
De laderas tendidas		0.95

Fuente: INEGI. Conjunto Nacional de Información Fisiográfica, 1:1 000 000. Ed. 1984. Versión digital 2002.

1.2 Geología

Las rocas que predominan en la zona de estudio son de origen ígneo y sedimentario principalmente (Mapa y cuadro 1.3). Representan la historia geológica en las eras Mesozoico y Cenozoico (INEGI, 1980-1988).

1.2.1 Geología histórica

Al paquete Mesozoico (Mapa 1.3) pertenecen los afloramientos del Cretácico Inferior de sedimentos carbonatados marinos, depositados en facies de talud que pertenecen a la Formación Tamaulipas Superior. El Cretácico Superior se conforma por secuencias calcáreo-arcillosas de facies de talud a prearrecifal, correlacionables con la Formación Maltrata.

Para el Cenozoico existen formaciones sedimentarias arcillosas que conciernen al Grupo Chicontepec; a partir del Oligoceno se inicia el volcanismo basáltico-andesítico que culmina hacia el Plio-Cuaternario con lo que propiamente se denomina Eje Volcánico Transversal. El Cuaternario está constituido por depósitos de Travertino, así como material clástico poco consolidado.

1.2.2 Litología

La historia del Mesozoico, que en la zona de estudio abarca los periodos Cretácico Inferior y Superior, comienza con el depósito de una secuencia en talud de caliza del Cretácico Inferior, cubre 0.45% del total, de estratos delgados a masivos y fracturamiento moderado, algunas capas tienen nódulos de pedernal y esporádicamente se observan pequeños horizontes de lutita, los afloramientos se observan en el suroeste del área, los cuales pertenecen a la Formación Tamaulipas Superior.

Las calizas del Cretácico Superior (Fotografía 1.1) tienen una extensión de 6.22% del total, se ubican al suroeste y centro del área de estudio, se disponen en estratos medianos y delgados, contienen módulos, lentes y bandas de pedernal negro, así como ventillas de calcita con fracturamiento de moderado a intenso. Forma parte de la Formación Maltrata.



Fotografía 1.1: Caliza del Cretácico Superior. Cuenca del río Jamapa, noviembre de 2014.

La asociación de caliza-lutita del Cretácico Superior es el afloramiento de menor cubrimiento territorial con sólo 0.02%, se ve expuesta al sureste de Xalapa, las calizas son microcristalinas y las lutitas son de facies pelágica. Las calizas presentan textura biomicrita, son de color gris oscuro e imberizan en color crema, se ordenan en estratos medianos a delgados intercaladas con lutitas que se disponen en estratos delgados a laminares; las lutitas son de color verde y ocre. La unidad contiene nódulos de pedernal negro, vetillas de calcita y se observa intensamente fracturada.

También del Cretácico Superior pertenece la lutita calcárea de facies de talud de color ocre con tonos verdes, abarca 0.06% del total del área de estudio, se dispone en estratos delgados, su fracturamiento es en forma de lajas y presenta trazas de estrías de deslizamiento, se distribuye al sureste de Xalapa y al noroeste de Córdoba, en su límite sur.

En la zona de estudio afloran varios tipos de rocas ígneas extrusivas que son del Cenozoico, como la andesita del Terciario Superior (Fotografía 1.2), cubre 6.83% de la superficie total, se localiza en los límites poniente y noreste, comprende una intercalación irregular con andesitas basálticas, su contenido mineralógico está conformado por plagioclasa zonada, lamprobolita, piroxenos alternados a antigorita, y secundarios como clorita, sericita, pirita, hematita, magnetita, zircón, calcita y cuarzo; con textura afanítica, en una matriz microcristalina desvitrificada y son de color verde y gris; la unidad es compacta y tenaz; contiene en su estructura, vetillas de calcita secundaria y nódulos pequeños de manganeso, su fracturamiento local es en lajas. Se considera parte de las primeras manifestaciones que dieron origen al desarrollo del Eje Neovolcánico y forma las grandes estructuras volcánicas como el Pico de Orizaba (Citlaltépetl) y Cofre de Perote.

La toba básica-brecha volcánica básica ocupa 2.84% del total del área de estudio, se ubica en el sector centro-norte de la misma, al oriente de Xalapa y refiere a roca ígnea extrusiva (Fotografía 1.3). Se forma de una intercalación irregular de tobas brechoides y brechas volcánicas básicas; las tobas son líticas y vítreas, los líticos son de composición de basalto y andesita. Las brechas son principalmente depósitos piroclásticos de fragmentos angulosos de basalto vesicular con intercalaciones de ceniza volcánica, en su mayoría la unidad presenta tonalidades grises oscuro con bandas negras y rojizas; el relieve es de lomerío y sierra en menor grado.



Fotografía 1.2: Andesita del Terciario Superior. Cuenca del río Jamapa, noviembre 2014.

Otra de las rocas ígneas extrusivas del Terciario Superior es el basalto (Fotografía 1.4), que cubre 2.71% del área, se sitúa en los sectores norte y suroeste de la zona de estudio. Se forma con intercalaciones de basaltos andesíticos que contienen textura afanítica holocristalina; sus minerales primarios son plagioclasas como labradorita, andesina, ortopiroxenos y secundarios como hematita y magnetita; son de color negro con tonos verde y gris oscuro; la unidad presenta vesículas, fracturamiento y estructuras columnares. Su expresión morfológica es de sierra volcánica.



Fotografía 1.3: Toba básica-brecha volcánica básica del Terciario Superior. Cuenca del río Actopan, noviembre, 2014.



Fotografía 1.4: Basalto del Terciario Superior. Cuenca del río Jamapa, noviembre de 2014.

La toba intermedia es una roca piroclástica que abarca 2.53% del área, se observa al noroeste y sureste de Xalapa, además en el noreste de la zona de estudio. Su textura es piroclástica, su composición contiene plagioclasas calcosódicas, lamprobolita, vidrio ácido, hematita y magnetita, en una matriz desvitrificada; exhibe tonos de gris con intemperismo en gris oscuro y ocre. El fracturamiento e intemperismo son considerables y su morfología es de lomeríos suaves.

La brecha volcánica intermedia del Terciario Superior ocupa 0.35% del territorio localizada al noreste del Cofre de Perote por lo que se relaciona con la topografía de sierra volcánica. En su composición se observan fragmentos angulosos de andesitas y basaltos en una matriz tobácea de grano fino, presenta poca cohesión por lo que se expone erosionada e intemperizada, la unidad exhibe tonos pardos, rojizos y de color crema.

El basalto-toba básica del Terciario Superior aflora solamente al sureste de Xalapa con representación territorial de 0.09%. El basalto es de color gris oscuro y negro, de textura afanítica holocristalina con mineralogía primaria de labradorita, andesina, piroxenos y secundaria como magnetita. Los depósitos piroclásticos son tobas vítreas con fragmentos de obsidiana y basalto, la coloración es gris que al intemperizar se vuelve pardo y amarillo ocre. Su expresión morfológica de lomerío.

La toba ácida ocupa 0.06% del total y aflora al noroeste de Jalcomulco. La constituyen líticos de tobas vítreas de composición ácida y textura piroclástica, y minerales como plagioclasas, biotita, feldespatos, pirita, magnetita y hematita en una matriz vítrea de color gris. Presentan intenso fracturamiento, forman topografías de lomerío típico.

Se encuentra material volcanoclástico del Terciario Superior que cubre 0.77% del total del área, compuesto por fragmentos de roca volcánica de composición basáltica, andesítica, material piroclástico, además de calizas; los fragmentos varían del tamaño que van desde gránulos hasta bloques, en una matriz arenosa y con expresión morfológica de lomeríos y terrazas.

Del periodo Cuaternario la unidad que mayor superficie abarca (20.64%) es la asociación de arenisca-conglomerado (Fotografía 1.5), que corresponde a una secuencia continental de conglomerados polimícticos de clastos redondeados a subredondeados de composición de basalto, caliza, andesita y travertino, en una matriz arenosa escasamente cementados por carbonatos. Las areniscas son de grano medio a grueso de color gris y pardo claro, con fragmentos de roca redondeados a subredondeados y minerales de feldespato y plagioclasas. La morfología es de terrazas disectadas y acantiladas; se localiza en los sectores centro y oriente de la zona de estudio.



Fotografía 1.5: Arenisca-conglomerado del Cuaternario. Cuenca del río La Antigua, noviembre de 2014.

Los afloramientos de toba básica se observan conforme a una franja de orientación norte-sur desde el norte de Xalapa hasta el noroeste de Córdoba y cubren 14.53% del área de estudio. Son depósitos consolidados de color rojo; su composición contiene líticos de composición andesítica, basáltica y gran contenido de pómez, en menor proporción vidrio como la obsidiana; presenta textura piroclástica. Su expresión superficial es de lomeríos y, en menor extensión, de sierra volcánica de laderas escarpadas.

El basalto del Cuaternario ocupa 8.28% del total del área en estudio (Fotografía 1.6), se sitúa en la porción norte y noreste, es decir en los alrededores de la ciudad de Xalapa. La textura es afanítica holocristalina; los minerales primarios son labradorita, andesina, ortopiroxenos y secundarios como magnetita y hematita; de color negro con tonos verde y gris oscuro. La unidad presenta estructura columnar, con fracturamiento y vesículas. La expresión morfológica es de sierras altas con pendientes acantiladas.

La toba ácida abarca 0.71% del territorio, se localiza al noreste de Xalapa y norte del volcán Pico de Orizaba. La conforman depósitos piroclásticos de composición dacítica y riolítica, principalmente son tobas líticas de textura holohialina piroclástica, contiene algunos minerales de plagioclasa, biotita, hematita, magnetita, fragmentos de dacita y obsidiana, envueltos en una matriz de vidrio ácido, incluye además intercalaciones de ceniza fina y gruesa poco consolidada. Abarca morfologías de sierra y lomerío.



Fotografía 1.6: Basalto del Cuaternario. Cuenca del río Actopan, noviembre de 2014.

Los afloramientos de brecha volcánica básica ocupan tan solo 0.25% del total del área en estudio, se localizan de forma indistinta en el sector poniente de la misma. Se compone de bloques angulosos y subangulosos, formados de basalto vesicular englobados en una matriz de toba y escoria; ocasionalmente se intercalan horizontes de toba deleznable y presenta colores negro y gris. La unidad está asociada a emisiones volcánicas con geoformas de lomerío y sierra.

Existe un sólo afloramiento de basalto-brecha volcánica básica que representa 0.07% del total del área de estudio y se sitúa al noreste de Xalapa. Los depósitos piroclásticos son del tamaño de lapilli, escoria e incluye bombas y bloques; están escasamente consolidados; su ocurrencia es de conos volcánicos sobrepuestos a cordones lávicos de basalto, cuyo origen se atribuye a emisiones de tipo fisural. Por su parte, los basaltos son de color negro; su composición la integran minerales como labradorita, andesina, olivino, clinopiroxenos, secundarios como la clorita y piritita; la textura es holocristalina y afanítica. La morfología es de lomeríos con perfiles suaves y ondulados.

En cuanto a rocas de origen sedimentario y de edad cuaternaria, se menciona en primera instancia al conglomerado (Fotografía 1.7) que cubre casi 6.0% del total del área, localizado básicamente al sur del territorio de estudio. Es de origen continental polimíctico con clastos de caliza, arenisca, pedernal y basalto, de subangulosos a subredondeados, en una matriz arcillo-arenosa poco consolidada y pobremente cementada. La expresión topográfica es de lomeríos suaves.

En la porción central, en los alrededores de las localidades Villa Emiliano Zapata y Rinconada, aflora la unidad calcárea de origen continental conocida como travertino, abarca poco más de 2% del área de estudio; fue depositada por proceso de evaporación en corrientes fluviales y manantiales, presenta textura sacaroide, estructura fibrosa y tabulares de disolución; contiene impresiones de tallos, hojas y raíces; superficialmente se ha desarrollado una cubierta de caliche y forma lomeríos suaves.



Fotografía 1.7: Conglomerado del Cuaternario. Cuenca del río Jamapa, noviembre de 2014.

El único afloramiento cartografiable de brecha sedimentaria se localiza al noreste del volcán Pico de Orizaba, representa escasamente 0.05% del área. Es de origen continental con fragmentos angulosos de composición de andesita y vitrófido riolítico en una matriz areno-arcillosa y vítrea ácida; refiere a depósitos de lahar y la expresión topográfica es de sierra volcánica.

Sobreyacen a travertinos, afloramientos de caliche que ocupan sólo 0.09% del total. Es una cubierta de óxido de calcio que se forma por evaporación en terrenos calcáreos secos, llega a formar espesores de hasta un metro en colores blanco, crema y pardo.

Los suelos presentes son tipos: aluvial, eólico, lacustre y litoral. El primero cubre 19.53% del total, se localiza ampliamente en la porción oriental y en menor grado en diferentes sitios de la zona de trabajo como el sureste y en pequeños valles intermontanos; representa suelos limo-arenosos compuestos por fragmento de roca, minerales como cuarzo, feldespatos y micas, gran contenido de limos escasamente consolidados; la morfología es de lomeríos y llanuras.

Los suelos eólicos cubren 3.78% del total del área y se localizan al oriente sobre la línea de costa. Su origen se debe al acarreo y retrabajo de arenas litorales por acción eólica, las arenas son de grano medio a fino compuestas por cuarzo, feldespatos, micas, fragmentos de roca y conchas de pelecípodos. Los suelos forman dunas longitudinales paralelas a la línea de costa con alturas de hasta 15 metros.

Los suelos de origen lacustre abarcan 0.32% del área en estudio, localizados únicamente en las periferias de las lagunas Mandinga y Mandinga Grande. Son depósitos de limo, arenas y materia orgánica; existen minerales de cuarzo, feldespatos y nódulos de hematita, así como fragmentos líticos.

Unidad litológica	Edad	Clave	Porcentaje
Arenisca-conglomerado	Cuaternario	Q(ar-cg)	20.64
Aluvial	Cuaternario	Q(al)	19.53
Toba básica	Cuaternario	Q(Tb)	14.96
Basalto	Cuaternario	Q(B)	8.28
Andesita	Terciario Superior	Ts(A)	6.83
Caliza	Cretácico Superior	Ks(cz)	6.22
Conglomerado	Cuaternario	Q(cg)	5.99
Eólico	Cuaternario	Q(eo)	3.78
Toba básica-Brecha volcánica básica	Terciario Superior	Ts(Tb-Bvb)	2.84
Basalto	Terciario Superior	Ts(B)	2.71
Toba intermedia	Terciario Superior	Ts(Ti)	2.53
Travertino	Cuaternario	Q(tr)	2.03
Volcanoclástica	Terciario Superior	Ts(Vc)	0.77
Toba ácida	Cuaternario	Q(Ta)	0.71
Caliza	Cretácico Inferior	Ki(cz)	0.45
Brecha volcánica intermedia	Terciario Superior	Ts(Bvi)	0.35
Lacustre	Cuaternario	Q(la)	0.32
Brecha volcánica básica	Cuaternario	Q(Bvb)	0.25
Basalto-Toba básica	Terciario Superior	Ts(B-Tb)	0.09
Caliche	Cuaternario	Q(ch)	0.09
Basalto-Brecha volcánica básica	Cuaternario	Q(B-Bvb)	0.07
Litoral	Cuaternario	Q(li)	0.07
Lutita	Cretácico Superior	Ks(lu)	0.06
Toba ácida	Terciario Superior	Ts(Ta)	0.06
Brecha sedimentaria	Cuaternario	Q(bs)	0.05
Otros*		----	0.30

*Incluye cuerpos de agua y zonas urbanas

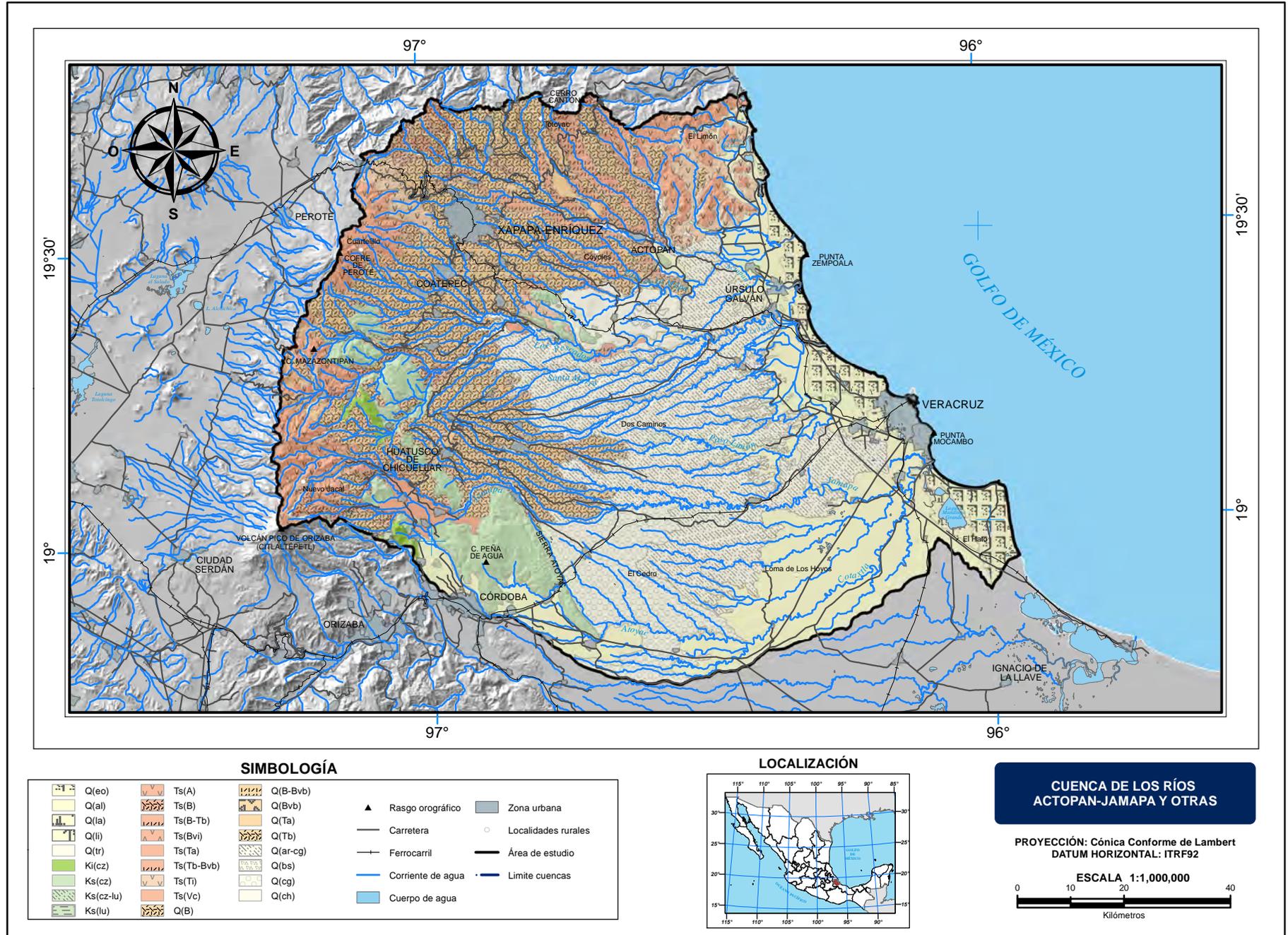
Fuente: INEGI. Conjunto Nacional de Información Geológica, 1: 250 000. Ed. 1980-1988. Versión digital, 2002.

Los suelos litorales, al igual que los eólicos, se distribuyen sobre la línea de costa, pero en menor proporción; sólo cubren 0.07% del total. Es arena fina depositada por la acción de la alta marea en la zona de playa; contienen cuarzo, feldspatos, micas, y fragmentos de roca.

1.2.3 Geología estructural

Las estructuras más importantes corresponden a sinclinales y anticlinales ligeramente asimétricos; en el sector sur-oeste las estructuras son recumbentes con dirección hacia el este y los planos de fracturamiento presentan una orientación preferente noroeste-sureste. La actividad volcánica tiene su expresión en grandes estratovolcanes, así como en diversas estructuras menores.

Se pueden interpretar dos etapas tectónicas de deformación, la primera es carácter comprensivo desarrollada durante el Cretácico Superior-Terciario Inferior, que plegó la secuencia mesozoica y terciaria; la segunda fase tiene carácter distensivo en el que se desarrolla un sistema de fracturamiento ortogonal del cual se originan grandes y numerosas estructuras volcánicas, así como derrames fisurales.



Fuente: INEGI. Conjunto Nacional de Información Geológica, 1: 250 000. Ed. 1980-1988. Versión digital 2002.

2. Condiciones climáticas y fenómenos hidrometeorológicos

2.1 Clima

El clima es la manifestación de diversos elementos que interactúan en la atmósfera como la temperatura, la precipitación, humedad, la dirección del viento y la presión atmosférica; sus datos son captados por estaciones climatológicas que al analizarlos dan la pauta para identificar el estado más frecuente de la atmósfera y así clasificar su climatología (Enriqueta García, 1986). Además, es importante considerar los factores que afectan al clima como la latitud, altitud, localización y relieve; para el primero, la zona de estudio se ubica entre 18°44' y 19°45' de latitud norte; el rango altitudinal va desde 5 610 m s.n.m. hasta la línea de costa; las zonas cercanas a la playa, tienen mayor influencia de las corrientes marinas del golfo de México y referente al relieve, destaca la topeforma de sierra que pertenece al Eje Neovolcánico.

El sistema de clasificación de Wladimir Köppen (1936) divide los climas del mundo en cinco grupos, de los cuales en la República Mexicana se han identificado cuatro: grupo A (Cálidos húmedos), B (Secos), C (Templados húmedos) y en menor extensión E (Muy fríos o polares o de grandes alturas).

- A Climas cálidos húmedos
- B Climas secos
- C Climas templados húmedos
- D Clima frío boreal, de inviernos intensos
- E Climas muy fríos o polares o de grandes alturas

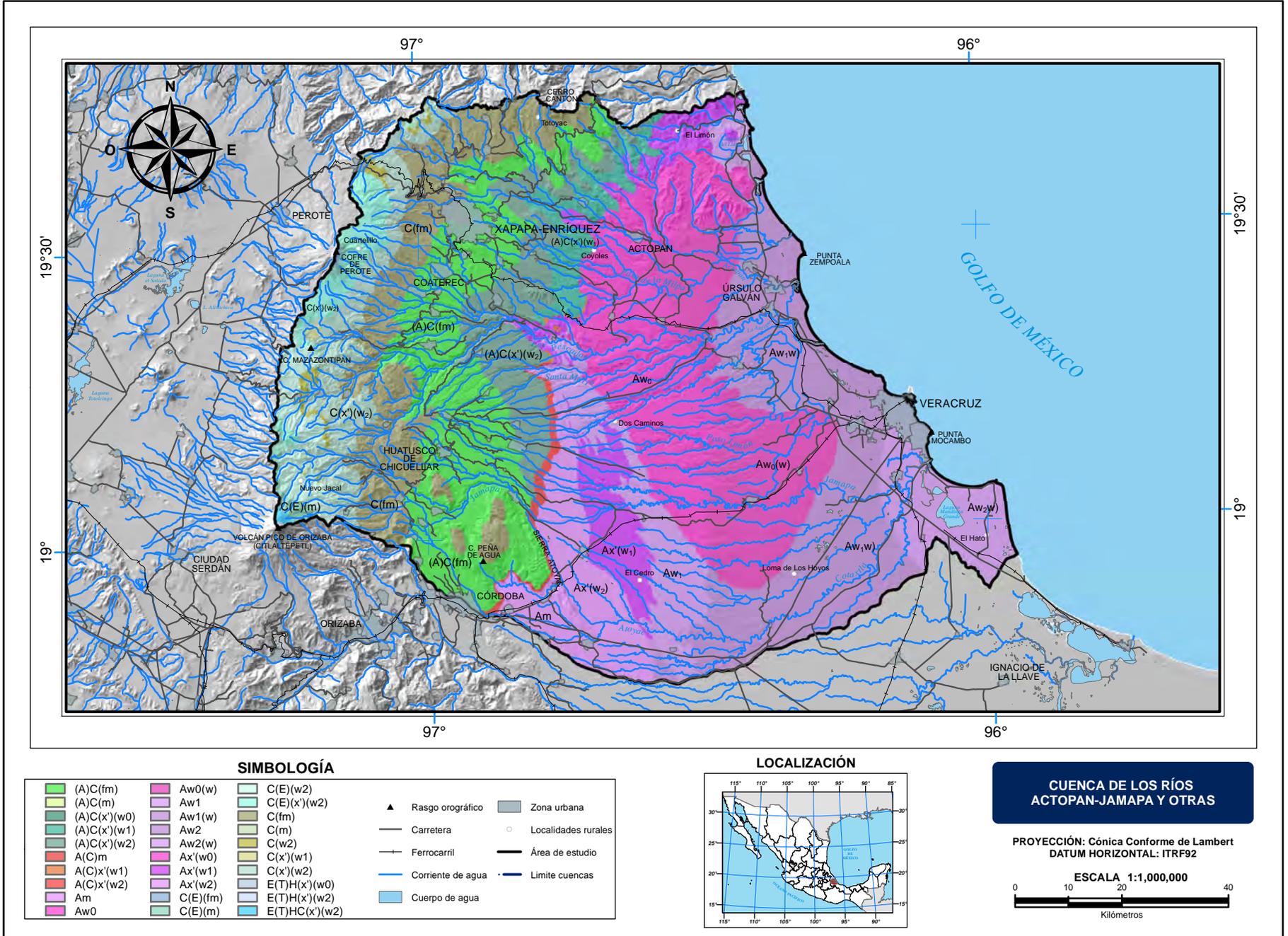
En 1964, esta clasificación fue modificada por Enriqueta García para que reflejara de forma más acertada las características climáticas de México. Está estructurada con referencia a los datos de temperatura y precipitación total mensual y anual; las diferencias entre los climas quedan determinadas por las distintas temperaturas medias de los meses más fríos y más cálidos, así como también por diferentes valores de humedad.

En el área de trabajo (Mapa 2.1) los climas se localizan de la siguiente manera: en las zonas funcionales baja y media, predomina el grupo A (Cálido) y en la zona alta imperan los grupos C (Templado) y E (Frío).

Del grupo de los climas fríos se registran los siguientes tres (Cuadro 2.1): el clima frío de altura con marcado invierno subhúmedo el menos húmedo de los subhúmedos E(T)H(x') (w₀), y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, presenta un régimen de lluvia intermedio. Su temperatura media anual oscila entre -2 y 5°C, el rango de temperatura del mes más caliente entre 0 a 6.5°C y temperatura del más frío es menor a 0°C. Cubre menos del 0.01% dentro de la zona de estudio, se ubica en la cúspide del volcán Pico de Orizaba en un rango elevación de 5 610 a 5 160 m s.n.m., se registra en topeforma de sierra y sin vegetación aparente.

El clima frío de altura subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos E(T)HC(x') (w₂), con porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, tiene un régimen de lluvia intermedio. Su temperatura media anual fluctúa entre -2 y 5°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 0 a 6.5°C y temperatura del más frío es mayor a 0°C. Este clima engloba 0.07% del área de estudio, se localiza altimétricamente por debajo del anterior en alturas de 5 500 a 4 800 m s.n.m.; se localiza en topografía de sierra en sitios sin vegetación aparente.

El clima frío de altura con marcado invierno subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos E(T)H(x') (w₂), y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, tiene un régimen de lluvia intermedio. Su temperatura media anual fluctúa entre -2 y 5°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 0 a 6.5°C y temperatura del mes más frío es menor a 0°C. Este clima abarca 0.01%, se sitúa también por debajo del anterior; las altitudes en que ocurre son de 5 220 a 3 980 m s.n.m., es palpable en geofoma de sierra volcánica y con vegetación de pradera de alta montaña.



Fuente: INEGI. Mapa Raster de Climas. Escala de Referencia 1:1 000 000. Resolución Espacial 250 metros, 2011.

Distribución porcentual del clima

Cuadro 2.1

Descripción Grupo y tipo	Grado de humedad	Fórmula climática	Porcentaje
Aw Cálido Subhúmedo	Humedad media	$Aw_1(w)$	15.84
	Menos húmedo	$Aw_0(w)$	9.83
	Menos húmedo	Aw_0	9.03
	Humedad media	Aw_1	5.08
	Humedad media	$Ax'(w_1)$	4.94
	Más húmedo	$Aw_2(w)$	4.51
	Más húmedo	$Ax'(w_2)$	3.36
	Menos húmedo	$Ax'(w_0)$	2.51
	Más húmedo	Aw_2	0.18
(A)C Semicálido húmedo		$(A)C(fm)$	14.05
		$A(C)m$	0.35
		$(A)C(m)$	0.02
(A)C Semicálido subhúmedo	Más húmedo	$(A)C(x')(w_2)$	5.69
	Humedad media	$(A)C(x')(w_1)$	2.49
	Más húmedo	$A(C)x'(w_2)$	0.29
	Humedad media	$A(C)x'(w_1)$	0.06
	Menos húmedo	$(A)C(x')(w_0)$	0.01
C Templado húmedo		$C(fm)$	9.77
		$C(m)$	0.07
C(x') Templado subhúmedo	Más húmedo	$C(x')(w_2)$	4.45
		$C(w_2)$	0.49
	Humedad media	$C(x')(w_1)$	0.04
Am Cálido húmedo		Am	2.41
C(E) Semifrío subhúmedo	Más húmedo	$C(E)(x')(w_2)$	1.97
	Más húmedo	$C(E)(w_2)$	1.95
C(E) Semifrío húmedo		$C(E)(m)$	0.48
		$C(E)(fm)$	0.03
E(T)HC Frío de altura subhúmedo	Más húmedo	$E(T)HC(x')(w_2)$	0.07
E(T)H Frío de altura con marcado invierno subhúmedo	Más húmedo	$E(T)H(x')(w_2)$	0.01
	Menos húmedo	$E(T)H(x')(w_0)$	0.00

Fuente: INEGI. Mapa Raster de Climas. Escala de Referencia 1:1 000 000. Resolución Espacial 250 metros, 2011.

Del grupo de los templados se describen los siguientes: el clima semifrío húmedo $C(E)(fm)$, con porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, posee un régimen de lluvia abundante todo el año. Su temperatura media anual fluctúa entre 5 y 12°C, la temperatura del mes más caliente oscila entre 6.5 y 22°C y la temperatura del mes más frío alterna entre -3 y 18°C. Cubre sólo 0.03% del área de estudio, se observa únicamente en la cúspide del cerro Cofre de Perote en el rango altitudinal de 4 200 a 3 860 m s.n.m.; la topografía es de sierra volcánica y la flora característica es la vegetación de pradera de alta montaña y bosque de pino.

El clima semifrío húmedo $C(E)(m)$ y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%, tiene un régimen de lluvia intermedio. Su temperatura media anual alterna entre 5 y 12°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 6.5 a 22°C y la temperatura del mes más frío fluctúa entre -3 y 18°C. Territorialmente comprende 0.48% del total de la cuenca, se emplaza al norte del volcán Pico de Orizaba y más al norte, sobre las faldas orientales del cerro Cofre de Perote; es evidente su presencia en formas de relieve de sierra volcánica, las elevaciones oscilan entre 4 320 y 3 180 m s.n.m., con vegetación de bosques de coníferas y pastizales inducidos.

El clima semifrío subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos $C(E)(x')$ (w_2) y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, registra un régimen de lluvias intermedio. Su temperatura media anual oscila entre 5 y 12°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 6.5 a 22°C y la del mes más frío entre -3 y 18°C. Abarca 1.97% del total del área en estudio, se localiza en su límite poniente, donde la topografía representativa es de sierra volcánica con altitudes de 3 860 a 2 168 m s.n.m., en sitios con vegetación de bosques de coníferas, mesófilo de montaña y pastizal inducido.

El último clima que pertenece al subgrupo de los semifríos es el semifrío subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos $C(E)(w_2)$ y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 12%, tiene un régimen de lluvia de verano. Su temperatura media anual alterna entre 5 y 12°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 6.5 a 22°C y la del mes más frío de -3 a 18°C. Cubre 1.95% de la zona de trabajo, se sitúa al sureste y noroeste, en morfología de sierra volcánica con elevaciones de 3 840 a 2 200 m s.n.m., su vegetación distintiva es la pradera de alta montaña y los bosques de coníferas, mesófilo de montaña, así como pastizal inducido.

Existen dos climas templados húmedos, el primero $C(fm)$, tiene porcentaje de lluvia invernal menor a 18% y régimen de lluvias abundantes todo el año. Su temperatura media anual fluctúa entre 12 y 18°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 6.5 a 22°C y la del mes más frío entre -3 y 18°C. Abarca 9.77% del total del área, se observa en una franja que exhibe una dirección noreste-suroeste desde el límite norte hasta el noroeste de la ciudad de Córdoba; las formas del terreno son de sierra y lomerío, con altitudes de 2 480 a 1 120 m s.n.m. y vegetación de bosques de pino, de encino y mesófilo de montaña.

El segundo es el clima templado húmedo, $C(m)$ y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 12%, tiene un régimen de lluvias abundantes en verano. La temperatura media anual oscila entre 12 y 18°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 6.5 a 22°C y la temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C. Se ubica al poniente del anterior, en las inmediaciones de la localidad Ayahualco; la topografía predominante es sierra volcánica, en un rango altitudinal de 2 520 a 1 480 m s.n.m. y la vegetación refiere a bosques de pino-encino, mesófilo de montaña y pastizal inducido.

El templado subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos $C(x')$ (w_2) con porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, posee un régimen de lluvia intermedio. La temperatura media anual tiene un rango entre 12 y 18°C, la del mes más caliente es menor a 22°C y del mes más frío fluctúa entre -3 y 18°C. Cubre 4.45% del total del área, se localiza en la porción oeste en una franja con dirección noreste-suroeste, en geoformas de sierra volcánica y lomeríos en altitudes que oscilan de 3 200 a 1 740 m s.n.m.; la vegetación característica es de bosques de coníferas, mesófilo de montaña y pastizal inducido (Fotografía 2.1).



Fotografía 2.1: Vegetación de bosque mesófilo de montaña, característica de climas templados subhúmedos en la cuenca del río La Antigua, municipio de Quimixtlán, Puebla, noviembre 2014.

El templado subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos $C(w_2)$, con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 12%, registra un régimen de lluvia de verano. Su temperatura media anual oscila entre 12 y 18°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 6.5 a 22°C y la del mes más frío entre -3 y 18°C. Abarca 0.49% del área en estudio, se sitúa en reducidos sectores al noreste del volcán Pico de Orizaba y Cofre de Perote, en relieves de sierra volcánica y llanura con lomerío con elevaciones de 3 080 a 2 160 m s.n.m., en sitios con vegetación de bosques de coníferas, mesófilo de montaña y pasto inducido.

El clima templado subhúmedo de humedad intermedia entre los subhúmedos $C(x')$ (w_1), y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, presenta un régimen de lluvia intermedio. La temperatura media anual fluctúa entre 12 y 18°C, el rango de temperatura del mes más caliente es de 6.5 a 22°C y la del mes más frío entre -3 y 18°C. Comprende 0.04% del total del área en estudio, se observa al sur del cerro Cofre de Perote donde la topografía es de sierra volcánica con altitudes de 2 680 a 2 360 m s.n.m. y predominancia de bosques de pino y de pino-encino.

De los climas de transición entre los templados y los cálidos existen los siguientes: semicálido húmedo, $(A)C(fm)$, con porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, presenta un régimen de lluvias abundantes todo el año. Su temperatura media anual es mayor a 18 °C, la temperatura del mes más caliente sobre 6.5 °C y la del mes más frío entre -3 y 18°C. Engloba 14.05% del total, se observa en una franja de norte a sur del área de trabajo, primero con dirección noreste-suroeste abarcando la ciudad de Xalapa, posteriormente cambia de rumbo norte-sur hasta llegar a la ciudad de Córdoba, se registra en topografía de lomerío, sierra y valle en menor extensión, en altitudes de 2 080 a 560 m s.n.m. y su vegetación representativa es de bosques de encino y mesófilo de montaña, además de selvas alta, media y baja.

El clima semicálido subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos $(A)C(x')$ (w_2), y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, presenta un régimen de lluvia de verano. La temperatura media anual es mayor a 18°C, la del mes más caliente sobre 6.5°C y la del mes más frío entre -3 a 18°C. Cubre 5.69% del área de estudio, se ubica en el sector centro-oeste de la misma, al oriente de Xalapa, donde las geoformas son de lomerío, llanura y sierra, en elevaciones de 1 160 a 460 m s.n.m.; la vegetación incluye a bosque de encino, selvas mediana y baja, además de pastizal inducido.

El clima semicálido subhúmedo de humedad intermedia entre los subhúmedos $(A)C(x')$ (w_1) y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, registra el régimen de lluvia de verano. Su temperatura media anual es mayor a 18°C, la temperatura del mes más caliente sobre 6.5°C y la del mes más frío entre -3 a 18°C. Abarca 2.49% del total de la cuenca, se localiza en la porción centro-norte, entre las ciudades de Xalapa y Actopan, en topografía de lomerío típico y de basalto con rango altitudinal de 980 a 360 m s.n.m. y vegetación de bosque de encino, selva baja y pastizal inducido.

El semicálido subhúmedo el menos húmedo de los subhúmedos $(A)C(x')$ (w_0) y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, cuenta con régimen de lluvia de verano. La temperatura media anual es mayor a 18°C, la del mes más caliente sobre 6.5°C y del mes más frío entre -3 a 18°C. Ocupa sólo 0.01% del total del área, localizado al suroeste de la ciudad de Actopan, en sitios con topografía de lomerío típico en altitudes que oscilan de 660 a 520 m s.n.m. y con vegetación de selva baja caducifolia.

El último clima que pertenece al grupo de los templados es el semicálido húmedo $(A)C(m)$ con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 12%, el cual registra el régimen de lluvia abundante en verano. Su temperatura media anual es mayor a 18°C, la temperatura del mes más caliente sobre 6.5°C y la del mes más frío entre -3 a 18°C. Cubre tan solo 0.02% del área, se sitúa al noroeste de la ciudad de Córdoba donde el relieve es de sierra volcánica de laderas tendidas con rango altitudinal de 1 760 a 1 420 m s.n.m.

Los climas que pertenecen al grupo de los cálidos son numerosos en el área de estudio, la descripción inicia con los que pertenecen al subgrupo de los semicálidos. El clima semicálido subhúmedo de humedad media entre los subhúmedos $A(C)x'(w_1)$ y con porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.2%, presenta un régimen de lluvia en verano. Su temperatura media anual oscila entre 18 y 22°C, y la temperatura del mes más frío es mayor a 18°C. Abarca 0.06% del total localizado al noreste y sur de la localidad de Jalcomulco, en topografía de lomerío típico con elevaciones de 800 a 460 m s.n.m. y su vegetación característica es de bosque de encino y selva baja caducifolia.

Le sigue el más húmedo, es decir el clima semicálido subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos, $A(C)x'(w_2)$ y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, registra un régimen de lluvia en verano. Su temperatura media anual fluctúa entre 18 y 22°C y la del mes más frío es mayor a 18°. Comprende 0.29% del área, se observa al oriente de la localidad Huatusco de Chicuellar, en morfología de lomerío típico con rango altitudinal de 740 a 400 m s.n.m., sitio donde se desarrolla vegetación de bosque de encino y selva baja caducifolia.

El clima semicálido húmedo A(C)m y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%, presenta el régimen de lluvias abundantes en verano. Su temperatura media anual oscila entre 18 y 22°C y la del mes más frío es mayor a 18°C. Engloba territorialmente 0.35% del área de estudio, se observa al sur del clima anterior, al noreste de la ciudad de Córdoba; es palpable en geoformas de sierra volcánica, lomerío típico y valle de laderas tendidas en cotas de 880 a 540 m s.n.m., la vegetación original ha sido modificada a agricultura de temporal.

Del subgrupo de los cálidos pertenece el clima cálido subhúmedo el menos húmedo de los subhúmedos Ax'(w₀) con porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, cuenta con régimen de lluvia en verano. Su temperatura media anual es mayor a 22°C y la del mes más frío mayor a 18°C. Ocupa 2.51% del total del área en estudio, se ubica en la porción centro-noreste de la misma, donde la forma del relieve es de lomerío con rango altitudinal de 740 a 140 m s.n.m. y con vegetación de selva baja caducifolia.

El clima cálido subhúmedo de humedad intermedia entre los subhúmedos Ax'(w₁) y porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, cuenta con régimen de lluvia en verano. Su temperatura media anual es mayor a 22°C y la del mes más frío mayor a 18°C. Cubre 4.94% del total, se localiza en el extremo sureste y porciones centro y centro-sur, en topografía de lomeríos de basalto y típico en altitudes de 820 a 20 m s.n.m., donde existe vegetación de bosque de encino, selva baja caducifolia y pastos inducidos.

El cálido subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos Ax'(w₂) con porcentaje de lluvia invernal menor a 18%, tiene régimen de lluvias en verano. La temperatura media anual es mayor a 22°C y la del mes más frío supera los 18°C. Abarca 3.36% de la cuenca localizado en el sector centro-sur de la misma, en topografía de lomerío típico con elevaciones de 720 a 180 m s.n.m.; la vegetación original está muy fragmentada ya que sólo subsisten escasos rodales de selva baja caducifolia y bosque de encino.

El clima muy cálido subhúmedo el menos húmedo de los subhúmedos Aw₀(w) y porcentaje de lluvia invernal menor a 5%, registra un régimen de lluvia en verano. Su temperatura media anual es mayor a 26°C y la del mes más frío mayor a 18°C. Comprende 9.83% del total del área, se manifiesta al oeste del puerto de Veracruz, así como al noreste y oeste de la localidad José Cardel; se le observa en geoformas de lomerío y llanura aluvial, en cotas de 380 m s.n.m. a la línea de costa y la escasa vegetación refiere a selva baja caducifolia, manglar y vegetación de dunas costeras.

El cálido subhúmedo de humedad intermedia entre los subhúmedos Aw₁(w) y porcentaje de lluvia invernal menor a 5%, registra un régimen de lluvias en verano. Su temperatura media anual fluctúa entre 22 y 26 °C y la temperatura del mes más frío es mayor a 18°C. Engloba 15.84% del total del área de estudio, se observa en una franja con dirección norte-sur que empieza desde el noreste de la localidad Mozomboa, más al sur abarca parte de la zona urbana del puerto de Veracruz y después cubre hasta el límite sur del área; el relieve es de lomerío y llanura aluvial, donde su rango altitudinal va de 300 m s.n.m. a la línea de costa y la vegetación representativa es de selva baja caducifolia, vegetación de dunas costeras y manglar.

El clima cálido subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos Aw₂(w) y porcentaje de lluvia invernal menor a 5%, cuenta con régimen de lluvia de verano. La temperatura media anual oscila entre 22 y 26 °C y la temperatura del mes más frío es mayor a 18°C. Ocupa territorialmente 4.51% del total, se ubica en el extremo sureste, en sitios de llanura aluvial y lomerío con llanuras cuyas altitudes fluctúan de los 80 m s.n.m. a la zona de playa. La vegetación específica es de manglar, popal, sabanoide y de dunas costeras.

El clima cálido subhúmedo el menos húmedo de los subhúmedos Aw₀ y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%, tiene un régimen de lluvia de verano. Su temperatura media anual oscila entre 22 y 26 °C y la temperatura del mes más frío es mayor a 18°C. Cubre 9.03% de la extensión total, se localiza en la porción centro-este, entre las ciudades de Xalapa y Veracruz; la geoforma en el que se registra es de lomerío con elevaciones de 680 a 40 m s.n.m. y vegetación de selva baja caducifolia.

El clima cálido subhúmedo de humedad intermedia entre los subhúmedos Aw₁ y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%, presenta régimen de lluvia en verano. La temperatura media anual fluctúa entre 22 y 26 °C y la del mes más frío es mayor a 18°C. Abarca 5.08% del total del área, se sitúa al oeste del cálido subhúmedo menos húmedo, donde domina la topografía de lomerío y posteriormente la llanura aluvial, las cotas oscilan entre 720 a 80 m s.n.m.; las comunidades vegetales distintivas son de bosque de encino, selva baja caducifolia y pastizal inducido.

El cálido subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos Aw₂ y con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 12%, cuenta con régimen de lluvia de verano. Su temperatura media anual alterna entre 22 y 26 °C y la del mes más frío es mayor a 18°C. Comprende 0.18% del área de estudio, se observa en dos franjas de dirección noroeste-sureste, la primera al noreste de la localidad Boca del Monte y la segunda al sureste de la cabecera municipal de Cuicilahuac;

el relieve es de lomerío típico el cual tiene un rango altitudinal de 660 a 150 m s.n.m. y vegetación de selva baja caducifolia.

El último clima es el cálido húmedo Am con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%, este clima tiene régimen de lluvia de verano. Su temperatura media anual oscila entre 22 y 26 °C y la del mes más frío supera los 18°C. Ocupa 2.41% del total del área, se ubica al oriente de la ciudad de Córdoba, en topofomas de lomerío típico y valle de laderas tendidas, en las cuales las altitudes varían de 820 a 240 m s.n.m.

2.2 Estaciones climatológicas

Dentro del área de estudio se ubican 71 estaciones climatológicas (Fotografía 2.2), de estas 51 están en operación y 20 suspendidas (Cuadro 2.2). Los datos que se obtienen de cada una de ellas corresponden al periodo de 1951 – 2010, con registros de temperaturas (máximas, media y mínima) y precipitación (máxima mensual y máxima diaria).

Los municipios de Actopan y Emiliano Zapata del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, cuentan con mayor número de estaciones con siete cada uno, le sigue Paso del Macho con cuatro. La estación que se ubica a mayor altitud es Tembladeras (CFE) a 3 102 m s.n.m. y la de menor se establece a 10 m s.n.m. nombrada El Tejar (Mapa 2.2).



Fotografía 2.2: Estación climatológica El Copital 30048 en el municipio de Medellín, Veracruz Ignacio de la Llave, noviembre 2014.

Estaciones climatológicas

Cuadro 2.2

Nombre	Clave	Municipio	Coordenadas		Altitud m s.n.m.
			Longitud O	Latitud N	
La Joya	30455	Acajete	97°01'38"	19°36'39"	2 175
Acatlán	30338	Acatlán	96°50'38"	19°41'45"	1 751
Actopan	30003	Actopan	96°30'40"	19°30'10"	250
El Diamante	30266		96°32'39"	19°27'00"	146
La Mancha	30353		96°23'01"	19°35'46"	20
Los Ídolos	30068		96°30'59"	19°24'30"	100
Mozomboa	30112		96°28'20"	19°30'14"	70
Paso del Cedro*	30126		96°23'22"	19°30'08"	20
Santa Rosa	30158		96°27'50"	19°27'55"	65
Apazapan*	30367	Apazapan	96°43'05"	19°19'14"	523
Santa Anita*	30155	Atoyac	96°48'36"	18°55'12"	826
Villa Tejeda	30364	Camarón de Tejeda	96°30'50"	19°01'20"	348
Chilchotla (CFE)*	21025	Chilchotla	97°10'58"	19°15'18"	2 194
La Trinidad (CFE)	21056		97°13'00"	19°17'00"	1 685
Bella Esperanza (CFE)*	30015	Coatepec	96°52'00"	19°26'00"	975
Briones	30452		96°58'58"	19°30'30"	1 349
Coatepec	30026		96°56'40"	19°27'20"	1 188
El Coyol (CFE)	30047	Comapa	96°41'47"	19°10'20"	545
Cosautlán	30311	Cosautlán de Carvajal	96°59'40"	19°19'58"	1 274
Coscomatepec (DGE)*	30206	Coscomatepec	97°01'42"	19°04'12"	1 473
Coscomatepec (SMN)	30032		97°02'46"	19°04'18"	1 530
Tetelzingo*	30181		97°08'00"	19°03'12"	2 216
Los Capulines	30094	Cotaxtla	96°17'28"	18°51'24"	54
Cuitláhuac	30037	Cuitláhuac	96°43'12"	18°48'41"	368
Cerro Gordo	30339	Emiliano Zapata	96°41'52"	19°25'59"	580
El Carrizal	30021		96°39'30"	19°21'47"	242
Emiliano Zapata (CFE)	30195		96°47'00"	19°29'00"	924
Miradores	30241		96°47'10"	19°27'55"	942
Rancho Viejo	30140		96°47'01"	19°26'49"	914
Rinconada	30141		96°33'50"	19°21'10"	263
Centro Regional Huatusco	30342		96°57'00"	19°08'48"	1 186
Elotepec (CFE)*	30052	Huatusco	97°02'22"	19°11'12"	1 030
Huatusco de Chicuellar	30066		96°57'35"	19°09'00"	1 284
Ixhuacán de Los Reyes	30336	Ixhuacán de Los Reyes	97°06'30"	19°20'55"	1 802
Ixhuacán de Los Reyes (CFE)	30209		97°07'00"	19°21'20"	1 802
Ixhuatlán del Café	30072	Ixhuatlán del Café	96°59'10"	19°03'00"	1 350
Jalcomulco (CFE)	30076	Jalcomulco	96°45'43"	19°19'48"	335
Santa María Tatetla (CFE)*	30157		96°42'48"	19°16'23"	282
Ingenio La Concepción	30454	Jilotepec	96°53'04"	19°36'17"	982
La Concepción	30267		96°54'00"	19°36'17"	1 000
José Cardel	30193	La Antigua	96°22'28"	19°21'53"	28
El Buzón	30018	Manlio Fabio Altamirano	96°21'02"	19°09'25"	34
Manlio Fabio Altamirano	30101		96°20'20"	19°05'40"	44
Puente Jula	30136		96°20'38"	19°11'46"	63
El Copital	30048	Medellín	96°12'18"	18°58'00"	14
El Tejar	30056		96°09'30"	19°04'02"	10
Naolico de la Victoria	30114	Naolico	96°52'23"	19°39'07"	1 542
Almolonga	30007		96°47'03"	19°53'18"	730
Acazonica (CFE)*	30002	Paso de Ovejas	96°35'16"	19°12'45"	339
El Faisán*	30050		96°22'37"	19°19'07"	135
Loma Fina	30093		96°23'36"	19°15'45"	30
Campamento Progreso*	30295	Paso del Macho	96°40'34"	18°54'19"	340
Ejido La Defensa*	30296		96°47'30"	19°01'05"	651
Ejido Mata de Varas*	30297		96°40'15"	19°01'10"	440
San Alejo*	30145		96°45'06"	18°56'00"	454

(Continúa)

Nombre	Clave	Municipio	Coordenadas		Altitud m s.n.m.
			Longitud O	Latitud N	
Tamarindo	30165	Puente Nacional	96°29'30"	19°20'14"	144
Puente Nacional (CFE)	30137		96°28'54"	19°19'30"	87
Quimixtlán (CFE)	21067	Quimixtlán	97°08'53"	19°15'49"	2 346
Boca de Sochiapa*	30017	Sochiapa	96°56'19"	19°11'31"	41
Mata Anona (CFE)*	30104	Soledad de Doblado	96°29'45"	19°09'47"	214
Soledad de Doblado	30163		96°25'30"	19°02'45"	94
Tenampa (CFE)	30177	Tenampa	96°55'57"	19°15'06"	1 015
Teocelo	30179	Teocelo	96°58'25"	19°23'10"	1 188
Amatitla (CFE)	30010	Tlaltetela	96°52'49"	19°21'00"	605
Totutla	30187	Totutla	96°57'50"	19°12'45"	1 446
Zempoala*	30199	Úrsulo Galván	96°25'00"	19°26'30"	32
Jalapa de Enríquez*	30228	Xalapa	96°53'54"	19°31'05"	1 365
Las Animas	30087	Xalapa	96°53'06"	19°30'00"	1 281
La Tembladera (CFE)*	30085	Xico	97°07'06"	19°38'58"	3 127
Tembladeras	30175		97°07'05"	19°30'44"	3 102
Oxtlapa	30453		97°05'30"	19°25'56"	2 111

*Suspendida.

Fuente: CONAGUA. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Red de Estaciones Climatológicas, 2012.

2.3 Temperatura

La temperatura es una medida de calor, es una forma de energía. Refiere al grado de calor específico del aire en un lugar y momento determinados, así como a la evolución temporal y espacial de dicho elemento en las distintas zonas climáticas.

La temperatura máxima promedio (Cuadro 2.3) se registra en la estación Puente Nacional (CFE) localizada en el municipio del mismo nombre con 33.9 °C a una altitud aproximada de 80 m s.n.m., mientras que la mínima promedio es de 14.5°C registrada en la estación Tembladeras, en el municipio de Xico aproximadamente a 3 120 m s.n.m.

Dentro de la temperatura media anual el valor más elevado se registra nuevamente en la estación Puente Nacional (CFE) con 27.7 °C y la de menor grado para Tembladeras con 9.5°C. Respecto de la temperatura mínima promedio, el registro de mayor valor es de 21.6°C en la estación La Mancha del municipio de Actopan localizada a una elevación aproximada de 10 m s.n.m., mientras que el de menor valor es de 3.8°C en La Tembladera (CFE).

La distribución espacial de los intervalos de temperatura observa una orientación general noreste-suroeste y en la mayoría de ellos, abarcan de norte a sur en la cuenca de los ríos Actopan Jamapa y otras (Mapa 2.2).

El intervalo de temperatura menor a 0°C se ubica en el extremo suroeste del área de estudio, en las inmediaciones de la cúspide del volcán Pico de Orizaba o Citlaltépetl, donde el rango altitudinal oscila de 5 610 a 4 940 m s.n.m. y hay ausencia de vegetación.

El intervalo de 2 a 0°C, se localiza en alturas aproximadas de 5 400 a 4 560 m s.n.m., no manifiesta vegetación aparente.

El intervalo de 4 a 2°C, también se localiza en las faldas del volcán Pico de Orizaba; se distribuye en elevaciones menores que fluctúan entre 4 920 y 4 020 m s.n.m., en vegetación de pradera de alta montaña.

El intervalo de 6 a 4°C se sitúa por debajo del intervalo anterior, pero también en la cumbre y alrededores del cerro Cofre de Perote, en cotas de 4 560 a 3 520 m s.n.m., la floresta representativa es de bosque de pino y pradera de alta montaña.

El intervalo de 8 a 6°C se ubica en las faldas norte y este del volcán Pico de Orizaba, así como al este del cerro Cofre de Perote, el rango altitudinal es de 3 940 a 3 140 m s.n.m., la vegetación típica que domina es pradera de alta montaña y bosques de oyamel y de pino.

El intervalo de 10 a 8°C se localiza al oeste de la zona de estudio en una franja con orientación noreste-suroeste, las altitudes fluctúan de 3 880 a 2 800 m s.n.m. y en este intervalo la vegetación de mayor predominancia es de bosques de oyamel, pino y pino-encino.

El intervalo de 12 a 10°C, de similar ocupación territorial al anterior, se sitúa en elevaciones menores de 3 420 a 2 260 m s.n.m, zona en donde se desarrollan diversos bosques de coníferas y el bosque mesófilo de montaña.

El intervalo de 14 a 12°C se observa al poniente del área de estudio, en una franja de orientación noreste-suroeste para luego cambiar a norte-sur; las cotas son del orden de 3 180 a 1 840 m s.n.m. y la vegetación es de bosques de coníferas y mesófilo de montaña.

El intervalo de 16 a 14°C (porción oriente), se registra en altitudes menores ya que fluctúa entre 2 800 y 1 460 m s.n.m, en con comunidades vegetales de bosques de pino, pino-encino y mesófilo de montaña.

El intervalo de 18 a 16°C (más al este) se localiza la franja que representa tres sitios al norte de Córdoba, áreas donde las elevaciones son de 2 340 a 1 100 m s.n.m., con variedad florística de bosques de encino, encino-pino, pino, pino-encino y mesófilo de montaña.

El intervalo de 20 a 18°C se observa en su inicio al noreste y alrededores de la ciudad de Xalapa, así como al norte y sur de Huatusco de Chicuellar y termina al noreste de Córdoba; las cotas son del orden de 1 960 a 740 m s.n.m.; su diversidad vegetal es de bosques de coníferas y latifoliadas a selvas bajas y medianas.

El intervalo de 22 a 20°C se sitúa al noreste y sureste de Xalapa, además al norte de Córdoba, el rango altitudinal fluctúa entre 1 380 y 380 m s.n.m., con vegetación de bosques de encino, encino-pino y mesófilo de montaña, además existen selvas altas, medianas y bajas.

El intervalo 24 a 22°C se ubica en la porción central del área de estudio, y como se mencionó con anterioridad para la mayoría de ellos, abarca desde el norte hasta el sur de la misma; las altitudes aproximadas varían de 1 080 a 140 m s.n.m. con diversidad florística de bosque de encino y selvas alta, mediana y baja.

El intervalo de mayor extensión es de 26 a 24°C, toda vez que se localiza desde el sector centro-este hasta la línea de costa, por consiguiente, las elevaciones fluctúan de 720 m s.n.m. a la cota cero; en cuanto a vegetación se observan relictos de selva baja caducifolia, además de manglar, popal, sabanoide y vegetación de dunas costeras.

El último intervalo corresponde de 28 a 26°C el cual se sitúa principalmente al poniente del puerto de Veracruz, las altitudes en el que se registra son del orden de 200 a 10 m s.n.m. y la vegetación original ha sido sustituida por el uso agrícola.

Temperatura anual (°C)

Cuadro 2.3

Estación	Temperatura (°C)			Período (años)
	Máxima	Media	Mínima	
La Joya	18.4	12.8	7.2	1951-2010
Acatlán	20.2	15.9	10.3	1951-2010
Actopan	31.0	24.9	18.7	1951-2010
El Diamante	29.5	24.3	19.2	1951-2010
La Mancha	30.2	25.8	21.6	1951-2010
Los Ídolos	31.7	25.8	19.9	1951-2010
Mozomboa	32.7	25.1	17.6	1951-2010
Paso del Cedro	32.0	25.9	19.8	1951-2010
Santa Rosa	31.5	24.5	17.5	1951-2010
Apazapan	29.7	23.8	17.8	1951-2010
Santa Anita	30.0	23.2	16.4	1951-2010
Villa Tejeda	29.6	24.1	18.5	1951-2010
Chilchota (CFE)	21.6	14.6	7.6	1951-2010
La Trinidad (CFE)	17.9	11.5	5.2	1951-2010
Bella Esperanza (CFE)	27.6	21.1	14.6	1951-2010
Briones	24.2	17.7	11.2	1951-2010
Coatepec	26.0	19.3	12.6	1951-2010
El Coyol (CFE)	28.8	23.1	17.3	1951-2010
Cosautlán	25.1	19.7	14.3	1951-2010
Coscomatepec (DGE)	24.6	17.7	10.9	1951-2010
Coscomatepec (SMN)	24.9	18.4	11.9	1951-2010

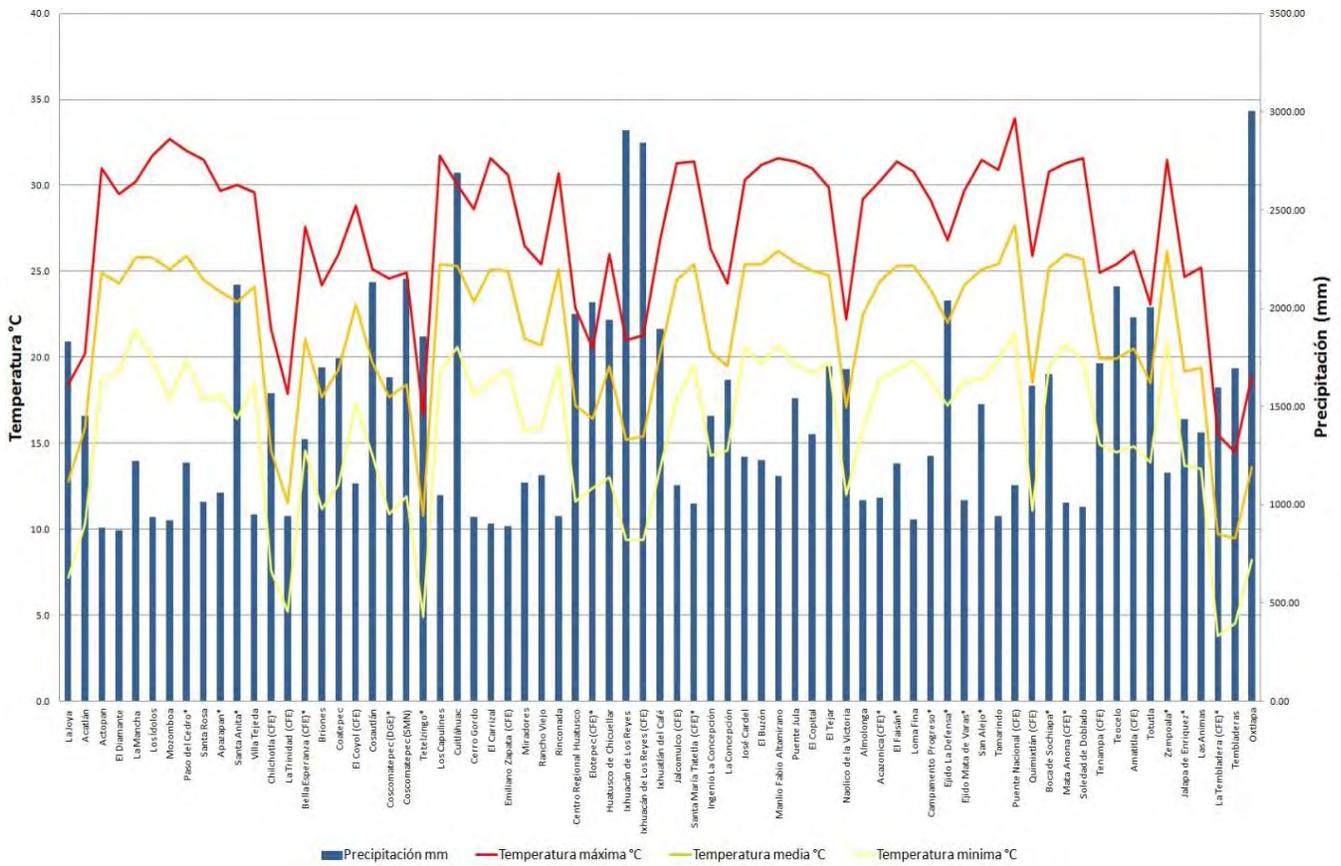
(Continúa)

Estación	Temperatura (°C)			Período (años)
	Máxima	Media	Mínima	
Tetelzingo	16.6	10.8	4.9	1951-2010
Los Capulines	31.7	25.4	19.1	1951-2010
Cuitláhuac	30.0	25.3	20.6	1951-2010
Cerro Gordo	28.6	23.2	17.8	1951-2010
El Carrizal	31.6	25.1	18.6	1951-2010
Emiliano Zapata (CFE)	30.6	25.0	19.3	1951-2010
Miradores	26.5	21.1	15.7	1951-2010
Rancho Viejo	25.4	20.7	16.0	1951-2010
La Rinconada	30.7	25.1	19.5	1951-2010
Centro Regional Huatusco	22.9	17.2	11.6	1951-2010
Elotepec (CFE)	20.5	16.4	12.4	1951-2010
Huatusco de Chicuellar	26.0	19.5	13.0	1951-2010
Ixhuacán de Los Reyes	21.0	15.2	9.4	1951-2010
Ixhuacán de Los Reyes (CFE)	21.3	15.4	9.4	1951-2010
Ixhuatlán del Café	26.8	20.2	13.5	1951-2010
Jalcomulco (CFE)	31.3	24.5	17.6	1951-2010
Santa María Tatetla (CFE)	31.4	25.4	19.5	1951-2010
Ingenio La Concepción	26.3	20.3	14.3	1951-2010
La Concepción	24.3	19.5	14.6	1951-2010
José Cardel	30.3	25.4	20.6	1951-2010
El Buzón	31.2	25.4	19.6	1951-2010
Manlio Fabio Altamirano	31.6	26.2	20.7	1951-2010
Puente Jula	31.4	25.5	19.6	1951-2010
El Copital	31.0	25.0	19.1	1951-2010
El Tejar	29.9	24.8	19.7	1951-2010
Naolinco de Victoria	22.2	17.1	12.0	1951-2010
Almolonga	29.2	22.5	15.8	1951-2010
Acazonica (CFE)	30.2	24.4	18.7	1951-2010
El Faisán	31.4	25.3	19.3	1951-2010
Loma Fina	30.8	25.3	19.8	1951-2010
Campamento Progreso	29.1	23.9	18.6	1951-2010
Ejido La Defensa	26.8	22.0	17.2	1951-2010
Ejido Mata de Varas	29.7	24.2	18.6	1951-2010
San Alejo	31.5	25.1	18.7	1951-2010
Tamarindo	30.9	25.4	19.8	1951-2010
Puente Nacional (CFE)	33.9	27.7	21.4	1951-2010
Quimixtlán(CFE)	25.9	18.5	11.1	1951-2010
Boca de Sochiapa	30.8	25.2	19.5	1951-2010
Mata Anona (CFE)	31.3	26.0	20.7	1951-2010
Soledad de Doblado	31.6	25.7	19.8	1951-2010
Tenampan (CFE)	24.9	19.9	14.9	1951-2010
Teocelo	25.4	19.9	14.5	1951-2010
Amatitla (CFE)	26.2	20.5	14.8	1951-2010
Totutla	23.1	18.5	13.9	1951-2010
Zempoala	31.5	26.2	20.9	1951-2010
Jalapa de Enríquez	24.7	19.2	13.7	1951-2010
Las Ánimas	25.2	19.4	13.5	1951-2010
La Tembladera (CFE)	15.5	9.7	3.8	1951-2010
Tembladeras	14.5	9.5	4.5	1951-2010
Oxtlapa	18.9	13.6	8.2	1951-2010

Fuente: CONAGUA. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas por estación, periodo 1951-2010.

Temperatura y precipitación

Gráfica 2.1



Fuente: CONAGUA. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas por estación, periodo 1971-2000.

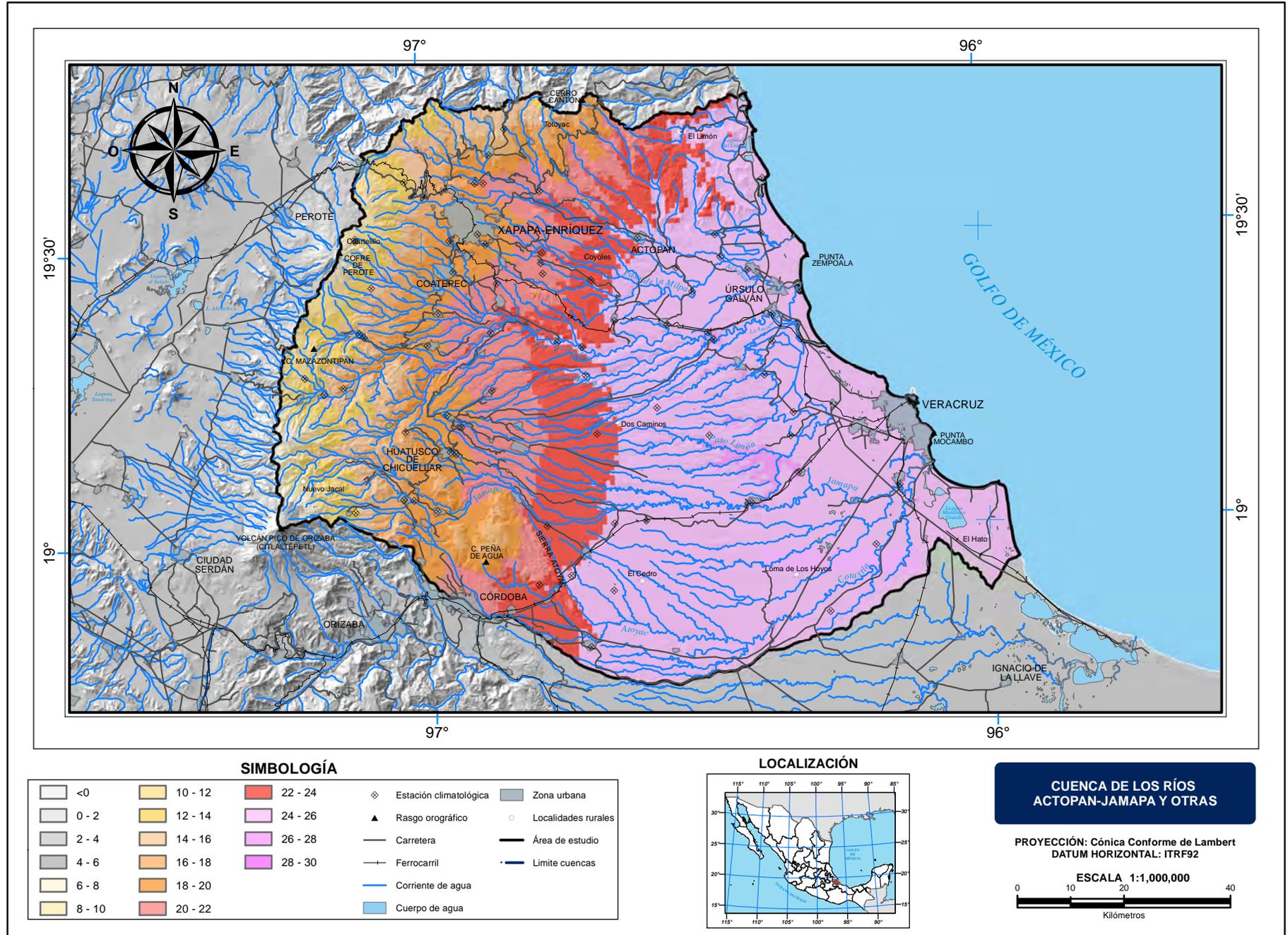
2.4 Precipitación

Se entiende por precipitación el aporte de agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie terrestre a manera de lluvia, nieve, granizo, llovizna, y otras formas similares de caída de agua (INEGI, 2005). La estación que mayor precipitación total anual registra es Oxtlapa con 3 004 mm (Cuadro 2.4 y gráfica 2.1) en el municipio de Xico a 2 100 m s.n.m. aproximadamente, la de menor corresponde a El Diamante con 874.3 mm a 146 m s.n.m.

Los rangos tienen una distribución espacial que guardan cierto paralelismo con la línea de costa (Mapa 2.3). El intervalo de precipitación 3 000 a 2 500 mm se registra al sureste del cerro Cofre de Perote en rango altitudinal de 2 340 a 1 340 m s.n.m., zona donde se desarrolla el bosque mesófilo de montaña.

Sobre las faldas noreste del volcán Pico de Orizaba, al sur de Coatepec y al norte de Córdoba, se registra el rango de precipitación de 2 500 a 2 000 mm, en un amplio rango de altitudes del orden de 5 610 a 380 m s.n.m.; donde existe vegetación de pradera de alta montaña, bosques mesófilos de montaña, de coníferas y de encino; en altitudes menores se observan selvas, alta subperennifolia y mediana subcaducifolia.

El rango de 2 000 a 1 500 mm es el de mayor extensión territorial ya que ocupa el sector poniente y el extremo oriente del área de estudio, por lo mismo, las cotas oscilan desde 4 360 hasta 260 m s.n.m.; las comunidades vegetales son bosques de coníferas, latifoliadas y mesófilo de montaña, así como de selvas altas, medianas y bajas. Existen también pastos inducidos.



Fuente: UNIAMTOS. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM, Gerencia de Meteorología, SMN, CONAGUA. Temperatura Media Anual, 1902-2011.

El rango de precipitación de 1 500 a 1 200 mm se registra en tres franjas de orientación preferente norte-sur. Las franjas se ubican en los sectores oriente, centro y poniente del área de estudio, la primera se localiza al poniente del puerto de Veracruz, la segunda al oriente de las ciudades de Xalapa y Córdoba y la última al este de los accidentes orográficos volcán Pico de Orizaba y cerro Cofre de Perote. El rango altitudinal va de 3 500 m s.n.m. a la línea de costa. La vegetación que predomina son bosques de coníferas, de encino y mesófilo de montaña; así mismo están presentes la selva baja, vegetación de dunas costeras y manglar.

El rango de 1 200 a 1 000 mm es el de mayor extensión, está presente en los sectores centro-oriental y poniente del área de estudio, la primera representa una extensa área ubicada entre el puerto de Veracruz y la ciudad de Xalapa, la segunda se observa desde el poniente de esta ciudad mencionada hasta el noroeste de Córdoba. Las altitudes oscilan de 3 420 m s.n.m. a la cota cero con vegetación de bosques de encino, oyamel, pino y mesófilo de montaña; así mismo se observan selva baja, vegetación de dunas costeras y manglar.

El rango de 1 000 a 800 mm se registra al sureste y suroeste de la ciudad de Xalapa, en elevaciones del orden de 3 180 a 40 m s.n.m.; con vegetación de bosques de encino, coníferas y mesófilo de montaña, además de selva baja caducifolia y pastizal inducido.

El rango de 800 a 700 mm se localiza en un reducido sector al suroeste del cerro Cofre de Perote, donde las altitudes varían de 2 880 a 2 380 m s.m.n. y la vegetación reconocida son bosques de pino, de pino-encino y pastos inducidos.

Precipitación total anual

Cuadro 2.4

Estación	Precipitación total anual (milímetros)	Periodo (años)
La Joya	1 831.1	1951-2010
Acatlán	1 452.6	1951-2010
Actopan	883.9	1951-2010
El Diamante	868.9	1951-2010
La Mancha	1 220.9	1951-2010
Los Ídolos	937.0	1951-2010
Mozomboa	920.1	1951-2010
Paso del Cedro	1 211.9	1951-2010
Santa Rosa	1 013.6	1951-2010
Apazapan	1 062.7	1951-2010
Santa Anita	2 117.3	1951-2010
Villa Tejeda	949.6	1951-2010
Chilchotla (CFE)	1 566.8	1951-2010
La Trinidad (CFE)	943.2	1951-2010
Bella Esperanza (CFE)	1 331.3	1951-2010
Briones	1 699.9	1951-2010
Coatepec	1 743.3	1951-2010
El Coyol (CFE)	1 109.1	1951-2010
Cosautlán	2 133.3	1951-2010
Coscomatepec (DGE)	1 648.8	1951-2010
Coscomatepec (SMN)	2 148.4	1951-2010
Tetelzingo	1 856.5	1951-2010
Los Capulines	1 046.7	1951-2010
Cuitláhuac	2 686.7	1951-2010
Cerro Gordo	938.0	1951-2010
El Carrizal	902.5	1951-2010
Emiliano Zapata (CFE)	889.2	1951-2010
Miradores	1 111.8	1951-2010
Rancho Viejo	1 151.6	1951-2010
La Rinconada	940.5	1951-2010
Centro Regional Huatusco	1 969.8	1951-2010
Elotepec (CFE)	2 032.0	1951-2010
Huatusco de Chicuellar	1 941.7	1951-2010
Ixhuacán de Los Reyes	2 905.9	1951-2010
Ixhuacán de Los Reyes (CFE)	2 842.6	1951-2010

(Continúa)

Estación	Precipitación total anual (milímetros)	Periodo (años)
Ixhuatlán del Café	1 893.0	1951-2010
Jalcomulco (CFE)	1 099.1	1951-2010
Santa María Tatetla (CFE)	1 007.2	1951-2010
Ingenio La Concepción	1 448.3	1951-2010
La Concepción	1 636.0	1951-2010
José Cardel	1 244.7	1951-2010
El Buzón	1 228.4	1951-2010
Manlio Fabio Altamirano	1 144.0	1951-2010
Puente Jula	1 540.3	1951-2010
El Copital	1 359.8	1951-2010
El Tejar	1 701.2	1951-2010
Naolinco de la Victoria	1 688.5	1951-2010
Almolonga	1 023.5	1951-2010
Acazonica (CFE)	1 036.5	1951-2010
El Faisán	1 210.0	1951-2010
Loma Fina	924.5	1951-2010
Campamento Progreso	1 247.1	1951-2010
Ejido La Defensa	2 039.8	1951-2010
Ejido Mata de Varas	1 021.6	1951-2010
San Alejo	1 512.0	1951-2010
Tamarindo	940.6	1951-2010
Puente Nacional (CFE)	1 098.0	1951-2010
Quimixtlán (CFE)	1 606.1	1951-2010
Boca de Sochiapa	1 663.0	1951-2010
Mata Anona (CFE)	1 009.9	1951-2010
Soledad de Doblado	989.0	1951-2010
Tenampa (CFE)	1 721.3	1951-2010
Teocelo	2 112.1	1951-2010
Amatitla (CFE)	1 954.9	1951-2010
Totutla	2 003.4	1951-2010
Zempoala	1 163.4	1951-2010
Jalapa de Enríquez	1 435.0	1951-2010
Las Ánimas	1 366.3	1951-2010
La Tembladera (CFE)	1 597.5	1951-2010
Tembladeras	1 695.0	1951-2010
Oxtlapa	3 004.4	1951-2010

Fuente: CONAGUA. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas por estación, periodo 1971-2000.

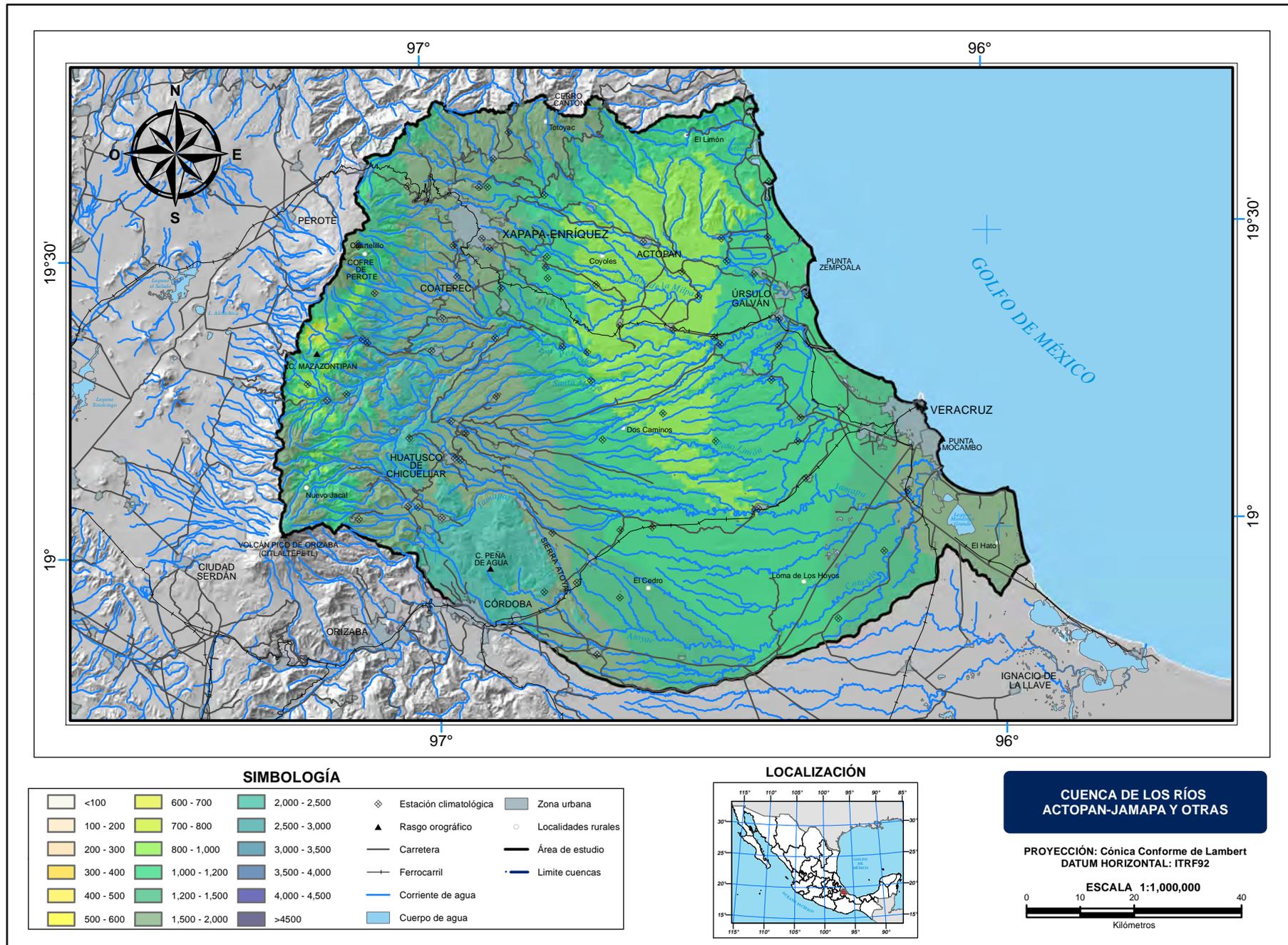
2.5 Fenómenos hidrometeorológicos

Se generan por la acción violenta de los agentes atmosféricos que se manifiestan como: lluvias, granizadas, nevadas, heladas y sequías.

2.5.1 Ciclones

Enriqueta García (1986) define a un ciclón como un área de baja presión migratoria en la que el viento se mueve en sentido contrario a las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte, y sopla de la periferia al centro.

Los ciclones tropicales reciben diferentes nombres a lo largo del mundo, en América se les denomina huracanes. La escala de clasificación de huracanes Saffir-Simpson mide la peligrosidad de los mismos basándose principalmente en la velocidad de los vientos y la elevación de la marea de tormenta (Cuadro 2.5).



Fuente: UNIATMOS. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM, Gerencia de Meteorología, SMN, CONAGUA. Precipitación Anual, 1902-2011.

Clasificación de huracanes según escala Saffir-Simpson

Cuadro 2.5

Categoría	Vientos Máximos (km/h)	Marea de Tormenta (m)	Características de los Posibles Daños Materiales e Inundaciones
Uno	118.1 a 154	1.2 a 1.5	Árboles pequeños caídos; algunas inundaciones en carreteras costeras en sus zonas más bajas.
Dos	154.1 a 178	1.8 a 2.5	Tejados, puertas y ventanas dañados; desprendimiento de árboles.
Tres	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Grietas en pequeñas construcciones; inundaciones en terrenos bajos y planos.
Cuatro	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Desprendimiento de techos en viviendas; erosiones importantes en playas, cauces de ríos y arroyos. Daños inminentes en los servicios de agua potable y saneamiento.
Cinco	Mayores a 250	Mayores a 5.5	Daño muy severo y extenso en ventanas y puertas. Falla total de techos en muchas residencias y edificios industriales.

Fuente: CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Por su ubicación geográfica, la zona de estudio es propensa a sufrir embates de huracanes (Mapa 2.4). Los días 22 y 23 de agosto del 2005, la tormenta tropical “José” afectó parte de la cuenca de los ríos Actopan-Jamapa y otras (Cuadro 2.6). Por la mañana del día 22, el sistema se internó en el sur del golfo de México adquiriendo características de circulación ciclónica, convirtiéndose en la décima depresión tropical de la temporada. La CONAGUA estableció una zona de alerta que incluía al puerto de Veracruz, con un índice de peligrosidad moderado al registrarse vientos máximos sostenidos de 85 km/h y rachas de 100 km/h; a las 22 horas del mismo día, la tormenta tropical “José” se localizó a escasos 25 km de la línea costera de Veracruz, con un lento desplazamiento hacia el oeste a 9 km/h; a la medianoche del 22 al 23 de agosto, “José” tocó tierra en las inmediaciones de Vega de Alatorre, 80 km al noroeste del puerto de Veracruz, las afectaciones fueron por lluvias intensas y viento fuerte.

El 22 de agosto de 2007 a las 12:45 horas, el huracán “Dean” impacta tierra a 10 km al suroeste de Barra de Tecolutla (fuera de la zona de estudio, pero con repercusiones en la misma) con categoría 2, sus vientos máximos sostenidos alcanzan 155 km/h con rachas de 195 km/h, se reportaron lluvias de fuertes a intensas para diversos estados. El 28 de septiembre de 2007, el huracán “Lorenzo” también generó intensas lluvias en la zona de estudio al impactar tierra en las inmediaciones de Barra de Tecolutla con vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 155 km/h en categoría 1.

En 2008 otro huracán que causó afectaciones fue nombrado “Marco”, el día 7 de octubre a las 13:00 hora local, se encontraba a 40 km al norte de Xalapa, Veracruz, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y rachas de 85 km/h, generando lluvias importantes en la región.

El 17 de septiembre de 2010 a las 12:00 hora local, el huracán Karl categoría 4 tocó tierra en la población de Playa Chachalacas, a 15 km al norte del puerto de Veracruz con vientos máximos sostenidos de 185 km/h y rachas de 230 km/h, por lo que se le catalogó como extremadamente peligroso; el fenómeno generó inundaciones de varias poblaciones principalmente en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

La tormenta tropical “Nate” tocó tierra el 11 de septiembre de 2011 a las 7:00 horas tiempo del Centro, a 25 km al nor-noroeste del puerto de Veracruz con vientos máximos sostenidos de 95 km/h y rachas de 110 km/h, provocó lluvias intensas.

Ciclones tropicales que han impactado la cuenca 1970 a 2011

Cuadro 2.6

Año	Nombre	Categoría	Ocurrencia
2005	José	Tormenta tropical	22 al 23 de agosto
2007	Dean	Huracán categoría 5	13 al 23 de agosto
2007	Lorenzo	Huracán categoría 1	25 al 28 de septiembre
2008	Marco	Tormenta tropical	6 al 7 de octubre
2010	Karl	Huracán categoría 3	14 al 18 de septiembre
2011	Arlene	Tormenta tropical	28 al 30 de junio
2011	Harvey	Tormenta tropical	18 al 22 de agosto
2011	Nate	Tormenta tropical	7 al 11 de septiembre
2012	Helene	Tormenta tropical	9 al 11 y 17 al 18 de agosto
2013	Barry	Tormenta tropical	17 al 20 de junio

Fuente: CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

2.5.2 Heladas

La helada es la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua a 0° C. La cubierta de hielo es una de sus formas producida por la sublimación del vapor de agua sobre los objetos; ocurre cuando se presentan dichas temperaturas.¹

En la zona de estudio este fenómeno no es muy común salvo en algunos sectores debido a su altitud. Según datos de la Secretaría de Protección Civil del estado de Veracruz, en octubre de 2014 se registraron las primeras heladas de la temporada en los alrededores de las localidades de Las Vigas de Ramírez y La Joya, además en las inmediaciones del cerro Cofre de Perote y del volcán Pico de Orizaba.

2.5.3 Inundaciones

En la cuenca de los ríos Actopan-Jamapa y otras existen accidentes geográficos como orografía y llanuras costeras, que interactuando con los sistemas meteorológicos tropicales en el verano y extra-tropicales en el invierno, dan como resultado un territorio propicio para las inundaciones.²

En el año 2005 el huracán Stan, que no impactó directamente en la zona de estudio, provocó inundaciones en gran parte de la planicie costera y ciertos puntos serranos del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, incluyendo los municipios de Veracruz, Boca del Río y Medellín, en donde más de 50 colonias se inundaron, dejando miles de viviendas dañadas. Según habitantes de estas colonias, el problema estriba en que las áreas destinadas para estos fraccionamientos eran vasos reguladores que se encuentran en constante riesgo de inundaciones.³

Se registró la ocurrencia de lluvias extremas e inundaciones atípicas del 5 al 8 de septiembre de 2008 en los municipios de Boca del Río, Medellín y Jamapa, según Diario Oficial de la Federación (DOF) con fecha de 4 de diciembre de 2008

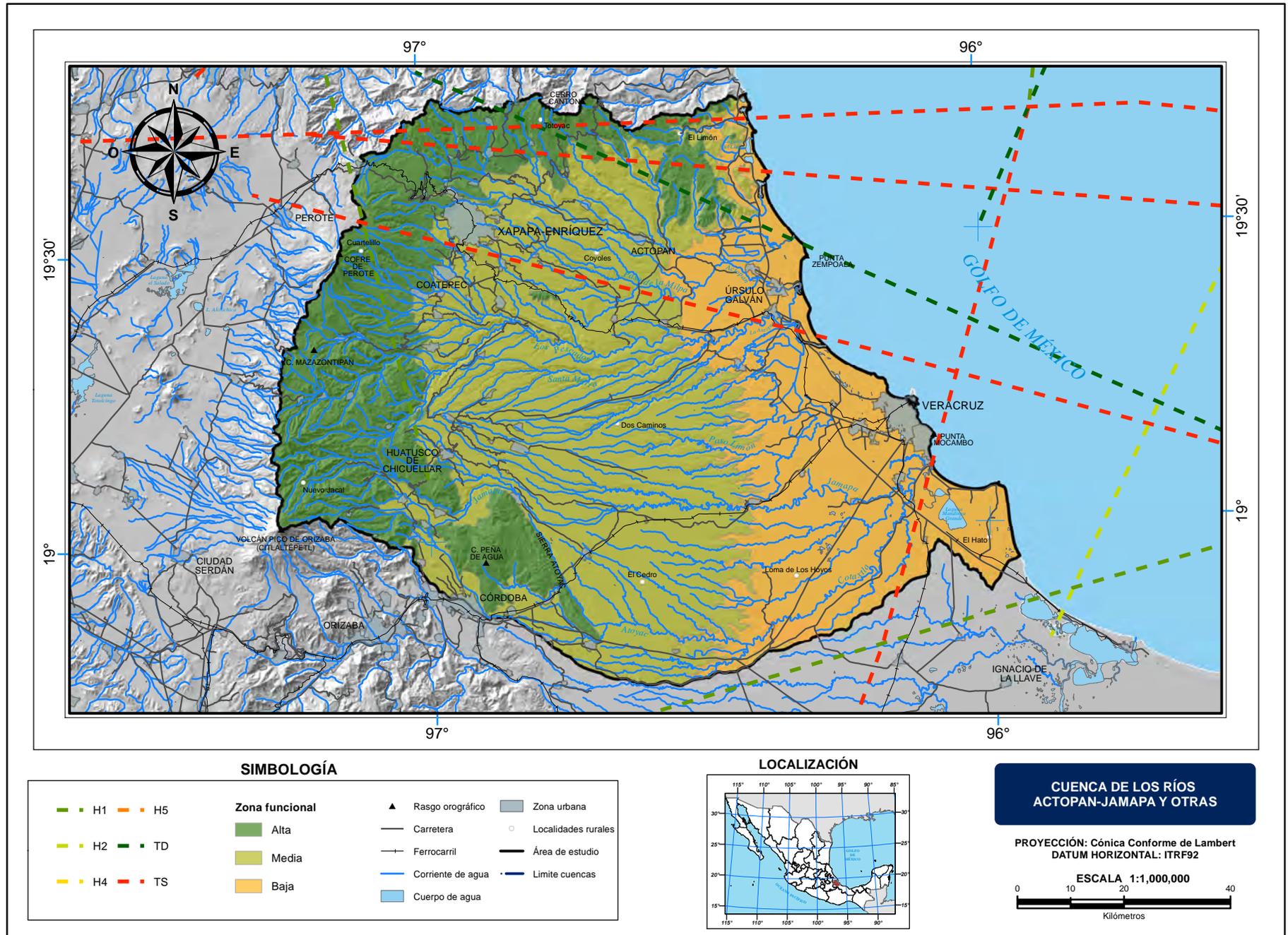
Se presentaron inundaciones y desbordamiento de ríos y arroyos en los municipios de Banderilla, Córdoba, Coamapa, Cotaxtla, Ixhuatlán del Café, Ixhuacán de los Reyes, Jilotepec, Rafael Lucio, Tlalixcoyan, Tomatlán, Veracruz y Xalapa, ante los efectos provocados por el paso de la onda tropical núm. 24 y la tormenta tropical Frank, así como la onda tropical núm. 25; vaguadas en el suroeste del golfo de México y la depresión tropical núm. ONCE-E en el golfo de Tehuantepec, los días 19 al 30 de agosto, 1 y 2 de septiembre del 2010 (DOF 21 septiembre 2013).

En 2013 las torrenciales lluvias provocadas por los remanentes de la tormenta tropical Barry, desbordaron los ríos Actopan y Bobos el 21 de junio, e inundó la cabecera municipal de Úrsulo Galván. La Secretaría de Gobernación declaró en emergencia a 109 de los 212 municipios del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave por las afectaciones ocasionadas *Barry* desde el 19 de junio de ese año.

¹ <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/heladas-y-nevadas>

² <http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/inundaciones.html>

³ http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/13_inundaciones_dinamica.pdf



Fuente: CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional.

3. Vegetación y uso del suelo

3.1 Vegetación primaria

La cobertura vegetal en la zona de estudio estaba conformada (según el mapa de Vegetación Primaria de INEGI, 2003) por selva baja caducifolia (31.31%) y selva alta perennifolia (30.01%) en climas cálidos; los bosques mesófilo de montaña (20.18%), de pino (86.7%), de oyamel (1.63%), de encino (0.7%) y de pino-encino (0.13%) existían en climas templados; la pradera de alta montaña (0.1%) se ubicaba en las zonas más altas donde se localizan los climas fríos. Por último, la selva mediana subperennifolia (6.05%), vegetación de dunas costeras (2.45%) y vegetación de manglar (0.73%) residían en climas cálidos (Mapa y cuadro 3.1).

Distribución porcentual de la vegetación primaria

Cuadro 3.1

Vegetación	Clave	Porcentaje
Selva baja caducifolia	SBC	31.32
Selva alta perennifolia	SAP	30.01
Bosque mesófilo de montaña	BM	20.18
Bosque de pino	BP	6.70
Selva mediana subperennifolia	SMC	6.05
Vegetación de dunas costeras	VU	2.45
Bosque de oyamel	BA	1.63
Manglar	VM	0.73
Bosque de encino	BQ	0.70
Bosque de pino-encino	BPQ	0.13
Pradera de alta montaña	VW	0.10
Área sin vegetación aparente	-	0.00

Fuente: INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Vegetación Primaria escala 1: 1 000 000, 2003.

La información analizada (Mapa 3.1) refleja una clara distribución altitudinal que a su vez está relacionada con diferentes condiciones de temperatura y precipitación y es la siguiente:

- Selva baja caducifolia ocupaba la mayor extensión con 31.32% del total, se ubicaba en el sector centro-oriental del área, desde el norte hasta el sur de la misma, se podía encontrar de 960 m s.n.m a la línea de costa, en climas cálidos y en topofomas de lomerío y llanura aluvial.
- Selva alta perennifolia cubría 30.01% del área de estudio, se le observaba en tres sectores: al este de Xalapa, al oriente de Córdoba y el de mayor extensión, al noroeste, oeste y sur del puerto de Veracruz; estaba distribuido desde 1 340 m s.n.m hasta la línea de costa, donde dominan los climas cálidos y en relieve de llanura aluvial, diversos tipos de lomerío y un valle de laderas tendidas.
- Bosque mesófilo de montaña abarcaba 20.18% de la extensión en área de estudio, se encontraba entre los tipos de selva y los bosques de coníferas, en una franja con dirección noreste-suroeste y posteriormente noroeste-sureste. En este territorio se asientan hoy día importantes zonas urbanas como Xalapa de Enríquez, Coatepec y Huatusco de Chicuellar. Las cotas altitudinales en las que se desarrolló esta comunidad vegetal fluctuaban entre 2860 a 360 m s.n.m, en climas templados y semicálidos, en topografía de sierra volcánica y lomerío.
- Bosque de pino 6.70% del área en estudio estaba cubierta, se situaba en el límite occidental con rango altitudinal de 3 940 a 1 440 m s.n.m, en climas templados y con topofomas de sierra volcánica y lomerío.
- Selva mediana subperennifolia abarcaba 6.05% del área, se ubicaba entre las comunidades de bosque mesófilo y selva baja caducifolia, al oriente de Huatusco de Chicuellar; se desarrolló en altitudes de 1 840 a 480 m s.n.m, donde hoy predominan climas semicálidos y relieve de lomerío.
- Vegetación de dunas costeras comprendía 2.45% del total del territorio delimitado, se localizaba sobre la línea de costa, en cotas máximas de 80 m s.n.m, en climas cálidos y relieve de llanura aluvial.
- Bosque de oyamel englobaba 1.63% del área en estudio, se situaba al noreste del volcán Pico de Orizaba, además en los alrededores de la cúspide del cerro Cofre de Perote; se podía encontrar desde los 4 340 hasta 2 140 m s.n.m, en climas semifríos y fríos y geofomas de sierra volcánica con estratovolcanes.

- Vegetación de manglar ocupaba 0.73% del total del área, se ubicaba en su extremo sureste, en las inmediaciones del sistema lagunar que se observa al sur del puerto de Veracruz, en un rango altitudinal de 80 m s.n.m a la línea de costa, donde se registran climas cálidos y relieve de llanura aluvial costera.
- Bosque de encino le sigue en ocupación territorial con 0.70%, se localizaba en un sector del límite poniente, al sureste del cerro Cofre de Perote, así como también en la demarcación norte, en la cúspide e inmediaciones del cerro Cantón. Las elevaciones oscilan entre 3 260 y los 860 m s.n.m, con climas semifríos y templados, en geoforma de sierra volcánica.
- Bosque de pino-encino representaba 0.13% del total y se ubicaba en los terrenos donde hoy se asienta la localidad de Las Vigas de Ramírez, es decir, al noroeste del área de estudio. En altitudes correspondientes a 2 840 y 2 320 m s.n.m, en climas semifrío y templado con relieve de llanura con lomerío y algunos sectores de sierra volcánica.
- Pradera de alta montaña cubría 0.10%, se le encontraba sólo en las laderas más elevadas del volcán Pico de Orizaba, en el extremo suroeste de la zona de estudio. El intervalo altitudinal oscila entre 5 560 y 3 720 m s.n.m, donde el clima que se registra es semifrío y frío y topoforma de sierra volcánica con estratovolcanes.

3.2 Tipos de vegetación

Con el paso del tiempo y debido esencialmente a las actividades humanas, la cubierta vegetal se ha modificado quedando un mosaico de fragmentación que abarca casi el total del área, predominando en las zonas funcionales media y baja (Mapa 3.2).

Cabe mencionar que menos de 19.46% del territorio de estudio conserva vegetación natural y de ésta 63.77% presenta perturbación. En cuestión de uso del suelo, éste abarca más área que la vegetación ya que ocupa 80.54% del total de la cuenca de los ríos Actopan-Jamapa y otras.

- Selva baja caducifolia es la comunidad vegetal que domina en extensión 6.29% del área total de la zona de estudio, (Fotografía 3.1) que se localiza principalmente en la zona funcional media y en menor proporción en la baja; el intervalo altitudinal en el que se desarrolla oscila desde 1 340 m s.n.m hasta la línea de costa, se observa mayoritariamente en la topoforma de lomerío y en llanuras aluviales, concretamente al noroeste y suroeste del puerto de Veracruz. Es importante destacar que más de 99% de esta comunidad presenta algún tipo de disturbio, es decir vegetación secundaria.
- Bosque mesófilo de montaña, le sigue en extensión el (Fotografía 3.2) con 4.04%, se desarrolla (casi de forma exclusiva) en la zona funcional alta, en una franja que abarca de norte a sur del área en estudio, empieza al norte y suroeste de Xalapa para después extenderse hasta las inmediaciones de la localidad de Coscomatepec, ya en el límite sur, las especies más representativas son el alamillo, palo de baqueta, liquidambar, pinos patula, palo barranco, álamo, cedro y ocozote. La elevación máxima en la que se desarrollan estos bosques es de 2 760 m s.n.m y la mínima de 720 m s.n.m, en morfología de sierra volcánica y lomerío. Poco más de 41% se reporta como vegetación sin alteración aparente, el resto (cerca de 60%) presenta vegetación secundaria.
- Bosque de pino, que abarca 2.72% del total del área, se localiza en el límite oeste donde destacan los dos accidentes orográficos más importantes que son el volcán Pico de Orizaba y el cerro Cofre de Perote, en zona funcional alta. Las altitudes en las que se encuentra varían de 4 080 a 1 040 m s.n.m y en geoformas de sierra volcánica. Cerca de 80% de este bosque se reporta como primario.
- Bosque de pino-encino marca la presencia de 2.24% del total del área en estudio, localizado al noreste del volcán Citlaltépetl y noroeste de la ciudad de Xalapa en zona funcional alta; para la primera ubicación las elevaciones oscilan de 3 400 a 1 380 m s.n.m, para la segunda fluctúan de 2 580 a 2 060 m s.n.m, domina la topoforma de sierra volcánica y posteriormente el lomerío. Más de 50% de esta comunidad se considera como primaria o sin perturbación aparente.
- Bosque de encino ocupa 1.91% del total del área de estudio, se localiza en las porciones noreste y centro de la misma, en las zonas funcionales alta y media; las cotas en las que prospera esta comunidad van desde 1 840 y hasta los 20 m s.n.m, en topoformas de lomerío principalmente. Para este bosque, en más de 87% de su extensión se reporta con vegetación secundaria.
- Dunas costeras cubre 0.69% de la cuenca, se distribuye sobre la línea de costa en especial al norte del puerto de Veracruz, en zona funcional baja y alcanza altitudes de hasta 100 m s.n.m. Las formas del relieve son de llanura aluvial y lomerío en el extremo noreste.



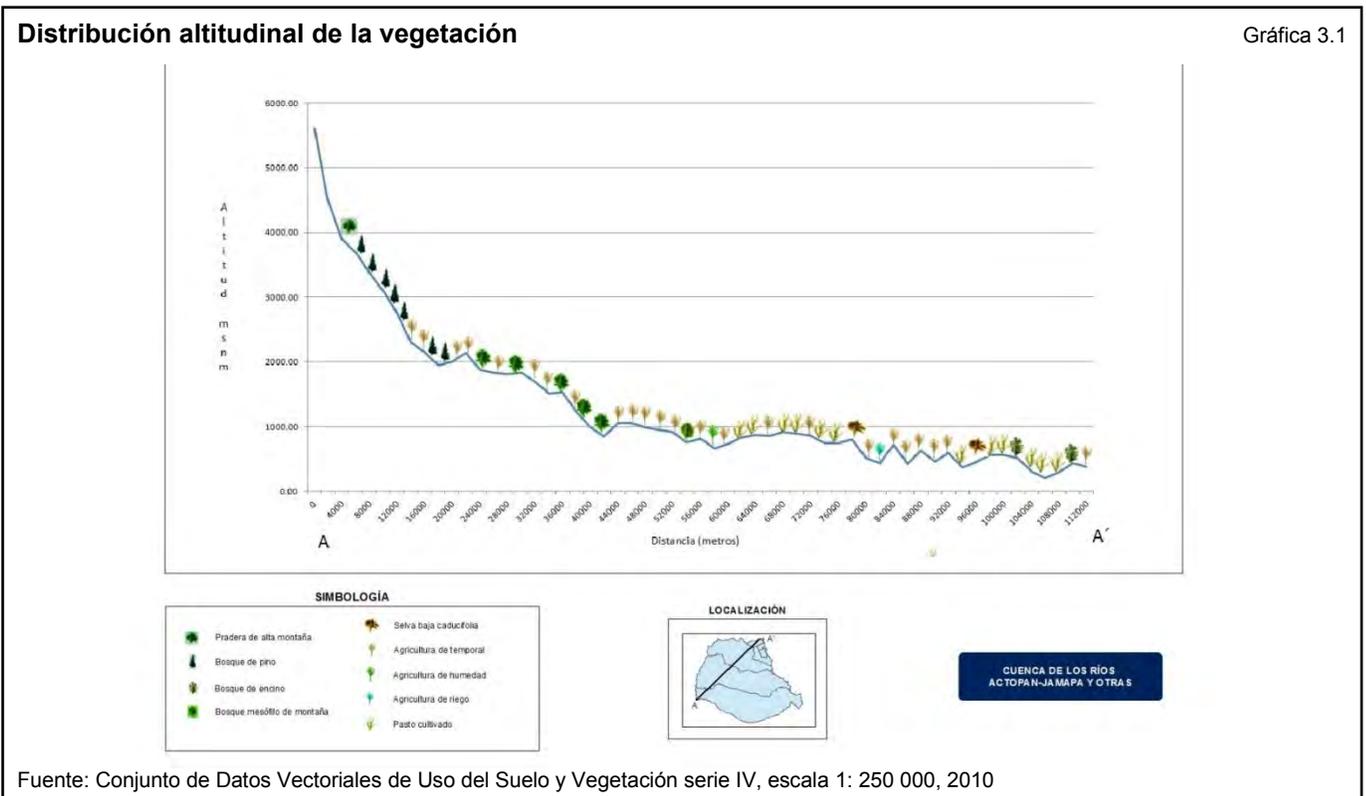
Fotografía 3.1: Al fondo selva baja caducifolia, cuenca arroyo Paso el Limón, noviembre 2014.

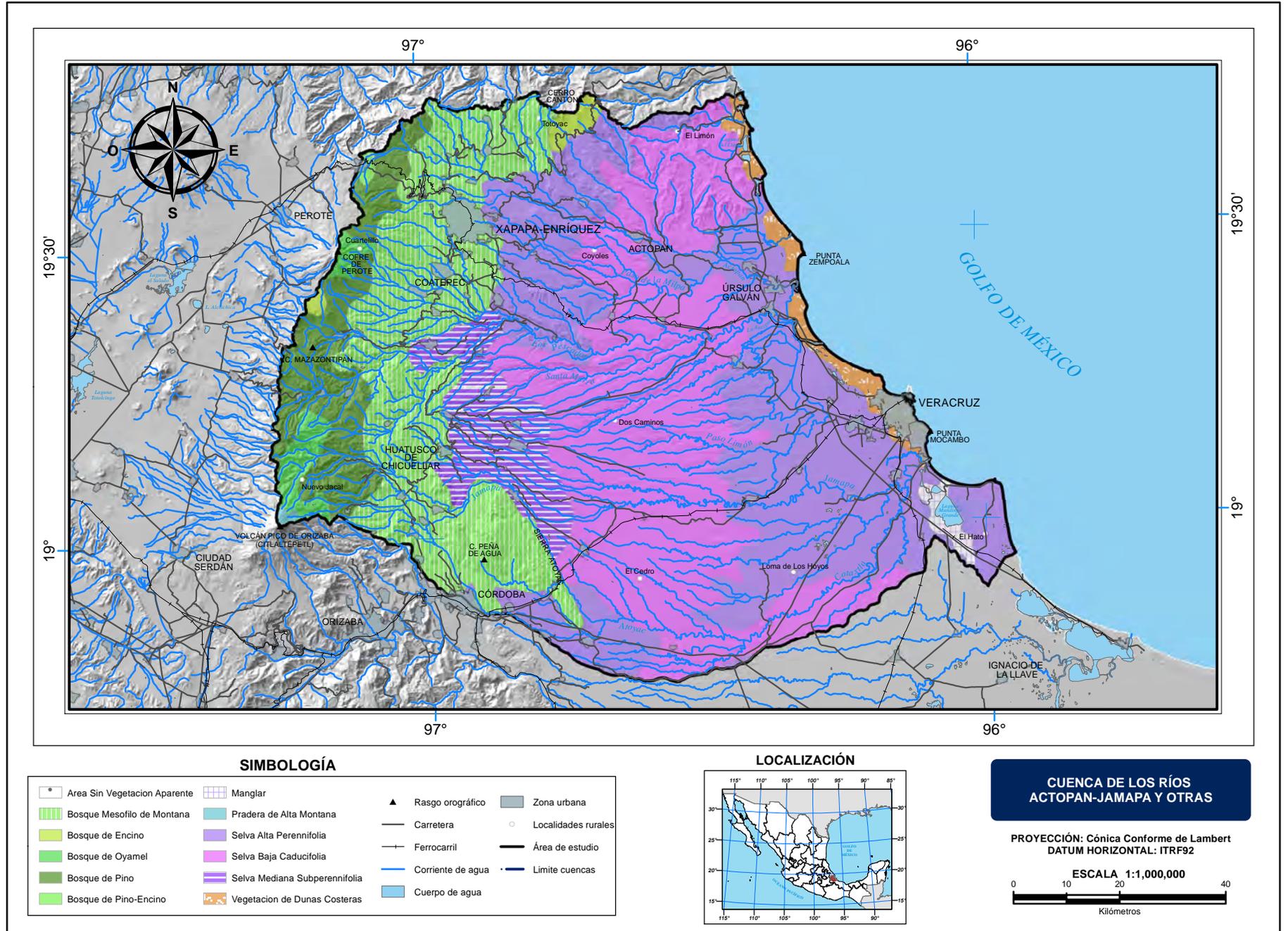
- Selva mediana subcaducifolia es la de menor extensión, con 0.33%, se observa en diferentes cañadas ubicadas al sur de Xalapa, en zona funcional media; las elevaciones máximas son de 1 380 y las mínimas de 520 m s.n.m en lomeríos de basalto. En esta comunidad sólo se reportan rodales con vegetación secundaria, es decir que, en este tipo de selva, la condición primaria ha dejado de existir.
- Bosque de oyamel con el mismo porcentaje en extensión que la comunidad anterior, se distribuye al noreste del volcán Pico de Orizaba y este del cerro Las Cumbres en rango altitudinal de 3 860 a 2 260 m s.n.m, donde existen topoformas de sierra volcánica con estratovolcanes.
- Vegetación inducida de sabanoide abarca 0.18% de la extensión total de la cuenca, se ubica al sureste del puerto de Veracruz, cerca de la laguna Mandinga Grande, en la zona funcional baja; las altitudes varían de 40 a 10 m s.n.m, en llanura aluvial costera.
- Selva alta subperennifolia con vegetación secundaria arbórea, existen dos rodales que ocupan 0.18% de la región de estudio. Se localizan al noreste de la ciudad de Córdoba, en la zona funcional media con elevaciones de 1 320 a 480 m s.n.m en sierra volcánica de laderas tendidas.
- Vegetación de manglar cubre 0.18% del total de la cuenca, se le observa en el noreste y sureste rodeando los sistemas lagunares, en la zona funcional baja. Se reportan altitudes de 80 m s.n.m a la línea de costa en relieves de llanura aluvial costera, así como en lomerío de basalto.
- Pradera de alta montaña abarca 0.12% del área, se distribuye en laderas altas de los elementos orográficos volcán Pico de Orizaba y cerro Cofre de Perote en cotas de 4 500 a 3 560 m s.n.m, en zona funcional alta y con topoforma sierra volcánica con estratovolcanes. En las inmediaciones de la cúspide del Citlaltépetl (de 5 610 a 4 140 m s.n.m) y en el extremo sureste la cuenca, sobre la línea de costa, se sitúan las áreas clasificadas como sin vegetación aparente que cubren 0.07%.
- Bosque de encino pino sin alteración aparente comprende también una extensión de 0.07% del total, se ubica únicamente al sureste de Huatusco de Chicuellar, en las zonas funcionales alta y media con rango altitudinal de 1 740 a 800 m s.n.m; el relieve es de lomerío de basalto.
- Vegetación hidrófila de popal cubre sólo 0.05% de la cuenca, se extiende en el sistema lagunar que ha sido invadido por el crecimiento urbano del puerto de Veracruz, en la zona funcional baja con topografía de llanura aluvial costera.



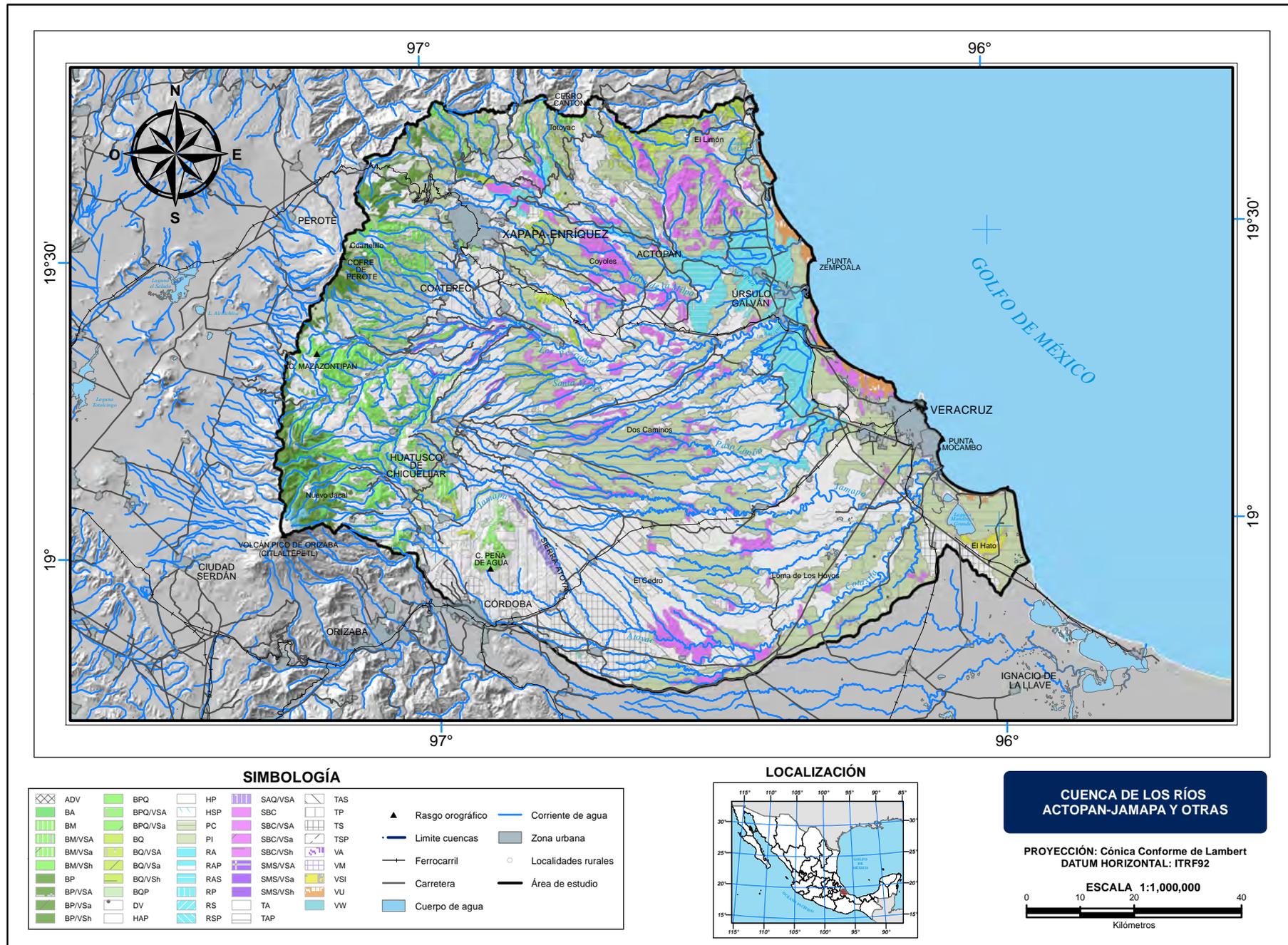
Fotografía 3.2: Helecho arborescente, vegetación indicativa de bosque mesófilo de montaña, cuenca del río La Antigua, noviembre 2014.

El perfil A – A´ muestra la distribución de la vegetación según altitud (Gráfica 3.1). Tiene su inicio (A) en la cúspide del volcán Pico de Orizaba a más de 5 500 m s.n.m donde no existe vegetación aparente, a menores altitudes se desarrolla la pradera de alta montaña, posteriormente el bosque de pino, después se registra la agricultura de temporal y más abajo al bosque mesófilo de montaña. En las zonas bajas es evidente observar que la vegetación original de selva baja caducifolia ha sido reemplazada por la agricultura hasta su final (A´).





Fuente: INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Vegetación Primaria escala 1: 1 000 000, 2003.



Fuente: INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación serie IV, escala 1: 250 000, 2010.

3.3 Uso del suelo

La cobertura de uso del suelo tiene mayor dominio dentro de la cuenca que la vegetación natural al ocupar 80.54% del total del área en las tres zonas funcionales (Mapa 3.2). Dentro de este rubro, la agricultura de temporal prevalece con 45.11% del total del territorio (Cuadro 3.2), se practica en las tres zonas funcionales y la que mayor extensión reporta es la de cultivos anuales y semipermanentes.

Le sigue en desarrollo los pastizales cultivados (Fotografía 3.3) con 25.92% del total del área, también se siembran en las tres zonas funcionales y sólo está ausente en el sector suroeste. La agricultura de riego cubre 5.33% del territorio, se practica en la zona funcional media y sobre todo en la baja, asimismo en el distrito de riego 035 La Antigua. Las escasas superficies donde se practica la agricultura de humedad se localizan al poniente del distrito de riego en diversas cañadas que pertenecen a la zona funcional media.



Fotografía 3.3: Pastos cultivados en la zona funcional baja de la cuenca del río Jamapa, noviembre 2014.

Distribución porcentual de la vegetación y uso de suelo

Cuadro 3.2

Tipo de vegetación	Clave	Total	Parcial
Selva baja Caducifolia		6.29	
Sin alteración aparente	SBC		0.04
Vegetación secundaria arbórea	SBC/VSA		1.99
Vegetación secundaria arbustiva	SBC/VSa		3.81
Vegetación secundaria herbácea	SBC/VSh		0.44
Bosque mesófilo de montaña		4.04	
Sin alteración aparente	BM		1.69
Vegetación secundaria arbórea	BM/VSA		1.17
Vegetación secundaria arbustiva	BM/VSa		1.11
Vegetación secundaria herbácea	BM/VSh		0.07

(Continúa)

Tipo de vegetación	Clave	Total	Parcial
Bosque de pino		2.72	
Sin alteración aparente	BP		2.17
Vegetación secundaria arbórea	BP/VSA		0.38
Vegetación secundaria arbustiva	BP/VSa		0.15
Vegetación secundaria herbácea	BP/VSh		0.02
Bosque de pino encino		2.24	
Sin alteración aparente	BPQ		1.15
Vegetación secundaria arbórea	BPQ/VSA		0.66
Vegetación secundaria arbustiva	BPQ/VSa		0.43
Bosque de encino		1.91	
Sin alteración aparente	BQ		0.23
Vegetación secundaria arbórea	BQ/VSA		0.65
Vegetación secundaria arbustiva	BQ/VSa		0.91
Vegetación secundaria arbustiva	BQ/VSh		0.12
Vegetación de dunas costeras	VU	0.69	0.69
Selva mediana subcaducifolia		0.33	
Vegetación secundaria arbórea	SMS/VSA		0.01
Vegetación secundaria arbustiva	SMS/VSa		0.26
Vegetación secundaria herbácea	SMS/VSh		0.05
Bosque de oyamel	Ba	0.33	0.33
Vegetación inducida Sabanoide	VSI	0.23	0.23
Selva alta subperennifolia	SAQ/VSA	0.18	
Vegetación secundaria arbórea			0.18
Manglar	VM	0.18	0.18
Pradera de alta montaña	VW	0.12	0.12
Sin vegetación aparente	DV	0.07	0.07
Bosque de encino pino		0.07	
Sin alteración aparente	BQP		0.07
Popal	VA	0.05	0.05
Desprovisto de vegetación	ADV	0.00	0.00
Tipos de Agricultura y uso del suelo			
Agricultura de temporal		45.11	
Anual	TA		10.43
Anual y permanente	TAP		5.40
Anual y semipermanente	TAS		10.83
Permanente	TP		5.93
Semipermanente	TS		3.73
Semipermanente y permanente	TSP		8.79
Pastizal		27.52	
Cultivado	PC		25.92
Inducido	PI		1.60
Agricultura de riego		5.33	
Anual	RA		0.01
Anual permanente	RAP		0.39
Anual semipermanente	RAS		1.55
Plantación permanente	RP		0.06
Semipermanente	RS		3.04
Semipermanente y permanente	RSP		0.28
Zona urbana	ZU	2.07	2.07
Cuerpos de agua	H2O	0.27	0.27
Agricultura de humedad		0.24	
Anual permanente	HAP		0.04
Permanente	HP		0.03
Semipermanente y permanente	HSP		0.17

Fuente: INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación serie IV, 1:250 000, 2010.

4. Análisis morfométrico, zonas funcionales e infraestructura hidráulica

4.1 Hidrografía superficial

Según la cartografía de Cuencas Hidrográficas de México (CHM) propuesta por INE, INEGI y CONAGUA 2007, la cuenca de los ríos Actopan-Jamapa y otras o zona de estudio, pertenece a la región hidrográfica Papaloapan y a la subregión hidrográfica Actopan La Antigua. Dicha región colinda al norte con la región hidrográfica Norte de Veracruz, al este con el golfo de México, al sur con la región hidrográfica Papaloapan y al oeste con la región hidrográfica Balsas. Se integra de ocho áreas de captación de tipo exorreico y dos endorreicas que pertenecen a la vertiente del golfo de México (Mapa 4.1).

El mapa de CHM está integrado por tres categorías: regiones, subregiones y cuenca que diferencian cada una de ellas (las cuencas) por un topónimo en particular. El área de estudio denominada Cuenca de los ríos Actopan Jamapa y otras comprende, dentro de la cartografía de CHM, a las cuencas de los ríos Jamapa, Tolomé, La Antigua, Actopan y Agua Fría (Pajaritos); así como de los arroyos Caño Gallegos y Paso El Limón; las últimas tres refieren a las lagunas El Llano, de La Sal y Verde (Mapa 4.2).

Para corroborar o modificar la división hidrográfica propuesta en el mapa de CHM, se realizó un análisis con modelos digitales de elevación con resolución de 30 metros, red hidrográfica y curvas de nivel escala 1: 50 000, imágenes de satélite y trabajo de campo; de esta forma se obtuvo la delimitación de los parteaguas que integran la cuenca de estudio.

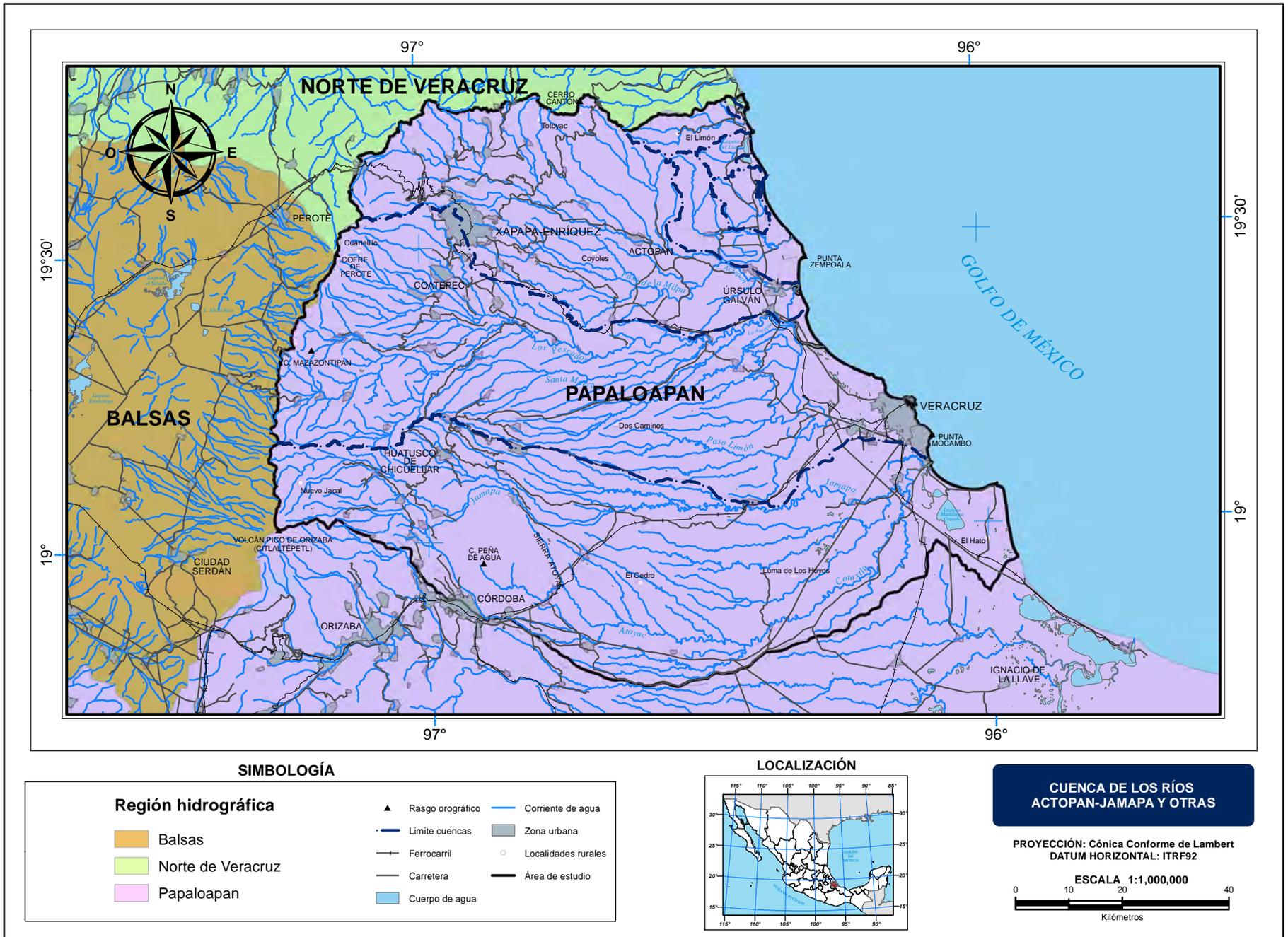
Las áreas de captación que constituyen la zona de estudio modificó en su delimitación interior, debido a que las cuencas de los ríos La Antigua y Tolomé se fusionaron por pertenecer a un sólo sistema hidrográfico y la de la laguna El Llano se dividió en dos al delimitarse un parteaguas interior.

De esta manera, se establecieron las siguientes cuencas: de los ríos Jamapa, La Antigua, Actopan y Agua Fría (Pajaritos); las de los arroyos Caño Gallegos y Paso El Limón; y las últimas cuatro refieren a las lagunas El Llano, Farallón, de La Sal y Verde. En su conjunto comprenden un área de 9 933.59 km² (Mapa 4.3).

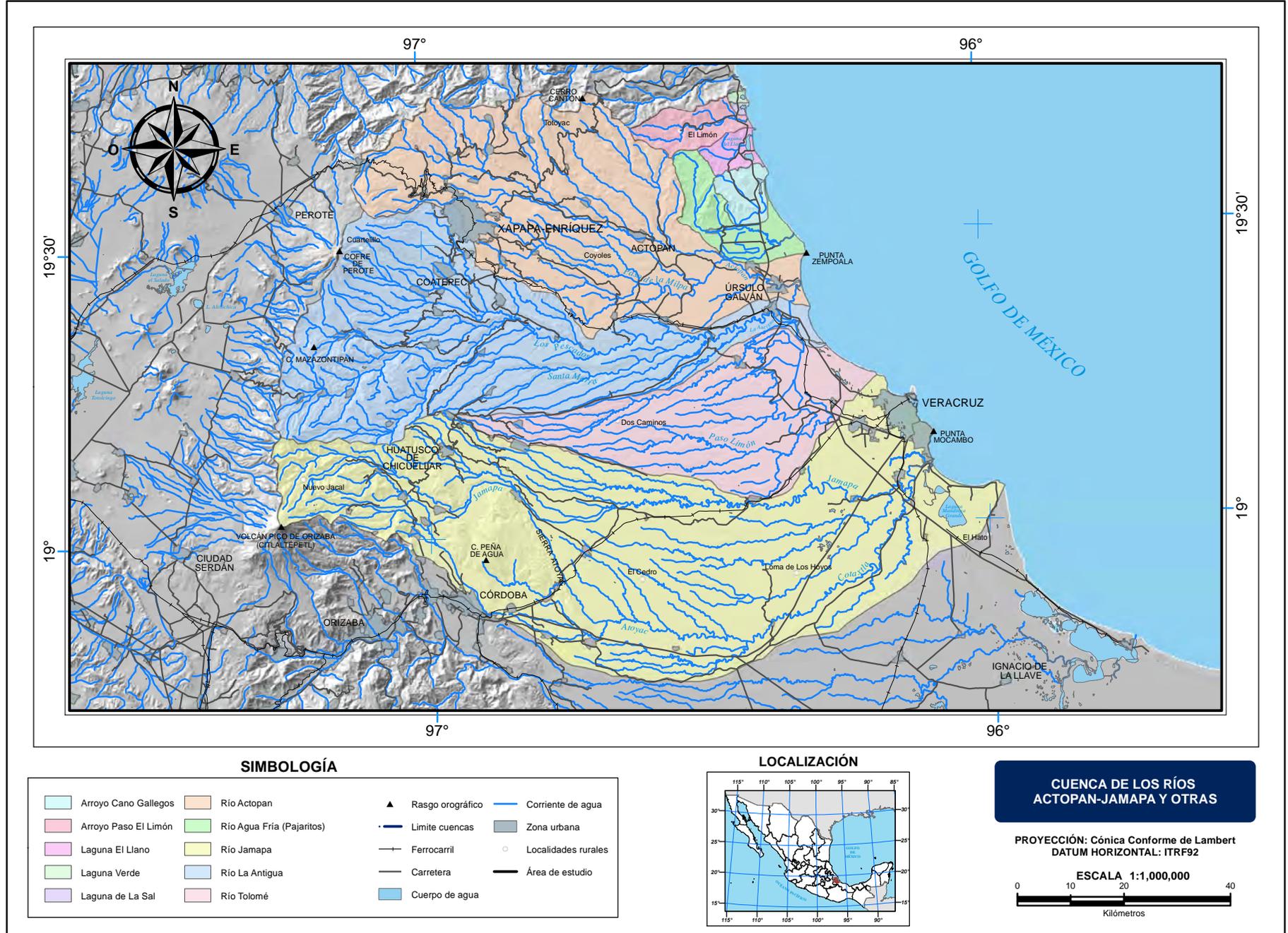
4.1.1 Cuenca del río Jamapa

Cuenca de tipo exorreico, es la de mayor extensión con 3 903.66 km², es decir, abarca 39.30% del área de estudio; tiene dos orientaciones generales, la primera noroeste-sureste y la siguiente suroeste-noreste (Mapa 4.3); se distinguen dos ríos principales: Jamapa (Fotografía 4.1) y Cotaxtla. El primero tiene su origen en la falda norte del volcán Pico de Orizaba, la dirección de su cauce es suroeste-noreste, inicia en la barranca que se localiza al oeste del cerro El Tecomale, tramo en el que se le unen por su margen izquierda los ríos Puente Viga, Blanco, San Antonio y La Junta. A partir de la unión con el último, cambia su dirección a noroeste-sureste hasta las inmediaciones de la cabecera municipal Ixhuatlán del Café, en este tramo se unen por su margen derecha los ríos Cueva Colorada y Cuapa, y por su margen izquierda el río Tepozantla o Tazaqui.

Aguas abajo, el cauce del río Jamapa describe un codo de más de 20 kilómetros de longitud hasta las inmediaciones de la localidad Ejido La Piña, en este tramo recoge por su margen izquierda los escurrimientos del río Capula (llamado también Capulapa). Al terminar el codo, en la geoforma de lomerío típico, el río adquiere un curso preferente oeste-este hasta su desembocadura en el golfo de México al sur de la localidad Boca del Río. Antes, se incorporan por su margen izquierda los ríos Zacapa, Copalapa, Chiquito y Paso Los Gatos. Próximo a su desembocadura, en la llanura aluvial costera, recibe por su margen derecha los aportes del río Paso Naranja también denominado Ixcoalco y Cotaxtla.

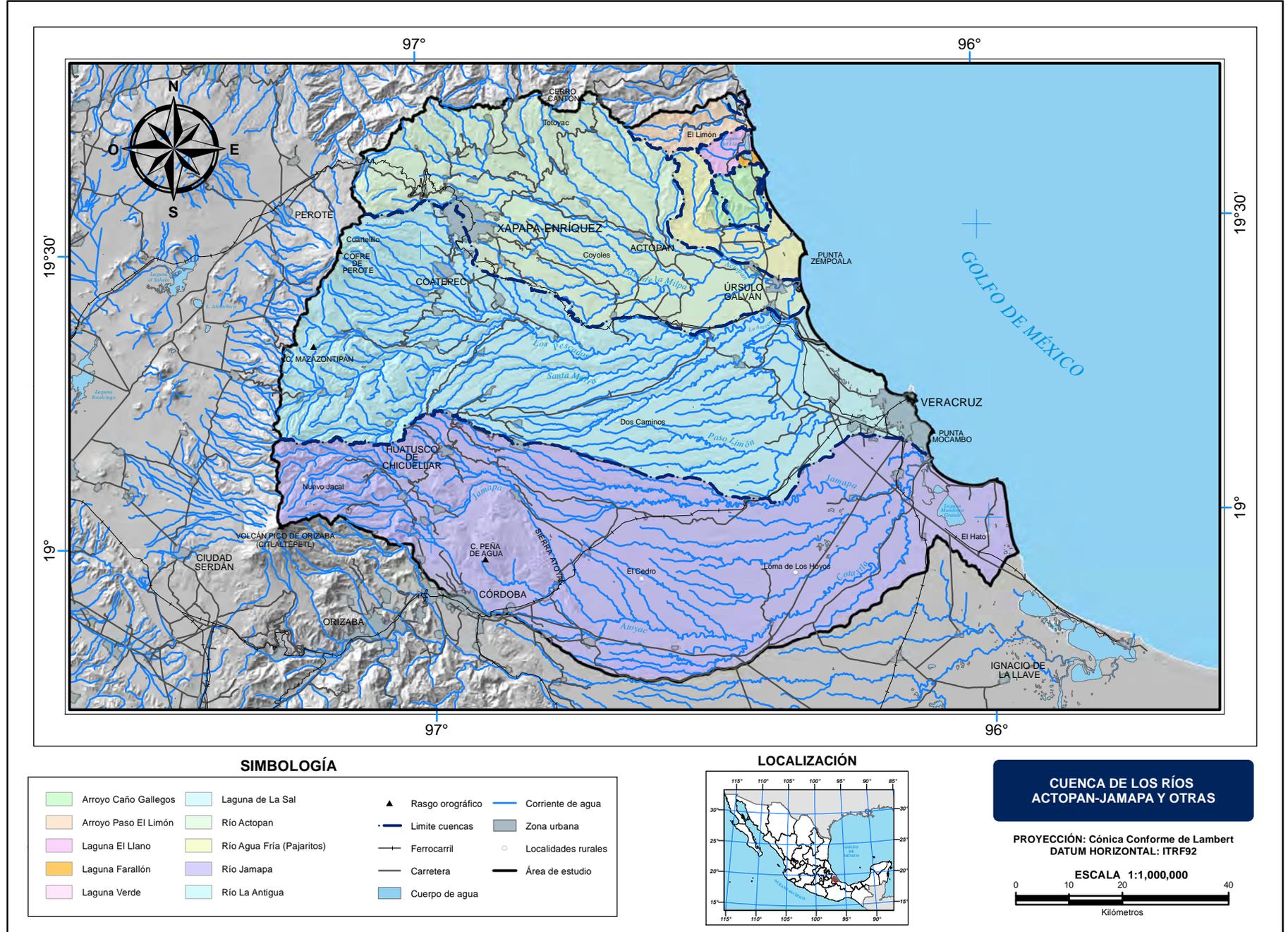


Fuente: INE-INEGI-CONAGUA. Cuencas hidrográficas de México, 2007.



Fuente: INE-INEGI-CONAGUA. Cuencas hidrográficas de México, 2007.

Nueva delimitación de cuencas



Fuente: INE-INEGI-CONAGUA. Cuencas hidrográficas de México, 2007. Modificado por INEGI.



Fotografía 4.1: Río Jamapa en zona funcional media, límite entre los municipios Paso del Macho y Zentla, Veracruz Ignacio de la Llave, noviembre de 2014.

El río Cotaxtla (Fotografía 4.2) se origina al oriente del cerro Chichimeco que se localiza al noreste del volcán Pico de Orizaba. Se observa una dirección oeste-este donde se conoce con el hidrónimo Tliapa, al sur de la población Coscomatepec de Bravo cambia su curso a noroeste-sureste hasta adentrarse a la zona urbana de la ciudad de Córdoba, en este tramo recibe los escurrimientos de los ríos Tlacoapa por su margen izquierda y Juan Antonio por margen derecha, y a partir de este punto cambia a Río Seco. Vira su rumbo preferente a oeste-este en el cual se suman afluentes por su margen izquierda como el río Atoyac, adoptando el nombre; además se juntan los ríos Paso del Macho, Paso Blanco y el Arroyo Frío; aguas abajo y antes de cruzar la localidad Cotaxtla recibe por su margen derecha las aportaciones del río Acayuca. Al adentrarse a esa localidad, modifica su recorrido general a suroeste-noreste además de conocerse ahora como río Cotaxtla; por último, se une al río Jamapa por su margen derecha en un punto situado al oriente de la cabecera municipal Medellín de Bravo.

4.1.2 Cuenca del río La Antigua

Cuenca exorreica con superficie de 3 478.04 km² que corresponden a 35.01% del territorio de estudio, es la segunda en tamaño, se sitúa en el sector central y se observa una de orientación este-oeste (Mapa 4.3). El río La Antigua es alimentado por una densa red de drenaje donde destacan los tributarios Santa María, Paso de Ovejas y Paso El Limón. En la descripción sólo se nombran los principales afluentes que se incorporan a los mismos ríos.



Fotografía 4.2: Río Cotaxtla límites entre zona funcional media y baja, municipio Cotaxtla, Veracruz Ignacio de la Llave, noviembre de 2014.

El cauce principal del río La Antigua tiene su origen al norte del cerro Cuicatepec cuya cúspide sirve de referencia para la delimitación del Parque Nacional Pico de Orizaba. Se le conoce con el nombre de Hiuxtlan, su orientación es suroeste-noreste; aguas abajo y en las inmediaciones de la localidad Rafael J. García flexiona a noroeste-sureste en donde se le une por su margen derecha el río Matlacala. Siguiendo su trayectoria, vuelve a cambiar de orientación a suroeste-noreste, sitio donde se ubica la presa derivadora Los Colibríes; aguas abajo se incorporan los escurrimientos del río de Los Ajolotes por margen izquierda; el curso del río Huixtlapan presenta otro giro del noroeste al sureste hasta el paraje donde se le conecta el río Tlilapa por su margen derecha, lugar en el que cambia su denominación al de Los Pescados.

El cauce principal adquiere una nueva dirección suroeste-noreste hasta la incorporación de los afluentes Texolo y Río Chico por su margen izquierda, para después girar el curso a noroeste-sureste; en este nuevo tramo se le une por la margen derecha el río Tecomatla, posteriormente cruza la localidad de Jalcomulco y cerca de la comunidad Apazapan recibe por su margen izquierda al río Tenexapa para después cambiar la orientación preferente a oeste-este.

Aguas abajo del último cambio de dirección se sitúa una represa donde tiene inicio el canal principal que alimenta parte del distrito de riego (DR-035) La Antigua, posteriormente se incorporan por la margen derecha los tributarios Santa María, Puente Chico y Puente Lagartos. Cuenca abajo se localiza la presa derivadora La Antigua que abastece también al distrito de riego; después de este punto, el río principal es conocido como río La Antigua, cruza la localidad José Cardel y cerca de su desembocadura (Fotografía 4.3) recibe por la margen derecha los escurrimientos del río Paso de Ovejas también conocido como Río Chico.



Fotografía 4.3: Río La Antigua en zona funcional baja, municipio La Antigua, Veracruz Ignacio de la Llave, noviembre de 2014.

4.1.3 Cuenca del río Actopan

Cuenca de tipo exorreica, es la tercera en superficie con 1 980.86 km² que corresponden a 19.94% del área de estudio, se sitúa en los sectores norte y centro-este con orientaciones de noroeste-sureste y oeste-este. Los escurrimientos que alimentan al cauce principal (superficial y subterráneamente) tienen su origen al sur y noreste de la localidad Las Vigas de Ramírez. El primero es nombrado San Juan, su recorrido inicia al sur del cerro Las Lajas a más de 2 900 m s.n.m., el curso es norte-sur el cual cambia a oeste-este después de pasar por la localidad anteriormente mencionada y en seguida a noroeste-sureste; transita al norte de la ciudad de Xalapa y aparentemente su cauce se pierde al norte de la localidad La Concepción en rocas volcánicas permeables.

El río Naolinco nace al noroeste de la cabecera municipal Miahuatlán, su curso es noroeste-sureste el cual cambia a norte-sur después de pasar la localidad mencionada; en este tramo existen dos cascadas (Teresiana y Naolinco) y aguas abajo de la segunda cambia su orientación a noroeste-sureste hasta unirse al río Sedeño. Este último río, nace al sureste del cerro Las Lajas a más de 2 950 m s.n.m. con dirección preferente oeste-este, desciende y cruza la ciudad de Xalapa y aguas abajo se le une el río Naolinco. Aproximadamente unos 10 kilómetros aguas abajo (en las inmediaciones de la localidad Chicoasen) se le conoce como río Actopan. El cauce cruza la cabecera municipal de la cual toma su nombre para después adentrarse a la geoforma de lomerío y después a la llanura aluvial donde existen cuatro presas derivadoras (La Esperanza, Santa Rosalía, El Zapote y El Bobo) que alimentan el distrito de riego (DR-035) La Antigua, y por último desemboca en el golfo de México (Fotografía 4.4).



Fotografía 4.4: Río Actopan en zona funcional baja, municipio Úrsulo Galván, Veracruz Ignacio de la Llave, noviembre de 2014.

4.1.4 Cuenca del río Agua Fría (Pajaritos)

Cuenca exorreica, su superficie es de 271.1 km² que corresponden a 2.73% del área de estudio, se sitúa en el sector noreste con orientación norte-sur y oeste-este. Su cauce principal, San Vicente, tiene su origen aproximadamente a 460 m s.n.m. con dirección norte-sur; recibe por su margen izquierda a los arroyos Los Leones y La Cañada para cambiar de rumbo a oeste-este; antes de cruzar la localidad Mozomboa se le incorpora por su margen derecha el arroyo Raya del Zapote y después se adentra en el distrito de riego (DR 035) La Antigua, donde es conocido con diferentes hidrónimos como Mozomboa, Paso del Cedro y finalmente Agua Fría, antes de su desembocadura en el golfo de México.

4.1.5 Cuenca del arroyo Paso El Limón

Es una cuenca de tipo exorreica con 132.01 km² de superficie que corresponde a 1.33% del área de estudio, se sitúa en el sector noreste con disposición oeste-este. Su cauce principal presenta varios nombres en su recorrido, en su inicio como arroyo Raya de las Pailas; recibe por su margen izquierda los escurrimientos del río Jardín y por su margen derecha a los arroyos Raya el Chocolate y Raya el Zapote. A mitad de su trayecto, cambia con el hidrónimo El Limón; por su margen izquierda se le une el arroyo La Yerbabuena a 5 km aproximadamente antes de su desembocadura en el golfo de México.

4.1.6 Cuenca del arroyo Caño Gallegos

Cuenca de tipo exorreica, con una superficie de 91.61 km² que corresponden a 0.92% del área de estudio, se sitúa en el sector noreste con orientación oeste-este. Son dos sus escurrimientos principales (El Coyalito y Caño Gallegos) que desembocan a la laguna La Mancha y ésta al golfo de México.

4.1.7 Cuenca de la laguna El Llano

Es una cuenca exorreica de 54.86 km² que corresponden a 0.55% del área, se ubica en el sector noreste con dirección suroeste-noreste. Su cauce principal es el arroyo El Marín, que tiene una dirección inicial noroeste-sureste; en su recorrido recibe varios aportes, por su margen derecha al arroyo El Roble, aguas abajo cambia su orientación a suroeste-noreste y antes de converger a la laguna El Llano, por su margen izquierda, se le une el arroyo Los Linderos.

4.1.8 Cuenca de la laguna Farallón

Cuenca endorreica de 9.93 km² que corresponden a 0.10% del área; se sitúa en el sector oriente con alineación oeste-este. Son escasos los cauces que alimentan a la laguna la cual no tiene salida al golfo de México (según red hidrográfica escala 1: 50 000, INEGI).

4.1.9 Cuenca de la laguna de La Sal

Se trata de una cuenca de tipo exorreica con 8.1 km² de superficie que corresponden a 0.08% del área de estudio, se localiza en el sector noreste con orientación noroeste-sureste. Los arroyos que desembocan en la laguna inician sus cauces en las laderas de los cerros La Cruz y La Palma.

4.1.10 Cuenca de la laguna Verde

Es una cuenca endorreica de 3.43 km² que corresponden a 0.03% del área y se sitúa en el extremo noreste; es la más pequeña de la zona de estudio donde se ubica la única planta nucleoelectrónica del país. Son escasos los escurrimientos que alimentan a la laguna, la cual no tiene salida al golfo de México (según información de la red hidrográfica escala 1: 50 000).

4.2 Morfometría

Es el estudio cuantitativo de las características físicas de una cuenca hidrográfica, útil para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos (Ruiz, 2001). La zona de estudio se conforma de diez áreas de captación o cuencas unitarias, es decir que no son tributarias ni receptoras de otras. El cálculo de las características morfométricas se realizó con base en la red hidrográfica escala 1: 50 000, edición 2.0 (INEGI). El cuadro 4.1 muestra los valores de forma para las diez cuencas y el cuadro 4.2 los valores de red de drenaje.

Valores de forma

Cuadro 4.1

Cuenca	A Área en km ²	P Perímetro en km	Lax Longitud axial en km	Re Relación de elongación adimensional	Ff Factor de forma adi- mensional	Kc Índice de compacidad adimensional	Coficiente de circula- ridad
Río Jamapa	3 903.66	377.83	123.38	0.57	0.25	1.69	0.34
Río La Antigua	3 478.04	391.82	103.94	0.64	0.32	1.86	0.28
Río Actopan	1 980.86	277.04	84.15	0.59	0.27	1.74	0.32
Río Agua Fría (Pajaritos)	271.1	114.85	26.93	0.68	0.37	1.95	0.25
Arroyo Paso El Limón	132.01	66.09	22.53	0.57	0.26	1.61	0.37
Arroyo Caño Gallegos	91.61	57.01	10.54	1.02	0.82	1.66	0.35
Laguna El Llano	54.86	38.46	10.6	0.78	0.48	1.45	0.46
Laguna Farallón	9.93	16.1	2.38	1.49	1.75	1.43	0.48
Laguna de La Sal	8.1	19.64	5.12	0.62	0.30	1.93	0.26
Laguna Verde	3.43	11.33	1.36	1.53	1.85	1.71	0.33

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Valores de red de drenaje 1/2

Cuadro 4.2

Cuenca	Magnitud de orden escala 1:50 000	Rbu	Fc	Dd	Lo	L	S	Sin	Tc
Río Jamapa	7	3.51	0.91	1.57	0.31	214 508.81	0.023	1.47	17.53
Río La Antigua	7	3.16	0.70	1.73	0.28	166 623.56	0.022	1.32	14.60
Río Actopan	6	3.40	0.65	1.50	0.33	119 345.82	0.024	1.19	10.91
Río Agua Fría (Pajaritos)	4	3.45	0.37	0.95	0.52	46 121.07	0.010	1.21	7.34
Arroyo Paso El Limón	4	4.20	0.86	1.66	0.30	28 664.02	0.030	1.23	3.38
Arroyo Caño Gallegos	4	2.33	0.44	1.02	0.48	13 322.45	0.027	1.13	1.95
Laguna El Llano	4	2.22	0.69	1.41	0.35	12 687.12	0.033	1.07	1.73
Laguna Farallón	2	1.33	0.60	0.68	0.72	2 853.05	0.066	1.04	0.42
Laguna de La Sal	2	2.00	0.61	1.13	0.44	5 845.35	0.082	1.08	0.67
Laguna Verde	1	1.00	0.58	0.45	1.23	1 389.10	0.219	1.20	0.10

Valores de red de drenaje 2/2

Cuadro 4.2

Cuenca	A min	A med	A max	S med	S max	Cm	Co
Río Jamapa	0.0	617.77	5 608	7.62	78.97	0.15	97.76
Río La Antigua	0.0	931.26	4 199	10.67	68.01	0.26	249.34
Río Actopan	0.0	938.77	3 147	10.15	67.10	0.47	444.90
Río Agua Fría (Pajaritos)	0.0	141.20	718	6.70	52.96	0.52	73.54
Arroyo Paso El Limón	0.0	320.56	967	14.81	49.02	2.42	778.41
Arroyo Caño Gallegos	0.0	103.77	707	9.21	52.43	1.13	117.54
Laguna El Llano	0.0	112.80	566	9.36	56.24	2.05	291.93
Laguna Farallón	0.0	38.34	249	6.59	44.29	3.86	148.03
Laguna de La Sal	0.0	106.76	555	9.58	40.00	13.18	1 407.12
Laguna Verde	0.0	27.62	257	5.47	40.88	8.05	222.55

Rbu.- Relación de bifurcación

Fc.- Frecuencia de corrientes

Dd.- Densidad de drenaje en km/km²

Lo.- Longitud de flujo sobre el terreno en km

L.- Longitud del cauce principal en m

S.- Pendiente media del cauce principal en m/m

Sin.- Sinuosidad del cauce adimensional

Tc.- Tiempo de concentración en hrs

Amin.- Altura mínima en m

Amed.- Altura media en m

Amax.- Altura máxima en m

Smed.- Pendiente media en grados

Smax.- Pendiente máxima en grados

Cm.- Coeficiente de masividad

Co.- Coeficiente orográfico

4.2.1 Cuenca del río Jamapa

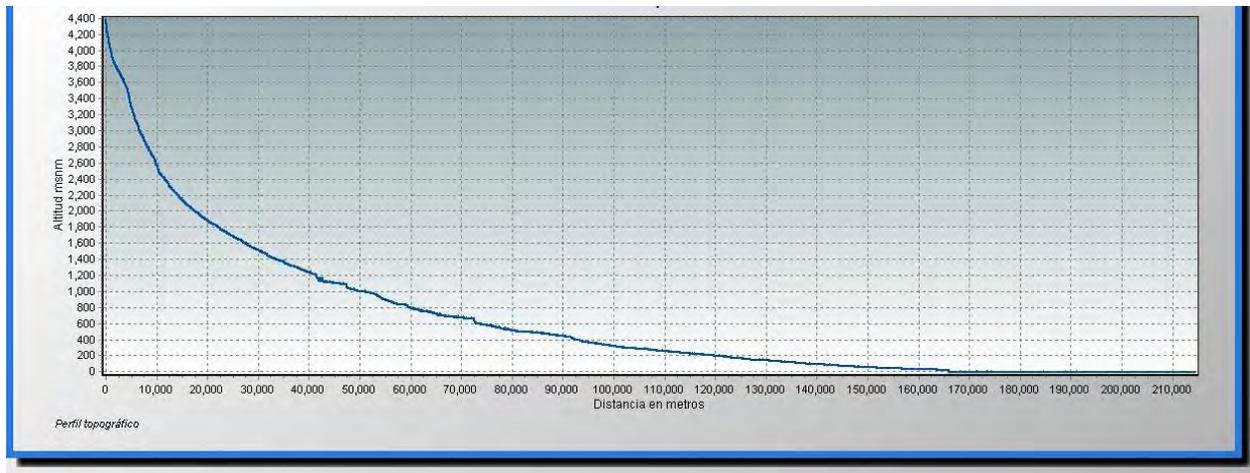
Es una cuenca con importante aporte hídrico a la región. Comprende un área aproximada de 3 903.66 km² y su perímetro es de 377.83 km (Cuadro 4.1) por lo que se le clasifica como una cuenca grande (Campos Aranda, 1998). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad revelan que es una cuenca de forma alargada, que se asocia a fuertes relieves y pendientes pronunciadas. Tiene una forma oval-oblonga a rectangular oblonga respecto del cauce principal según índice de compacidad (Vera-Ortiz, 2004), con orientación noroeste-sureste en su porción occidental y suroeste-noreste en su sector oriental.

La red de drenaje de la cuenca del río Jamapa es dendrítico, subdendrítico y subparalelo, pero además se observa en menor frecuencia los tipos enrejado y radial. El cauce principal corresponde al río Jamapa con una longitud aproximada de 214.50 km, es alimentado por una red de corrientes tributarias que le otorgan una magnitud de orden 7 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0, es decir, la cuenca contiene una estructura hidrográfica bien definida. Por la pendiente media y la longitud del cauce principal, se estima un tiempo de concentración de 17.53 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

La variación altitudinal de la cuenca oscila desde 5 610 m s.n.m. hasta el nivel del mar, lo que implica variedad climática y ecológica; la pendiente es de escasa a considerablemente inclinada al contar con toposformas de sierra, lomeríos, valles y llanuras; el cauce principal registra un desnivel importante (Gráfica 4.1). Su curva hipsométrica (Gráfica 4.2) sugiere que se trata de una cuenca sedimentaria o de valle en fase de vejez. El coeficiente de masividad indica que es una cuenca muy montañosa y el coeficiente orográfico la define de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca del río Jamapa

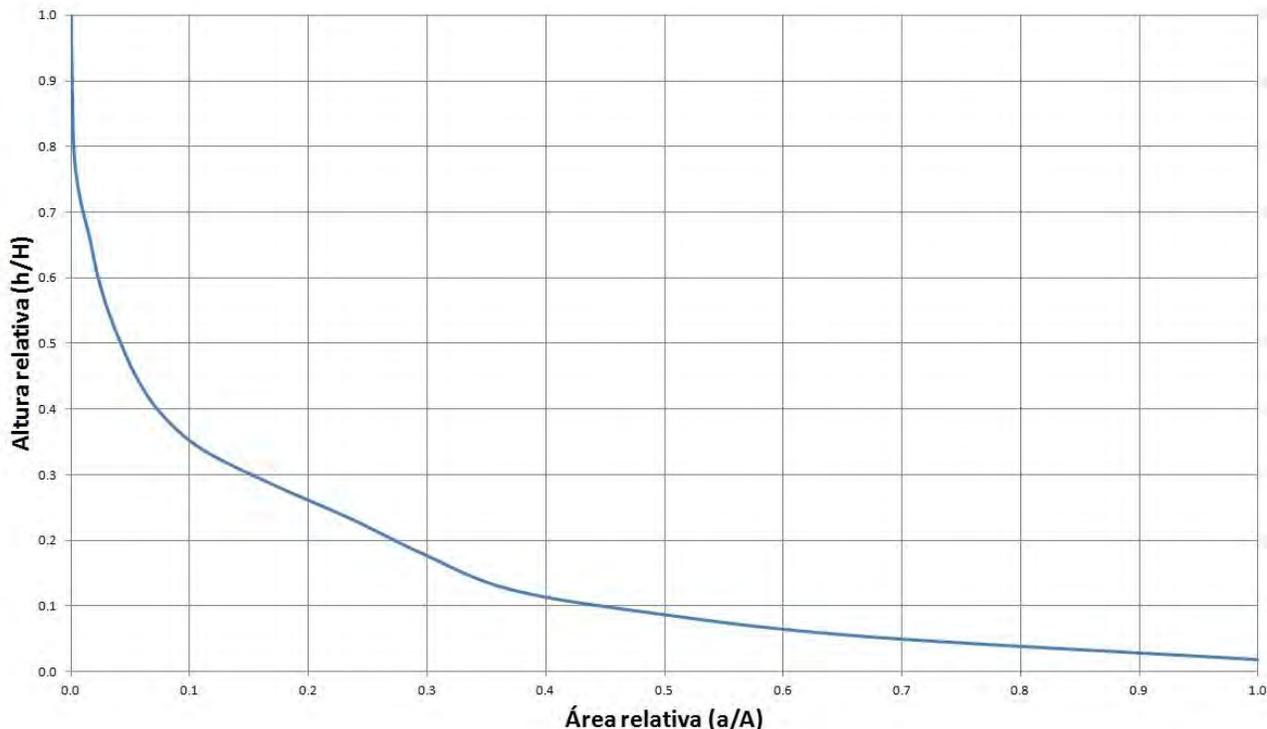
Gráfica 4.1



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Curva hipsométrica de la cuenca del río Jamapa

Gráfica 4.2



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

En la cuenca del río Jamapa más de la mitad de su territorio se configura de paisajes con pendiente escasa y suavemente inclinada, y poco más de una tercera parte se forma de horizontes accidentados y escarpados (Cuadro 4.3). Lo anterior al aplicar una reclasificación de la pendiente generada a partir de un modelo digital de elevación (Heras, 1976).

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.3

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	1 719.72	44.08
Suave	2-5	701.25	17.95
Accidentado medio	5-10	443.02	11.31
Accidentado	10-15	297.77	7.74
Fuertemente accidentado	15-25	402.79	10.24
Escarpado	25-50	331.57	8.48
Muy escarpado	>50	7.54	0.20
Total		3 903.66	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

4.2.2 Cuenca del río La Antigua

Es una cuenca de significativo aporte hídrico a la región, se sitúa en el sector central de la zona de estudio y se observa con orientación oeste-este. Su superficie aproximada es de 3 478.04 km², es decir, refiere a una cuenca grande y perímetro de 391.82 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad revelan que es una cuenca de forma alargada, que se asocia a fuertes relieves y pendientes pronunciadas; según índice de compacidad corresponde a forma oval-oblonga a rectangular oblonga respecto del cauce principal.

La red de drenaje es de tipos: dendrítico, subdendrítico y subparalelo. El cauce principal corresponde al río La Antigua con longitud aproximada de 166.62 km., que es alimentado por una red de corrientes tributarias dándole una magnitud de orden 7, según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0; por la pendiente media y la longitud del cauce principal, se estima un tiempo de concentración de 14.60 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

La cuenca registra valores altitudinales de 4 200 a 0 m s.n.m., con diferentes grados de pendiente desde muy baja en llanuras, media al predominar la topoforma de lomerío en gran parte de su extensión y hasta considerablemente inclinada en topoforma de sierra; el cauce principal igualmente tiene un rango altitudinal importante (Gráfica 4.3). Su curva hipsométrica (Gráfica 4.4) alude a una cuenca sedimentaria o de valle en fase de vejez. Su coeficiente de masividad y orográfico, establecen una cuenca muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca del río La Antigua

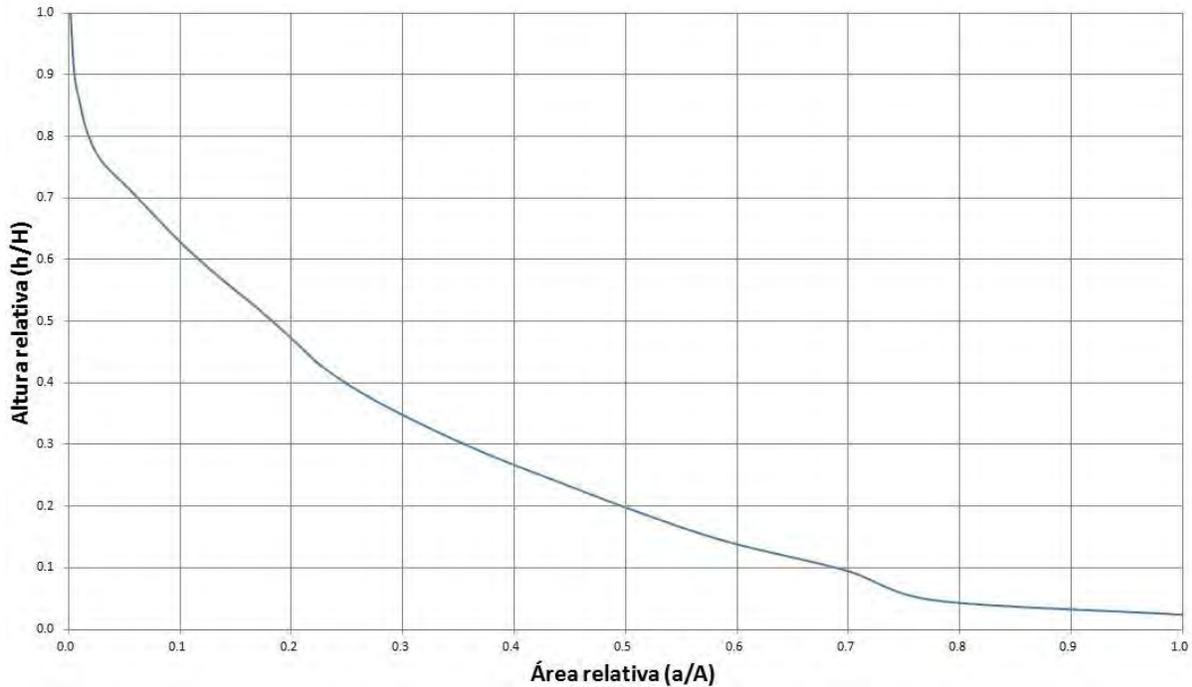
Gráfica 4.3



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Curva hipsométrica de la cuenca del río La Antigua

Gráfica 4.4



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

En la cuenca del río La Antigua cerca de la mitad de su territorio se configura de paisajes con pendiente escasa y suavemente inclinada, en el resto del área los paisajes son accidentados y escarpados (Cuadro 4.4). Lo anterior al aplicar una reclasificación de la pendiente generada a partir de un modelo digital de elevación (Heras, 1976).

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.4

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	884.03	25.50
Suave	2-5	689.30	19.79
Accidentado medio	5-10	551.59	15.76
Accidentado	10-15	382.32	11.15
Fuertemente accidentado	15-25	517.58	14.81
Escarpado	25-50	445.46	12.75
Muy escarpado	>50	7.76	0.24
	Total	3 478.04	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

4.2.3 Cuenca del río Actopan

Se sitúa en los sectores norte y centro-norte del área de estudio con orientación noroeste-sureste y oeste-este. Su superficie aproximada es de 1 980.86 km², por lo que se le cataloga como una cuenca de intermedia a grande; su perímetro es de 277.04 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad reportan que es una cuenca de forma alargada, que se asocia a fuertes relieves y pendientes pronunciadas; según índice de compacidad corresponde a forma oval-oblonga a rectangular oblonga respecto del cauce principal.

El patrón de drenaje es dendrítico, subdendrítico y subparalelo. El cauce principal corresponde al río Actopan con longitud aproximada de 119.34 km., es alimentado por una red de corrientes tributarias dándole una magnitud de orden 6 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0; el tiempo de concentración se estima en 14.60 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

El área de captación registra valores altitudinales desde 3 160 hasta 0 m s.n.m., el grado de pendiente que destaca es media al predominar la topoforma de lomerío, pero también existen pendientes considerablemente inclinada en topoforma de sierra y muy baja en llanura. El perfil topográfico del cauce principal muestra un rango altitudinal significativo (Gráfica 4.5). La curva hipsométrica (Gráfica 4.6) sugiere una cuenca con tendencia a una fase de madurez o en equilibrio. Su coeficiente de masividad y orográfico, establecen una cuenca muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca del río Actopan

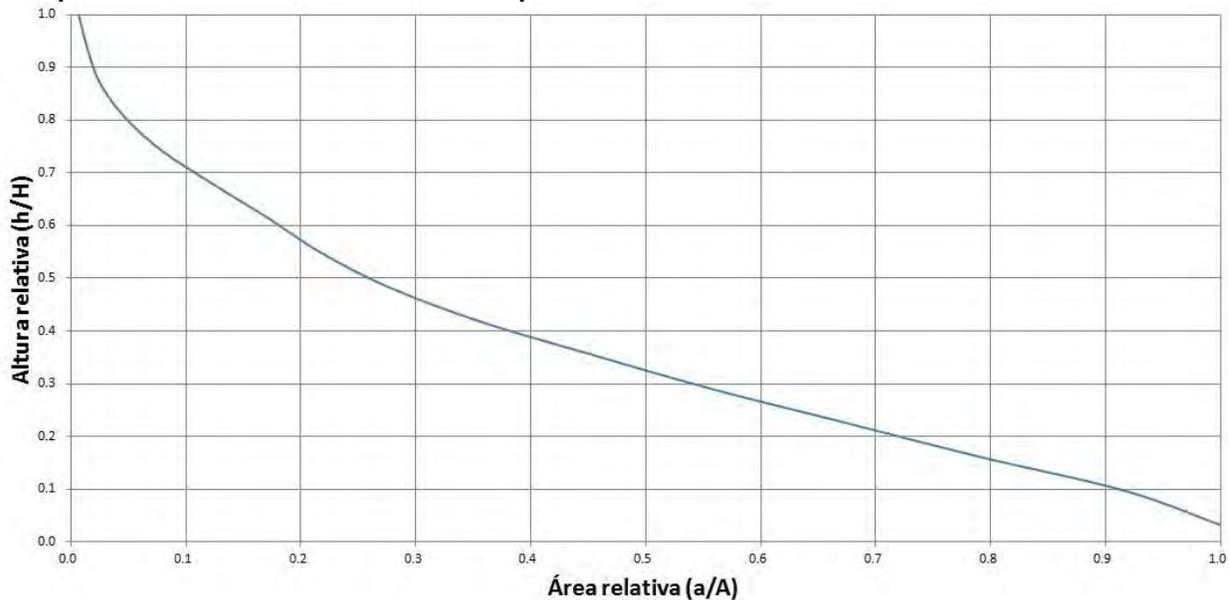
Gráfica 4.5



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Curva hipsométrica de la cuenca del río Actopan

Gráfica 4.6



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito. 2015.

En la cuenca del río Actopan poco más de 40% de su territorio se configura de paisajes con pendiente escasa y suavemente inclinada, en el resto del área los paisajes son accidentados y escarpados (Cuadro 4.5). Lo anterior al aplicar una reclasificación, generada a partir de un modelo digital de elevación (Heras, 1976).

4.2.4 Cuenca del río Agua Fría (Pajaritos)

Es una cuenca de menor extensión en comparación con las anteriores, se sitúa en el sector noreste con orientación norte-sur y oeste-este. Su superficie aproximada es de 271.1 km², por lo que se le cataloga como una cuenca de intermedia a pequeña con perímetro de 114.85 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad notifican que es de forma alargada, que se asocia a fuertes relieves y pendientes pronunciadas; según índice de compacidad corresponde a forma oval-oblonga a rectangular oblonga respecto del cauce principal.

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.5

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	419.56	21.30
Suave	2-5	398.32	20.06
Accidentado medio	5-10	389.39	19.51
Accidentado	10-15	261.63	13.37
Fuertemente accidentado	15-25	325.52	16.31
Escarpado	25-50	185.03	9.37
Muy escarpado	>50	1.41	0.08
Total		1 980.86	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

La red de drenaje es dendrítica, el cauce principal es conocido en su zona alta como San Vicente, más abajo Mozomboa y Agua Fría en su desembocadura; en total tiene una longitud aproximada de 46.12 km., alimentado por una red de corrientes tributarias que le otorga la magnitud de orden 4 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0; el tiempo de concentración se estima en 7.34 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

Se registran valores altitudinales de 720 m s.n.m. al nivel del mar, el grado de pendiente que domina es media al predominar la topoforma de lomerío y posteriormente pendiente muy baja en llanura. El perfil topográfico del cauce principal muestra un rango altitudinal menor en comparación a las cuencas descritas con anterioridad (Gráfica 4.7). La curva hipsométrica (Gráfica 4.8) indica que se trata de una cuenca sedimentaria o de valle en fase de vejez. Su coeficiente de masividad y orográfico, la establecen como muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca del río Agua Fría

Gráfica 4.7



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Para esta cuenca, más de 60% de su territorio se configura de paisajes con pendiente escasa y suavemente inclinada, en el resto de las áreas se incluyen terrenos accidentados y escarpados (Cuadro 4.6). Lo anterior al aplicar una reclasificación de la pendiente generada a partir de un modelo digital de elevación (Heras, 1976).

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

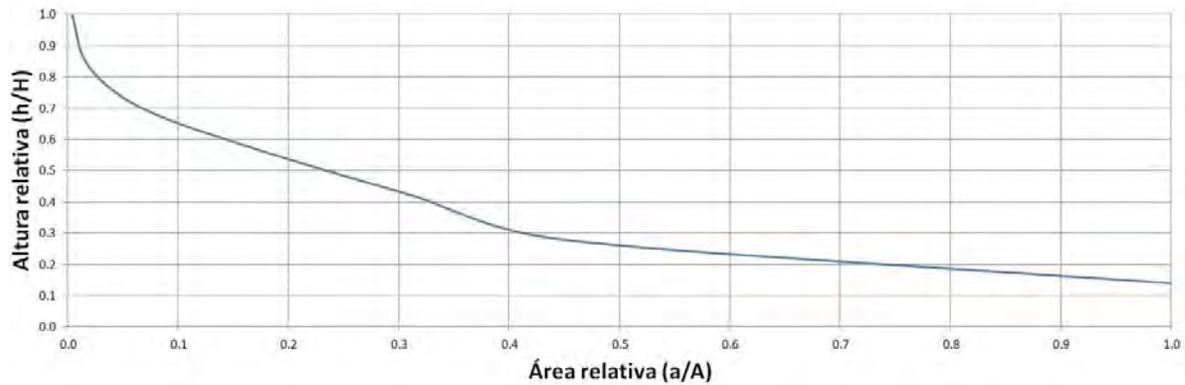
Cuadro 4.6

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	140.11	51.81
Suave	2-5	28.61	10.68
Accidentado medio	5-10	28.70	10.59
Accidentado	10-15	23.92	8.97
Fuertemente accidentado	15-25	34.16	12.14
Escarpado	25-50	15.59	5.81
Muy escarpado	>50	0.01	0.01
Total		271.10	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Curva hipsométrica de la cuenca del río Agua Fría (Pajaritos)

Gráfica 4.8



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

4.2.5 Cuenca del arroyo Paso El Limón

Se localiza en el sector noreste del área de estudio con orientación oeste-este. Su superficie aproximada es de 132.01 km², por lo que se le cataloga como una cuenca pequeña con perímetro de 66.09 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad indican que es una cuenca de forma alargada, que se asocia a fuertes relieves y pendientes pronunciadas; según índice de compacidad corresponde a forma oval-oblonga a rectangular oblonga respecto del cauce principal.

La red de drenaje es dendrítico, el cauce principal es conocido con el nombre de arroyo Raya de las Pailas y aguas abajo se le nombra Paso El Limón, en total tiene una longitud aproximada de 28.66 km., alimentado por una red de corrientes tributarias que le otorga la magnitud de orden 4 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0; por la pendiente y la longitud del cauce principal, se estima un tiempo de concentración de 3.38 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

El rango altitudinal de la cuenca es de 960 m s.n.m. al nivel del mar, domina la pendiente media al destacar la topoforma de lomerío. El perfil topográfico del cauce principal muestra un desnivel de más de 850 metros (Gráfica 4.9). La curva hipsométrica (Gráfica 4.10) revela una cuenca en etapa de equilibrio, es decir, geológicamente madura, también denominada cuenca de pie de montaña. Por sus coeficientes de masividad y orográfico, se interpreta como muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca del arroyo Paso El Limón

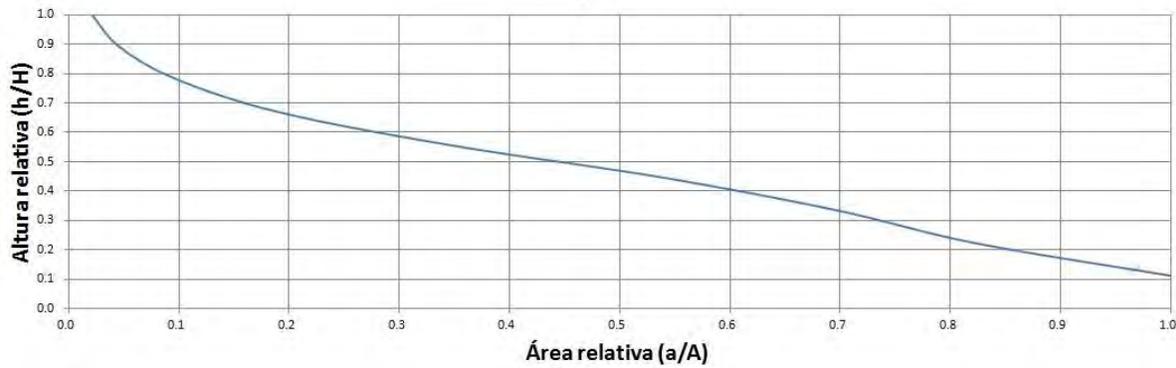
Gráfica 4.9



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Curva hipsométrica de la cuenca del arroyo Paso El Limón

Gráfica 4.10



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

En esta cuenca, más de 80% de su territorio se configura de paisajes accidentados y escarpados (Cuadro 4.7), en el resto predominan los suaves y llanos.

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.7

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	10.91	8.35
Suave	2-5	14.79	11.08
Accidentado medio	5-10	18.62	13.98
Accidentado	10-15	20.96	16.33
Fuertemente accidentado	15-25	48.63	36.23
Escarpado	25-50	18.10	14.02
Total		132.01	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

4.2.6 Cuenca del arroyo Caño Gallegos

Se sitúa en el sector noreste del área de estudio con orientación oeste-este. Su superficie aproximada es de 91.61 km², por lo que se le clasifica como una cuenca pequeña y su perímetro es de 57.01 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad reportan que es de forma alargada, pero con relieves bajos; según índice de compacidad corresponde a forma oval-oblonga a rectangular oblonga respecto del cauce principal.

El patrón de drenaje es dendrítico, el cauce principal corresponde al arroyo Caño Gallegos su longitud aproximada de 13.32 km., el cual es alimentado por una red de corrientes tributarias dándole una magnitud de orden 4 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0; el tiempo de concentración se estima en 1.95 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

El área de captación registra valores altitudinales de 720 m s.n.m. a la línea de costa, el grado de pendiente que resalta es media al predominar la topoforma de lomerío y pendiente muy baja en llanura. El perfil topográfico del cauce principal muestra un rango altitudinal de poco más de 50 metros, aunque sus altitudes sean mayores (Gráfica 4.11). La curva hipsométrica (Gráfica 4.12) sugiere una cuenca sedimentaria o de valle en fase de vejez. Sus coeficientes de masividad y orográfico, establecen que es muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Para esta cuenca, poco más de 50% de su territorio se configura de paisajes con pendiente escasa y suavemente inclinada, en el resto del área son accidentados y escarpados (Cuadro 4.8). Lo anterior al aplicar una reclasificación de la pendiente generada a partir de un modelo digital de elevación (Heras, 1976).

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca del arroyo Caño Gallegos

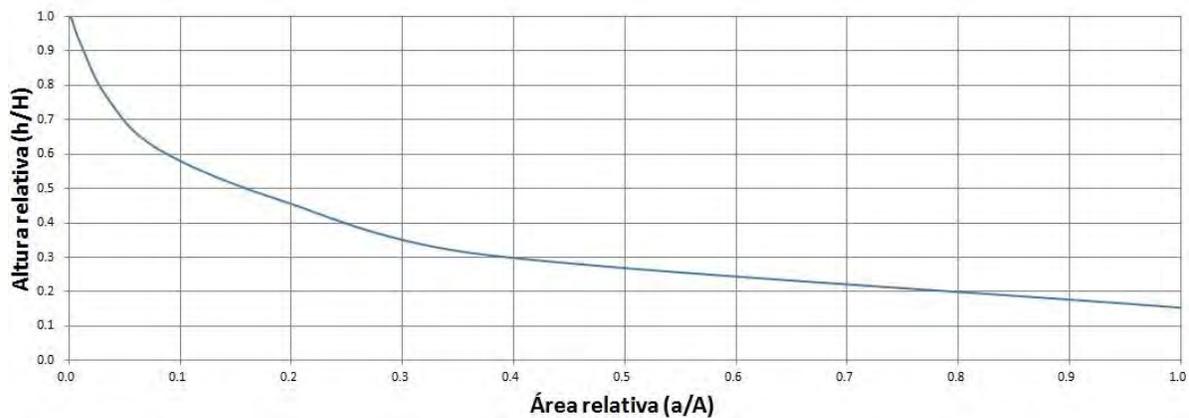
Gráfica 4.11



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Curva hipsométrica de la cuenca del arroyo Caño Gallegos

Gráfica 4.12



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.8

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	32.25	35.26
Suave	2-5	14.60	15.99
Accidentado medio	5-10	10.95	11.94
Accidentado	10-15	9.34	10.23
Fuertemente accidentado	15-25	15.93	17.24
Escarpado	25-50	8.54	9.33
Muy escarpado	>50	0.0	0.0
Total		91.61	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

4.2.7 Cuenca de la laguna El Llano

Se ubica en el sector noreste con dirección suroeste-noreste. Su superficie aproximada es de 54.86 km², por lo que se le clasifica como una cuenca pequeña con perímetro de 38.46 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad reportan que es de forma alargada, con relieve accidentado y pendientes pronunciadas; según índice de compacidad corresponde a forma oval-redonda a oval-oblonga respecto del cauce principal.

La red de drenaje es dendrítica, el cauce principal corresponde al arroyo El Marín con longitud aproximada de 12.68 km., el cual es alimentado por una red de corrientes tributarias dándole una magnitud de orden 4 según red

hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0. Por la pendiente media y la longitud del cauce principal, se estima un tiempo de concentración de 1.73 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

La cuenca registra valores altitudinales de 580 m s.n.m. a la línea de costa, el grado de pendiente que destaca es media al predominar la topoforma de lomerío. El perfil topográfico del cauce principal muestra un rango altitudinal de poco más de 400 metros (Gráfica 4.13). La curva hipsométrica (Gráfica 4.14) sugiere una cuenca geológicamente madura en etapa de equilibrio. Según coeficientes de masividad y orográfico, se trata de una muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.



Para esta cuenca, casi 60% de su territorio se configura de paisajes accidentados o escarpados y en el resto del área son suaves y llanos con pendiente escasa y suavemente inclinada, (Cuadro 4.9).

4.2.8 Cuenca de la laguna Farallón

Se sitúa en el sector oriente con alineación oeste-este. Su superficie aproximada es de 9.93 km², por lo que se le especifica como una cuenca muy pequeña con perímetro de 16.1 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad reportan que es una cuenca de relieve bajo de forma cuadrada y ensanchada respecto del cauce principal; según índice de compacidad corresponde a una forma oval-redonda a oval-oblonga con base en el cauce principal.

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.9

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	15.12	27.67
Suave	2-5	8.33	15.00
Accidentado medio	5-10	8.83	16.10
Accidentado	10-15	8.29	15.27
Fuertemente accidentado	15-25	11.46	20.67
Escarpado	25-50	2.81	5.26
Muy escarpado	>50	0.02	0.03
	Total	54.86	100.00

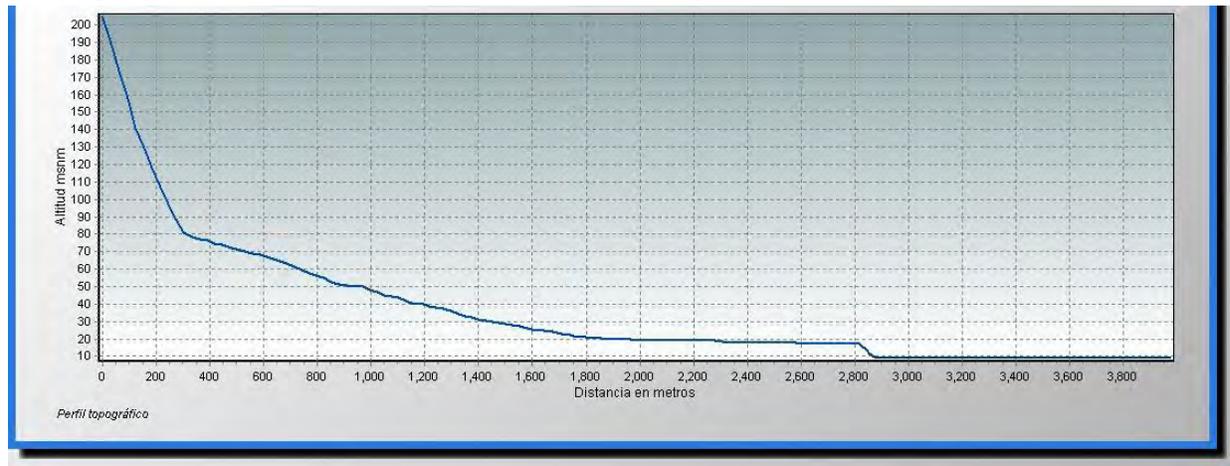
Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

La escasa red de drenaje es dendrítica, el cauce principal tiene una longitud aproximada de 2.85 km., el cual es alimentado por una red de corrientes tributarias presentando una magnitud de orden 2 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0. Por la pendiente media y la longitud del cauce principal, se estima un tiempo de concentración de 0.42 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

La cuenca registra valores altitudinales de 260 m s.n.m. a la línea de costa, el grado de pendiente que destaca es media al predominar la topoforma de lomerío. El perfil topográfico del cauce principal muestra un rango altitudinal de poco más de 200 metros (Gráfica 4.15). La curva hipsométrica (Gráfica 4.16) indica que se trata de una cuenca sedimentaria o de valle en fase de vejez. Su coeficiente de masividad y orográfico, establecen una cuenca muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca de la laguna Farallón

Gráfica 4.15



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

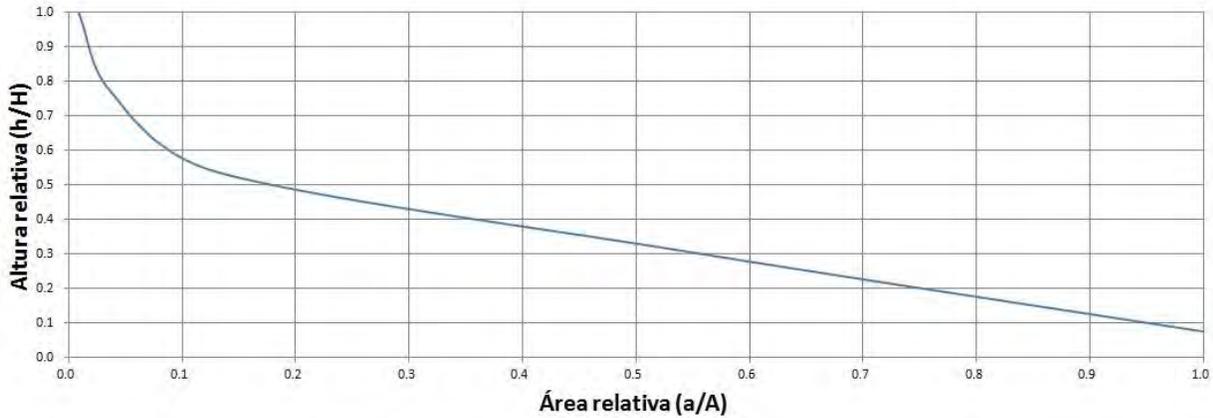
En la cuenca laguna Farallón, poco más de la mitad de su territorio se configura de paisajes con pendiente escasa y suavemente inclinada, en el resto del área los paisajes son accidentados y escarpados (Cuadro 4.10). Lo anterior al aplicar una reclasificación de la pendiente generada a partir de un modelo digital de elevación (Heras, 1976).

4.2.9 Cuenca de la laguna de La Sal

Se localiza en el sector noreste del área de estudio con orientación noroeste-sureste. Su superficie aproximada es de 8.1 km², por lo que se le especifica como una cuenca muy pequeña con perímetro de 19.64 km (Cuadro 4.1). Los índices de relación de elongación, factor de forma y coeficiente de circularidad significan que es de fuerte relieve de pendientes pronunciadas y de forma alargada respecto del cauce principal; según índice de compacidad corresponde a forma oval-oblonga a rectangular-oblonga en relación con el cauce principal.

Curva hipsométrica de la cuenca de la laguna Farallón

Gráfica 4.16



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.10

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	3.67	37.19
Suave	2-5	1.78	18.08
Accidentado medio	5-10	2.04	20.01
Accidentado	10-15	0.94	9.65
Fuertemente accidentado	15-25	1.25	12.47
Escarpado	25-50	0.25	2.59
Total		9.93	100.00

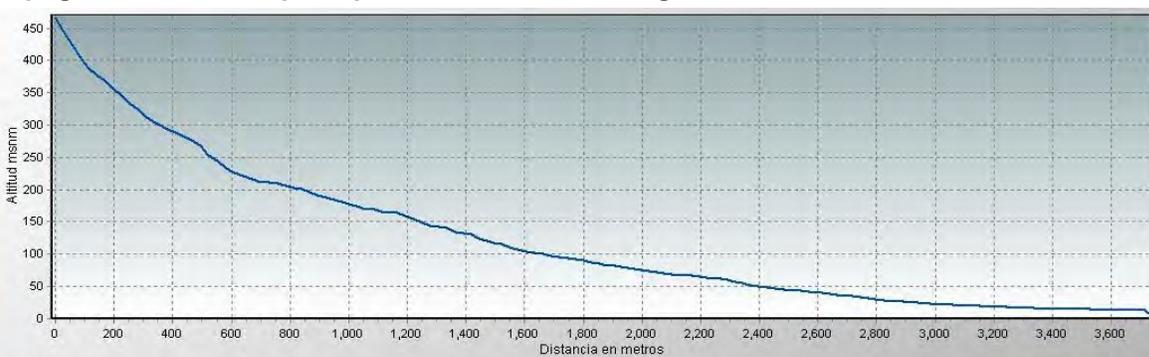
Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Su incipiente red de drenaje es dendrítico, el cauce principal tiene una longitud aproximada de 5.84 km., el cual es alimentado por una red de corrientes tributarias dándole una magnitud de orden 2 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0. Se estima un tiempo de concentración de 0.67 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

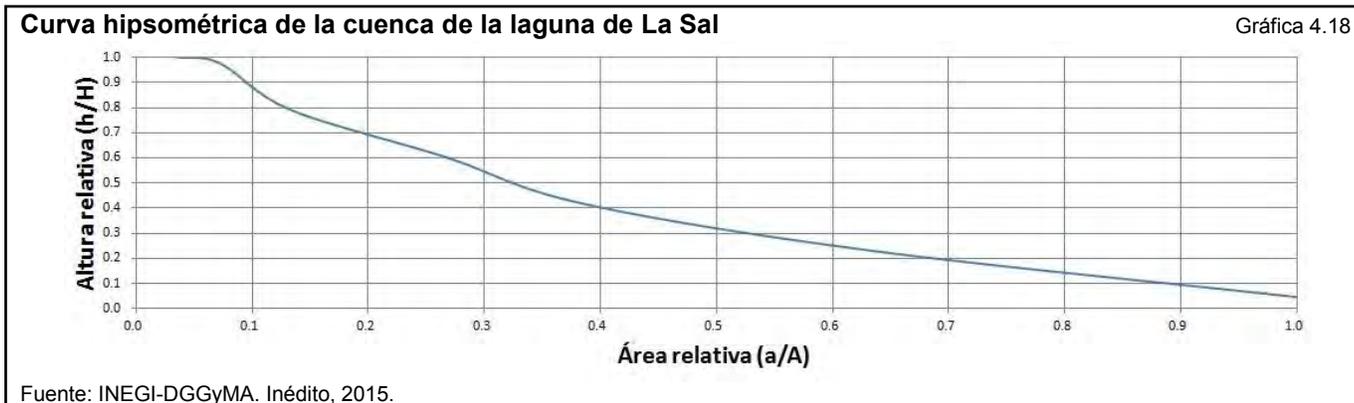
En la cuenca se registran valores altitudinales de 580 m s.n.m. a la cota cero, el grado de pendiente que prevalece es media al predominar la topografía de lomerío. El perfil topográfico del cauce principal muestra un rango altitudinal de poco más de 450 metros (Gráfica 4.17). La curva hipsométrica (Gráfica 4.18) presenta una cuenca geológicamente madura en etapa de equilibrio. Su coeficiente de masividad y orográfico, la establecen como una muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca de la laguna de La Sal

Gráfica 4.17



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.



En esta área de captación, casi 60% de su territorio se configura de paisajes accidentados y escarpados (Cuadro 4.11), el resto cuenta con pendiente escasa y suavemente inclinada.

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.11

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	2.70	33.58
Suave	2-5	0.83	10.41
Accidentado medio	5-10	1.15	13.66
Accidentado	10-15	1.14	14.20
Fuertemente accidentado	15-25	1.71	21.02
Escarpado	25-50	0.57	7.12
	Total	9.93	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

4.2.10 Cuenca de la laguna Verde

Con tan sólo 3.43 km² de área y 11.33 km de perímetro, es la cuenca más pequeña de la zona de estudio ubicada en el extremo noreste. Su índice de relación de elongación le confiere relieve accidentado; el factor de forma y el índice de relación de circularidad se contraponen ya que el primero propone una cuenca ensanchada respecto del cauce principal y el segundo la cataloga como alargada. Según índice de compacidad corresponde a forma oval-oblonga a rectangular-oblonga en relación con el cauce principal.

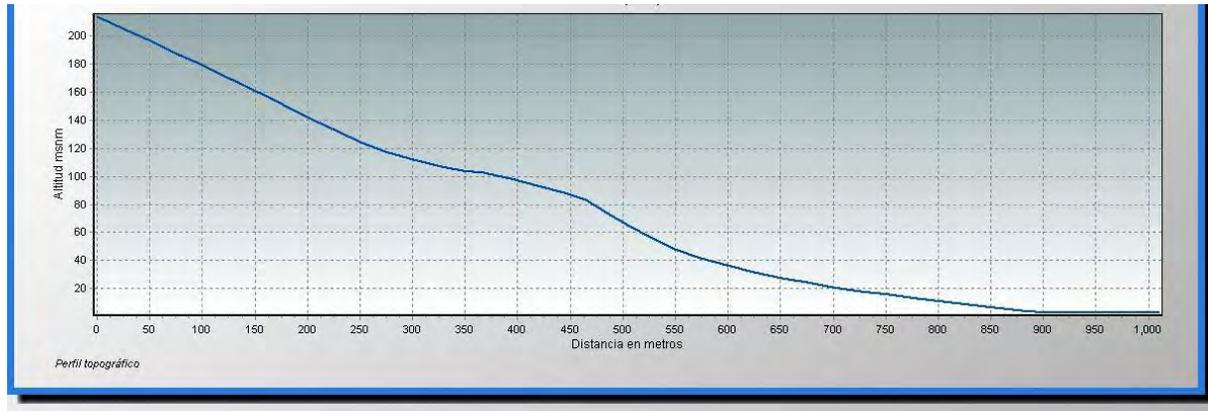
La escasa red de drenaje es dendrítico, el cauce principal tiene una longitud aproximada de 1.38 km., con magnitud de orden 1 según red hidrográfica escala 1: 50 000 edición 2.0. Se estima un tiempo de concentración de 0.10 hrs., para la estabilización del caudal saliente (Cuadro 4.2).

La zona de captación registra valores altitudinales de 260 m s.n.m. a la línea de costa, el grado de pendiente que destaca es media al predominar la topoforma de lomerío. El perfil topográfico del cauce principal muestra un rango altitudinal de poco más de 200 metros (Gráfica 4.19). La curva hipsométrica (Gráfica 4.20) indica que es una cuenca sedimentaria o de valle en fase de vejez. Su coeficiente de masividad y orográfico, la determinan como una muy montañosa de geología reciente o bien con características de erodabilidad baja.

En la cuenca laguna Verde poco más de 40% de su territorio se conforma de paisajes con pendiente escasa y suavemente inclinada, en el resto del área son accidentados y escarpados (Cuadro 4.12). Lo anterior al aplicar una reclasificación de la pendiente generada a partir de un modelo digital de elevación (Heras, 1976).

Perfil topográfico del cauce principal de la cuenca de la laguna Verde

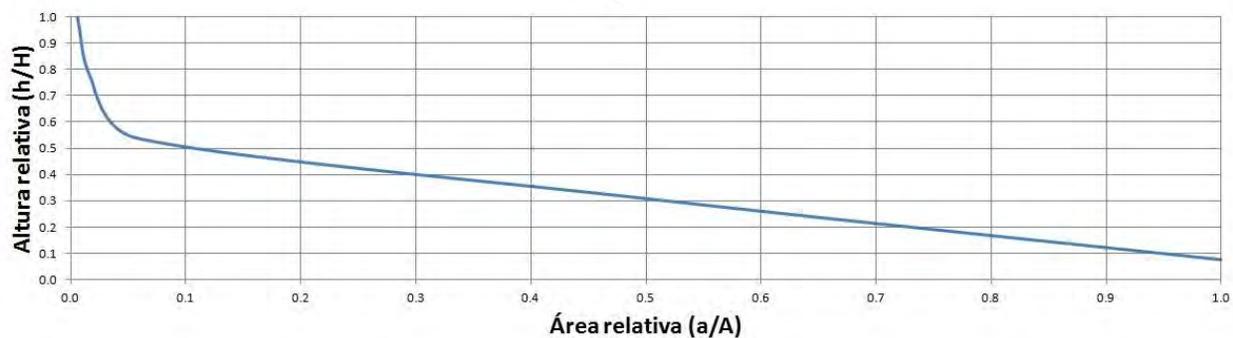
Gráfica 4.19



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Curva hipsométrica de la cuenca de la laguna Verde

Gráfica 4.20



Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015.

Tipo de terreno según porcentaje de pendiente, Heras (1976)

Cuadro 4.12

Descripción	Rango (%)	Área km ²	Área (%)
Llano	0-2	1.54	33.58
Suave	2-5	0.54	10.41
Accidentado medio	5-10	0.51	13.66
Accidentado	10-15	0.42	14.20
Fuertemente accidentado	15-25	0.36	21.02
Escarpado	25-50	0.06	7.12
	Total	9.93	100.00

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2014.

4.3 Zonas funcionales

Las zonas funcionales de una cuenca, como su nombre lo indica, tienen que ver con la funcionalidad del sistema hidrográfico superficial. Perrin (1965) señala que se puede dividir una cuenca en zonas y que a menudo se establecen en función del perfil longitudinal del cauce. Por su parte Schumm (1977), contempla tres zonas en una cuenca atendiendo a la dinámica de los sedimentos, la primera se caracteriza por la producción de sedimentos y agua; en la segunda predomina el transporte de ambos; y la tercera se determina por su deposición.

En 2009, el Instituto Nacional de Ecología (INE) elaboró el mapa nacional de zonas funcionales. Define la zona funcional alta como el área de captación del agua, la zona funcional media de almacenamiento o transición y la baja de descarga (Black, 1996; Brooks *et al.*, 2007).

Dicha cartografía fue establecida como base para generar una nueva delimitación (Mapa 4.4) con apoyo de insumos de mayor escala considerando las siguientes variables: hipsometría, perfil longitudinal del cauce, sistema hidrográfico y su magnitud de orden, relieve y topografía, tipo de vegetación y distribución climática.

4.3.1 Zona funcional alta

Incluye un amplio rango altimétrico desde 500 hasta 5 610 m s.n.m. que refiere al punto de mayor elevación del país correspondiente a la cúspide del volcán Pico de Orizaba, también conocido como Citlaltépetl. Existen además otros elementos orográficos sobresalientes como los cerros Cantón, Cofre de Perote, Mazazontipan, El Palmar, Las Cumbres, Chichimeco y La Cruz; además de la sierra Atoyac.

Las corrientes hidrográficas que aquí se originan exhiben patrones de drenaje dendrítico a subdendrítico, formados por la confluencia de numerosas corrientes perennes e intermitentes de corta longitud y de baja a mediana magnitud de orden. La forma de relieve principal es la sierra volcánica con estratovolcanes o estratovolcanes aislados, le sigue la sierra volcánica de laderas escarpadas y posteriormente la de laderas tendidas; incluye también diversos tipos de lomeríos conformados de basalto, aluvión antiguo, típico y con llanuras; en general es una zona donde el paisaje se compone de terrenos accidentados a muy escarpados con pendientes fuertes. Los climas templados con régimen de lluvia de verano e intermedio abarcan la mayor área, le siguen los cálidos con los tres regímenes de lluvia y en mucha menor extensión los fríos, con régimen de lluvias intermedio.

Los tipos de vegetación son numerosos, se relacionan por extensión: en primera instancia existen los bosques de pino, mesófilo de montaña, de encino y de oyamel; de menor cobertura se desarrolla la pradera de alta montaña. Esta zona funcional conserva más vegetación natural que las demás, aun así, en más de la mitad de su territorio se practica la agricultura y la tendencia del crecimiento de localidades y zonas urbanas afecta a la vegetación. Se establecen diferentes cabeceras municipales como Rafael J. García, Quimixtlán, Ayahualco, Naolinco de Victoria y Alto Lucero por citar algunas.

En cuanto a infraestructura hidráulica, en esta zona se localiza la presa derivadora Los Colibríes sobre el cauce del río Huixilapan, de gran importancia ya que de ella se abastecen varias localidades que incluyen a las cabeceras municipales Xico y Coatepec, además de la capital del estado Xalapa-Enríquez, a través del acueducto Huixilapan-Xalapa.

4.3.2 Zona funcional media

La zona de transición o media se sitúa aproximadamente entre 100 y 1 850 m s.n.m. Son importantes en número las barrancas con diferente profundidad o disección vertical que se han formado por la acción erosiva del agua de lluvia. Destacan los siguientes elementos orográficos: Cerro Tres Picos, Mesa Olvera y las barrancas Paso Capitán y Paso Venado.

Las corrientes hidrográficas forman sistemas de drenaje más robustos, anchos y desarrollados con patrones de tipo dendrítico, subdendrítico y subparalelo; se observa menor densidad de corrientes, pero con mayor longitud y orden. El sistema de topografía dominante es el típico lomerío basalto, de aluvión antiguo y con llanuras; en menor extensión se distingue la llanura con lomerío; el paisaje se torna más regular y de pendientes más suaves. El clima es de tipo cálido con régimen de lluvias intermedio y de verano.

La zona funcional media se caracteriza por contar con reducidas áreas de vegetación original, ya que en más de 85% de su extensión el uso de suelo es agrícola, de asentamientos humanos y zonas urbanas; sin embargo, existen aún las selvas bajas caducifolias y medianas subcaducifolias, y bosques de encino y mesófilo de montaña.

Existe la presa de almacenamiento Insurgente José Evaristo Molina, regionalmente conocida como presa Miradores, el objetivo de su construcción fue para riego y se ubica al sureste de la ciudad de Xalapa Enríquez; al sur y sobre el cauce del río Atoyac, fueron construidas dos pequeñas presas derivadoras las cuales carecen de nombre propio.

En esta zona funcional se asientan importantes zonas urbanas como la capital del estado Xalapa Enríquez y las cabeceras municipales Coatepec, Xico, Cosautlán de Carvajal, Huatusco de Chicuellar, Coscomatepec de Bravo y Córdoba.

4.3.3 Zona funcional baja

Abarca las zonas altimétricas de menor elevación, con un intervalo de 220 m s.n.m. a la línea de costa, donde los grandes ríos desembocan a la vertiente del golfo de México. Se trata de un área con mínima energía de relieve, pendiente baja y de un paisaje conformado por lomeríos y llanuras aluviales y, por consiguiente, carente de cerros o elevaciones importantes.

En esta zona las corrientes hidrográficas adquieren un patrón dendrítico y subdendrítico con la peculiaridad de tornarse sinuosas y con amplios cauces, además se registran los mayores órdenes de corrientes. Los climas cálidos subhúmedos con régimen de lluvias de verano son los que se registran con escasos rodales de vegetación como selva baja caducifolia, vegetación de dunas costeras, manglar y popal que en su conjunto sólo ocupan 9.74% de la zona, en la porción restante, existe uso de suelo agrícola, de asentamientos humanos y zonas urbanas.

En cuanto a infraestructura hidráulica, es aquí donde se establece el distrito de riego 035 La Antigua. Sobre el cauce del río Actopan se construyeron las presas derivadoras La Esperanza, Santa Rosa, El Zapote y El Bobo; en el río La Antigua existe una presa derivadora que es conocida con el nombre del mismo río.

La zona funcional media es la de mayor superficie en la zona de trabajo (Cuadro 4.13), no existe diferencia significativa en extensión entre las zonas alta y baja.

Distribución porcentual del área de estudio por zona funcional

Cuadro 4.13

Zona funcional	Superficie (km ²)	Porcentaje
Total	9 933.59	100.00
Media	4 551.70	45.82
Baja	2 763.68	27.82
Alta	2 618.21	26.36

Fuente: INEGI-DGG y MA. Inédito, 2014.

A nivel cuenca, las zonas funcionales media y baja son las de mayor superficie dentro del área de estudio (Cuadro 4.14). Por ejemplo, para las cuencas más grandes como son las de los ríos Jamapa, La Antigua y Actopan, la zona funcional media es más extensa dentro de su territorio; para las de menor área, su zona funcional más extensa es la baja; sólo en la cuenca del arroyo Paso El Limón, la zona funcional alta es la de mayor superficie.

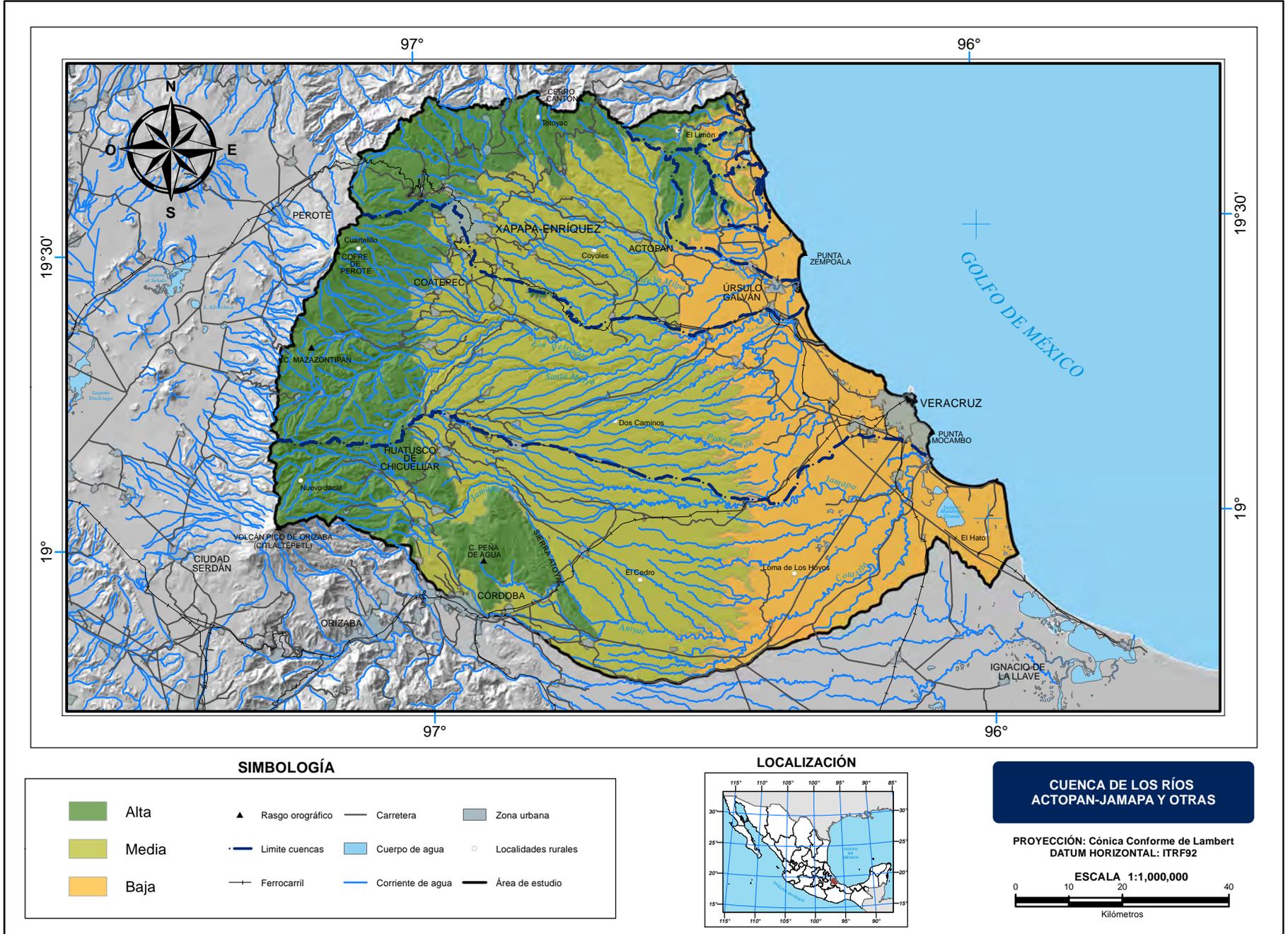
Distribución porcentual del área de estudio por cuenca y zona funcional

Cuadro 4.14

Cuenca	Alta (%)	Media (%)	Baja (%)	Total (%)
Río Jamapa	19.94	45.14	34.92	100
Río La Antigua	28.08	47.60	24.32	100
Río Actopan	39.58	50.52	13.90	100
Río Agua Fría (Pajaritos)	27.05	16.48	56.47	100
Arroyo Paso El Limón	55.91	26.44	17.65	100
Arroyo Caño Gallegos	6.55	30.35	63.10	100
Laguna El Llano	7.13	39.36	53.51	100
Laguna Farallón	-	11.08	88.92	100
Laguna de La Sal	9.75	36.92	53.33	100
Laguna Verde	-	18.08	81.92	100

Fuente: INEGI-DGG y MA. Inédito, 2014.

Zonas funcionales



Fuente: INE-SEMARNAT: Zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México, escala 1: 250 000, 1era edición, 2009. Modificado por INEGI.

4.4 Infraestructura hidráulica

Las obras hidráulicas constituyen un conjunto de estructuras con el objeto de regular el flujo de las aguas superficiales, cualquiera que sea el origen, sus fines son el almacenamiento y distribución, además de protección de infraestructura y población; la zona de estudio está constituida por estaciones hidrométricas, plantas de tratamiento de aguas residuales, vasos de presas y bordos y distritos de riego

4.4.1 Estaciones hidrométricas

En el área de estudio existen 17 estaciones hidrométricas cuyo objetivo de instalación es conocer los gastos disponibles de los ríos y canales, además de tener el conocimiento y control de las variaciones ocurridas en los diferentes periodos de un año. Del total de estaciones, cuatro se encuentran fuera de uso y las restantes son operadas por la Comisión Nacional del Agua.

La cuenca del río Actopan cuenta con siete estaciones, el mayor número; le sigue la cuenca del río La Antigua con cinco, posteriormente la cuenca del río Jamapa con cuatro y la restante pertenece a la cuenca del río Agua Fría (Pajaritos).

La estación José Cardel que se ubica sobre el río La Antigua contiene los registros más altos en volumen y gastos (Cuadro 4.15) del área de estudio. Para el periodo 1951-2010, sus datos son los siguientes: volumen medio anual de 1 771.27 millones de metros cúbicos (Mm³), gasto medio anual de 56.12 miles de metros cúbicos (Mm³) y gasto máximo de 6 482.74 Mm³.

Estaciones hidrométricas

Cuadro 4.15

Nombre	Clave	Rasgo Hidrográfico	VMA (Miles de m ³)	Gasto (m ³ /seg)		
				Máximo	Medio anual	Mínimo
El Zetal**	28188	Río Actopan	286 724.3	1 086	8.91	0
Actopan II	28030	Río Actopan	527 157.1	1 220	5.11	0
Km 0+300	28086	CP Santa Rosa	121 951.2	11	3.86	0
Km 0+200	28105	CP La Esperanza	54 494.65	44	1.72	0
El Naranjillo**	28108	Río Actopan	506 366.01	2 583	16.03	0.15
N/D	N/D	Río Actopan	-1	-1	-1	-1
Úrsulo Galván**	28106	Río Actopan	-1	943	-1	0.51
Los Ídolos	28111	Río Ídolos	144 368.36	800	4.64	0
José Cardel	28003	Río La Antigua	1 771 278.31	6 482.74	56.12	0
Jalcomulco	28134	Río La Antigua	1 560 195.7	3 314	49.41	10.4
Carrizal	28125	Río La Antigua	1 378 775.37	3 906.1	45.95	5.67
Km2 + 200	28057	Canal Lateral Cardel	77 493.89	8.67	2.45	0
Km2 + 150	28092	Canal Principal	227 653.57	98.7	7.21	0
El Tejar	28040	Río Jamapa	556 644.3	899.87	18	0
Paso del Toro**	28039	Río Cotaxtla	1 391 331	920	44.07	0
N/D	N/D	Río Jamapa	-1	-1	-1	-1
N/D	N/D	Río Cotaxtla	-1	-1	-1	-1

*Suspendida, **Fuera de uso.

Fuente: INEGI-DGGyMA. 2014. CONAGUA. Subdirección General Técnica. Estaciones Hidrométricas. 2010.

Existen cuatro estaciones de nueva generación cuyos datos son enviados en tiempo real por medios digitales, tal es el caso de la hidrométrica Actopan II instalada sobre el cauce del río del cual toma su nombre (Fotografía 4.5).

4.4.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) debe tener como propósito eliminar toda contaminación sólida, química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera que el agua esté disponible en el ambiente en forma segura.



Fotografía 4.5: Estación hidrométrica de nueva generación sobre el cauce del río Actopan, noviembre de 2014.

Según Inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales 2013 de la CONAGUA y trabajo de campo, en la zona de estudio se localizan 45 unidades de tratamiento (Cuadro 4.16). El municipio que más PTAR gestiona es Veracruz con 22, de las cuales dos están fuera de uso. La planta Playa Norte es la de mayor capacidad instalada con 1 600 litros por segundo (lps), construida en la zona urbana del puerto de Veracruz cuyo proceso es de filtros biológicos y el agua tratada, descarga al golfo de México; el organismo responsable de su manejo el Sistema de Agua y Saneamiento (SAS).

Le siguen en capacidad instalada las plantas Xalapa PTAR 1 y Xalapa PTAR 2 con 1 300 y 250 lps respectivamente. Es mínimo el reuso del agua tratada con fines de riego en la zona de estudio.

Plantas de tratamiento de aguas residuales

Cuadro 4.16

Nombre	Proceso	Capacidad	Gasto operación
			(L/seg)
1 Banderilla	Filtros biológicos	1 000	700
2 Xalapa PTAR 1	Anaerobio y lodos activados	1 300	600
3 Residencial Dos Ríos	N/D	-1	-1
4 Xalapa PTAR 2	Aerobio y lodos activados	250	125
5 El Zapotito	Rafa o wasb	1	1
6 María Enriqueta	Anaerobio	140	140
7 Jalcomulco	Laguna de estabilización	12	6
8 Chilchotla	Laguna de estabilización	12	12
9 Valle Dorado	Anaerobio	17	4
10 Playa Norte	Filtros biológicos	1 600	1 600

(Continúa)

Nombre	Proceso	Capacidad	Gasto operación
		(L/seg)	(L/seg)
11 Río Medio	Lagunas aireadas	120	120
12 Las Hortalizas	Filtros biológicos	15	15
13 Chivería	Tanque imhoff	28	11
14 Los Volcanes	Lodos activados	40	30
15 Totutla	N/D	-1	-1
16 Santa María	N/D	-1	-1
17 Lomas del Coyol	Lodos activados	20	18
18 Valente Díaz	Lodos activados	7	6
19 La Florida	Lodos activados	27	27
20 Geovillas del Sol	Lodos activados	6.5	6.5
21 Costa de Oro	Lodos activados	150	100
22 La Floresta 1	Lodos activados	75	60
23 Olmeca	Lodos activados	230	180
24 Petrolera Heriberto Kehoe*	Lodos activados	20	-1
25 Malibrán*	Lodos activados	-1	-1
26 La Floresta 2	Lodos activados	30	30
27 Geovillas del Puerto	Lodos activados	45	45
28 Flores del Valle	Lodos activados	10	10
29 Laguna Real	Lodos activados	25	25
30 Torres Arrecifes	Lodos activados	5	5
31 Las Vegas	Lodos activados	40	15
32 Matacocuitle	Lodos activados	70	35
33 Carranza	Lodos activados	230	200
34 Fracc. Tampiquera*	Lodos activados	-1	-1
35 Boca del Río	Lodos activados	40	20
36 Arboleda San Ramón	N/D	-1	-1
37 Fracc. Buena Vista	Rafa o wasb	3	3
38 Casa Blanca	Lodos activados	12	10
39 Loc. Mandinga y Matoza	N/D	-1	-1
40 U H Central Progreso	Anaerobio	8	5
41 Cerezos*	N/D	-1	-1
42 Cecadys	Anaerobio	2	2
43 Lomas San Marcial	Anaerobio	5	3
44 División del Norte	N/D	-1	-1
45 Las Cuadras	N/D	-1	-1

Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Agua, Potable, Drenaje y Saneamiento de Aguas Residuales.

Existe en funcionamiento la única planta nucleoelectrónica del país llamada Laguna Verde (Fotografía 4.6) bajo la gestión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En operación normal, una nucleoelectrónica libera cierta cantidad de gases que se transforman en minerales radioactivos; un ejemplo es el estroncio, que se incorpora a la tierra integrándose al ciclo biológico, los cultivos y los pastos que son consumidos por el ganado, posteriormente el mineral pasa a la leche y se va acumulando en los huesos, tardándose 28 años para bajar su nivel de radioactividad e incrementándose el riesgo de padecer cáncer, leucemia u otras afectaciones.

4.4.3 Vasos de presas y bordos

En el área de estudio existe la presa de almacenamiento Insurgente José Evaristo Molina, conocida regionalmente como presa Miradores (Fotografía 4.7 y mapa 4.5). Se localiza al suroeste de la ciudad de Xalapa Enríquez en la zona funcional media de la cuenca del río Actopan, fue construida sobre el cauce del río Azul por determinación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos e inaugurada el 7 de septiembre de 1971 con fines de riego agrícola. La cortina es de gravedad y enrocamiento con longitud aproximada de 200 metros y una altura promedio de 15 metros; el vertedor de demasías es de descarga directa, tipo lavadero con localización central; la obra de toma es de tubería a presión y canal por su margen derecha.

Al noreste de la ciudad de Córdoba, sobre el cauce del río Atoyac en la zona funcional media de la cuenca del río Jamapa (Mapa 4.6), se construyeron dos pequeñas presas derivadoras (carecen de nombre propio) con fines de riego agrícola para terrenos ubicados en los municipios de Amatlán de los Reyes, Atoyac y Yanga, del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (Fotografía 4.8).



Fotografía 4.6: Planta nucleoelectrica Laguna Verde, noviembre de 2014.



Fotografía 4.7: Presa Insurgente José Evaristo Molina (Miradores), Emiliano Zapata, Veracruz, noviembre de 2014.



Fotografía 4.8: Presa derivadora sobre el cauce del río Atoyac, Amatlán de los Reyes, Veracruz, noviembre de 2014.

La presa derivadora Los Colibríes (Fotografía 4.9) construida sobre el cauce del río Huixilapan en la zona funcional alta de la cuenca del río La Antigua, es de gran importancia para la región ya que de ella se abastecen varias localidades que incluyen a las cabeceras municipales Xico y Coatepec, así como la capital del estado Xalapa-Enríquez, a través del acueducto Huixilapan-Xalapa con longitud de 64 km. Además de captar agua, en el sitio existe una planta purificadora con capacidad de 1 050 litros por segundo⁴.

Así mismo se localizan cinco presas derivadoras que pertenecen a la infraestructura del distrito de riego 035 La Antigua, las cuales son descritas en el apartado de distritos de riego.

4.4.4 Distritos de riego

El distrito de riego 035 La Antigua se localiza al oriente del área de estudio en zonas funcionales bajas de las cuencas de los ríos La Antigua, Actopan y Agua Fría (Pajaritos), además de la cuenca del arroyo Caño Gallegos (Mapa 4.6). Abarca parte de los municipios de Actopan, Apazapan, Úrsulo Galván, La Antigua, Paso de Ovejas, Manlio Fabio Altamirano y Puente Nacional. Cuenta con una superficie física de 31 325.46 ha, de ellas 24 905.51 ha son de riego (Palmeros 2013), y el total de su extensión se localiza dentro del territorio de estudio.

Los decretos presidenciales de creación indican que originalmente fueron dos distritos de riego: 035 La Antigua y el 065 Río Actopan instaurados entre los años 1949 y 1954, además de un área anexada sin decreto (*ibid.*). Para fines operativos, el distrito de riego se divide en tres unidades, cada una integrada por un módulo de riego. De esta manera existe la Unidad 1 La Antigua con su módulo I-1 La Antigua; Unidad 2 Actopan con el módulo II-1 Actopan y la Unidad 3 Puente Nacional cuyo módulo se denomina III-1 Puente Nacional.

⁴ <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/664/cap2.pdf>

La Unidad 1 La Antigua tiene una superficie física de 13 728.21 ha con 8 933.11 ha de riego; se abastece de los escurrimientos del río La Antigua que son derivados por medio de la presa La Antigua que se localiza al suroeste de la localidad José Cardel.

La Unidad 2 Actopan posee una superficie física de 12 394.76 ha con 10 946.42 ha de riego, cuenta con cuatro presas derivadoras para aprovechar los escurrimientos del río Actopan: La Esperanza (Fotografía 4.10), Santa Rosa (Fotografía 4.11), El Zapote y El Bobo, que alimentan la red de canales.

Para suministrar la Unidad 3 Puente Nacional, se construyó la presa Carrizal sobre el cauce del río Los Pescados (aguas abajo río La Antigua); esta unidad cuenta con 5 202.49 ha de las cuales 5 025.98 ha son para riego.



Fotografía 4.9: Presa derivadora Los Colibríes sobre el cauce del río Huixilapan, Quimixtlán, Puebla, noviembre de 2014.

La red mayor de canales del distrito de riego 035 tiene una longitud total de 136.1 km, de los cuales 108.0 km son revestidos (Fotografía 4.12) y el resto no cuentan con revestimiento. La red menor de canales está conformada por 202.6 km de canales laterales, 121.1 km de canales sublaterales y 50.8 de canales ramales que en total suman 374.5 km. Dentro del distrito existe una longitud total de caminos 817.1 km, de los cuales 326.9 km son de acceso e intercomunicación y 490.2 km de operación.

Los principales cultivos son caña de azúcar (Fotografía 4.13), forrajes, toronja, maíz, mango, frijol, papaya, limón y naranja. El motivo primordial por el que predomina el cultivo de caña de azúcar, se debe a que los productores están asociados comercialmente con los ingenios azucareros El Modelo y La Gloria.



Fotografía 4.10: Presa derivadora La Esperanza, Actopan, Veracruz, noviembre de 2014.



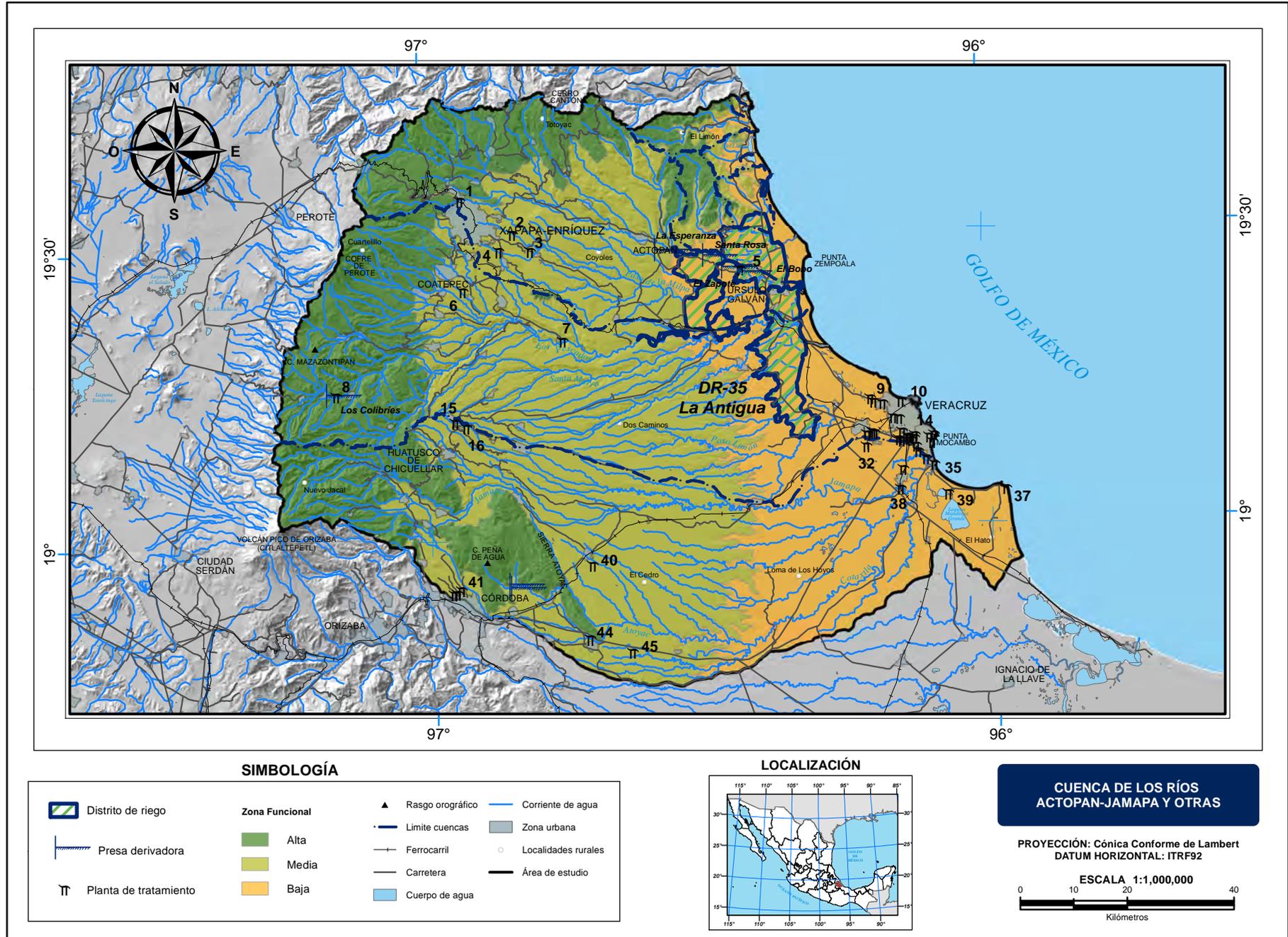
Fotografía 4.11: Presa derivadora Santa Rosa, Actopan, Veracruz, noviembre de 2014.



Fotografía 4.12: Canal Principal La Esperanza con revestimiento en el distrito de riego 035 La Antigua, noviembre de 2014.



Fotografía 4.13: Cultivo de caña de azúcar en el distrito de riego 035 La Antigua, noviembre de 2014.



Fuente: CONAGUA. Subdirección General Técnica de Estaciones Hidrométricas, 2010 y de Principales Presas, 2010. Subdirección General de Agua Potable y Saneamiento, 2010.

5. Densidad de la cubierta vegetal, permeabilidad del terreno y coeficiente de escurrimiento

La información que provee la cobertura vegetal es imprescindible en los estudios de disponibilidad de agua, ya que ésta influye en la cantidad de escurrimiento generado al actuar como retardador del mismo, además de que propicia la infiltración en función de la mayor o menor cubierta vegetal presente.

5.1 Densidad de la cubierta vegetal

Para su determinación se empleó información cartográfica en escala 1: 250 000 de la serie IV de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI. La agrupación de las diferentes comunidades vegetales fue elaborada a partir de tablas de reclasificación generadas por el departamento de Uso de Suelo y Vegetación y corroborada en campo. Se asignaron valores de 1 a 5; siendo 1 el valor de cubierta más alta, 2 para la media alta, 3 media, 4 media baja y por último 5 para sitios con densidad baja; estos son determinados para los diferentes usos de suelo y comunidades vegetales presentes en el área de estudio (Mapa 5.1).

5.1.1 Densidad media

Ocupa la mayor extensión, abarca 73.90% del área de estudio en poco más de 7 300 km² ubicada de forma indistinta (Cuadro 5.1 y gráfica 5.1). Se asignó a bosques mesófilo de montaña, de pino, de pino-encino y de encino, además de selvas baja caducifolia y mediana subcaducifolia, todas estas comunidades con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, asimismo se incluye vegetación sabanoide. Al cubrir gran parte de la zona, la floresta se observa en diferentes y variados sistemas de topoformas desde llanura aluvial hasta sierra volcánica, y de mayor predominancia en lomerío; en diversos climas como semifríos, templados, semicálidos y cálidos. Las elevaciones en las cuales se emplaza la densidad media van de 3 940 m s.n.m. al nivel del mar.

El uso de suelo de mayor extensión en esta densidad corresponde a la agricultura de temporal con 3 444.88 km², seguido por pastos cultivados con 2 575.22 km², agricultura de riego con 528.1 km² y de humedad con 23.99 km².

5.1.2 Densidad media baja

Cubre 12.04% de la superficie total del estudio, se asignó a la vegetación de pastizal inducido (Fotografía 5.1); en cuanto a usos del suelo se determinó a la agricultura de temporal anual que circunscribe 1 036.36 km² además de un reducido sector donde se practica agricultura de riego; esta densidad se ubica en el sector oeste y porción centro-este del territorio delimitado, en geoformas de llanura, lomerío y sierra; espacios donde se desarrollan climas cálidos subhúmedos además de semicálidos húmedos y subhúmedos, su rango altitudinal es de 1 620 m s.n.m. a la línea de costa; así como climas templados húmedos y subhúmedos y semifríos subhúmedos en elevaciones de 3 940 a 1 200 m s.n.m.

5.1.3 Densidad alta

Cubre 5.86% de la zona de estudio, tiene una superficie aproximada de 581.88 km²; corresponde a diversos tipos vegetación sin perturbación aparente de bosques de abies, mesófilo de montaña (Fotografía 5.2), de pino, de pino-encino, de encino, de encino-pino y selva baja caducifolia; estas comunidades se ubican especialmente en la zona funcional alta; en sistemas de topoformas de lomerío y sierra; con climas semifríos húmedos y subhúmedos, templados húmedos y subhúmedos y semicálidos húmedos y subhúmedos, en elevaciones de 4 080 a 60 m s.n.m. Incluye además la vegetación de manglar en zonas bajas, que se localiza en el sector oriente cerca de la línea de costa, en formas del terreno de lomerío de basalto y llanura aluvial con orden altitudinal desde 25 m s.n.m. hasta la cota cero.

5.1.4 Densidad media alta

Cubre 505.82 km² que representa 5.09% de la superficie total del área de trabajo. Se definió para los bosques como mesófilo de montaña, de pino y pino-encino, así como las selvas alta subperennifolia, baja caducifolia y mediana

subcaducifolia, todas con vegetación secundaria arbórea; se distribuyen principalmente en la porción norte, centro y sureste del área de estudio, en las zonas funcionales alta y media.

Las topoformas en las cuales se desarrolla la vegetación son llanura, lomerío y sierra, donde se registran los climas semifrío subhúmedo con rango altitudinal de 3 340 a 2 160 m s.n.m.; templados húmedos y subhúmedos en alturas de 2 840 a 1 200 m s.n.m.; y semicálidos y cálidos húmedos y subhúmedos desde 2 080 hasta la línea de costa.

5.1.5 Densidad baja

Abarca superficies con vegetación de dunas costeras, así como espacios desprovistos de vegetación que se localizan en las cumbres de mayor altitud del volcán Pico de Orizaba y sobre la línea de costa en el extremo sureste de la zona de trabajo. También se incluyen a las extensiones urbanas y ocupa 2.84% del total.



Fotografía 5.1: Pastizal inducido en la zona funcional media y baja de la cuenca arroyo Paso el Limón, noviembre de 2014.

Distribución porcentual de densidad según tipo de vegetación

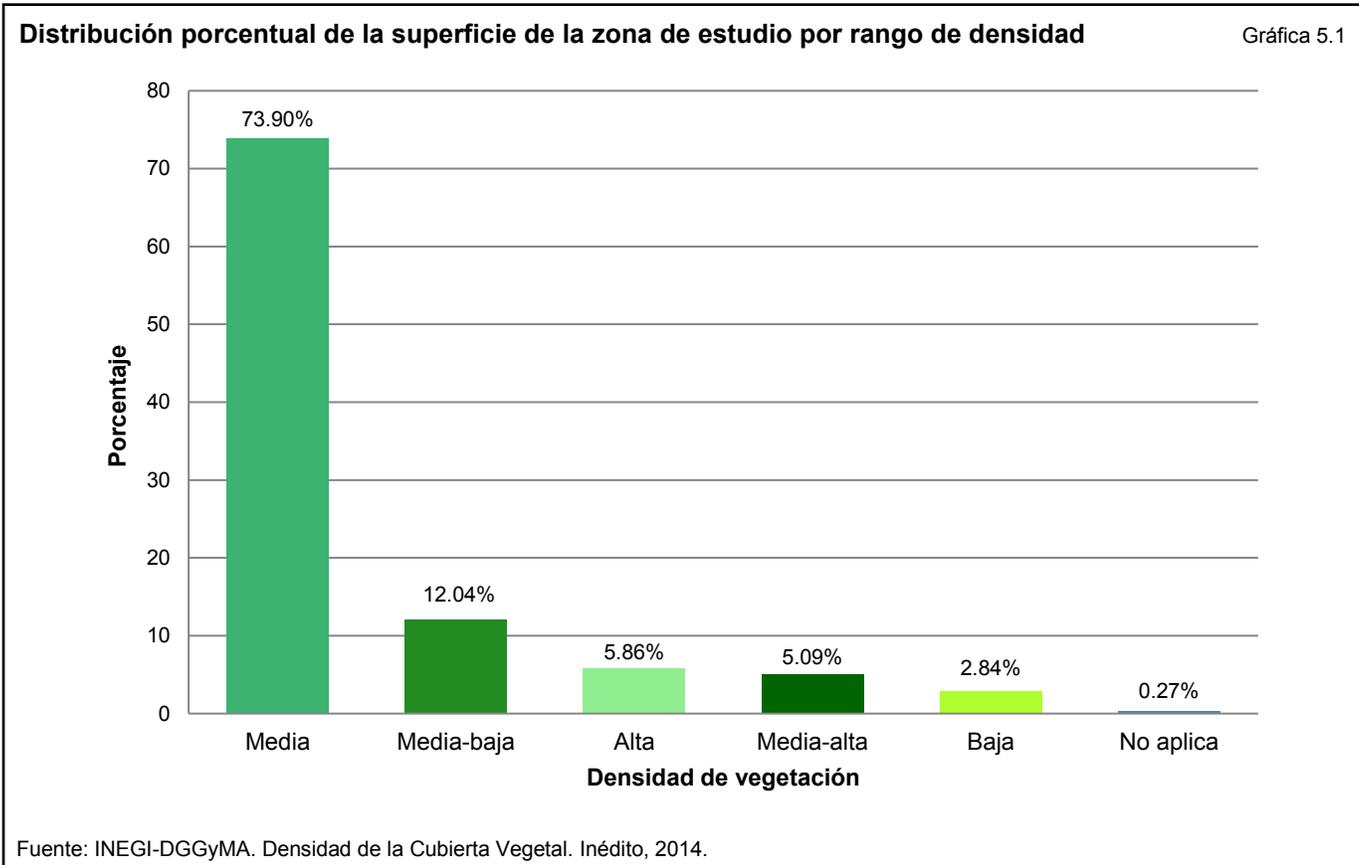
Cuadro 5.1

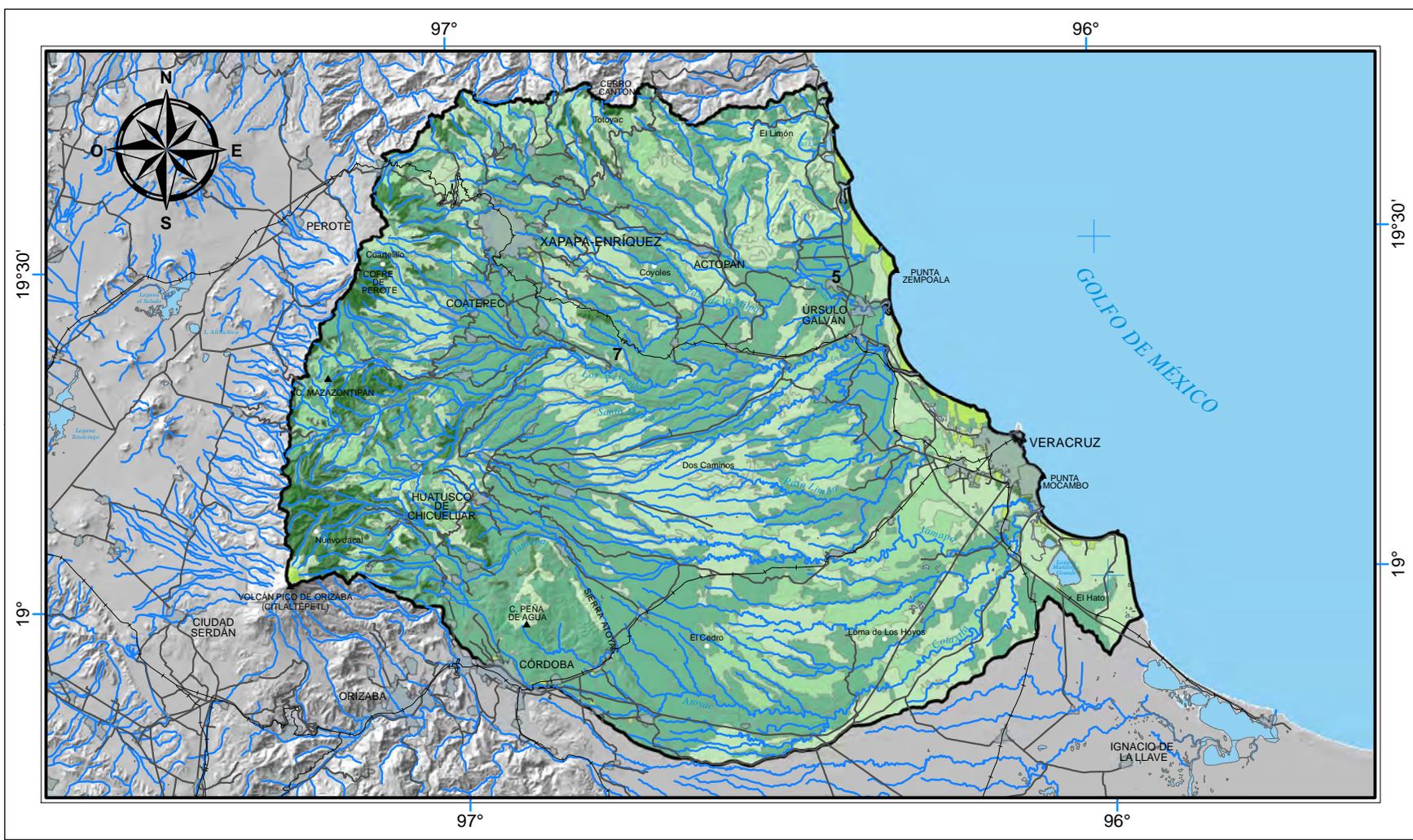
Densidad de la cubierta vegetal	Tipo de vegetación	Porcentaje
Media	Bosques mesófilo de montaña, pino, pino-encino y encino; selvas baja caducifolia y mediana subcaducifolia todas con VSA y VSh. Vegetación sabanoide y pastos inducidos.	73.90
Media-baja	Agricultura de temporal anual y de riego.	12.04
Alta	Bosques de abies, mesófilo de montaña, de pino, de pino-encino, de encino y de encino-pino sin alteración aparente. Selva baja caducifolia y manglar.	5.86
Media-alta	Bosques mesófilo de montaña, de pino y pino-encino. Selvas alta subperennifolia, baja caducifolia y mediana subcaducifolia todas con VSA. Pradera de alta montaña y pastos cultivados.	5.09
Baja	Vegetación de dunas costeras, áreas sin vegetación aparente y zonas urbanas.	2.84
Otros*		0.27

*Corresponde a cuerpos de agua.



Fotografía 5.2: Bosque mesófilo de montaña en zona funcional alta de la cuenca del río La Antigua, noviembre de 2014.

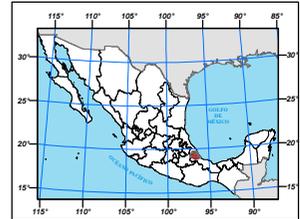




SIMBOLOGÍA

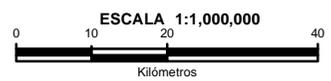
	Alta		Rasgo orográfico		Corriente de agua
	Media alta		Limite cuencas		Zona urbana
	Media		Ferrocarril		Localidades rurales
	Media baja		Carretera		Área de estudio
	Baja		Cuerpo de agua		

LOCALIZACIÓN



**CUENCA DE LOS RÍOS
ACTOPAN-JAMAPA Y OTRAS**

PROYECCIÓN: Cónica Conforme de Lambert
DATUM HORIZONTAL: ITRF92



Fuente: INEGI-DGGyMA. Densidad de la Cubierta Vegetal. Inédito, 2014.

5.2 Permeabilidad del terreno

La permeabilidad del terreno es un factor fundamental al momento de evaluar escorrentías regulares o extremas de una región, se entenderá por permeabilidad la propiedad del terreno que permite el paso del agua a través del material rocoso o edáfico, bajo la acción de una carga hidrostática. Para definir la permeabilidad del terreno se utilizó información de tipo geológico y edafológico. En zonas de morfología abrupta, particularmente en sierras, lomeríos y mesetas se dio un mayor peso a la litología, debido a que en estos sitios los suelos suelen ser delgados y discontinuos, mientras que sobre valles y llanuras costeras se dio un mayor énfasis a la información edafológica porque los suelos tienden a ser más desarrollados, uniformes y profundos, lo que permite tener un modelo de permeabilidad más acorde a las condiciones reales del terreno. Los materiales se clasificaron según su capacidad de infiltración con valores de permeabilidad de 1 a 5, según litología y tipo de suelo. El valor 1 corresponde a permeabilidad alta, 2 media alta, 3 media, 4 media baja y 5 a materiales de permeabilidad baja (Mapa 5.2).

5.2.1 Permeabilidad media alta

Abarca 48.23% (Cuadro 5.2 y gráfica 5.2), se les observa casi en toda la zona de estudio, incluye a caliza con presencia de huellas de disolución y fracturamiento de moderado a intenso; también de origen sedimentario se relaciona la asociación litológica de arenisca-conglomerado (Fotografía 5.3), conglomerado y brecha sedimentaria con matriz arenosa a arcillo-arenosa, de material poco consolidado y pobremente cementado. De origen ígneo, este atributo de permeabilidad se asignó al basalto vesicular de estructura columnar y con fracturamiento de intenso a moderado; toba intermedia de textura piroclástica y fracturada; brecha volcánica intermedia de poca cohesión y material volcanoclástico con matriz arenosa.



Fotografía 5.3: Arenisca – conglomerado del Cuaternario en zona funcional media de la cuenca río Jamapa, mayo de 2014.

De esta misma permeabilidad se considera al suelo andosol de textura media que se localiza en la zona funcional alta y media, así como al fluvisol de textura gruesa que se distingue en la zona media, al sur de la cuenca, sobre el cauce del río Seco.

5.2.2 Permeabilidad media baja

Comprende territorialmente 37.41% del total, se ubica en prácticamente toda la zona de trabajo con excepción de los sectores centro-norte y centro-sur. Está integrada por andesita (Fotografía 5.4) y toba básica compacta con fracturamiento local; así como la asociación sedimentaria de caliza-lutita, caliche y travertino. Se consideran además los suelos luvisol de textura fina y vertisol (Fotografía 5.5) de textura media y fina que se sitúan principalmente al oriente del área de estudio en zonas funcionales media y baja.



Fotografía 5.4: Afloramiento de andesita, en la zona funcional media de la cuenca arroyo Paso el Limón, noviembre de 2015.

5.2.3 Permeabilidad media

Cubren 7.99% del total del área, se sitúa en varios sectores como son el norte, centro-este y poniente. Incluye a las rocas ígneas como toba básica- brecha volcánica básica y toba ácida; también de origen sedimentario como caliza con presencia de fracturamiento moderado. Para material edáfico, este tipo de permeabilidad se relaciona a suelo phaeozem de textura fina y media, localizado en el sector oriental, en la zona funcional media y baja en su mayoría.

5.2.4 Permeabilidad alta

La conforman unidades ígneas de basalto-brecha volcánica básica y brecha volcánica básica con una matriz de toba y escoria. En relación con suelos, esta permeabilidad se determina en arenosol y regosol de textura gruesa que se sitúan al oriente de la zona de estudio, sobre la línea de costa. En su conjunto, las unidades líticas y edáficas ocupan 5.08% del total del área.



Fotografía 5.5: Suelo vertisol en zona funcional baja de la cuenca arroyo Caño Gallegos, mayo de 2014.

5.2.5 Permeabilidad baja

Cubre la menor extensión con sólo 0.26% del total, aplica a escasos afloramientos de lutita que se localizan al noroeste de la ciudad de Córdoba y sector centro-poniente; así como la unidad edáfica de gleysol de textura fina situada en el extremo sureste, en los alrededores de la laguna Mandinga Grande.

Distribución porcentual de la permeabilidad según tipo de roca y suelo

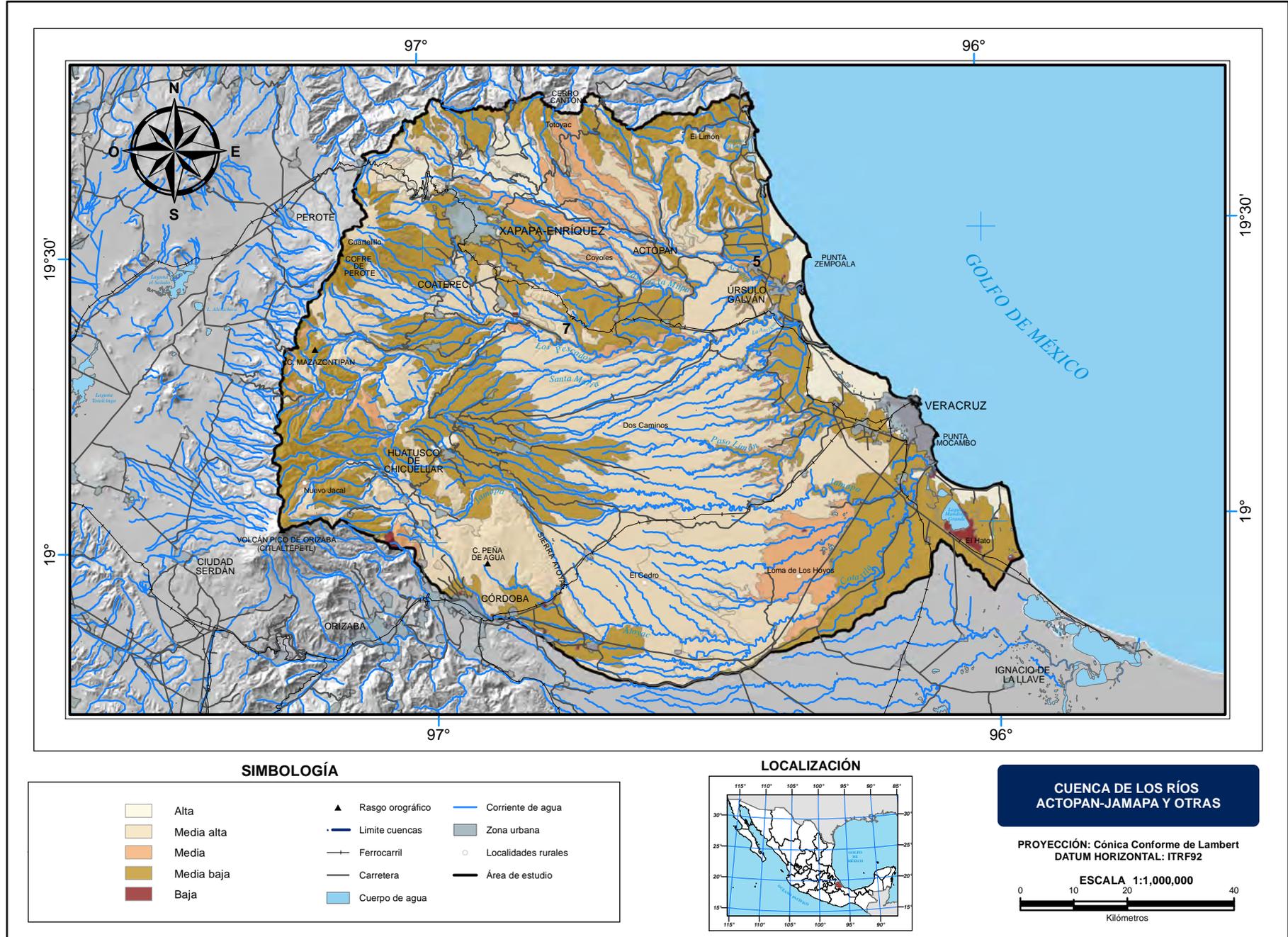
Cuadro 5.2

Permeabilidad	Tipo de roca y/o suelo	Porcentaje
Media alta	Rocas: caliza, arenisca-conglomerado, conglomerado y brecha sedimentaria; basalto, toba intermedia, brecha volcánica intermedia y material volcánico-clástico. Suelos: andosol de textura media y fluvisol de textura gruesa.	48.23
Media baja	Rocas: andesita y toba básica; caliza-lutita, caliche y travertino. Suelos: luvisol de textura fina y vertisol de textura media y fina.	37.41
Media	Rocas: caliza; toba básica-brecha volcánica básica y toba ácida. Suelos: phaeozem de textura fina y media.	7.99
Alta	Rocas: basalto-brecha volcánica básica y brecha volcánica básica. Suelos: arenosol y regosol de textura gruesa.	5.08
Baja	Rocas: lutita Suelos: gleysol textura fina.	0.26
Otros*		1.03

*Corresponde a cuerpos de agua y zonas urbanas.

Fuente: INEGI-DGGyMA. Permeabilidad del Terreno. Inédito, 2014.

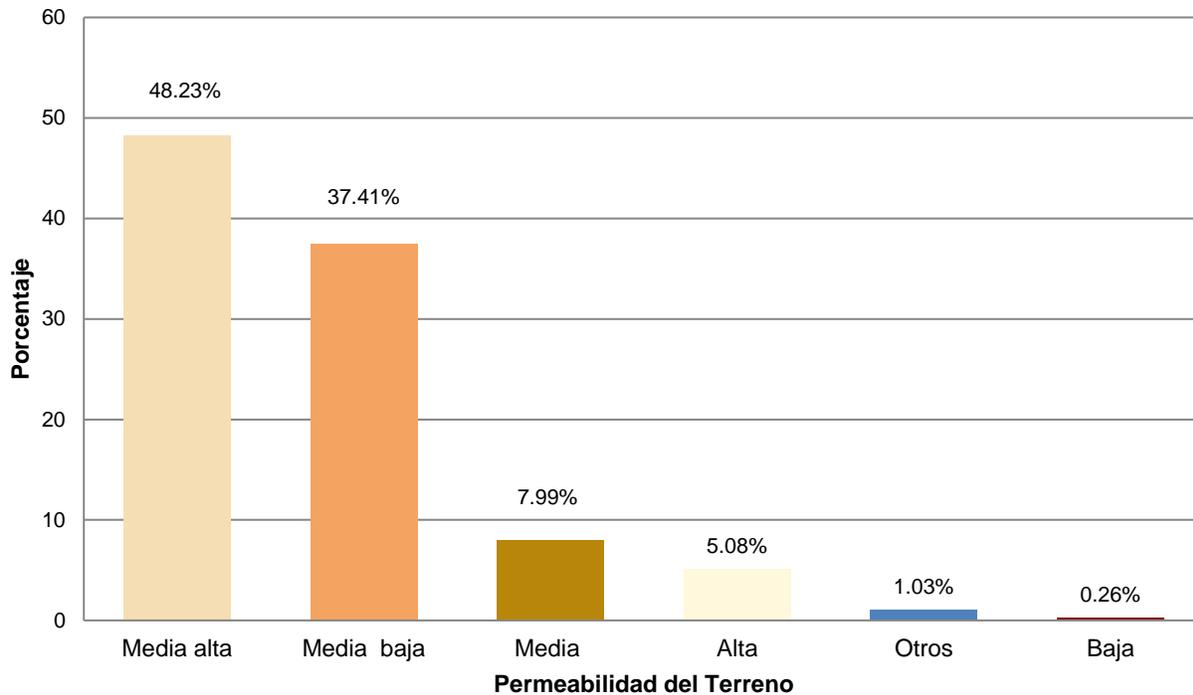
Permeabilidad del Terreno



Fuente: INEGI-DGGyMA. Permeabilidad del Terreno. Inédito, 2014.

Distribución porcentual de la superficie de la zona de estudio por rango de permeabilidad

Gráfica 5.2



Fuente: INEGI-DGGyMA. Permeabilidad del Terreno. Inédito, 2014.

5.3 Coeficiente de escurrimiento

Se define como el porcentaje de lluvia que escurre en el terreno debido principalmente a la densidad de la cubierta vegetal, permeabilidad (roca y suelo), precipitación y pendiente. El análisis de estas variables permite definir unidades con el mismo coeficiente de escurrimiento. Para determinarlo, el INEGI adoptó el método indirecto propuesto por el Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural (PNORDR) de la SRH de 1965.

Para obtener el coeficiente de escurrimiento se utilizan como insumos la información de los conjuntos de datos de Uso de Suelo y Vegetación serie IV, Edafológico serie II, Geológico e información de Precipitación en formato raster generado por la Universidad Nacional Autónoma de México. De acuerdo con su variación en el país, estos coeficientes se agrupan en nueve rangos: 1 (0 a 5%), 2 (5.1 a 10 %), 3 (10.1 a 15 %), 4 (15.1 a 20 %), 5 (20.1 a 25 %), 6 (25.1 a 30 %), 7 (30.1 a 35 %), 8 (35.1 a 40 %), y 9 (> 40 %). Los intervalos de escurrimiento que se presentan en el área de estudio son desde 1 (0 a 5%) hasta 6 (25.1 a 30 %), (Mapa 5.3).

5.3.1 Coeficiente de 10.1 a 15%

Es la unidad de escurrimiento de mayor extensión con 36.89% de la superficie de estudio, se distribuye en las tres zonas funcionales con mayor presencia en la media y baja, en topografías de sierra y llanura; por consiguiente en pendientes de fuertemente inclinadas a bajas. Los materiales litológicos corresponden a diversas rocas sedimentarias entre las que destacan por extensión la asociación de arenisca-conglomerado, caliza y conglomerado todas de permeabilidad media alta; en ígneas extrusivas se relaciona principalmente con basalto de permeabilidad alta y media alta, toba básica brecha – volcánica básica con permeabilidad media, andesita de permeabilidad media baja y a toba intermedia de permeabilidad media alta. Los suelos de mayor cubrimiento son phaeozem de textura media y fina y leptosol de textura fina; le sigue en cubrimiento el suelo arenosol de textura gruesa y vertisol de textura media y fina.

En cuanto a cubierta vegetal, esta unidad tiene presencia en sitios con densidad media al existir bosques de pino, encino y mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, así como en selvas baja caducifolia y mediana subcaducifolia ambas con igual vegetación secundaria; la misma densidad media aplica a zonas donde se practica la agricultura de temporal y de riego, así como en espacios ocupados por pastos cultivados. Le sigue en extensión la densidad media baja asignada a pastos inducidos y a espacios donde se practica la agricultura de temporal; también incluye densidad alta, en vegetación sin alteración aparente de bosques pino, pino encino, oyamel

y mesófilo de montaña; de menor desarrollo que las anteriores se observa la densidad media alta establecida en bosques de pino, pino encino y mesófilo de montaña, así como selvas baja caducifolia y alta perennifolia, todas con vegetación secundaria arbórea. La precipitación media anual en esta sección se encuentra entre 650 y 2 750 mm aproximadamente.

5.3.2 Coeficiente de 15.1 a 20%

El 20.92% del área de trabajo corresponde a este valor, presente en las tres zonas funcionales pero de menor cubrimiento en la zona media. El sistema de topoforma dominante es el lomerío, de tal forma que la pendiente medianamente inclinada es frecuente, pero también se observan topoformas de sierra, llanura y valle en menor proporción.

La geología de origen ígneo extrusivo sobre la cual ocurre el escurrimiento, se compone de andesita y toba básica de permeabilidad media baja, también incluye a basalto al que se le asignó permeabilidad alta y media alta, así como brecha volcánica básica e intermedia de permeabilidad alta y media alta respectivamente. De origen sedimentario incluye a calizas de permeabilidad media y media alta, además a la asociación de arenisca conglomerado y conglomerado con permeabilidad media alta. Referente a material edáfico, dominan los depósitos de permeabilidad media baja en suelo vertisol, le sigue en extensión el suelo phaeozem de permeabilidad media y arenosol cuya permeabilidad es alta.

En esta unidad, la densidad de vegetación más representativa es la media al existir bosques de pino, pino encino y encino con vegetación secundaria arbórea y herbácea; también aplica a selvas baja caducifolia y mediana subcaducifolia con igual grado de perturbación y a pradera de alta montaña. En cuanto a uso del suelo la densidad media incluye a pastizal cultivado, agricultura de temporal y de riego. La densidad media baja también es representativa en espacios con pastos inducidos y en donde se practica la agricultura de temporal. De menor extensión se observa la densidad alta en bosques de encino, oyamel, pino, pino encino y mesófilo de montaña cuya característica es que no presentan perturbación aparente. Las precipitaciones medias anuales son del orden de los 750 a los 2 750 mm.

5.3.3 Coeficiente de 25.1 a 30%

Cubre 14.82% del área de trabajo, se le observa en las tres zonas funcionales con mayor extensión en la zona media (Fotografía 5.6), de tal modo que la topoforma principal en términos de cubrimiento es el lomerío, después la llanura y posteriormente la sierra y el valle, por lo tanto las pendientes dominantes son las medianamente inclinadas y bajas.

La litología ígnea son toba básica y andesita de permeabilidad media baja y basalto al que se le asignó permeabilidad media alta; las unidades sedimentarias son caliza de permeabilidad media alta y lutita con permeabilidad baja. Los suelos que pertenecen a ésta son vertisol y luvisol, ambos de textura fina y permeabilidad media baja, además de gleysol de textura fina con permeabilidad baja.

Domina la densidad de vegetación media asignada a bosques de coníferas, latifoliados y mesófilo de montaña, además de selva mediana subcaducifolia, todas ellas con vegetación secundaria arbustiva; aplica también en terrenos donde se siembran pastos y se practica la agricultura de temporal. Le sigue en desarrollo la densidad media baja para pastizales inducidos en la zona funcional alta y a territorios con siembra de temporal. La densidad de vegetación baja ocupa el siguiente lugar por extensión asignada a vegetación de dunas costeras, sitios sin vegetación aparente y en zonas urbanas. La densidad alta es escasa en vegetación que aparentemente no presenta perturbación de bosques de pino, pino encino, oyamel, encino y mesófilo de montaña, así como también para vegetación de manglar. La precipitación media anual fluctúa entre 1 100 y 2 750 mm.

5.3.4 Coeficiente de 20.1 a 25%

Cubre 13.47% de la zona de trabajo, se localiza al igual que las unidades anteriores en las tres zonas funcionales; las formas del terreno más distintivas son el lomerío con pendiente media, la sierra y llanura cubren superficies similares con pendientes fuertes y suaves respectivamente, y el valle ocupa la menor extensión.

El material litológico de origen ígneo extrusivo está caracterizado por toba básica y andesita de permeabilidad media baja, así como basalto y volcanoclásticos con permeabilidad media alta; también y de menor ocupación, se observa toba ácida y toba básica – brecha volcánica básica, ambas de permeabilidad media. El cubrimiento de los materiales sedimentarios es similar al ígneo con afloramientos de caliza de permeabilidad media y media alta, asociación de arenisca conglomerado, y conglomerado cuyo atributo de permeabilidad es de media alta.

El suelo de mayor cubrimiento es vertisol de textura fina y permeabilidad media baja, posteriormente se observa andosol de textura media y permeabilidad media alta, y en reducidos espacios existen suelos arenosol, phaeozem y fluvisol.

En cuanto a densidad de vegetación, predomina la media asignada a bosques de pino, pino encino, encino y mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva, así como a selva baja caducifolia con el mismo estado de perturbación. Para el uso de suelo, en este coeficiente existe densidad media que fue asignada a pasto cultivado y agriculturas de temporal, riego y de humedad. Le sigue en extensión la densidad media baja para pastos inducidos y agricultura de temporal anual; la densidad alta refiere a vegetación primaria de bosque de niebla, de coníferas y latifoliadas. Para este rango, la precipitación oscila de 900 a 2 750 mm.

5.3.5 Coeficiente de 5.1 a 10%

Representa 10.69% del total del área de trabajo, se observa mayoritariamente en las zonas funcionales media y baja donde las topoformas son de lomerío y llanura, aunque también se presenta en terrenos con topoforma de sierra; la pendiente oscila de media a fuertemente inclinada

Los afloramientos ígneos extrusivos más abundantes son los basaltos de permeabilidad alta y media alta; en rocas de origen sedimentario prevalece la permeabilidad media alta en asociaciones de arenisca-conglomerado, además de caliza.

Las unidades edáficas tienen permeabilidad alta, caracterizadas por suelo arenosol y regosol de textura gruesa. La densidad de vegetación media es la de mayor extensión en sitios donde se desarrolla selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva; además de pastizales cultivados y agriculturas de temporal, riego y de humedad. La densidad media alta tiene menor influencia en espacios dominados por bosques de encino, pino, pino encino y selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbórea. La densidad alta tiene mayor predominancia en la zona funcional alta, donde existe vegetación sin alteración aparente de bosque de encino, oyamel, pino, pino encino y mesófilo de montaña; a menores altitudes la densidad alta aplica a selva baja caducifolia y en la línea de costa, involucra a vegetación de manglar. Para esta unidad la precipitación está en el orden de 750 a 2 250 mm.

5.3.6 Coeficiente de 30.1 a 35%

Representa territorialmente 2.67% del total del área, se observa especialmente en las zonas funcionales alta y media donde las topoformas son lomerío, llanura y sierra en pendientes medias, bajas y fuertemente inclinadas. La geología involucra algunas rocas ígneas como toba básica y andesita de permeabilidad media baja y basalto con permeabilidad media alta, además de sedimentaria caracterizada por caliza de permeabilidad media y media alta. Las unidades edáficas son andosol de textura media y permeabilidad media alta, así como vertisol de textura fina y permeabilidad media baja. La densidad de vegetación media es la que mayor extensión ocupa en sitios donde se practica agricultura de temporal y la siembra de pastos cultivados, le sigue la baja en espacios ocupados por zonas urbanas y donde aparentemente no existe vegetación, y por último la densidad media baja donde han crecido pastos inducidos y en áreas con agricultura de temporal. En esta unidad el rango de precipitación se incrementa de 1 100 a 2 750 mm.

5.3.7 Coeficiente de 35.1 a 40%

Cubre sólo 0.18% del total del territorio de estudio, se localiza en las zonas funcionales alta y media donde las formas del terreno son valle, sierra y lomerío con pendientes suaves, medias y fuertemente inclinadas. Los afloramientos de roca ígneas extrusiva pertenecen a andesita y toba básica de permeabilidad media baja; la unidad edáfica es vertisol de textura fina y permeabilidad media baja, y aplica además en sitios donde el uso de suelo es urbano.

La densidad de vegetación es baja en espacios sin vegetación aparente con precipitación media anual entre 1 750 y 2 750 mm.

5.3.8 Coeficiente de 0 a 5%

Ocupa únicamente 0.06% del total del área de estudio, aun así se localiza en las tres zonas funcionales en topoformas de sierra y lomerío (Fotografía 5.7) con pendientes altas y medias. La geología se caracteriza por basalto y brecha volcánica básica de permeabilidad alta y media alta; los suelos son arenosol y regosol de textura gruesa y permeabilidad alta. La densidad también es alta registrada en vegetación primaria de bosque de pino, selva baja caducifolia y manglar; la precipitación media anual reporta el rango de 750 a 1 350 mm.

El porcentaje de cada unidad de escurrimiento en la zona de trabajo se muestra a continuación (Cuadro 5.3).

Distribución porcentual de las unidades de escurrimiento en la cuenca

Cuadro 5.3

Unidad de escurrimiento	Porcentaje
3 (10.1 a 15 %)	36.89
4 (15.1 a 20 %)	20.92
6 (25.1 a 30 %)	14.82
5 (20.1 a 25 %)	13.47
2 (5.1 a 10 %)	10.69
7 (30.1 a 35 %)	2.67
8 (35.1 a 40 %)	0.18
1 (0 a 5 %)	0.06
Otros*	0.30

*Cuerpos de agua

Fuente: INEGI-DGGyMA. Inédito, 2015

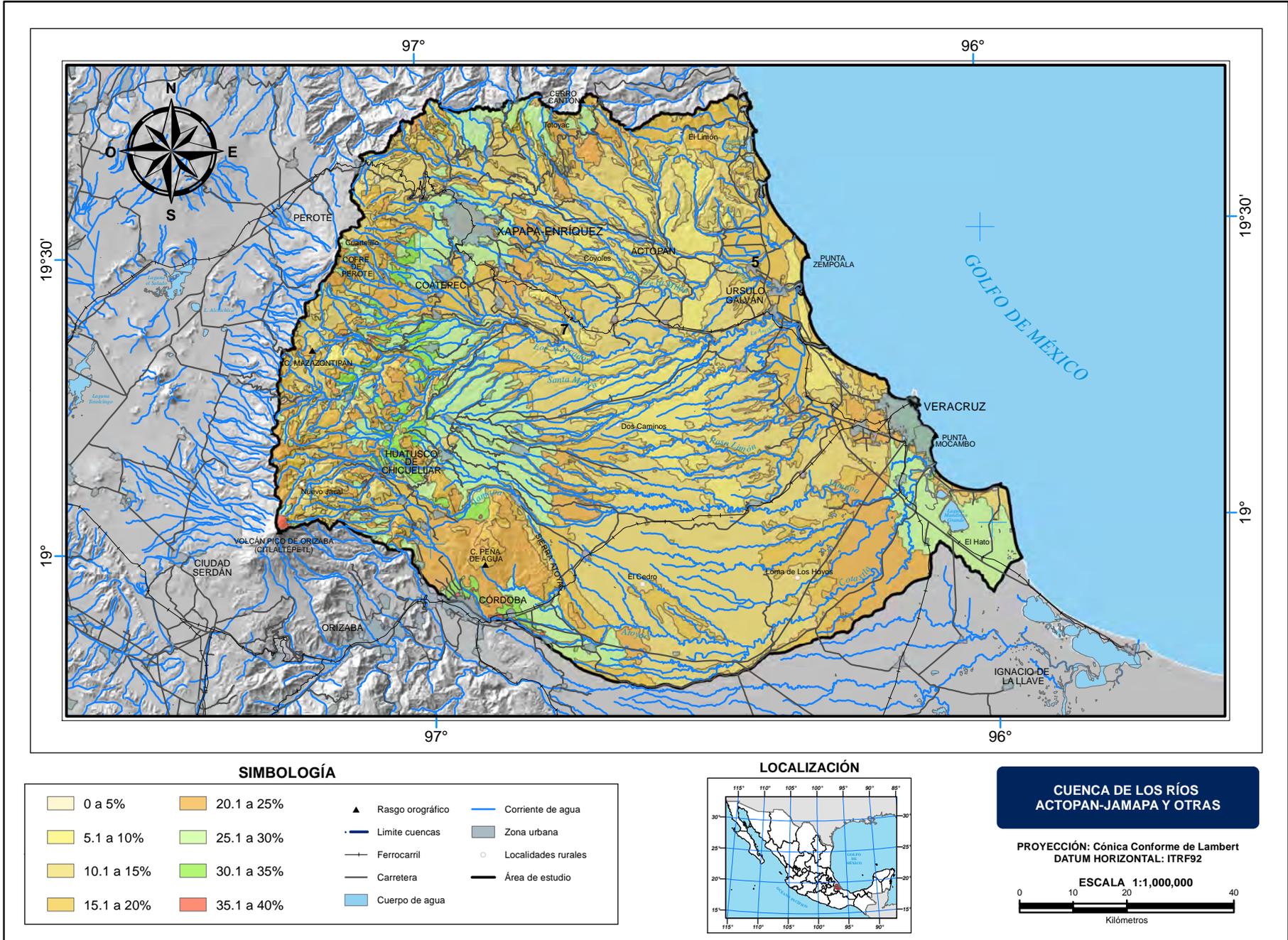


Fotografía 5.6: Río Seco afluente del río Jamapa, sitio donde la estimación del coeficiente de escurrimiento es de 25.1 al 30%, noviembre de 2014.



Fotografía 5.7: Sitio donde la estimación del coeficiente de escurrimiento es de 0 al 5%, noviembre de 2014.

Coeficiente de escurrimiento



Fuente: INEGI-DGGyMA. Coeficiente de escurrimiento. Inédito, 2015.

6. Química del agua

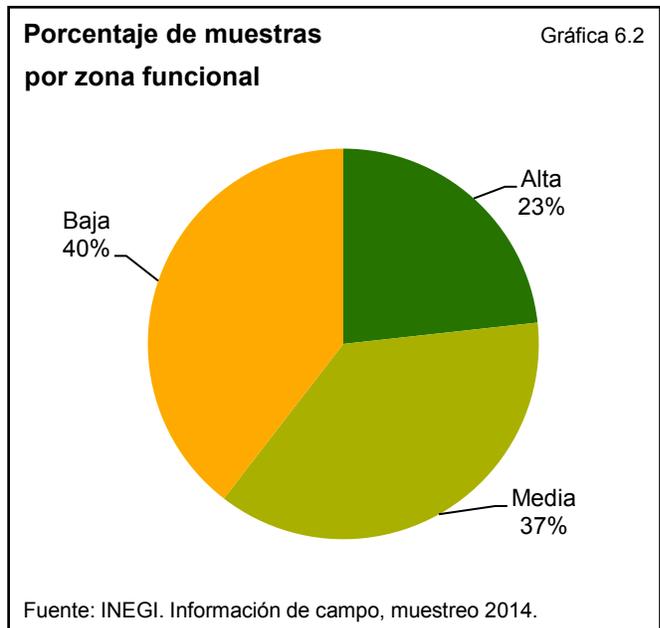
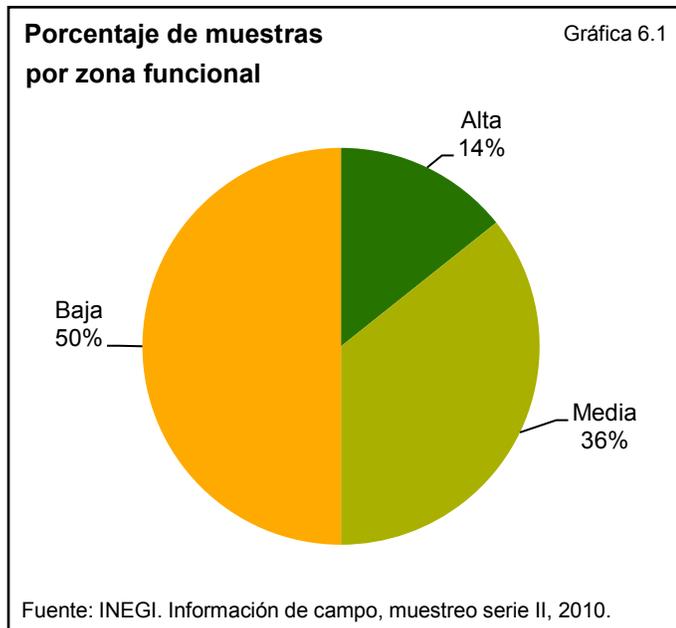
México recibe aproximadamente 1 489 000 millones de m³ (Mm³) de agua en forma de precipitación al año. De esta agua, se estima que 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, 22.2% escurre por los ríos o arroyos y 6.2% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos⁵. En la actualidad, encontrar un río, lago o laguna no contaminada por sustancias orgánicas, inorgánicas o por patógenos es algo raro o inusual, estas fuentes de abastecimiento son las que requieren de menor infraestructura para su extracción y consumo, esto hace que la población recurra a ellas para llevar acabo gran parte de sus actividades cotidianas⁶.

La mayoría de las cuencas hidrográficas de México tienen un desequilibrio hidrológico, debido al inadecuado manejo del recurso, esto ve reflejado en la alteración de los ciclos naturales y de los ecosistemas.

6.1 Muestreo

Es el primer paso en todo estudio de caracterización de un medio, tiene gran importancia en la confiabilidad de una investigación, ya que si se realiza de manera inadecuada y en el lugar no conveniente, los resultados no serán confiables (Ortuño *et al.*, 2006).

En la programación del muestreo se extrajeron 28 datos del continuo Nacional de Agua Superficial serie II, 2010, que se encuentran distribuidos en la cuenca de los ríos Actopan Jamapa y otras. El número de muestras 2014 se orientó, en primera instancia, respetando los puntos anteriores y se incluyeron otros sitios para contar con información representativa en las tres zonas funcionales. De esta manera se recolectaron 43 en diferentes sitios como arroyos, ríos, lagunas y en dos presas (Mapa 6.1, cuadro 6.1, gráficas 6.1 y 6.2).



⁵ CONAGUA. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014

⁶ <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>.

Cuerpo de agua	Número de muestras	
	Serie II	M-2014
Arroyo	3	11
Río	18	26
Vaso de la presa*	2	2
Laguna	4	4
Canal*	1	-

Fuente: DGGyMA. Información de campo muestreos mayo y diciembre de 2014.

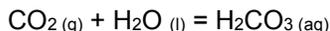
6.2 Interpretación de datos fisicoquímicos

Con la información del concentrado de resultados fisicoquímicos (Cuadros 6.7 y 6.8), además de la base teórica de los temas de grado hidrotimétrico, índice de *Langelier*, diagramas de *Gibbs*, familias de agua, clasificación para uso agrícola, diagramas Stiff, fosfatos, nitratos y oxígeno disuelto, se realiza la siguiente clasificación e interpretación de los resultados de laboratorio de Análisis de Materiales del INEGI.

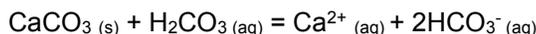
6.2.1 Grado hidrotimétrico

Es la unidad de medida de la dureza del agua, se puede expresar de tres maneras en grados: francés, alemán e inglés. En este trabajo se hizo uso del francés (°hF), cuya unidad de medida se relaciona con los miligramos por litro de carbonato de calcio (CaCO_3). Por lo general esta característica del agua se origina por los iones calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) disueltos, la más común es causada por la presencia de bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Esto sucede por el ciclo biogeoquímico del carbono:

Al caer el agua de lluvia disuelve dióxido de carbono (CO_2) del aire y forma ácido carbónico (H_2CO_3), por lo que se acidifica ligeramente:



Al contacto con la roca caliza el ácido reacciona formando bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) que es soluble en agua:

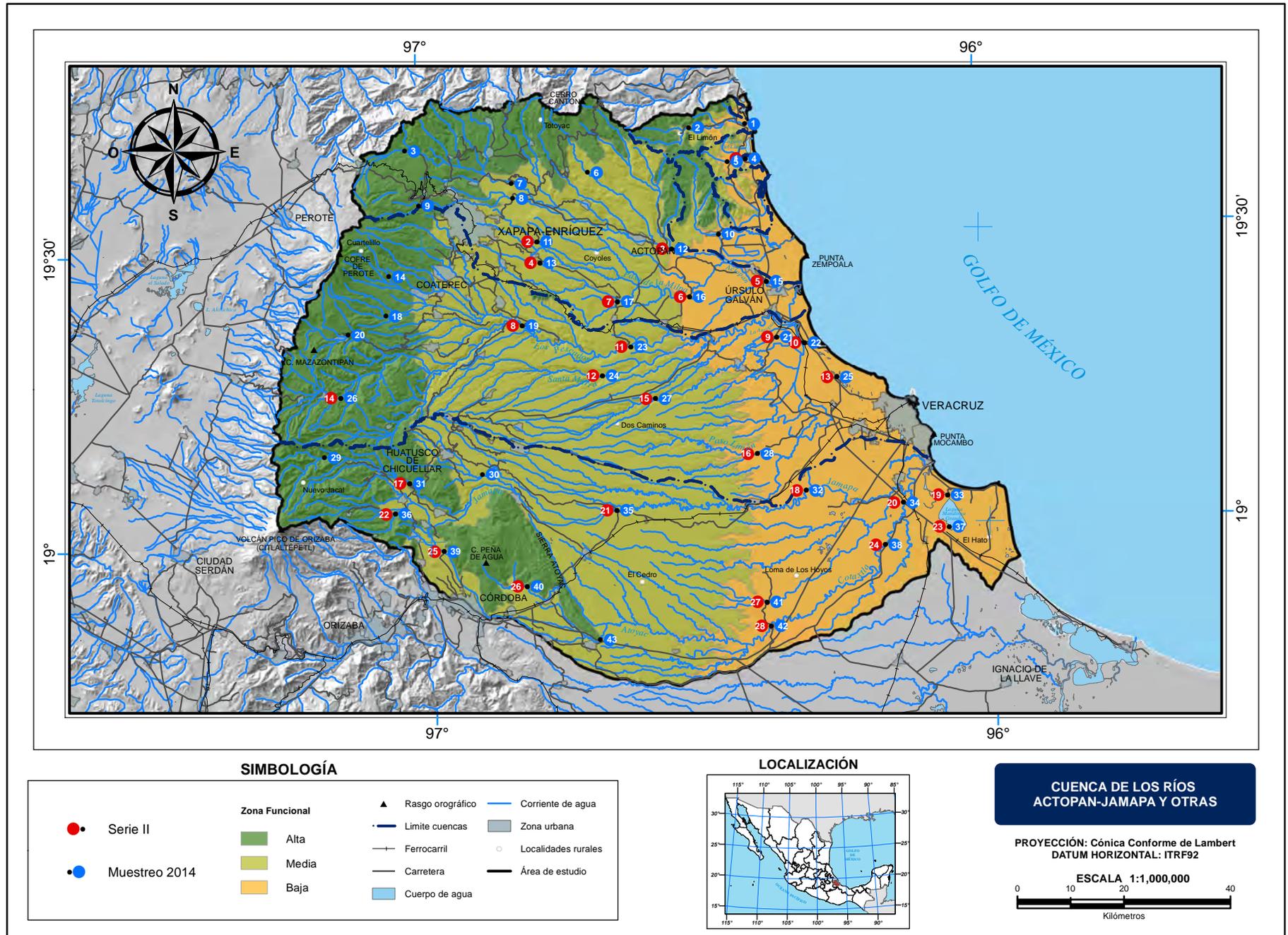


Por lo tanto, el agua toma iones calcio Ca^{2+} y iones bicarbonato HCO_3^- y adquiere algún grado de dureza, de acuerdo a este contenido de miligramos de carbonato de calcio por litro (CaCO_3 mg/L) el agua se clasifica en:

Blanda	0 a 75
Semidura	75 a 150
Dura	150 a 300
Muy dura	> 300

El contenido de CaCO_3 es benéfico para la agricultura debido a que los iones alcalinotérreos tienden a flocular (formar agregados) con las partículas coloidales del suelo y esto aumenta la permeabilidad del terreno (*ibid.*).

Los resultados de serie II indican que en la zona hay siete muestras cuya clasificación reporta agua blanda, se construye de la siguiente manera: una por zona funcional en la cuenca del río La Antigua; dos en la zona funcional media en la cuenca del río Actopan y dos, una en la zona alta y otra en la baja, en la cuenca del río Jamapa (Mapa 6.2). Todas ellas en ambiente ígneo extrusivo de basalto y toba ácida cuya característica es su bajo contenido de carbonatos, además de material sedimentario con moderado contenido de calcio y magnesio, y suelo arenoso la laguna San Julián. El muestreo realizado en noviembre de 2014, indica que en 16 sitios domina agua blanda, ubicados mayoritariamente en la zona funcional alta y media en las cuencas de los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa.



Fuente: INEGI-DGGyMA. Información de campo, serie II y muestreo 2014.

Para serie II, el agua semidura sobresale en 15 puntos de muestreo ubicados las zonas funcionales media y baja en las cuencas de los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa. En las zonas medias son ocho los puntos con este atributo en ambientes litológicos de tobas ácidas, sedimentarias con carbonatos como caliza y travertino, además de conglomerado y arenisca, así como en suelo phaeozem cuya característica es el aporte de magnesio y calcio. En la zona funcional baja, los sitios de colectas se localizan en suelo vertisol con alto contenido de arcilla. La toma de muestras de 2014 revela poco cambio al repetirse su ubicación en las zonas funcionales media y baja con excepción de una obtenida sobre el arroyo Tilapa, afluente del río Seco en la cuenca del río Jamapa.

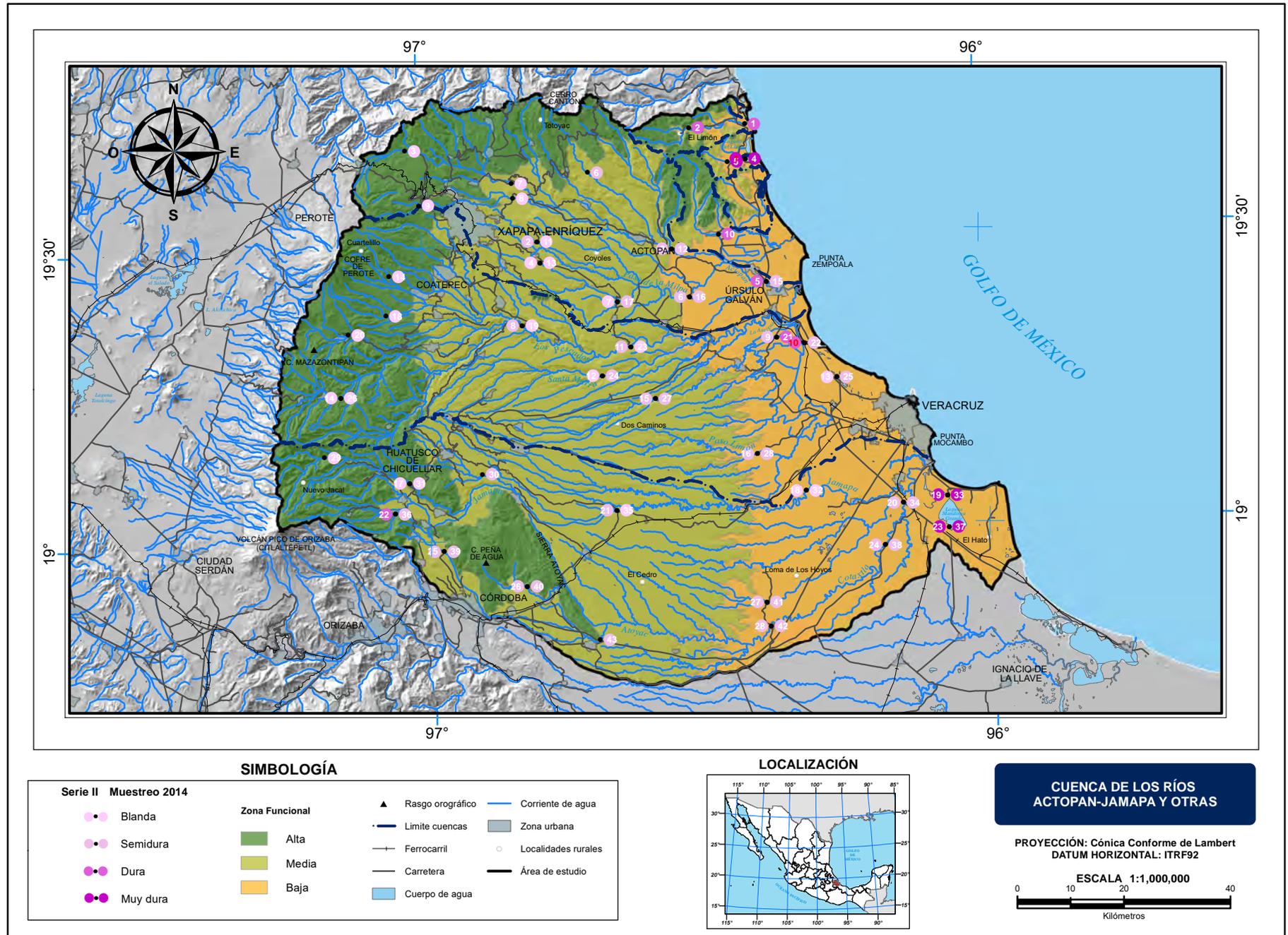
Las aguas duras cuentan con mayor concentración de CaCO_3 que las anteriores. El muestreo de serie II establece que esta categoría se localiza cerca de las desembocaduras de los ríos Actopan y La Antigua, además en el río Tilapa referido con anterioridad. Para el trabajo de campo de noviembre de 2014, cuatro muestras reportan agua dura en la zona funcional baja en las cuencas de los ríos La Antigua y Agua Fría, así como de la cuenca del arroyo Paso El Limón, donde existe suelo vertisol, y en sus alrededores afloran las rocas andesita, toba intermedia y la asociación de arenisca-conglomerado.

El agua muy dura se registra de la siguiente manera: para los dos muestreos se reporta en las lagunas Farallón (Fotografía 6.1), Mandinga y Mandinga Grande, las cuales reciben escurrimientos que han circulado en diferentes tipos de roca y suelo. Además, para la etapa de campo de 2014, se halla este tipo de agua en el arroyo El Marín, ubicado en la cuenca laguna El Llano, que recibe aguas con propiedades termales.



Fotografía 6.1: Laguna Farallón, sitio donde se reporta agua muy dura, noviembre de 2014.

Para la zona de estudio en las dos etapas de muestreo, se reportan los valores extremos de CaCO_3 (Cuadro 6.2).



Fuente: INEGI-DGG y MA. Información derivada de los resultados físico – químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales serie II y muestreo 2014.

Valores extremos de CaCO₃

Cuadro 6.2

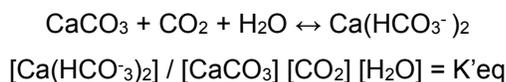
Rango	Serie II	M - 2014
	°hF	
Máximo	612.489	152.921
Medio	53.750	17.672
Mínimo	3.252	1.401

Fuente: INEGI-DGGyMA. Información derivada de los resultados físico-químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales, serie II y muestreo 2014.

6.2.2 Índice de Langelier

Para saber una medida sobre la estabilidad del agua, *Langelier* (Rodier, 1998; CNA, 1994; JMM, 1985; ASTM, 1982; Allende, 1976) propuso el índice de saturación (Is) el cual corresponde a la diferencia entre el pH del agua determinado directamente por el análisis y el pH de equilibrio o de saturación⁷.

El pH indica el grado de equilibrio de cualquier sistema acuoso, el cual depende de la disolución de CO₂ y el comportamiento de las diferentes especies carbonatadas contenidas en el agua. Se define como CO₂ de equilibrio (*Ramalho*, 1991; *Myryoussef*, 1984; Allende, 1976) a: la cantidad de CO₂ que tiene que estar presente en el agua para que se mantenga en solución el bicarbonato. Se puede expresar por el equilibrio dinámico:



Cuando la cantidad de CO₂ libre contenida en el agua es mayor ataca al CaCO₃ esta acción agresiva del CO₂ crea corrosión. Por el contrario, si la cantidad es menor tiende a precipitar el CaCO₃ y se le denomina incrustación.

Para conocer este índice, se calcula el pH de equilibrio (pH_E) en un diagrama semilogarítmico y se compara con el pH obtenido en el laboratorio (pH_L), si:

pH_E - pH_L = Negativo; el agua es incrustante, es decir tiende a precipitar CaCO₃.
 pH_E - pH_L = Positivo; el agua es corrosiva, es decir tiende a disolver CaCO₃.

Cuando no existe diferencia el agua se considera neutra, (Metodología de elaboración de cartas hidrológicas de aguas subterráneas y superficiales escala 1:250 000, SPP)

El agua de tipo corrosiva (para el muestreo de serie II) se distribuye en las tres zonas funcionales de las cuencas de los ríos Jamapa y La Antigua, así como en zona media y baja en la cuenca del río Actopan; por su parte, el agua incrustante se registra en las lagunas Farallón, Mandinga y Mandinga Grande, debido a que estos rasgos poseen aguas muy duras que pueden favorecer incrustaciones en tuberías; existe además una colecta en una presa localizada en los límites de zonas funcionales alta y media en la cuenca del río Jamapa, que reporta agua incrustante posiblemente por el ambiente sedimentario de calizas por las cuales circula el agua.

Para la etapa de campo de 2014, las aguas corrosivas dominan en toda la zona de estudio con excepción de dos muestreos: en aguas de la laguna Farallón y en el arroyo El Marín que se localiza en la cuenca laguna El Llano, en el cual circulan aguas con propiedades termales (Mapa 6.3).

El porcentaje del tipo de agresividad de las muestras colectadas para la zona de estudio en los dos periodos reporta que el agua corrosiva es mayor en 2014 e incrustante en la serie II (Cuadro 6.3).

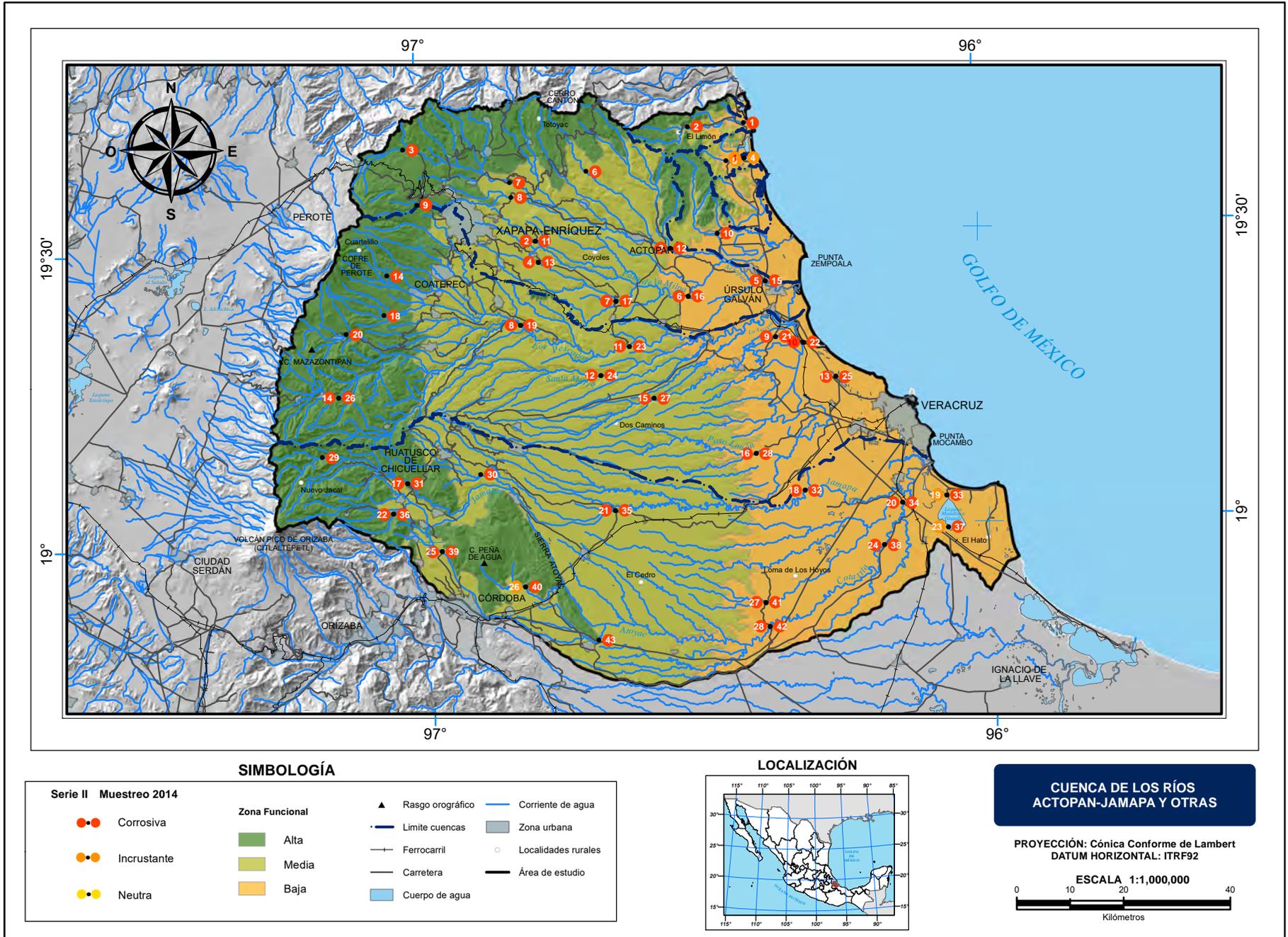
Porcentaje del tipo de agresividad

Cuadro 6.3

Tipo de agua	Serie II	M-2014
Corrosiva	85.72	95.35
Incrustante	14.28	4.65

Fuente: INEGI-DGGyMA. Información derivada de los resultados físico-químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales, serie II y muestreo 2014.

⁷ http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_12.pdf



Fuente: INEGI-DGG y MA. Información derivada de los resultados físico – químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales serie II y muestreo 2014.

6.2.3 Diagramas de Gibbs

En 1970, *Gibbs* postuló que los mecanismos que controlan la química del agua superficial a nivel mundial son: La precipitación atmosférica, lavado de las rocas y procesos de evaporación y cristalización⁸.

Los cuerpos de agua y escurrimientos cuya composición química está influenciada por la precipitación, se ubican en la zona inferior derecha del boomerang (Gráfica 6.3), se caracterizan por presentar valores bajos de sólidos totales disueltos (STD) y alta relación $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$. En la zona de estudio, este tipo de agua se localiza en la zona funcional alta, y es más notorio para el muestreo del mes de noviembre de 2014.

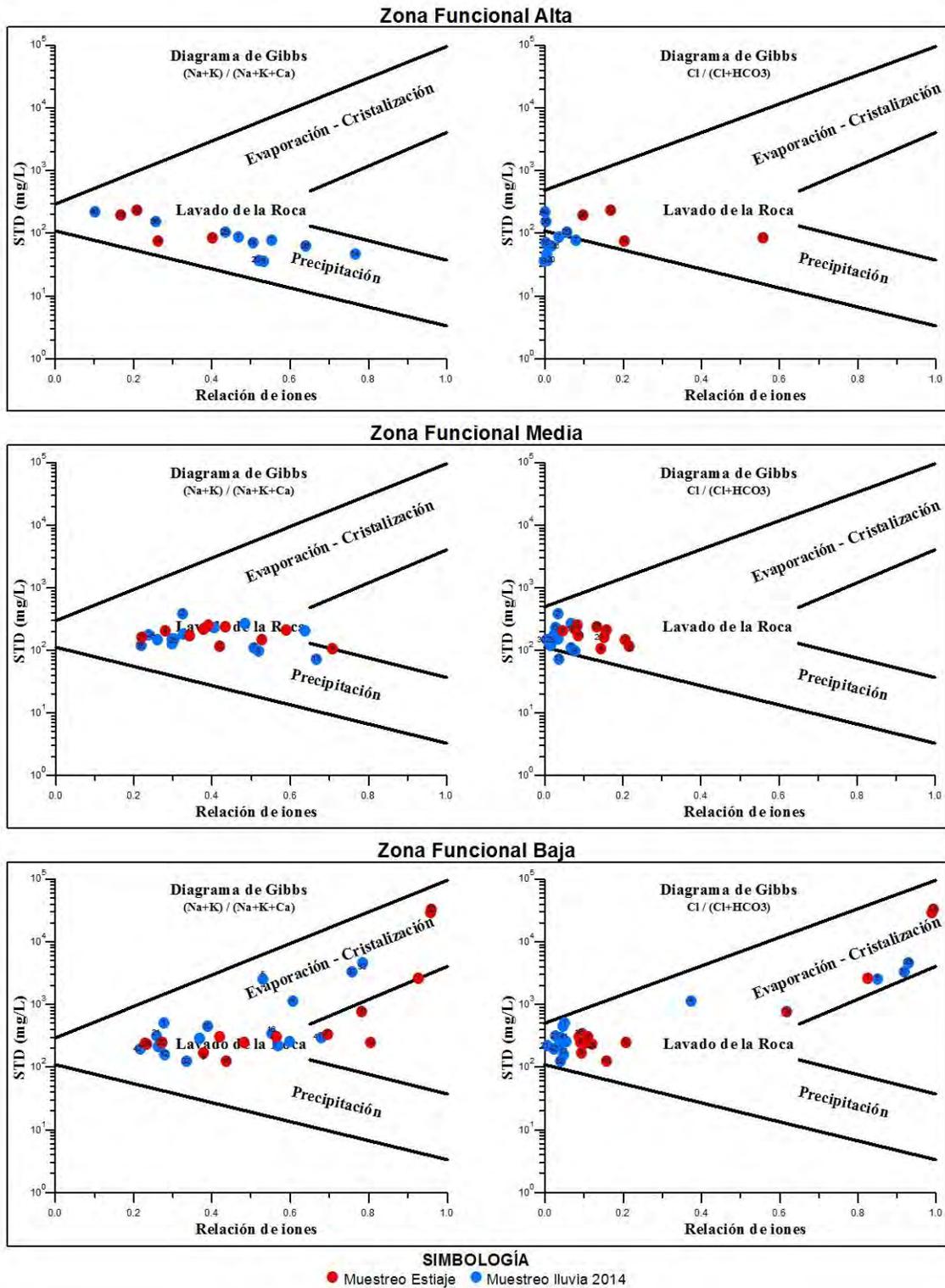
En el proceso de meteorización (lavado de roca), la composición química del agua depende en gran parte del clima, relieve, material parental y la biota (Miretzky, 2001). En este tipo de agua predominan los iones de calcio y bicarbonato, tiene valores medios de STD y ocupan aproximadamente la primera mitad del eje $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$. En la gráfica 6.3 de Gibbs se interpreta que el agua cuyo origen de sus iones provienen de este proceso, es abundante en las zonas funcionales media y baja del área en estudio.

El mecanismo de evaporación y cristalización en las aguas superficiales es común en las zonas áridas y tórridas, donde la evaporación supera la precipitación (*ibíd.*). El agua cuya composición química revela que ha sido alterada por estos fenómenos, se encuentra en la zona funcional baja en rasgos que corresponden a las lagunas Farallón, Mandinga (Fotografía 6.2) y Mandinga Grande; en la desembocadura del río La Antigua, así como en el arroyo El Marín ubicado en la cuenca laguna El Llano.



Fotografía 6.2: Laguna Mandinga, sitio donde domina el proceso de evaporación, noviembre de 2014.

⁸ http://rele.fcien.edu.uy/pdf/el_agua_en_iberoa-merica.pdf



Fuente: INEGI-DGG y MA. Información derivada de los resultados físico – químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales muestreo 2014

6.2.4 Familias del agua

Entre los elementos que la hidrogeoquímica considera importantes por ser mayoritarios, se encuentran: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) potasio (K^+), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), cloruro (Cl^-), y como parámetros de campo la conductividad eléctrica, temperatura, contenido de oxígeno disuelto y el pH; suficientes para el estudio de los principales procesos químicos, (Custodio, 1976, Deusth, 1997). Una interpretación es la obtención de las familias de agua mediante el uso del diagrama de Palmer – Piper.

Se elaboró una distribución porcentual que relacionan las familias de agua determinadas en la cuenca de los ríos Actopan-Jamapa y otras, por etapa de muestreo (Cuadros 6.4 y 6.5).

Distribución porcentual de las familias de agua

Cuadro 6.4

Muestreo 2014	Porcentaje
Zona funcional alta	
Mixta-Bicarbonatada	11.62
Cálcica-Bicarbonatada	4.67
Cálcica-Bicarbonatada	4.67
Magnésica Sódica-Bicarbonatada	2.32
Zona funcional media	
Magnésica Cálcica-Bicarbonatada	11.62
Mixta-Bicarbonatada	11.62
Cálcica-Bicarbonatada	9.30
Mixta-Bicarbonatada Clorurada	2.32
Cálcica Sódica-Bicarbonatada	2.32
Zona funcional baja	
Mixta-Bicarbonatada	13.95
Cálcica-Bicarbonatada	6.98
Magnésica Cálcica-Bicarbonatada	6.98
Sódica-Clorurada	4.67
Mixta-Bicarbonatada Clorurada	2.32
Cálcica Sódica-Clorurada	2.32
Cálcica Sódica-Bicarbonatada	2.32

Fuente: INEGI-DGGyMA. Información derivada de los resultados físico-químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales. Inédito, 2014.

Zona funcional alta

Se reportan los niveles más bajos de sólidos totales disueltos, para ambas campañas de muestreo, predominan los cationes calcio y magnesio con el anión bicarbonato, es decir los iones dominantes provienen de la interacción con las rocas ígneas extrusivas y carbonatadas en menor extensión, que aportan dichos elementos.

Zona funcional media

El aumento de sólidos totales no es significativo en comparación con la zona alta. Se observa que en las campañas de muestreo, la familia de agua con más representación es mixta-bicarbonatada, le siguen en frecuencia los cationes magnesio y calcio. Nuevamente, el origen de los iones se debe a la existencia de rocas ígneas extrusivas y afloramientos de sedimentarias como caliza, arenisca y conglomerado.

Zona funcional baja

En esta zona se reportan los valores más elevados de sólidos totales disueltos. Para ambos muestreos domina la familia mixta bicarbonatada, le sigue en frecuencia la sódica-clorurada que se registra en las lagunas Mandinga y Mandinga Grande, así como en la desembocadura del río La Antigua por la cercanía a la línea de costa, y en tercera instancia dominan los cationes calcio y magnesio (posiblemente por la presencia de suelos phaeozem) con el anión bicarbonato. Corresponde a zonas con actividad agrícola de riego, con uso de fertilizantes y pesticidas pero también a la descarga de aguas residuales.

Serie II	Porcentaje
Zona funcional alta	
Magnésica-Bicarbonatada Clorurada	3.57
Cálcica Sódica-Bicarbonatada Clorurada	3.57
Magnésica Cálcica-Bicarbonatada	3.57
Cálcica-Bicarbonatada	3.57
Zona funcional media	
Mixta-Bicarbonatada	14.30
Mixta-Bicarbonatada Clorurada	7.14
Cálcica-Bicarbonatada	3.57
Cálcica Sódica-Bicarbonatada	3.57
Cálcica Sódica-Bicarbonatada Clorurada	3.57
Magnésica Cálcica-Bicarbonatada	3.57
Zona funcional baja	
Mixta-Bicarbonatada	14.30
Sódica-Clorurada	10.71
Cálcica-Bicarbonatada	7.14
Cálcica Sódica-Bicarbonatada	3.57
Magnésica Cálcica-Bicarbonatada	3.57
Magnésica Sódica-Bicarbonatada	3.57
Mixta-Bicarbonatada Clorurada	3.57
Sódica-Sulfatada Clorurada	3.57

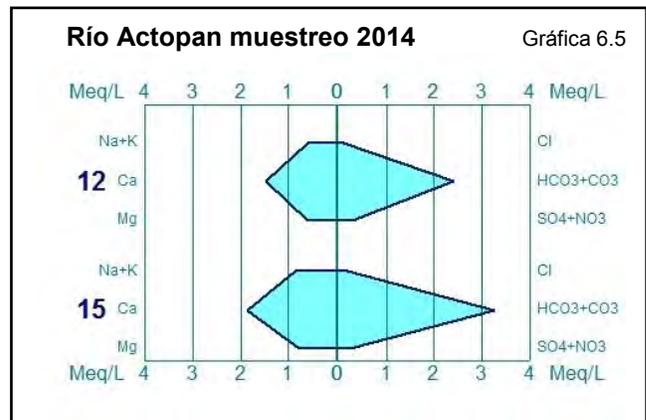
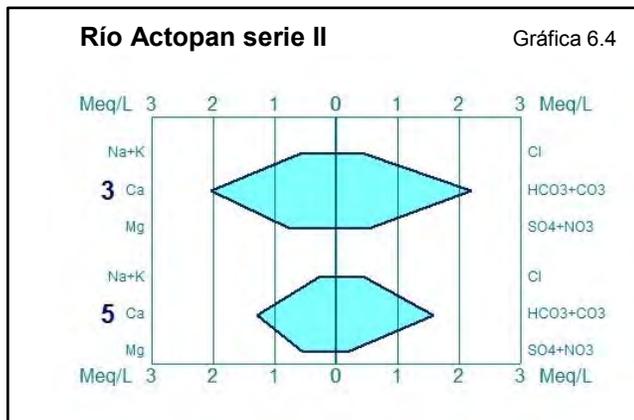
Fuente: INEGI-DGGyMA. Información derivada de los resultados físico-químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales, serie II. Inédito.

6.2.5 Diagramas de Stiff

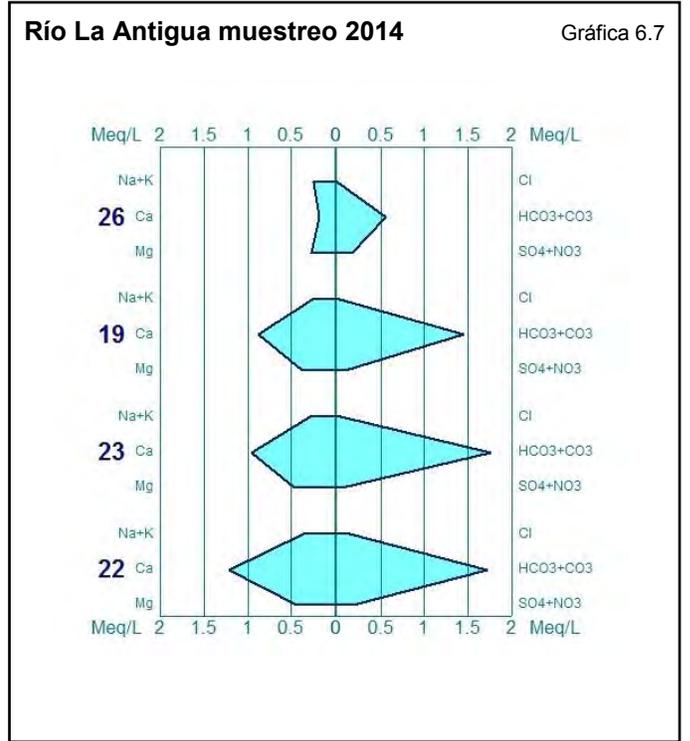
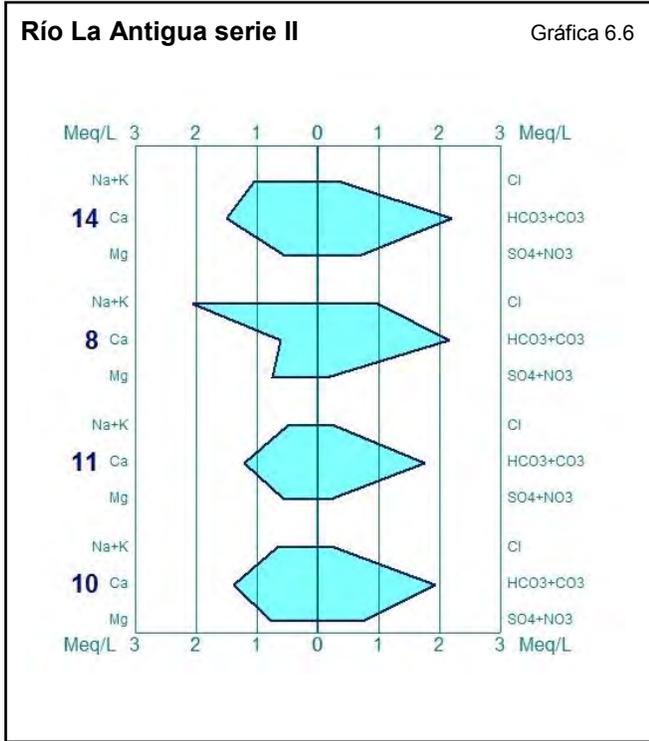
También son conocidos como diagramas poligonales, en ellos se representa la concentración en miliequivalentes por litro (meq/L) de aniones (a la derecha) y cationes (a la izquierda) que al unir los extremos se genera un polígono, la forma de este da idea del tipo de agua.

Para la zona de estudio se elaboraron los diagramas correspondientes a las dos campañas de muestreo para los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa.

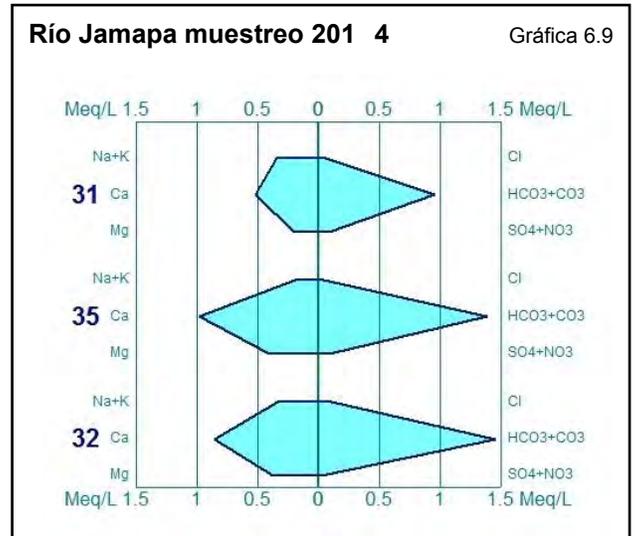
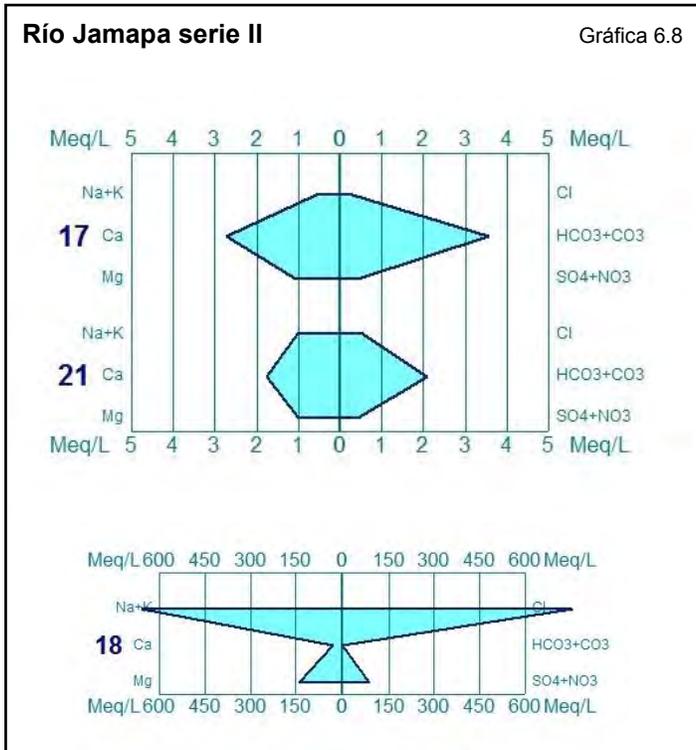
Se ejemplifican dos sitios de muestreo sobre el cauce del río Actopan (Gráfica 6.4), el catión dominante es el calcio y el anión bicarbonato. Diferente a lo estimado, en la serie II ambos reducen su contenido del punto 3 al 5, no así para el muestreo de 2014 (Gráfica 6.5) donde aumentan sus concentraciones del sitio 12 en la zona funcional media, al sitio 15 en zona funcional baja.



Para el río La Antigua, los diagramas tienen un comportamiento lógico de concentración de sales de zona funcional alta a baja. Sin embargo, se observa que (Gráfica 6.6) el catión mayoritario en los muestreos 14, 11 y 10 es el calcio pero en el punto 8 domina el sodio. Este comportamiento no se repite en el 19 para la etapa de campo del 2014 (Gráfica 6.7).



Los diagramas (Gráfica 6.8 y 6.9) de las muestras tomadas en el río Jamapa, dejan ver el aumento de sales conforme la corriente avanza de las zonas funcionales alta a media y baja. Lo anterior es muy evidente en la muestra 18 de serie II, recolectada en la baja en época de estiaje. Su sitio correspondiente (colecta 32) en muestreo del 2014, no presenta un incremento significativo posiblemente por las abundantes lluvias que se registraron.



6.2.6 Clasificación de agua para uso agrícola

El agua para riego se clasifica de acuerdo con su conductividad eléctrica (CE) medida en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y a la relación de adsorción de sodio (RAS), donde la variable C corresponde a CE y S al contenido de sodio intercambiable.

	CE (grado de salinidad)	RAS (contenido de sodio)
C1 Bajo	100 - 250	S1 Bajo 0 - 10
C2 Medio	250 - 750	S2 Medio 10 - 18
C3 Alto	750 - 2 250	S3 Alto 18 - 26
C4 Muy alto	> 2 250	S4 Muy alto > 26

Se elaboró una clasificación del agua para riego en la zona de estudio para los dos programas de muestreo (Cuadro 6.6 y gráfica 6.10).

Tipos de agua para uso agrícola

Cuadro 6.6

Clasificación	Serie II	Muestreo 2014
C1-S1	11	27
C2-S1	13	12
C3-S1	1	1
C4-S2	-	1
C4-S3	1	1
C4-S4	2	1

Fuente: INEGI-DGGyMA. Información derivada de los resultados físico-químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales, serie II y muestreo 2014. Inédito.

El tipo C1-S1 es la dominante en el área de estudio para ambas etapas de muestreo, se ubica en las tres zonas funcionales de las cuencas de los ríos Jamapa y la Antigua, así como en la alta y media de la cuenca del río Actopan. Estos valores están asociados con agua de baja salinidad, apta para el riego de cualquier cultivo, aunque pueden existir problemas en suelos de muy baja permeabilidad, con baja o nula probabilidad de generar salinidad en estos. El agua de contenido bajo en sodio es apta para el riego en la mayoría de los casos, sin embargo pueden presentar problemas en cultivos muy sensibles al sodio.

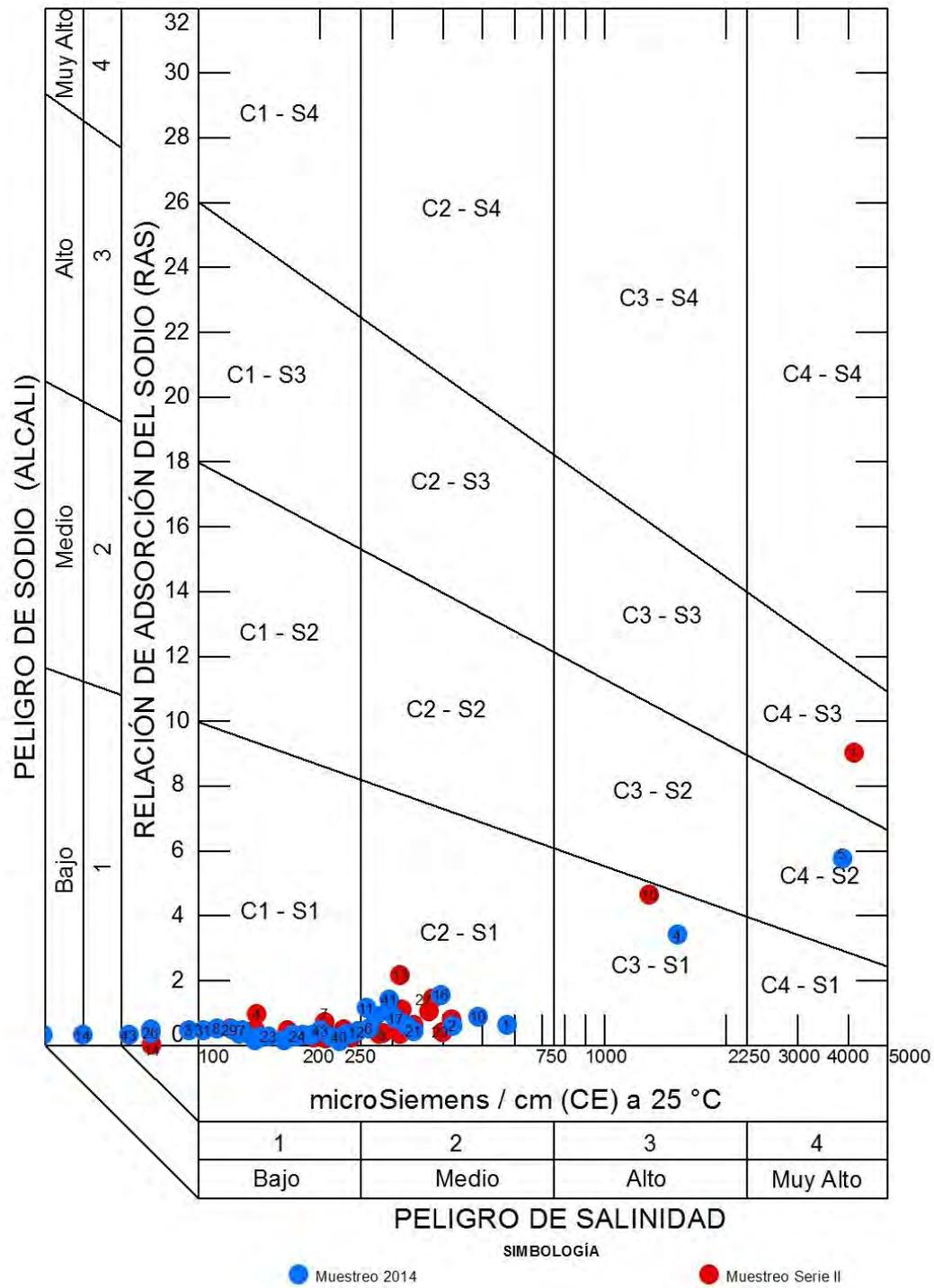
El tipo C2-S1 es el segundo en frecuencia para uno y otro muestreo. Para serie II se localiza en las zonas funcionales media y baja de las cuencas de los ríos Jamapa, La Antigua y Actopan. Por su parte, en el periodo de noviembre de 2014, este tipo de agua se ubica en la zona funcional media de la cuenca del río Actopan y del arroyo Paso El Limón; además de la baja ubicada en las cuencas de los ríos Jamapa, La Antigua, Actopan y Agua Fría, y cuenca del arroyo Paso El Limón. Este tipo de agua se considera de salinidad media que puede usarse para el riego de cultivos, a condición de que exista cuando menos un lavado moderado de los suelos. La mayoría de cultivos, resisten a este tipo de agua, sin prácticas especiales de control. El valor de RAS es el mismo que el anterior.

El tipo C3-S1 se localizan de la siguiente manera: para el muestreo serie II, sólo se localiza en la desembocadura del río La Antigua y en el año de 2014 únicamente se registra en aguas de la laguna Farallón. Este tipo de agua se considera de salinidad alta y solamente deben usarse en suelos con buen drenaje para cultivos muy tolerantes a la salinidad. El valor de RAS indica bajo contenido en sodio.

El tipo C4-S2 únicamente se reporta en la colecta tomada en la desembocadura del río La Antigua para el mes de noviembre de 2014. Es agua altamente salina puede consumirse en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, con drenaje adecuado, es pertinente aplicar un exceso de agua para lograr un buen lavado; en este caso, es aceptable seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales. El valor de RAS indica cierta cantidad en sodio y sólo puede aprovecharse en suelos de textura gruesa u orgánica de buena permeabilidad.

Diagrama de Wilcox

Gráfica 6.10



Fuente: INEGI-DGGyMA. Información derivada de los resultados físico-químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales, serie II y muestreo 2014. Inédito.

El tipo C4-S3 se registra en dos lagunas, Farallón para el muestreo realizado en serie II y Mandinga Grande en programa 2014, esta última no se representa (Gráfica 6.10) por su alto contenido en sales. La salinidad es la misma al grupo anteriormente redactado y el valor de RAS representa contenido alto en sodio, puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que estos necesitarán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica.

El tipo C4-S4 se detectó en la laguna Mandinga para ambos periodos de muestreos y en la laguna Mandinga Grande en la etapa de campo del año 2014. El RAS indica que es agua muy alta en sodio, inadecuada para el riego. Los puntos que representan estas colectas no son visibles (Gráfica 6.10) por el alto contenido en conductividad eléctrica.

6.2.7 Fosfatos

La representación del fósforo más importante para la nutrición vegetal es el ortofosfato inorgánico ionizado donde las bacterias son las que actúan como mediadoras de fósforo orgánico disuelto a fósforo inorgánico disuelto (Wetzel, 1981).

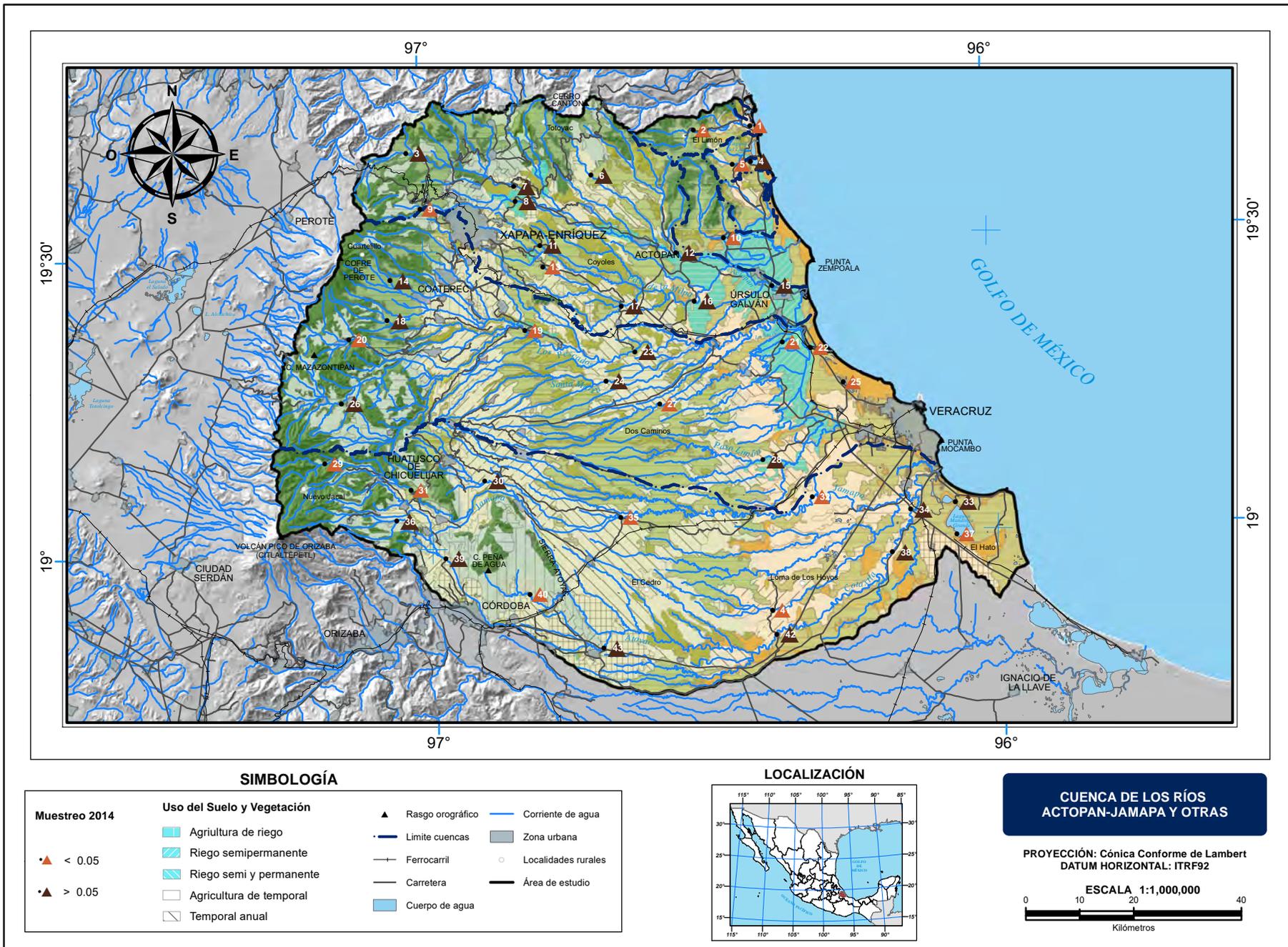
En un agua no contaminada, el fósforo puede llegar a tener una concentración de 0.05 miligramos por litro (Wetzel, 2001), concentraciones mayores se deben a la incorporación de aguas residuales o tratadas que estimulan el crecimiento de macro y microorganismos provocando la eutrofización (APHA, 1992).

Para su análisis, únicamente se cuenta con datos de noviembre 2014. De las 43 muestras colectadas, 22 contienen concentraciones mayores a 0.05 mg/L, se sitúan en las tres zonas funcionales, es importante resaltar que las cinco muestras con mayor concentración (0.21 a 0.59 mg/L), se ubican en la cuenca del río Actopan. En ella se localiza parte de la ciudad de Xalapa y otras localidades, además del distrito de riego (DR-035) La Antigua, por lo que se deduce que las aguas residuales y el uso de fertilizantes deben ser los causantes de los elevados niveles de fosfato.

El valor máximo corresponde al río Paso de la Milpa (Mapa 6.4, número 16; fotografía 6.3) afluente del río Actopan, que se localiza en el distrito de riego mencionado con valor de 0.59 mg/L .



Fotografía 6.3: Río Paso de la Milpa, sitio donde se registra la mayor concentración de fosfatos en la zona de estudio, noviembre de 2014.



Fuente: INEGI-DGG y MA. Información derivada de los resultados físico – químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales serie II y muestreo 2014.

6.2.8 Nitratos

La presencia de nitratos en el agua es resultado de procesos naturales como la precipitación, el intemperismo de minerales y descomposición de la materia orgánica, además de actividades humanas que incluyen la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Heaton, 1985).

La NOM-127-SSA1-1994 establece el límite de 10 miligramos por litro de nitrato en el agua, aquellas que indican concentraciones mayores, puede deberse a la influencia de descargas residuales o al uso de fertilizantes.

Para el programa de muestreo de serie II, los valores obtenidos se comportan de la siguiente manera: cinco muestras superan el límite establecido, cuatro de ellas se ubican al igual que los fosfatos, en la cuenca del río Actopan y una en la cuenca del río Jamapa sobre el río Seco, el cual recibe aguas residuales de cuando menos las cabeceras municipales de Tomatlán y Chocaman. El sitio que alcanza el valor más alto corresponde al muestreo número dos (Mapa 6.5) sobre el arroyo Paso de la Milpa que recibe aguas residuales de la ciudad de Xalapa y aporte de fertilizantes de los alrededores al practicarse agricultura de temporal y riego.

Para el segundo muestreo el comportamiento es similar toda vez que la cuenca del río Actopan concentra los cinco sitios que sobrepasan el límite. Oscilan de 10.7 mg/L en el punto siete sobre el río Naolinco, a 28.7 mg/L en escurrimientos del arroyo Paso de la Milpa.

6.2.9 Oxígeno disuelto

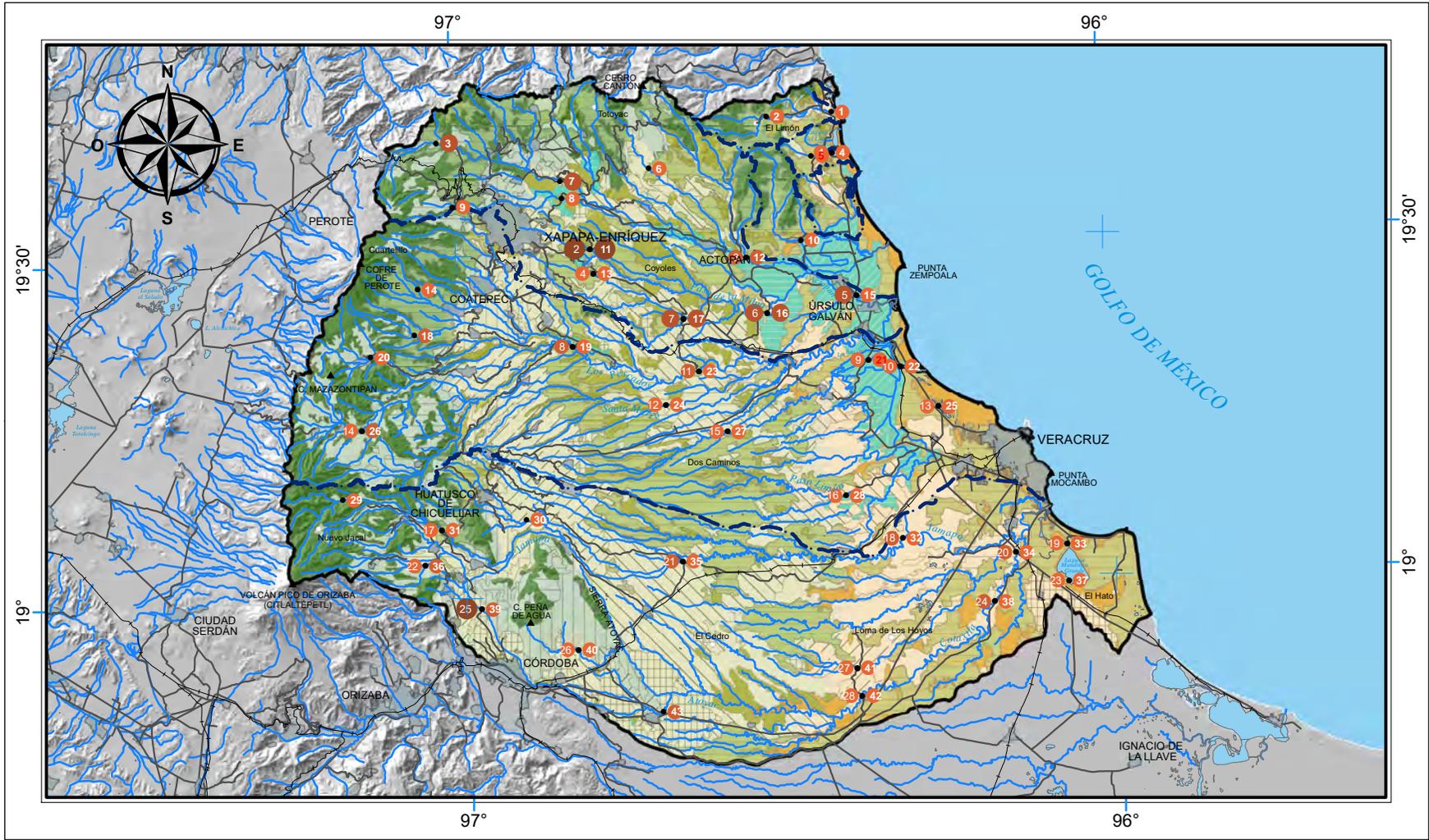
Es uno de los parámetros más importantes del agua, esencial para el metabolismo de los organismos acuáticos aerobios (Wetzel, 1981). Su concentración depende de diversos factores como temperatura del agua, turbiedad, fotosíntesis, volumen de la materia orgánica, cantidad de sólidos disueltos, grado de agitación, origen del agua y presión barométrica (Spellman y Joanne, 2004).

Guía para interpretar los datos de Oxígeno Disuelto en el agua⁹.

Concentración mg/L	Observaciones
0-2	No suficiente oxígeno para soportar vida animal en el agua.
2-4	Sólo pocos peces e insectos acuáticos pueden sobrevivir.
4-7	Bueno para la mayoría de animales acuáticos, aceptable para peces de aguas tropicales y bajo para peces de aguas frías.
7-11	Muy bueno para la mayoría de vida animal en ríos y lagos.

Las lecturas *in situ* de este parámetro durante la etapa de noviembre de 2014, indican que tres muestras colectadas son buenas para la mayoría de los animales acuáticos; refieren a la laguna Farallón (4.3 mg/L), el arroyo Soyapala (6.17 mg/L) tributario del río Jamapa y laguna Mandinga (6.28 mg/L). El resto, es decir 40, comprenden valores que fluctúan entre 7.24 y 12.9 mg/L, son aguas muy buenas para el desarrollo de vida animal (Mapa 6.6).

⁹ <http://www.globalwaterwatch.org/MEX/MXesp/MXInfoBasicaParametrosSp.aspx>



SIMBOLOGÍA

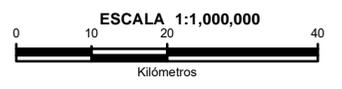
Serie II	Muestreo 2014	Uso del Suelo y Vegetación		
●●	0 - 5	Agriultura de riego	▲	Rasgo orográfico
●●●	5.01 - 10	Riego semipermanente	—	Limite cuencas
●●●●	10.01 - 20	Riego semi y permanente	—	Ferrocarril
●●●●●	20.01 - 50	Agricultura de temporal	—	Carretera
		Temporal anual	■	Cuerpo de agua
			○	Zona urbana
			○	Localidades rurales
			—	Área de estudio

LOCALIZACIÓN

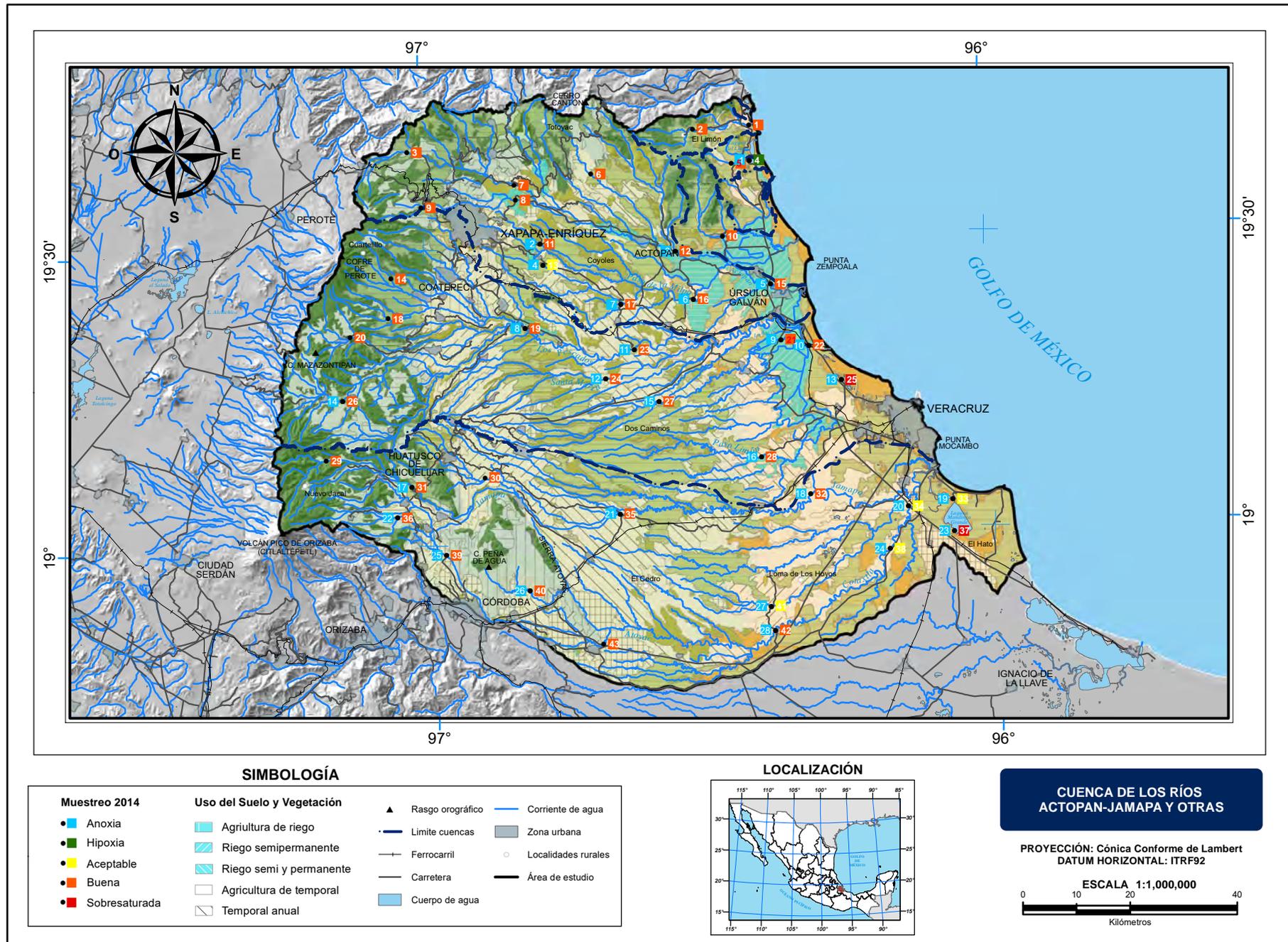


CUENCA DE LOS RÍOS ACTOPAN-JAMAPA Y OTRAS

PROYECCIÓN: Cónica Conforme de Lambert
DATUM HORIZONTAL: ITRF92



Fuente: INEGI-DGG y MA. Información derivada de los resultados físico – químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales serie II y muestreo 2014.



Fuente: INEGI-DGG y MA. Información derivada de los resultados físico – químicos de muestras de agua, departamento de Análisis de Materiales serie II y muestreo 2014.

Resultados fisicoquímicos

Cuadro 6.7

No.	Rasgo Hidrográfico	Fecha	Temp °C*	pH		C.E. µS/cm		mg/L										Dureza CaCO ₃	
				Campo	Lab	Campo	Lab	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	STD		
																	Campo		Lab
1	Laguna	30/05/05	32.3	7.5	8.7	4 080.0	4153.0	47.29	160.38	579.35	35.19	856.86	167.81	0.00	797.63	0.00	2 050.00	2 644.50	778.62
2	Arroyo	01/06/05	24.6	6.5	7.6	298.0	317.2	20.84	8.14	23.45	6.65	24.02	72.61	0.00	13.83	40.40	150.00	209.94	85.57
3	Río	27/05/05	25.5	7.0	7.5	323.0	339.5	34.07	10.45	16.32	5.47	20.17	146.45	0.00	13.83	6.85	166.00	253.61	128.10
4	Vaso presa	01/06/05	32.0	7.0	7.3	104.0	139.0	7.41	3.40	12.87	12.87	4.32	60.41	0.00	10.28	2.89	53.00	106.68	32.53
5	Río	28/05/05	29.5	6.5	7.7	351.0	420.9	42.69	10.57	22.76	8.21	21.13	164.75	0.00	20.92	15.76	176.00	306.79	150.12
6	Río	28/05/05	28.9	7.0	7.5	301.0	313.8	30.06	6.56	19.54	8.60	22.57	134.24	0.00	13.83	15.02	154.00	250.42	102.08
7	Río	27/05/05	25.8	6.5	7.3	219.0	204.4	19.04	4.25	13.56	7.82	16.33	60.41	0.00	15.95	11.68	111.00	149.04	65.05
8	Río	03/06/05	25.5	7.0	7.9	250.0	285.4	32.46	7.41	9.20	3.52	4.32	130.58	0.00	6.74	9.08	120.00	203.31	111.59
9	Canal	28/05/05	32.9	6.5	7.4	226.0	228.2	24.85	6.20	10.81	4.30	13.45	97.63	0.00	10.28	2.15	114.00	169.66	87.57
10	Río	27/05/05	29.0	7.0	8.0	1294.0	1295.0	48.90	28.43	165.53	10.95	60.52	170.25	11.70	277.93	3.35	664.60	777.54	239.19
11	Río	27/05/05	27.5	7.0	7.6	224.0	231.0	7.60	6.68	9.20	3.52	5.28	106.79	0.00	10.28	5.86	113.00	171.86	88.07
12	Río	19/07/05	27.2	7.0	7.3	163.0	137.4	15.83	4.86	8.74	2.74	5.28	57.97	0.00	16.31	0.07	82.00	111.80	59.55
13	Laguna	26/05/05	34.0	8.5	8.5	377.0	313.6	12.42	9.23	9.23	10.17	7.20	131.80	0.00	34.74	0.25	185.00	247.20	69.06
14	Río	20/07/05	22.2	6.5	7.6	92.0	76.5	6.81	8.75	0.48	1.96	2.88	38.56	0.00	9.93	0.10	47.00	69.47	53.04
15	Río	27/05/05	30.2	7.0	7.8	299.0	311.0	28.06	9.60	13.56	3.52	36.02	118.38	0.00	10.28	0.25	151.00	219.67	109.59
16	Arroyo	26/05/05	33.6	7.0	8.0	403.0	370.3	24.85	15.92	27.59	4.69	3.36	206.25	0.00	20.21	0.19	203.00	303.05	127.60
17	Río	19/07/05	19.0	6.0	8.1	145.0	120.1	15.23	2.55	8.28	0.00	6.24	12.81	18.96	16.31	0.03	73.00	82.37	48.54
18	Río	25/05/05	31.2	6.5	7.5	137.7	166.2	15.83	5.83	8.74	3.52	11.53	59.80	0.00	11.34	8.30	69.00	124.89	63.55
19	Laguna	25/05/05	32.0	8.0	8.1	42 900.0	49 200.0	414.83	1 086.21	9 402.91	293.25	1 661.84	151.94	0.00	1.63	1.05	21 600.00	29 290.67	5 509.40
20	Río	25/05/05	29.6	7.0	8.2	300.0	400.9	41.08	9.36	9.36	3.91	18.73	134.85	0.00	17.37	9.54	152.00	246.34	141.11
21	Río	26/05/05	27.3	6.5	7.7	208.0	192.5	26.25	6.56	5.52	1.96	2.88	95.80	0.00	17.37	7.06	105.00	163.40	92.57
22	Río	19/07/05	20.5	6.5	7.9	250.0	205.5	35.27	35.27	35.27	3.13	28.82	96.41	18.96	19.85	0.09	126.00	226.23	160.13
23	Laguna	02/06/05	34.9	7.5	8.6	7 100.0	5 290.0	448.90	1 215.00	1 060.90	351.90	1 701.70	101.90	101.90	1.87	2.23	3 540.00	33 250.00	6 124.90
24	Río	02/06/05	32.8	6.0	7.9	445.0	314.6	42.08	8.02	184.36	3.13	5.28	149.50	0.00	17.37	7.93	225.00	242.74	138.11
25	Río	28/05/05	22.3	9.0	8.3	470.0	311.9	35.47	4.98	114.52	7.04	2.40	128.14	0.00	20.21	22.93	236.00	241.40	109.09
26	Vaso presa	30/05/05	21.9	6.0	8.4	346.0	237.4	37.47	5.83	134.08	1.56	4.80	122.04	0.00	13.47	4.96	174.00	196.12	117.59
27	Arroyo	02/06/05	30.3	5.5	8.1	606.0	377.4	21.04	17.25	396.65	11.34	2.88	224.55	0.00	23.75	0.50	309.00	338.10	123.60
28	Río	02/06/05	30.2	6.0	8.2	414.0	278.8	41.08	7.65	175.98	3.13	4.32	146.45	0.00	20.21	1.61	212.00	233.88	134.11

*Dato obtenido en campo

Fuente: INEGI-DGGyMA. Información de campo y resultados fisicoquímicos de muestras de agua, serie II.

Resultados fisicoquímicos

Cuadro 6.8

No.	Rasgo Hidrográfico	Fecha	Temp °C*	pH		C.E. µS/cm		mg/L													STD		Dureza CaCO ₃
				Campo	Lab	Campo	Lab	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	OD *	SS	Campo	Lab		
1	Arroyo	07/11/15	26.7	8.1	7.3	669.0	576	67.53	24.06	24.23	1.60	73.44	289.72	3.33	15.70	0.06	0.02	11.64	10.0	315.0	499.67	267.71	
2	Arroyo	07/11/15	24.2	8.5	7.2	474.0	423	44.49	21.99	19.98	1.33	5.79	270.39	10.45	10.03	1.74	0.04	8.95	18.0	233.0	386.19	201.66	
3	Arroyo	03/11/14	13.5	7.9	6.6	90.4	95	7.21	3.28	6.18	2.78	2.95	39.62	0.00	3.44	11.77	0.10	8.50	2.0	55.2	77.24	31.53	
4	Laguna	07/11/15	27.9	7.5	7.4	1 803.0	1517	118.04	45.44	172.43	9.23	139.90	414.89	0.00	248.92	0.68	0.07	4.30	14.0	853.0	1 149.51	481.89	
5	Arroyo	07/11/15	25.6	8.1	7.2	4 220.0	3 890	398.80	24.30	438.19	10.36	637.40	156.33	0.00	897.21	0.06	0.03	8.96	2.0	2 171.0	2 562.65	1 095.88	
6	Río	13/11/15	20.4	8.5	6.9	274.0	263	25.85	10.81	12.71	4.85	6.29	163.28	0.00	5.02	3.47	0.28	8.92	2.0	144.0	232.28	109.09	
7	Río	03/11/14	19.2	8.3	6.3	140.0	128	10.62	5.35	7.36	3.60	2.62	65.96	0.00	4.83	10.78	0.24	8.32	4.0	75.4	111.12	48.54	
8	Río	03/11/14	17.9	7.8	6.3	120.3	111	10.22	3.40	7.79	3.25	3.46	59.44	0.00	5.20	4.90	0.21	8.50	8.0	66.3	97.66	39.53	
9	Arroyo	03/11/14	12.2	6.5	6.7	36.7	41	3.61	1.22	2.78	1.33	1.42	23.91	0.00	0.00	1.61	0.01	8.41	0.0	23.1	35.88	14.01	
10	Río	07/11/15	26.4	8.5	6.8	556.0	490	50.70	20.05	29.98	2.46	2.53	322.03	0.00	16.16	0.25	0.01	10.87	322.0	262.0	444.16	209.17	
11	Arroyo	13/11/15	19.5	7.9	6.9	270.0	260	17.03	7.53	22.88	7.08	20.19	88.13	0.00	16.63	28.75	0.46	8.79	26.0	145.3	208.22	73.56	
12	Río	08/11/15	24.6	8.6	7.0	280.0	247	29.66	7.78	10.28	7.98	11.72	148.30	0.00	4.74	5.08	0.08	9.19	0.0	135.1	225.52	106.08	
13	Vaso presa	13/11/15	22.2	7.3	6.9	89.7	76	5.01	3.40	5.86	4.22	1.69	48.98	0.00	1.95	1.92	0.03	7.24	6.0	44.9	73.04	26.52	
14	Arroyo	14/11/15	14.1	7.4	6.6	50.4	52	1.80	3.28	3.15	2.78	0.75	32.07	0.00	0.19	2.23	0.06	8.63	88.0	30.1	46.25	18.01	
15	Río	08/11/15	26.5	8.3	7.0	387.0	325	37.88	9.60	16.99	5.20	12.56	198.56	0.00	7.89	0.43	0.14	8.30	12.0	180.5	289.11	134.11	
16	Río	08/11/15	26.3	8.3	6.9	454.0	396	39.48	7.29	40.69	8.33	25.41	185.51	0.00	19.88	17.72	0.59	9.24	10.0	213.3	344.31	128.60	
17	Río	12/11/15	24.3	8.5	6.8	342.0	306	32.46	7.05	19.93	10.60	11.62	160.38	0.00	11.89	18.28	0.45	8.21	10.0	166.6	272.21	110.09	
18	Arroyo	14/11/15	17.6	7.8	6.8	71.2	67	6.81	3.28	4.05	2.93	0.44	44.15	0.00	0.19	9.08	0.05	8.60	138.0	39.4	70.93	30.52	
19	Río	12/11/15	21.4	8.5	6.7	159.9	142	17.84	4.62	4.87	2.66	2.84	88.37	0.00	1.58	3.66	0.04	8.93	2.0	81.9	126.43	63.55	
20	Río	14/11/15	13.3	7.5	6.6	38.5	41	3.61	1.82	2.18	1.72	1.17	23.13	0.00	0.19	3.35	0.03	8.91	6.0	23.4	37.16	16.51	
21	Río	09/11/15	26.5	7.9	7.0	405.0	340	48.50	9.23	12.97	3.99	9.53	221.27	0.00	6.41	0.81	0.03	8.44	6.0	189.5	312.70	159.13	
22	Río	05/11/15	24.0	8.2	7.2	216.2	190	24.65	5.47	7.20	2.39	9.51	105.35	0.00	5.48	0.19	0.00	8.15	4.0	105.1	160.22	84.07	
23	Río	12/11/15	22.5	8.8	6.8	170.9	149	19.44	5.83	5.47	2.89	2.32	106.98	0.00	1.95	0.81	0.12	8.92	10.0	85.4	145.69	72.56	
24	Río	12/11/15	27.1	8.6	6.8	219.4	176	29.86	4.62	6.60	2.74	4.51	122.20	0.00	3.07	2.91	0.05	9.40	8.0	100.2	176.50	93.57	
25	Laguna	05/11/15	29.2	9.3	7.0	321.0	273	18.44	10.21	19.86	4.46	5.25	156.33	0.00	1.21	0.62	0.01	12.95	18.0	141.3	216.37	88.07	
26	Río	14/11/15	13.8	7.9	6.6	74.6	76	4.01	3.52	4.41	2.74	2.22	34.97	0.00	0.65	9.42	0.11	8.88	2.0	45.1	61.93	24.52	
27	Río	05/11/15	27.9	9.1	6.9	213.7	171	20.84	6.93	6.69	2.42	15.41	98.82	0.00	2.88	0.74	0.00	9.08	6.0	95.9	154.74	80.56	
28	Arroyo	05/11/15	28.3	8.1	7.1	371.0	294	19.24	13.00	24.42	4.38	4.70	176.87	0.00	10.50	1.24	0.07	9.65	16.0	167.1	254.34	101.58	
29	Río	11/11/15	15.8	7.4	6.9	119.3	121	13.23	2.92	7.52	2.66	6.08	66.62	0.00	4.09	0.31	0.03	8.43	4.0	69.1	103.42	45.04	
30	Arroyo	12/11/15	19.5	8.0	6.8	170.6	162	19.84	7.05	3.31	3.64	1.80	112.53	0.00	0.65	0.12	0.06	8.19	14.0	91.0	148.94	78.56	
31	Río	11/11/15	17.0	8.1	6.9	107.9	103	10.42	2.55	6.69	2.46	3.05	58.65	0.00	2.23	1.67	0.04	8.44	0.0	60.6	87.73	36.53	
32	Río	06/11/15	26.8	8.5	7.0	162.7	126	17.23	4.62	6.44	2.27	0.66	89.16	0.00	3.81	0.87	0.03	9.78	16.0	74.3	125.05	62.05	
33	Laguna	04/11/15	28.5	7.8	6.9	8 910.0	7 950	315.83	179.82	1 104.99	50.91	339.10	182.19	0.00	2 412.07	1.86	0.07	6.28	34.0	4 490.0	4 586.77	1 529.22	
34	Río	04/11/15	25.5	7.5	6.8	280.0	236	31.66	6.93	8.69	2.54	4.49	152.23	0.00	5.39	0.43	0.07	7.32	6.0	132.5	212.36	107.59	
35	Río	06/11/15	21.9	8.4	6.9	162.8	138	19.64	4.98	3.36	2.11	1.86	84.57	0.00	1.39	2.85	0.02	9.21	4.0	82.4	120.76	69.56	
36	Río	11/11/15	20.1	8.3	6.9	178.4	173	25.65	3.04	5.61	3.28	10.78	98.52	0.00	0.46	5.21	0.06	8.17	2.0	94.1	152.55	76.56	
37	Laguna	04/11/15	29.1	8.7	6.9	7 160.0	5 960	255.71	104.49	762.81	38.90	177.00	154.88	0.00	1 807.43	1.36	0.02	12.05	32.0	3 520.0	3 302.59	1 068.85	
38	Río	04/11/15	26.0	7.8	6.7	281.0	232	32.26	7.90	8.94	2.82	4.48	151.98	0.00	6.04	1.12	0.07	7.54	0.0	131.4	215.54	113.09	
39	Río	11/11/15	18.5	8.2	7.0	186.3	181	25.05	3.40	6.85	3.79	7.02	93.20	0.00	3.53	9.79	0.17	8.91	2.0	102.0	152.64	76.56	
40	Vaso presa	10/11/15	21.3	7.9	7.0	241.0	222	46.89	3.77	3.68	1.60	4.62	156.75	0.00	0.19	4.52	0.03	8.89	6.0	124.5	222.02	132.61	
41	Arroyo	06/11/15	25.1	7.9	7.0	362.0	296	19.04	14.58	33.89	6.49	3.72	210.70	0.00	9.75	0.43	0.00	6.17	4.0	173.4	298.60	107.59	
42	Río	06/11/15	26.6	8.3	6.9	260.0	212	32.67	4.74	6.58	2.50	6.78	134.59	0.00	3.44	1.12	0.06	9.50	0.0	120.1	192.39	101.08	
43	Río	10/11/15	23.3	8.3	6.9	226.0	200	27.86	3.40	9.61	3.95	7.96	116.88	0.00	4.55	6.88	0.19	8.71	2.0	111.8	181.09	83.57	

*Dato obtenido en campo

Fuente: INEGI-DGGyMA. Información de campo y resultados físico-químicos de muestras de agua, 2014.

Bibliografía

APHA (American Public Health Association). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th edition, Washington, D.C., 1992.

Ayers y Westcot; "Directrices FAO para la interpretación de la calidad del agua de riego", 1985. http://www.ehowenespanol.com/nitratos-fosfatos-plantas-info_200735/, 22 junio 2015.

Campos Aranda, Daniel Francisco. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí – Facultad de Ingeniería. San Luis Potosí, México. Tercera reimpresión, 1990.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). "Estadísticas del agua en México", edición 2014. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México.

CONAGUA. *Análisis de las temporadas de Huracanes en los años 2009, 2010 y 2011 en México*. Boulevard Adolfo Ruiz Cortines, núm. 4209, colonia Jardines en la Montaña, C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F.

CONAGUA. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. "Red de Estaciones Climatológicas", 2012.

CONAGUA. Distritos de Riego. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.

CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional. Temperatura Media Anual, 1902-2011.

CONAGUA. Subdirección General Técnica. Estaciones Hidrométricas, 2010.

CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento de Aguas Residuales.

CONAGUA. Subdirección General Técnica. "Principales Presas", 2010.

Custodio, E; Llamas, M. R. y Samper, J. editores. *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. Ed. Instituto Tecnológico. AIH-GE. ITGE. Madrid, España, 1997.

García de Miranda, Enriqueta. *Apuntes de Climatología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 1986.

Heaton, T. "Isotopic and chemical aspects of nitrate in the ground water of the Springbok Flats. Water", S.A. Vol. 11, núm. 4, 1985.

Heras, R. R. Hidrología y Recursos Hidráulicos. Capítulo 1: Estadística Aplicada a la Hidrología, tema 5: "Relación entre Elementos Hidrológicos y Elementos Físico-Geográficos", en: *Centro de Estudios Hidrográficos*, Madrid, España, noviembre 1976, págs. 65 a 98.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (INECC – SEMARNAT). "Zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México", escala 1:250 000, 1ra. edición, 2009.

http://www.imta.gob.mx/index.php?Itemid=145&option=com_wrapper&view=wrapper , 18 marzo 2015.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). "Diccionario de datos climáticos", 1:250 000 y 1: 1 000 000 (vectorial), 30 de septiembre 2000.

INEGI. "Diccionario de Datos Fisiográficos" escala 1: 1 000 000 (vectorial), 30 de septiembre 2000. INEGI. "Conjuntos de datos vectoriales de Hidrología Aguas Superficiales serie I", escala 1:250 000, 2002.

- INEGI. "Conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación serie IV", escala 1:250 000, 2010.
- INEGI. "Conjunto de datos vectoriales de Vegetación Primaria de México" escala 1:1 000 000, 2003.
- INEGI. "Conjunto Nacional de Información Fisiográfica", 1:1 000 000. Edición, 1984. Versión digital, 2002.
- INEGI. "Conjunto Nacional de Información Geológica", 1:1 000 000. Edición, 1984. Versión digital, 2002.
- INEGI. "Mapa raster de Climas" escala de referencia 1:1 000 000. (resolución espacial 250 metros), 2011.
- INEGI. "Red Hidrográfica Digital de México" escala 1:250 000, edición 1.0, 2010.
- INEGI. "Red Hidrográfica" escala 1:50 000, edición 2.0, 2010.
- INE-INEGI-CONAGUA. "Cuencas Hidrográficas de México", 2007.
- Lugo-Hubp, José. "El relieve de la República Mexicana". Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, en: *Revista*, vol.9, núm. 1, 1990, págs. 82-111,1985.
- Miretzky, P. A. Fernández-Cirelli. *Phosphates for Pb immobilization in soils a review*. Environ.Chem.2008.
- Ortuño, L, Leal, M; Best, E; Montalvo, A. y Mimbela, J. "Técnico en Laboratorista Ambiental", modulo I: Toma de muestras. Secretaría de Educación Pública. México, 2006, págs.391.
- Palmeros, Aurelio. "Metodología para la vinculación digital entre el padrón de usuarios y el catastro parcelario del distrito de riego 035 La Antigua", en: *Tesis Maestría*. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. 2013.
- Rahman, S; McDonald, B.C. y Gagnon, G.A. *Impact of secondary disinfectants on copper corrosion under stagnation conditions*. J. Environmental Engineering. 2007
- Ruiz-Jiménez, Carlos Alberto; Téllez-Valdés, Oswaldo; Luna-Vega, Isolda. "Clasificación de los bosques mesófilos de montaña de México: afinidades de la flora", en: *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Volumen 83, núm.4. México 2012, págs. 1110-1144. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/bio/article/view/29383>
- Salas Salinas, Marco Antonio y Jiménez Espinosa, Martín. 2007, "*Inundaciones*", ISBN: 9706288708 http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=190 . , 22 de octubre 2014.
- Secretaría de Gobernación. "Diario Oficial de la Federación". 4 de diciembre 2008.
- Secretaría de Gobernación. "Diario Oficial de la Federación". 21 de septiembre 2013.
- Spellman, F. R. y Joanne, D. *Manual del agua potable*. Acribia. España, 2004.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). "Metodología de elaboración de cartas hidrológicas de aguas subterráneas y superficiales", escala 1:250 000.
- UNIATMOS, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Gerencia de Meteorología, SMN, CONAGUA, "Precipitación Total Anual", 1902-2011.
- UNIATMOS, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Gerencia de Meteorología, SMN, CONAGUA, "Normales climatológicas por estación", 1951-2010".
- Wetzel, Robert G. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona. 1981.
- Wetzel, Robert G. *Limnology. lake and river ecosystems*. 3rd. edition. Academic Press. California. 2001.

Otras fuentes:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf> ,09 febrero 2015.

<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>; Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas ,03 junio 2015.

<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/heladas-y-nevadas> ,19 enero 2015.

<http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/inundaciones.html> ,22 enero 2015.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/13_inundaciones_dinamica.pdf ,24 de octubre 2014.

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/664/cap2.pdf> ,04 marzo 2015.

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/analitic/Asociencia/DurezaAgua.pdf> ,05 junio 2015.

<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v19n6/art10.pdf> ,10 junio 2015.

http://rele.fcien.edu.uy/pdf/el_agua_en_iberoa-merica.pdf ,15 junio 2015.

<http://www.globalwaterwatch.org/MEX/MXesp/MXInfo> ,24 junio 2015.