



Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

**Departamento de Ingeniería de Procesos e
Hidráulica**

Ingeniería Hidrológica

Proyecto Terminal

**Modelación hidrológica en la cuenca del río Jamapa,
Veracruz**

Realizado por:

Luis Manuel Santamaría Garnica

Asesor:

Marco Antonio Jacobo Villa

Profesor titular

Num. Económico: 20996

México D.F.

Marzo de 2011

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Medio físico.....	4
2.1 Localización del área de estudio.....	4
2.2 Límites hidrológicos.....	4
2.3 Topografía e hidrografía.....	5
2.4 Uso de suelo y vegetación.....	6
2.5 Geología.....	7
2.6 Climatología.....	10
3. Aspectos socioeconómicos.....	12
3.1 División municipal.....	12
3.2 Población actual y proyección.....	13
3.3 Actividades productivas.....	14
3.4 Distribución municipal de las actividades económicas.....	23
4. Uso y aprovechamiento del agua en la cuenca.....	28
4.1 Fuentes de abasto.....	28
4.2 Usos del agua.....	29
4.3 Tratamiento de aguas residuales.....	30
5. Modelación hidrológica de la cuenca.....	33
5.1 Análisis de frecuencias.....	33
5.2 Distribución espacial de la lluvia máxima esperada.....	40
5.3 Modelos lluvia escurrimiento.....	44
5.4 Planteamiento del modelo hidrológico.....	48
5.5 Generación de hidrogramas de diseño.....	53
6. Conclusiones y comentarios	59
Referencias.....	60

1. Introducción

En la vertiente del Golfo de México se estima que escurre aproximadamente el treinta por ciento del total al nivel de la república mexicana, sin embargo, en aparente contradicción, ya se registran en algunas zonas metropolitanas y productivas un déficit en el abasto de agua, el cual puede agravarse en el corto, mediano o largo plazo. Cabe señalar que la cobertura de la demanda depende de la disponibilidad, la cual a su vez está en función tanto de la cantidad como de la calidad del agua de los cuerpos de los que se extrae.

Un caso emblemático es el de la cuenca del río Jamapa, dentro de la subregión hidrológica 28A, en la cual se encuentran zonas metropolitanas en continua expansión como las de Orizaba-Córdoba-Fortín y la de Veracruz-Boca del Río, además de importantes zonas agrícolas e industriales, las cuales, además de requerir volúmenes crecientes de agua provenientes de los cuerpos superficiales y subterráneos adyacentes, generan aguas residuales que de no ser tratadas, pueden vulnerar de manera irreversible estas fuentes de abasto.

En este trabajo se llevó a cabo la recopilación, análisis y tratamiento de la información del entorno físico, así como de los aspectos sociales y económicos, a nivel municipal, relacionados con los usos del agua en la cuenca del río Jamapa, procurando con ello proporcionar elementos para sustentar las acciones de los tomadores de decisiones.

Para ello se consultaron las bases de datos climatológicos (ERIC), hidrométricos (BANDAS) y socioeconómicos (INEGI, CONAPO) de los 24 municipios que están relacionados con la unidad hidrológica de interés. También fue necesario consultar la cartografía temática existente en el INEGI y COREMI, esto para construir el mapa base sobre el cual se mostrarán los resultados de la caracterización de los usos del agua, no solo en cuanto a su cantidad, sino también por su calidad. Finalmente se consultaron los acervos bibliográficos, hemerográficos y documentales relacionados con el origen, desarrollo, tratamiento y medidas preventivas contra la contaminación de los cuerpos de agua.

2. Medio físico

2.1 Localización del área de estudio

La cuenca del río Jamapa se encuentra en la parte central del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y pertenece a la Región Administrativa X, Golfo Centro, así como a la Región Hidrológica 28 Río Papaloapan. El cauce principal y sus principales afluentes nacen en el Pico de Orizaba, cerro Las Cumbres, así como en la parte norte y noroeste de Huatusco, descargando al Golfo de México. En la figura 2.1 se muestra la figura con la ubicación de las Regiones Hidrológicas que abarcan al estado de Veracruz.

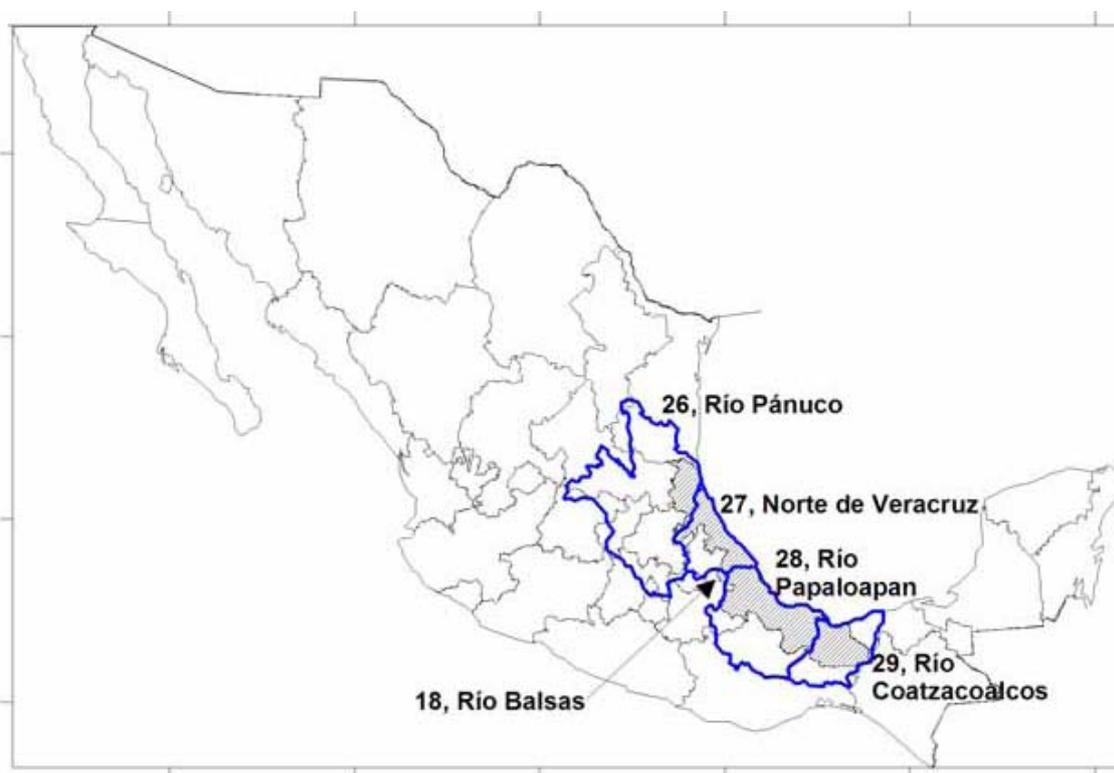


Figura 2.1. Regiones Hidrológicas asociadas con el estado de Veracruz.

2.2 Límites hidrológicos

La delimitación del parteaguas de la unidad hidrológica de interés se llevó a cabo por medio del uso de las cartas topográficas escala 1:50000 editadas por el INEGI. Por medio de la digitalización de las curvas de nivel, hidrografía e infraestructura, se obtuvo el plano específico de la cuenca. Las cartas utilizadas son las siguientes: E14-B47, Huatusco – Veracruz; E14B48, Soledad del Doblado; E14B49, Veracruz-Veracruz; E14B59, Piedras Negras; E14B58,

Cotaxtla; E14B57, Córdoba y E14B46, Coscomatepec de Bravo Pue-Ver. En la figura 2.2 se muestra una representación tridimensional de la cuenca.

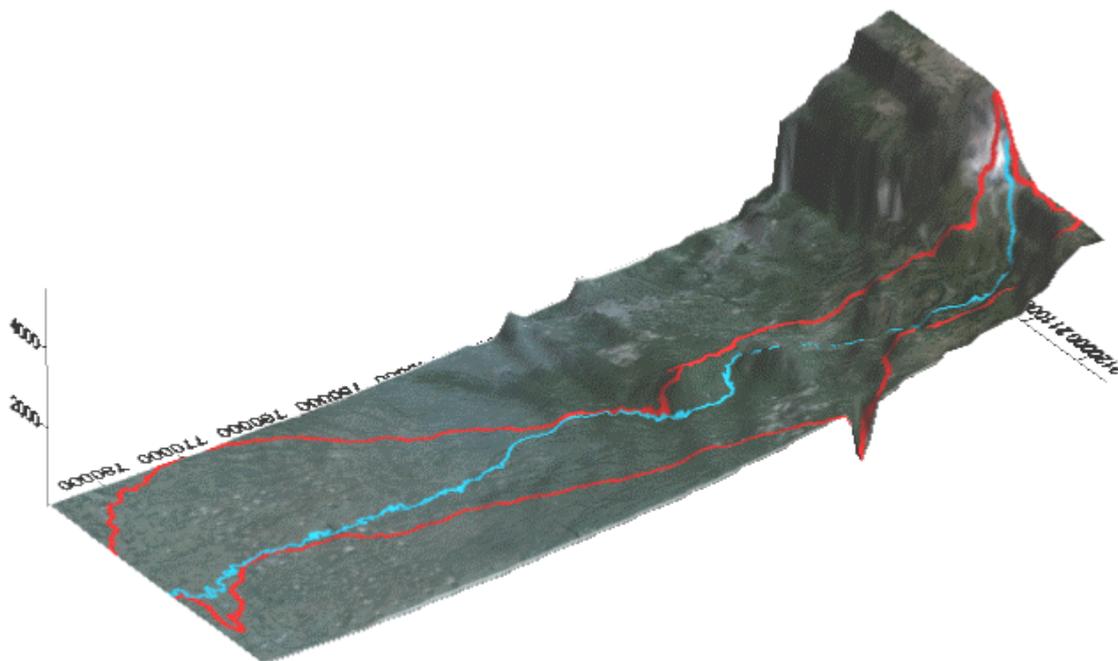


Figura 2.2. Representación tridimensional de la cuenca del río Jamapa.

2.3 Topografía e hidrografía

Las altitudes mayores se encuentran en la parte occidental, con 5610 msnm, correspondiente al volcán Pico de Orizaba o Citlaltépetl. Al desplazarse hacia el oriente, las pendientes del terreno son elevadas hasta descender a una altitud de 1000 msnm, aproximadamente. Posteriormente, las pendientes se suavizan, llegando a un mínimo después de la cota 100 msnm. Ya en las proximidades con la línea de costa, el terreno muestra de nuevo pendientes de importancia relativa, lo que se debe a la presencia de dunas. En la figura 2.3 se muestra el plano topográfico, el cual fue construido a partir de la información contenida en las cartas INEGI, 1998; INEGI, 1999a; INEGI, 1999b; INEGI, 1999c; INEGI, 1999d; INEGI, 2000a; INEGI, 2002b.

El río Jamapa y sus principales afluentes nacen en el Pico de Orizaba, cerro Las Cumbres, así como en la parte norte y noroeste de Huatusco, descargando al Golfo de México. En la figura 2.4 se muestra la representación de la red fluvial de la cuenca.

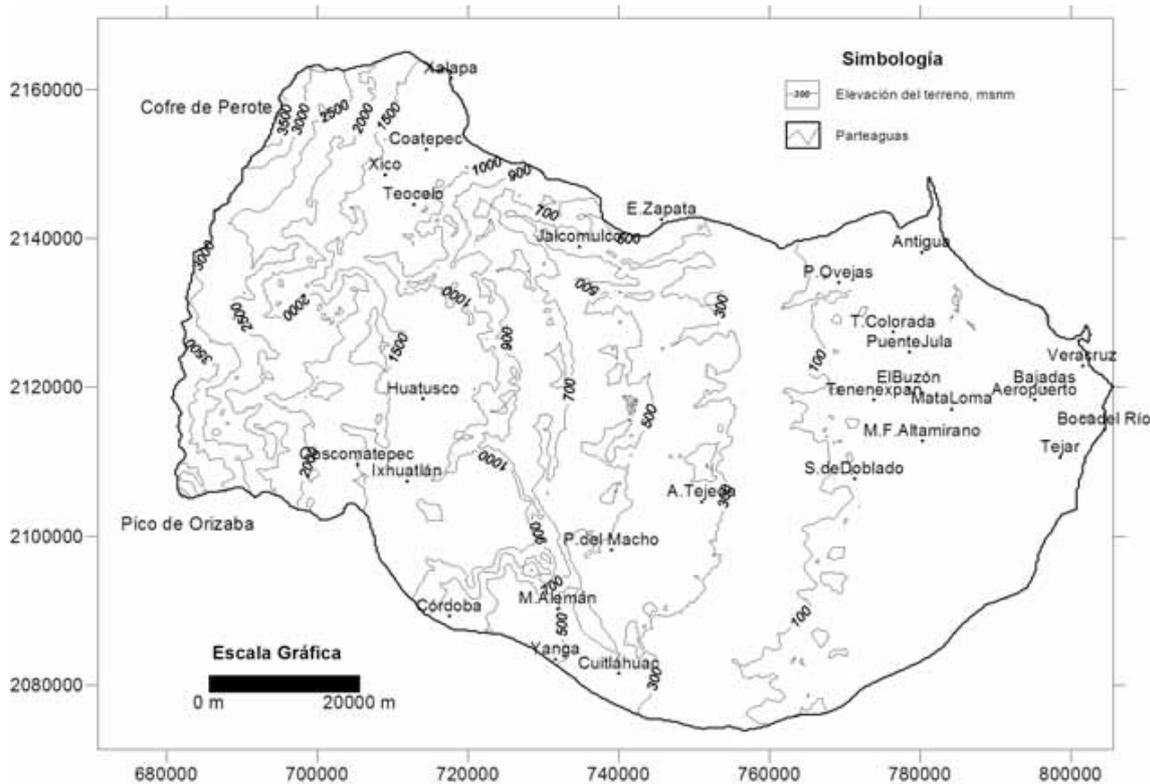


Figura 2.3. Topografía en los alrededores de la cuenca del río Jamapa.

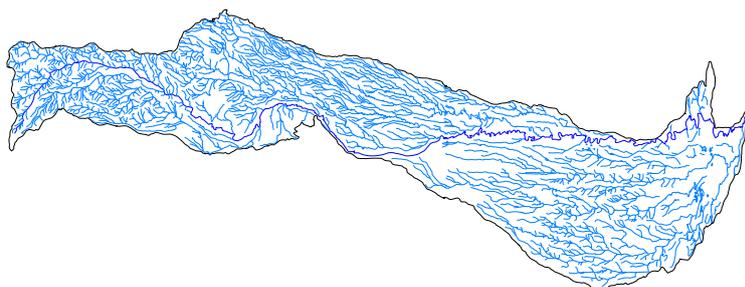


Figura 2.4. Representación en planta de la red fluvial en la cuenca del río Jamapa.

2.4 Uso de suelo y vegetación

En cuanto al uso de suelo y vegetación, la información fue obtenida a partir de las cartas temáticas escala 1:250000: Veracruz, E14-3 y Orizaba, E14-6. La representación para la cuenca se muestra en la figura 2.5. Como se puede apreciar, en la parte oeste de la cuenca se encuentran los bosques, así como

en centro oeste; en la parte centro y este se encuentran zonas extensas de pastizal cultivado e inducido, así como manchones de selva baja caducifolia. Una extensión considerable está clasificada como área sin vegetación aparente.

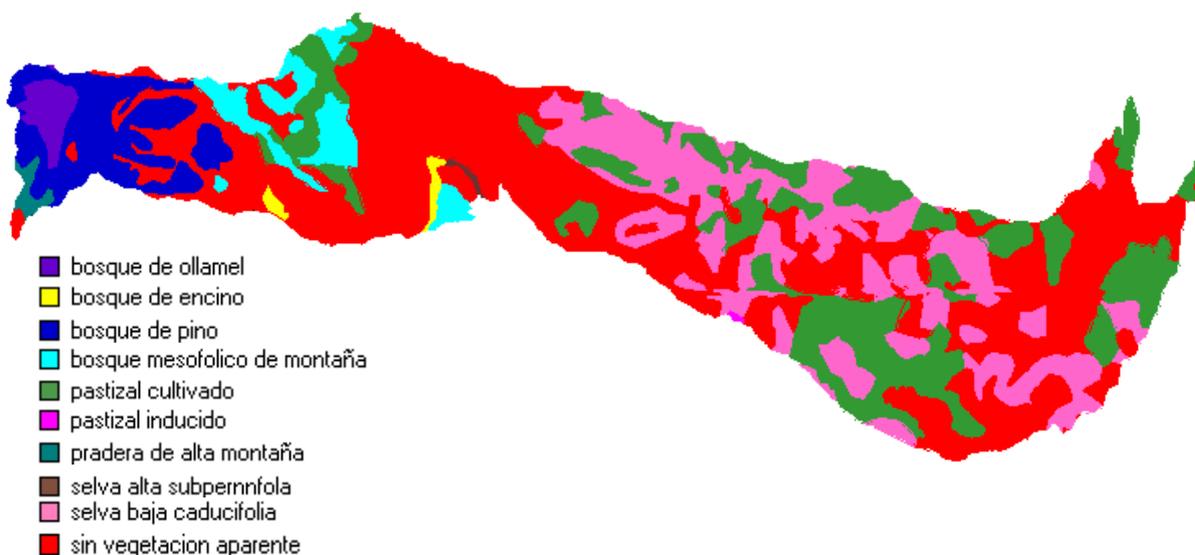


Figura 2.5. Uso de suelo y vegetación en la cuenca del río Jamapa.

2.5 Geología

La cuenca del río Jamapa se encuentra en la Cuenca de Veracruz, la cual se define como un paquete de sedimentos arcillo-arenosos, conglomeráticos, que en la porción central de la cuenca alcanzan un espesor de 8000 a 9000 m, adelgazándose hacia sus extremos. La secuencia está constituida por sedimentos marinos depositados desde el Paleoceno al Mioceno, con fuertes discordancias, siendo la principal la que deja en contacto sedimentos del Eoceno tardío sobre los del Eoceno temprano y medio, Paleoceno e incluso sobre el Cretácico (Rueda-Gaxiola, 2004). En la figura 2.6 se muestra la representación de la geología superficial de la cuenca.

La descripción de la geología regional asociada con la zona de estudio se hace a continuación (COREMI, 1994; GEV, 1987; Robin, 1975; Rueda-Gaxiola, 2004; SARH, 1979; SARH, 1980a; SARH, 1980b):

Paleozoico

Las rocas más antiguas que afloran en el estado de Veracruz corresponden a los granitos y granodioritas del Complejo Batolítico de Chiapas; a los gneisses,

esquistos y metaconglomerados (Carbonífero); y a una secuencia tipo Flysch y areniscas en estratos delgados (Formación Guacamaya).

Mesozoico

Está representado en su base por sedimentos clásticos de origen continental de las formaciones:

Huizachal (Triásico Superior), la cual está formada por areniscas compactas, areniscas cuarcíticas, arcillas y lechos rojos.

Huayacocotla (Jurásico Inferior), compuesta de lutitas bandeadas con estratificación cruzada y areniscas estratificadas, lutitas negras carbonosas.

Cahuasas (Jurásico Medio), formada por una secuencia de lutitas, areniscas y conglomerados continentales con intercalación de calcarenita.

Todos Santos (Jurásico Medio), se trata de intercalación de areniscas y lutitas de estratificación delgada de color rojo.

Pimienta, Taman-San Andrés, Tepexilotla, Tepexic, Chinameca Inferior (Jurásico Superior), formadas por calizas y lutitas Bituminosas, calcarenitas oolíticas, lutitas pizarrosas negras, lutitas bentoníticas con capas de pedernal.

San Ricardo (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), formada por calizas de plataforma con intercalación de lutitas, areniscas y algunas evaporitas.

Tamaulipas Inferior, Otates, Chinameca Superior y Xonomanca (Cretácico Inferior), calizas compactas bien estratificadas, calizas negras con lentes de pedernal, calizas arcillosas

Tamaulipas Superior, El Abra, Cuesta del Cura, Orizaba, Capolucan, Caliza Sierra Madre (Cretácico Inferior), conformadas por calizas compactas, calizas con intercalación de lutitas, calizas microlíticas.

Méndez, San Felipe, Agua Nueva, Caliza Maltrata y Atoyac (Cretácico Superior), formadas por margas en estratos delgados, calizas compactas en partes arcillosas, lutitas laminadas bituminosas y horizontes bentoníticos.

Cenozoico

Durante el terciario se depositaron en la llanura costera del golfo los sedimentos terrígenos de las formaciones *Chicontepepec Medio e Inferior, Aragón, Guayabal, Chapopote, Tantoyuca, Chicontepepec Superior, Lutitas Nanchital, Mesón, Alazán, Coatzintla, Horcones, Palma Real, La Laja y Conglomerados Nanchital, Tuxpan, Escolín, Cedral* del Paleoceno, Eoceno,

Oligoceno y Mioceno. Estos depósitos se originaron al comenzar las deformaciones orogénicas de la Sierra Madre Oriental. Durante el inicio del Cenozoico, formaron cadenas montañosas alargadas y plegadas, con ejes orientados noroeste-sureste casi paralelas a la línea de costa. Las formaciones principales son:

Chicontepepec Inferior, Chicontepepec Medio y Velasco (Paleoceno), formadas por lutitas en tonos grises, verdes, rojizas y amarillentas; margas arenosas interestratificadas con arenisca compactas.

Guayabal, Chapopote-Tantoyuca, Chicontepepec Superior y Lutitas Nanchital (Eoceno), formadas por margas y margas arenosas con nódulos de hierro y horizontes de bentonita, arenisca, conglomerados y margas con calizas impuras.

Mesón Alazán, Coatzintla, Palma Real, Horcones, La Laja y Conglomerado Nanchital (Oligoceno), formadas por lutitas en partes arenosas, arenisca de grano medio en partes arcillosas con intercalaciones de margas, calizas coralinas y conglomerados.

Series Volcánicas (Mioceno), formadas por andesitas, tobas andesíticas, riolitas y basaltos.

Escolín, Cedral, Aguaquesquite, Paraje Solo, Filisola, Concepción Inferior y Superior, Encanto y Depósito (Mioceno-Plioceno), formadas por lutitas arenosas, arenisca color crema de grano medio y fino.

Series Volcánicas del Terciario Superior (Plioceno), formada por basaltos, sin embargo, el vulcanismo inicial fue de composición andesítica (Cofre de Perote y Pico de Orizaba) así como también intermedia (andesitas y tobas andesíticas) sobre todo en la altiplanicie que abarca Villa Aldama, las Vigas de Ramírez y La Joya, y del sur de Huayacocotla, Socantlán, Tenampa y Huatusco, inclusive en la zona de los Tuxtlas. Los basaltos afloran en los alrededores de Xalapa y en las proximidades del lago de Catemaco.

Rocas del Terciario Superior Clástico (Plioceno), corresponde a una secuencia de conglomerados, tobas alteradas y capas rojas poco consolidadas y mal estratificadas.

Depósitos del Cuaternario Pleistoceno-reciente. Están representados por depósitos de arenas, gravas, limos y arcillas sin consolidar. Es importante señalar la presencia de rocas ígneas intrusivas al norte y noreste de Xalapa de composición que varía de granito a granodiorita.

Depósitos Fluviales, los cuales están constituidos por bloques, gravas, arenas y limos sin consolidar; se localizan en la influencia de los ríos principales

Dunas. Están constituidas por arenas finas que son debidas al transporte eólico de los depósitos litorales.

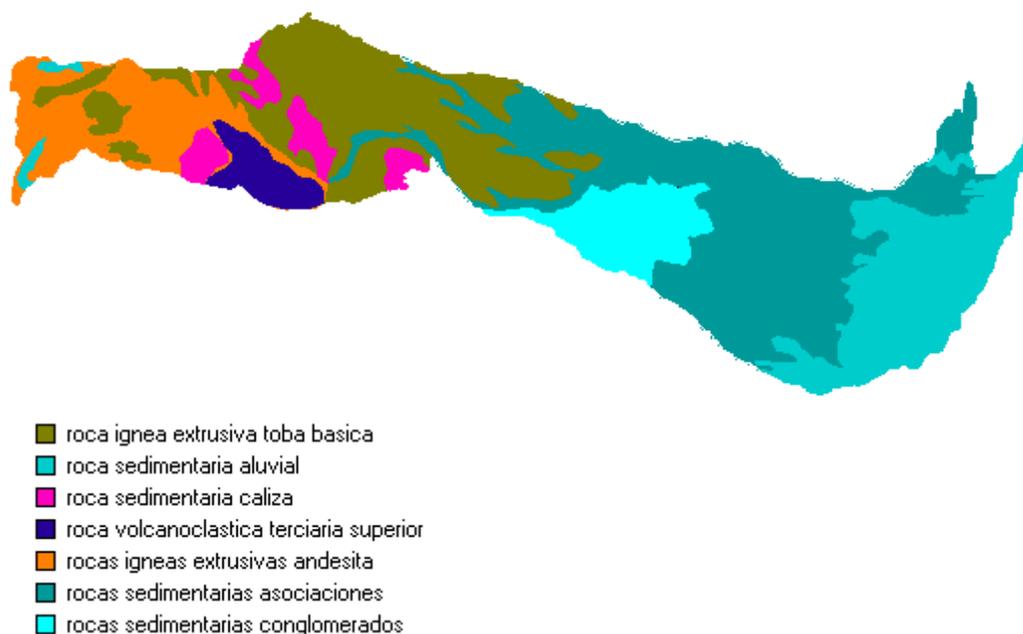


Figura 2.6. Geología superficial en la cuenca del río Jamapa.

2.6 Climatología

La clasificación climatológica de la zona de estudio corresponde al método de Köppen, modificado por García, 1988. Se identifican tres grupos climatológicos: A, tropical lluvioso; C, templado lluvioso; y E, frío o polar. En la figura 2.7 se muestra la distribución espacial de los climas.

En la parte centro y este de la zona de estudio se localiza el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas media anual entre 22 °C y 26 °C, con la temperatura del mes más frío arriba de los 18 °C. Con la relación de la precipitación y la temperatura se define que Aw_0 es el más seco, con P/T menor que 43.2; Aw_1 es intermedio con una relación entre 43.2 y 55.3; y el Aw_2 es el más húmedo con una relación mayor que 55.3. El porcentaje de lluvia invernal es menor de 5. En la parte sur se tiene un clima Am , con lluvia abundante en verano, lámina del mes más seco menor de 60 mm y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2.

Los climas templados húmedos, (A)C, se encuentran en el centro – oeste de la zona de estudio, y tienen como característica una temperatura media anual

mayor de 18° C, la temperatura media del mes más frío está entre -3° y 18° , y la del mes más cálido mayor de 6.5° C.

En la zona de menor altitud relativa se tiene que la lluvia es abundante en verano, con una lámina menor de 40 mm el mes más seco y un porcentaje de lluvia invernal mayor de 5 mm ((A)C(m)). A mayor altitud se tiene que las lluvias ocurren durante todo el año, con una lámina mayor de 40 mm en el mes más seco y un porcentaje de lluvia invernal menor de 18 ((A)C(fm)).

A mayor altitud y en dirección oeste se encuentran los subgrupos C(fm) y C(m), los cuales tienen como característica principal una precipitación del mes más seco mayor de 40 mm con un porcentaje de lluvia invernal menor de 18, para el primer caso, mientras que para el segundo se tiene una lámina menor de 40 mm en el mes más seco y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2.

Siguiendo una dirección oeste, el subgrupo que sigue es el de climas semifríos, los cuales poseen una temperatura media anual entre 5° y 12° C, con la temperatura del mes más frío contenida entre -3° y 18° C. Para el caso de la pequeña superficie localizada al este del Cofre de Perote, en la parte noroeste de la zona de estudio, se tiene un tipo subhúmedo con abundantes lluvias en verano, C(E)(m), una lámina mayor de 40 mm en el mes más seco y un porcentaje de lluvia invernal mayor de 5. En la parte extrema oeste se encuentra el tipo semifrío subhúmedo con lluvias en verano, C(E)(w₂)(w), en el cual la lámina del mes más seco es menor de 40 mm con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5.

Finalmente, en las partes altas del volcán Pico de Orizaba o Citlaltepétl, así como en el Cofre de Perote, se tiene clima frío, E(T)H, en el cual la temperatura media anual está entre -2° y 5° C, la temperatura media del mes más caliente entre 0° y 6.5° C.

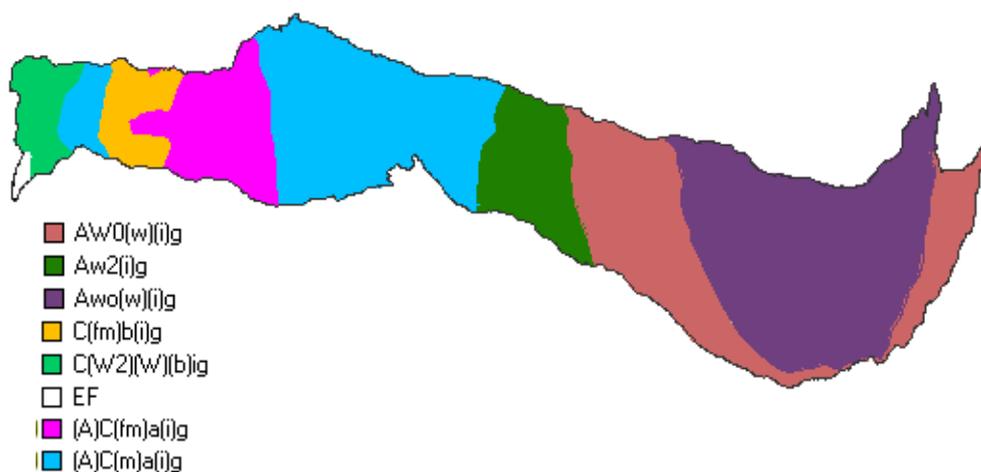
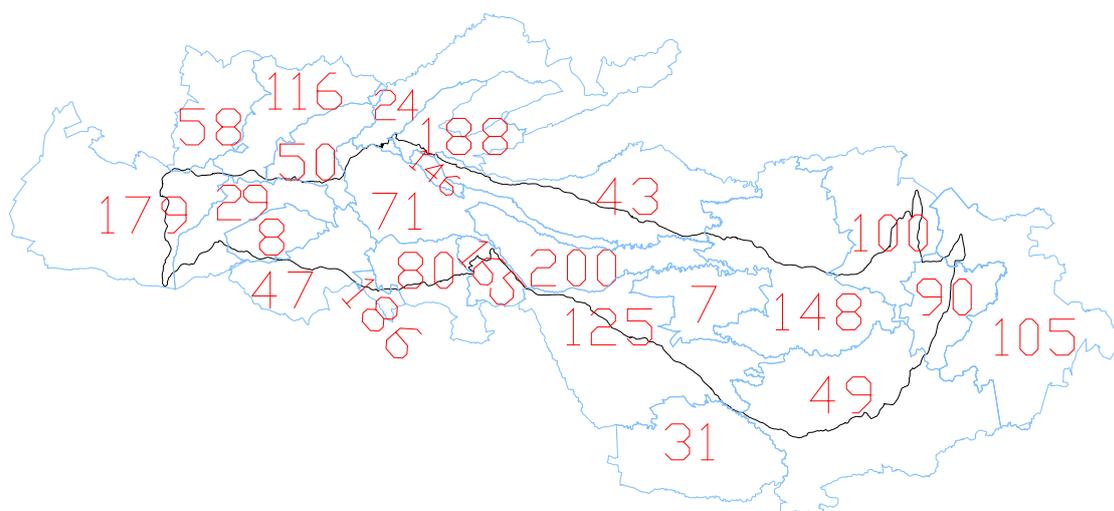


Figura 2.7. Climas en la cuenca del río Jamapa.

3 Aspectos socioeconómicos

3.1 División municipal

En la cuenca del río Jamapa están asociados 24 municipios, de los cuales 20 corresponden al estado de Veracruz. En la figura 3.1 se muestran los límites tanto de la cuenca como de los municipios considerados.



Clave	Municipio	Clave	Municipio
105	Medellín	146	Sochiapa
90	Jamapa	188	Totutla
100	Manlio Fabio Altamirano	24	Tlaltetela
49	Cotaxtla	31	Carrillo Puerto
148	Soledad del Doblado	47	Coscomatepec
125	Paso del macho	50	Chichiquila (Puebla)
7	Camarón de tejada	29	Calchahualco
200	Zentla	186	Tomatlan
43	Comapa	8	Alpatlahuac
71	Huatusco	116	Quimixtlan (Puebla)
80	Ixhuatlan del café	179	Tlachichuca (Puebla)
165	Tepatlxco	58	Chilchotla (Puebla)

Figura 3.1. Municipios asociados a la cuenca del río Jamapa.

3.2 Población actual y proyección

La proyección de la población, componente fundamental en el pronóstico de la demanda de agua para el uso Público Urbano, se obtuvo de dos fuentes: de las bases de datos del INEGI, así como del CONAPO. Se consideró un horizonte de 15 años a partir de 2010 y el nivel de interés fue municipal.

En la tabla 3.1 se muestran los valores proyectados por cada uno de los municipios.

Municipio	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Medellín	38.8	42.4	43.1	43.7	44.4	45.0	45.6	46.2	46.8	47.3	47.9	48.4	49.0	49.5	50.0	50.4	50.9
Jamapa	9.8	9.5	9.4	9.4	9.3	9.2	9.1	9.0	8.9	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2	8.1
Manlio Fabio Altamirano	20.4	20.2	20.1	20.0	19.9	19.7	19.6	19.5	19.3	19.2	19.0	18.9	18.7	18.6	18.4	18.3	18.1
Cotaxtla	18.8	18.5	18.3	18.2	18.0	17.8	17.7	17.5	17.3	17.2	17.0	16.8	16.6	16.4	16.3	16.1	15.9
Soledad del Doblado	26.8	26.2	25.9	25.7	25.4	25.2	24.9	24.7	24.4	24.2	23.9	23.6	23.4	23.1	22.8	22.6	22.3
Paso del macho	27.3	26.8	26.6	26.3	26.1	25.9	25.6	25.4	25.1	24.9	24.6	24.3	24.1	23.8	23.5	23.3	23.0
Camarón de Tejada	5.7	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	5.0
Zentla	12.0	11.4	11.2	11.1	10.9	10.7	10.5	10.4	10.2	10.0	9.9	9.7	9.5	9.4	9.2	9.0	8.9
Comapa	16.9	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.1	17.1	17.1	17.0	17.0	17.0	16.9	16.9	16.8
Huatusco	49.1	52.2	52.7	53.2	53.7	54.2	54.6	55.0	55.4	55.8	56.2	56.6	56.9	57.2	57.5	57.8	58.1
Ixhuatlan del café	19.4	19.5	19.5	19.4	19.4	19.3	19.3	19.2	19.1	19.0	18.9	18.9	18.8	18.7	18.6	18.5	18.3
Tepatlaxco	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.5	7.5	7.4	7.4	7.4
Sochiapa	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7
Totutla	15.0	15.3	15.3	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.2	15.2	15.2	15.1	15.1	15.0
Tlaltetela	13.6	14.2	14.2	14.3	14.3	14.4	14.4	14.5	14.5	14.6	14.6	14.6	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
Carrillo Puerto	14.4	13.1	12.8	12.6	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6
Coscomatepec	47.0	52.8	53.9	55.0	56.1	57.2	58.3	59.3	60.4	61.4	62.5	63.5	64.5	65.5	66.4	67.4	68.3
Chichiquila	23.3	27.0	27.8	28.6	29.4	30.2	31.0	31.9	32.7	33.5	34.4	35.2	36.1	37.0	37.8	38.7	39.6
Calcahualco	12.5	14.6	15.1	15.5	16.0	16.4	16.9	17.4	17.8	18.3	18.8	19.3	19.8	20.3	20.7	21.2	21.7
Tomatlan	6.3	6.0	5.9	5.8	5.7	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.8
Alpatlahuac	9.0	9.8	9.9	10.1	10.2	10.3	10.5	10.6	10.7	10.8	11.0	11.1	11.2	11.3	11.4	11.6	11.7
Quimixtlan	20.0	20.7	20.9	21.1	21.2	21.4	21.5	21.6	21.8	21.9	22.0	22.1	22.3	22.4	22.5	22.5	22.6
Tlachichuca	27.1	28.4	28.7	28.9	29.1	29.3	29.6	29.8	30.0	30.2	30.3	30.5	30.7	30.8	31.0	31.1	31.3
Chilchotla	18.6	19.7	20.0	20.2	20.5	20.7	21.0	21.2	21.4	21.6	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.1

Tabla 3.1. Proyección de la población 2000 – 2025, expresada en miles de habitantes.

3.3 Actividades productivas

La información recopilada del INEGI sobre las actividades productivas en los diferentes municipios que están asociados con la cuenca del río Jamapa se presenta en las tablas siguientes.

nombre	UP	agricultura	CEA	CA	RPS	otra actividad
Medellín	1 406	637	677	1	1	90
Jamapa	630	233	376	0	1	20
Manlio Fabio Altamirano	1 498	1 131	301	2	1	63
Cotaxtla	2 386	1 832	404	1	2	147
Soledad del Doblado	2 282	1 552	595	1	0	134
Paso del macho	2 905	2 433	63	0	0	409
Camarón de tejada	653	470	39	0	0	144
Zentla	1 587	1 397	14	0	0	176
Comapa	2 597	2 428	63	0	0	106
Huatusco	3 320	3 101	83	0	0	136
Ixhuatlan del café	3 310	3 060	3	0	2	245
Tepatlixco	1 486	1 302	6	0	0	178
Sochiapa	451	423	1	0	0	27
Totutla	2 169	1 965	15	0	0	189
Tlaltetela	2 880	2 663	57	0	0	160
Carrillo Puerto	1 994	1 925	20	0	1	48
Coscomatepec	4 517	4 336	82	7	3	89
Chichiquila	3 662	3 580	0	3	0	79
Calchualco	1 708	1 472	1	45	0	190
Tomatlan	843	754	11	0	0	78
Alpatlahuac	1 592	1 488	57	6	2	39
Quimixtlan	3 448	3 345	5	1	2	95
Tlachichuca	3 969	3 357	1	0	0	611
Chilchotla	3 167	3 097	12	3	1	54

Nota:

CEA=cría y explotación de animales
CA=corte de arboles

RPS=recolección de productos silvestres
UP=unidades de producción

Tabla 3.2. Actividades silvícolas en los municipios asociados con la cuenca del río Jamapa.

Jamapa				
Nombre	UP	SP	SEP	Vol. cosechado
caña de azúcar	6	15,45	14,95	1338,25
naranja	10	11,89	11,81	122,99
pasto cultivado	271	2596,54	2592,3	2797,39
otros cultivos	142	308,49	255,65	3078,75
Manlio Fabio Altamirano				
café cereza	*	19,65	18,38	80,28
caña de azúcar	287	1239,65	1192,45	100143,64
naranja	6	4,51	3,99	39,07
pasto cultivado	778	5218,26	5190,45	13811
otros cultivos	364	865,31	830,92	8805,71
Cotaxtla				
caña de azúcar	63	240,13	170,68	14124,16
naranja	5	4,01	4,01	38,85
pasto cultivado	598	10 025,96	9 903,58	28 930,51
otros cultivos	683	2 298,99	2 095,67	39 700,89
Medellín				
caña de azúcar	13	42,85	35,50	2 751,95
naranja	7	11,46	8,47	81,87
pasto cultivado	669	5 612,61	5 589,19	27 078,10
otros cultivos	386	1 258,99	1 135,42	24 070,41
Soledad del Doblado				
café cereza	*	1,14	1,00	8,00
caña de azúcar	35	112,81	100,31	7 751,74
limón	*	0,98	0,98	12,99
naranja	22	44,31	43,31	435,56
pasto cultivado	1 273	13 562,25	13 534,30	42 700,37
otros cultivos	667	1 916,41	1 752,57	19 167,22
Paso del macho				
café cereza	329	726,24	701,06	1 943,33
caña de azúcar	2 488	15 116,60	14 284,65	1 075 980,88
naranja	6	3,06	3,06	31,88
pasto cultivado	44	558,57	546,88	3 762,30
otros cultivos	340	853,08	788,46	11 373,34
Camarón de tejada				
café cereza	*	1,66	1,66	3,30
caña de azúcar	440	2 036,04	1 919,42	148 924,60
pasto cultivado	36	421,76	421,76	1 379,30
otros cultivos	12	36,50	27,17	383,09

Notas:

SP=superficie plantada (hectáreas) UP=unidades de producción
SEP=superficie en producción (hectáreas)

Tabla 3.3. Cultivos perennes por municipio.

Zentla				
Nombre	UP	SP	SEP	Vol. cosechado
café cereza	1 033	3 971,57	3 937,47	10 126,00
caña de azúcar	730	4 014,65	3 921,65	258 934,59
naranja	*	0,05	0,05	0,49
pasto cultivado	98	2 126,80	2 039,62	439,68
otros cultivos	37	89,44	89,38	837,68
Comapa				
café cereza	957	2 607,48	2 440,16	5 275,24
caña de azúcar	322	1 607,16	1 522,79	77 777,15
naranja	9	2,35	1,69	16,32
pasto cultivado	197	1 273,21	1 271,07	1 351,94
otros cultivos	39	56,08	53,56	488,01
Huatusco				
café cereza	2 482	7 108,12	7 056,00	16 843,63
caña de azúcar	276	969,18	914,15	47 234,45
naranja	7	5,62	5,62	54,35
pasto cultivado	15	65,52	63,21	251,56
otros cultivos	37	248,33	248,10	581,53
Ixhualtan del café				
café cereza	2 970	5 035,62	4 930,94	12 246,57
caña de azúcar	61	82,72	76,77	5 838,12
naranja	5	3,61	3,61	35,55
pasto cultivado	*	9,38	9,38	114,07
otros cultivos	261	352,78	333,68	7 202,55
Tepatlixco				
café cereza	1 378	2 986,36	2 815,53	6 665,90
caña de azúcar	26	32,70	29,21	2 074,11
naranja	4	1,94	1,94	18,78
pasto cultivado	8	13,14	13,14	30,69
otros cultivos	310	204,13	193,66	4 281,67
Sochiapa				
café cereza	439	1 022,80	1 014,08	3 109,54
caña de azúcar	26	75,54	71,54	4 120,81
pasto cultivado	*	6,00	6,00	0,00
otros cultivos	4	3,53	3,53	28,49

Notas:

SP=superficie plantada (hectáreas) UP=unidades de producción
SEP=superficie en producción (hectáreas)

Tabla 3.3. Cultivos perennes por municipio (continuación).

Totutla				
Nombre	UP	SP	SEP	Vol. cosechado
café cereza	1 973	4 746,88	4 630,45	11 143,76
caña de azúcar	398	1 049,22	993,73	55 875,94
naranja	5	1,27	1,27	12,24
pasto cultivado	8	133,64	132,47	1 159,36
otros cultivos	31	65,23	64,61	302,17
Tlaltetela				
café cereza	1 881	4 422,21	4 358,62	12 739,89
caña de azúcar	449	1 348,38	1 138,69	78 333,08
naranja	3	2,06	1,78	17,27
pasto cultivado	102	851,98	851,98	1 927,09
otros cultivos	631	1 018,65	949,64	10 940,07
Carrillo Puerto				
café cereza	6	4,05	2,45	19,45
caña de azúcar	545	1 511,04	1 487,40	124 199,16
limón	*	0,50	0,50	6,60
pasto cultivado	11	265,44	265,44	2 632,08
otros cultivos	747	1 706,90	1 648,86	25 786,65
Coscomatepec				
café cereza	133	107,30	104,78	191,90
caña de azúcar	62	127,80	119,11	10 636,09
pasto cultivado	30	69,36	69,31	249,24
otros cultivos	577	379,56	348,30	1 319,91
Chichiquila				
alfalfa verde	*	2,50	2,50	173,90
café cereza	514	444,21	434,19	713,64
caña de azúcar	13	5,84	5,43	200,54
naranja	59	4,34	4,18	42,24
pasto cultivado	7	6,39	5,67	15,19
otros cultivos	293	58,64	46,51	537,73
Calchualco				
café cereza	5	153,25	153,00	223,96
pasto cultivado	8	8,77	5,38	22,18
otros cultivos	139	106,74	71,82	261,94

Notas:

SP=superficie plantada (hectáreas) UP=unidades de producción
 SEP=superficie en producción (hectáreas)

Tabla 3.3. Cultivos perennes por municipio (continuación).

Medellín				
Nombre	UP	SP	SEP	Vol. cosechado
frijol	26	42,10	38,27	33,22
maíz amarillo	18	68,49	65,02	304,07
maíz blanco	211	545,52	532,28	1 193,95
otros cultivos	58	148,76	142,23	1 081,65
Jamapa				
frijol	24	51,43	47,82	58,00
maíz amarillo	13	99,22	99,22	45,62
maíz blanco	135	354,84	331,77	1 170,39
sorgo grano	*	1,00	0,00	0,00
otros cultivos	34	62,31	55,39	548,11
Manlio Fabio Altamirano				
frijol	26	42,10	38,27	33,22
maíz amarillo	18	68,49	65,02	304,07
maíz blanco	211	545,52	532,28	1 193,95
otros cultivos	58	148,76	142,23	1 081,65
Soledad del doblado				
frijol	124	116,41	109,60	108,80
maíz amarillo	30	103,89	102,93	303,79
maíz blanco	1 325	4 355,47	4 182,52	10 129,95
sorgo grano	*	0,87	0,87	0,52
otros cultivos	118	205,97	180,48	1 342,09
paso del macho				
frijol	74	76,60	76,60	34,19
maíz amarillo	115	183,96	172,78	316,84
maíz blanco	540	1 915,61	1 902,64	2 266,97
sorgo grano	*	4,40	4,40	4,48
otros cultivos	15	36,35	27,81	106,60
Camarón de tejada				
frijol	17	30,11	29,91	11,81
maíz amarillo	5	14,78	14,78	30,79
maíz blanco	285	1 011,96	998,15	2 777,95
otros cultivos	16	75,93	54,43	188,38
Zentla				
frijol	47	30,97	30,97	33,40
maíz amarillo	8	18,41	18,41	28,69
maíz blanco	288	676,85	666,70	1 635,31
otros cultivos	6	10,31	10,31	50,59

Notas:

SP=superficie plantada (hectáreas) UP=unidades de producción
 SEP=superficie en producción (hectáreas)

Tabla 3.4. Cultivos primavera - verano por municipio.

Comapa				
Nombre	UP	SP	SEP	Vol. cosechado
frijol	200	157,18	156,08	117,15
maíz amarillo	38	47,37	47,35	121,30
maíz blanco	1 621	5 004,65	4 990,75	12 928,82
otros cultivos	118	131,51	126,20	1 589,12
Huatusco				
frijol	174	125,48	108,52	23,67
maíz amarillo	334	362,46	330,51	275,61
maíz blanco	406	517,81	508,67	348,40
sorgo grano	*	3,42	3,42	1,20
otros cultivos	112	143,35	123,82	900,77
Ixhuatlan del café				
frijol	217	216,96	195,12	61,48
maíz amarillo	20	23,81	23,66	27,00
maíz blanco	554	532,31	422,49	501,69
otros cultivos	180	155,11	144,29	1 594,76
Tepatlaxco				
frijol	129	59,43	50,67	16,41
maíz amarillo	18	14,50	11,82	6,69
maíz blanco	400	378,26	299,89	234,66
otros cultivos	225	95,99	72,24	790,53
Sochiapa				
maíz blanco	*	6,00	6,00	4,38
otros cultivos	4	1,08	1,08	8,66
Totutla				
frijol	51	14,36	11,83	7,16
maíz amarillo	38	11,42	11,42	20,30
maíz blanco	187	327,82	312,19	320,58
otros cultivos	21	18,36	7,09	38,02
Tlaltetela				
frijol	170	73,41	69,38	56,17
maíz amarillo	46	243,04	240,77	140,42
maíz blanco	1 022	1 743,73	1 436,35	2 369,91
otros cultivos	72	64,16	52,92	222,42

Notas:

SP=superficie plantada (hectáreas) UP=unidades de producción
SEP=superficie en producción (hectáreas)

Tabla 3.4. Cultivos primavera - verano por municipio (continuación).

Carrillo puerto				
Nombre	UP	SP	SEP	Vol. cosechado
frijol	101	202,00	200,48	66,06
maíz amarillo	425	512,66	508,78	1 310,57
maíz blanco	612	1 891,49	1 871,76	1 625,20
sorgo grano	*	5,00	5,00	56,21
otros cultivos	28	50,33	32,69	182,88
Coscomatepec				
frijol	1 630	1 230,48	734,87	235,41
maíz amarillo	255	187,68	147,25	249,68
maíz blanco	2 896	2 460,29	1 614,09	2 903,02
sorgo grano	*	0,40	0,40	1,00
otros cultivos	742	1 035,96	675,64	7 012,30
Chichiquila				
frijol	695	743,47	269,19	49,88
haba	*	0,33	0,00	0,00
maíz amarillo	382	265,37	175,96	224,22
maíz blanco	3 078	4 293,29	3 914,52	3 011,68
sorgo grano	*	0,00	0,00	0,00
otros cultivos	271	163,69	122,46	469,64
Calchualco				
frijol	476	314,48	254,78	65,95
maíz amarillo	58	41,53	35,04	46,65
maíz blanco	1 339	1 495,56	1 353,88	1 594,40
otros cultivos	197	233,27	170,18	3 513,04
Tomatlan				
frijol	9	1,32	1,12	0,36
maíz amarillo	7	3,50	3,42	6,06
maíz blanco	66	55,73	49,12	66,33
sorgo grano	*	0,17	0,17	1,88
otros cultivos	10	11,63	11,45	82,87
Alpatlahuac				
frijol	593	369,70	233,36	86,21
maíz amarillo	74	48,00	22,78	33,51
maíz blanco	1 244	1 053,97	729,95	1 190,99
otros cultivos	340	359,31	273,67	1 318,34
Quimixtlan				
frijol	369	274,46	135,53	26,00
haba	4	2,43	0,68	0,25
maíz amarillo	345	425,79	300,96	389,26
maíz blanco	2 745	3 648,94	2 937,96	2 401,61
otros cultivos	169	144,64	121,74	1 890,21

Tabla 3.4. Cultivos primavera - verano por municipio (continuación).

Tlachichuca				
nombre	UP	SP	SEP	vol cosechado
frijol	448	588,62	565,58	275,05
haba	1 067	2 071,61	2 037,93	1 537,43
maíz amarillo	222	913,16	898,23	3 578,13
maíz blanco	3 205	11 623,91	11 475,15	31 883,58
sorgo grano	*	2,46	2,46	3,00
otros cultivos	534	1 263,85	1 226,47	8 832,14
Chilchotla				
nombre	UP	SP	SEP	vol cosechado
frijol	84	94,41	78,68	17,09
haba	37	56,83	53,75	69,54
maíz amarillo	268	297,39	211,00	144,84
maíz blanco	2 528	4 848,00	3 309,97	4 446,41
sorgo grano	*	0,48	0,48	1,00
otros cultivos	680	953,86	813,35	8 997,06

Notas:

SP=superficie plantada (hectáreas) UP=unidades de producción
SEP=superficie en producción (hectáreas)

Tabla 3.4. Cultivos primavera - verano por municipio (continuación).

Nombre	UP	FQ	SM	AN	HT	HQ	HO	IT	IQ	IO	Quema controlada	Otra actividad
Medellín	606	418	210	42	497	485	23	307	307	2	47	3
Jamapa	244	136	28	23	185	179	6	91	89	2	4	0
Manlio Fabio Altamirano	682	596	211	54	387	360	34	232	230	2	81	0
Cotaxtla	1 111	1 051	347	95	917	856	97	490	489	9	34	7
Soledad del Doblado	570	540	183	49	339	325	30	385	378	16	27	49
Paso del macho	1 302	1 295	204	37	809	800	38	177	175	3	252	1
Camarón de Tejada	349	338	18	7	87	82	9	23	23	0	14	0
Zentla	384	377	30	7	153	152	23	45	45	0	219	0
Comapa	424	417	139	13	392	390	10	310	309	2	6	0
Huatusco	39	33	2	7	25	25	2	5	5	0	19	0
Ixhuitlàn del café	41	32	7	11	24	24	1	5	5	0	9	0
Tepatlixco	5	3	0	1	3	3	0	0	0	0	3	0
Sochiapa	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totutla	83	83	21	3	51	51	1	18	18	0	52	0
Tlaltetela	332	324	55	15	289	288	5	71	70	1	150	0
Carrillo Puerto	128	127	7	1	77	76	2	48	48	0	48	0
Coscomatepec	761	749	77	543	110	105	14	45	45	1	11	0
Chichiquila	1 705	1 687	28	121	17	16	2	4	4	0	4	0
Calchualco	177	174	5	22	16	16	0	18	18	0	0	0
Tomatlàn	150	150	4	20	99	96	6	1	1	0	31	0
Alpatlàhuac	346	338	8	94	9	8	2	13	13	0	1	0
Quimixtlàn	2 295	2 272	26	114	17	17	3	8	8	0	2	0
Tlachicuca	3 658	3 518	111	356	1 433	1 365	95	760	756	5	17	1
Chilchotla	2 388	2 367	154	521	102	101	3	21	21	0	1	0

Notas:

UP=unidades de producción; FQ=fertilizantes químicos; SM=semilla mejoradora
 AN=abonos naturales; HT= herbicidas totales; HQ=herbicidas químicos;
 HO=herbicidas orgánicos; IT=insecticidas totales; IQ=insecticidas químicos;
 IO=insecticidas orgánicos

Tabla 3.5. Fertilizantes utilizados en las actividades agrícolas.

Nombre	Ganado bovino	Ganado porcino	Aves de corral	Ganado ovino	Caballos	Mulas	Asnos	Conejos	Caprino	Equino
MEDELLÍN	21 594	4 624	34 925	4 827	814	26	265	152	136	494
JAMAPA	7 791	1 948	9 890	1 622	212	23	145	100	144	464
MANLIO FABIO ALTAMIRANO	8 645	2 014	13 587	1 538	112	9	264	16	422	1.133
COTAXTLA	29 089	23 007	666 814	6 651	929	28	1 077	71	1.025	3.296
SOLEDAD DE DOBLADO	15 775	3 480	22 628	1 681	425	58	1 644	32	443	2.112
PASO DEL MACHO	4 952	1 508	29 106	1 166	173	10	439	23	149	613
CAMARÓN DE TEJEDA	1 811	120	462	146	9	0	17	2	237	536
ZENTLA	2 833	2 655	13 161	809	13	1	15	4	1.622	4.197
COMAPA	5 482	1 677	10 607	423	24	8	527	1	2.318	2.966
HUATUSCO	2 287	1 976	114 136	441	10	1	36	534	515	623
IXHUATLÁN DEL CAFÉ	69	742	10 360	357	96	41	148	58	55	268
TEPATLAXCO	133	764	20 321	242	14	13	9	20	191	785
SOCHIAPA	58	122	40	23	3	0	0	0	0	115
TOTUTLA	874	457	27 015	17	3	11	21	19	8	207
TLALTETELA	2 335	944	9 865	371	129	64	338	27	116	999
CARRILLO PUERTO	2 028	1 340	18 563	859	52	3	53	4	196	1.164
COSCOMATEPE C	2 390	9 116	88 496	3 160	519	158	338	124	2.132	1.511
CHICHQUILA	404	3 232	14 844	751	306	76	528	65		
CALCAHUALCO	115	345	2 851	269	17	5	40	0	427	781
TOMATLÁN	635	1 822	2 307 254	504	25	1	17	280	27	64
ALPATLÁHUAC	1 633	1 032	9 896	2 532	338	16	177	40	371	714
QUIMIXTLÁN	877	3 105	17 553	2 283	399	76	218	73		
TLACHICHUCA	748	2 802	12 783	5 957	1 148	937	305	464		
CHILCHOTLA	137	2 670	9 761	4 889	717	184	332	5 120		

Tabla 3.6. Ganadería en los municipios asociados a la cuenca del río Jamapa (Número de cabezas en pie).

3.4 Distribución municipal de las actividades económicas

Las principales actividades económicas, consideradas en tres sectores, a saber, el Primario, en el que se tienen las actividades tales como agricultura, minería, construcción, electricidad, agua, captación y suministros, el Secundario, en el que se clasifican las actividades industriales y de generación de energía, y el Terciario, en el que entran básicamente todos los servicios. Para contar con una visión clara de la distribución a nivel municipal de las

actividades para cada uno de los sectores, se procedió a construir mapas con leyenda a color como se muestra en la figuras 3.2, 3.3 y 3.4. La clasificación de cada una de las actividades por sector se muestra en las tablas 3.7, 3.8 y 3.9.

SECTOR 22 ELECTRICIDAD, AGUA, CAPTACION Y SUMINISTROS(AGUA Y TRATAMIENTO, GAS POR DUCTOS AL CONSUMIDOR FINAL)	SECTOR 11 AGRICULTURA, GANADERIA, APROVECHAMIENTO FORESTAL, PESCA Y CAZA (SOLO PESCA Y ACUICULTURA ANIMAL)	CONSTRUCCION DE OBRAS DE INGENIERIA CIVIL U OBRAS DE GENERACION Y CONDUCCION DE ENERGIA ELECTRICA; Y PESADAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA, PETROLEO, GAS, ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES
ELECTRICIDAD, CAPTACION, TRATAMIENTO Y SUMINISTRO DE AGUA Y GAS POR DUCTOS AL CONSUMIDOR FINAL	SUBSECTOR 112 GANADERIA (SOLO ACUICULTURA ANIMAL)	RAMA 2371 CONSTRUCCION DE OBRAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA, PETROLEO, GAS, ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES
RAMA 2221 CAPTACION, TRATAMIENTO Y SUMINISTRO DE AGUA	RAMA 1125 ACUICULTURA ANIMAL	SUBRAMA 23713 CONSTRUCCION D OBRAS DE GENERACION Y CONDUCCION DE ENERGIA ELECTRICA Y TELECOMUNICACIONES

Tabla 3.7. Actividades del sector primario.

SERVICIOS DE ALOJAMIENTO TEMPORAL Y DE PREPARACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS
SERVICIOS DE PREPARACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS
OTROS SERVICIOS EXCEPTO ACTIVIDADES DEL GOBIERNO, SERV. REPARACION Y MANTENIMIENTO DE AUTOMOVILES Y CAMINES
SERVICIOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO REPARACION Y MANTENIMIENTO DE AUTOMOVILES Y CAMIONES
OTROS SERVICIOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO DE AUTOMOVILES Y CAMIONES

Tabla 3.8. Actividades del sector secundario.

MANEJO DE DESECHOS SERVICIOS DE REMEDIACION	SALONES Y CLINICAS DE BELLEZA, BAÑOS PUBLICOS Y BOLERIAS
SERVICIOS DE APOYO A LOS NEGOCIOS	PELUQUERIAS
SERVICIOS DE APOYO SECRETARIAL, FOTOCOPIADO, COBRANZA, INVESTIGACION	RESTAURANTES DE AUTOSERVICIO Y DE COMIDA PARA LLEVAR
SERVICIOS DE SALUD Y DE ASISTENCIA SOCIAL	HOJALATERIA, TAPICERIA Y OTRAS REPARACIONES A LA CARROCERIA DE AUTOMOVILES Y CAMIONES
SERVICIOS MEDICOS DE CONSULTA EXTERNA Y SERVICIOS RELACIONADOS	SERVICIOS INMOBILIARIOS Y DE ALQUILER DE BIENES MUEBLES E INTANGIBLES
CONSULTORIOS MEDICOS	OTROS SERVICIOS DE REPARACION
SERVICIOS PROFESIONALES, CIENTIFICOS Y TECNICOS	REPARACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO ELECTRONICO
SERVICIOS PERSONALES	REPARACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO ELECTRONICO

Tabla 3.9. Actividades del sector terciario.

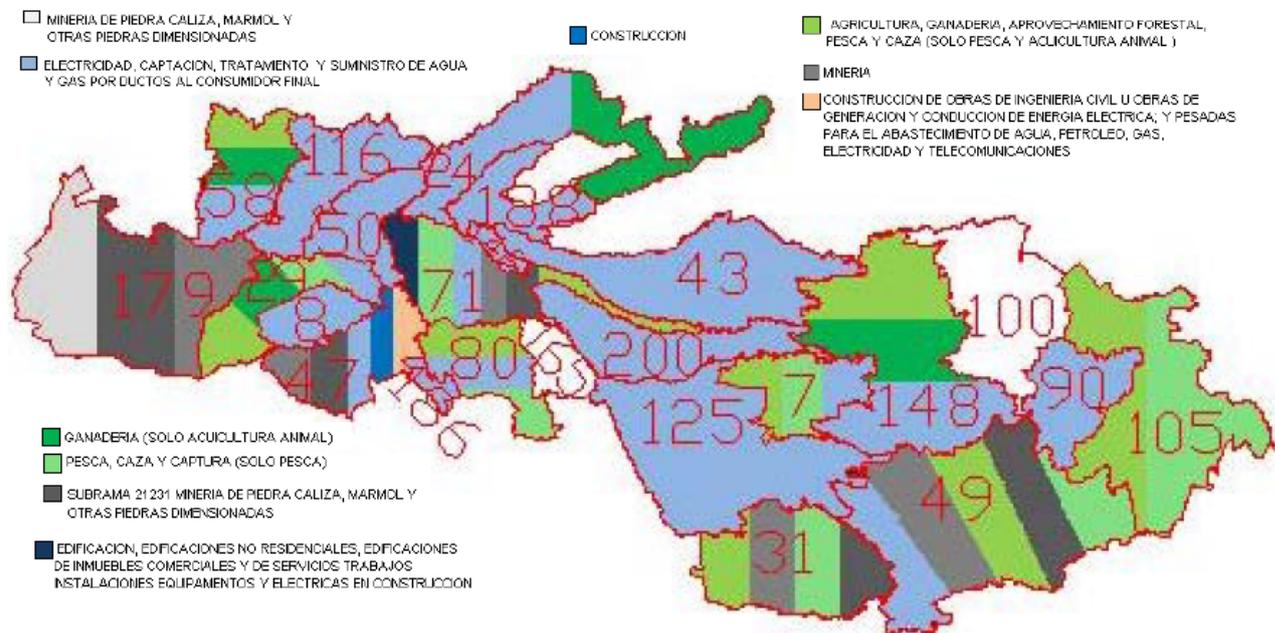


Figura 3.2. Distribución espacial de las actividades relacionadas con el sector primario.



- SERVICIOS DE PREPARACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS
- SERVICIOS DE ALOJAMIENTO TEMPORAL Y DE PREPARACION DE
- OTROS SERVICIOS EXCEPTO ACTIVIDADES DEL GOBIERNO, SERV. REPARACION Y MANTENIMIENTO DE AUTOMOVILES Y CAMINES
- SERVICIOS DE APOYO A LOS NEGOCIOS Y MANEJO DE DESECHOS Y SERVICIOS DE REMEDIACION APOYO SECRETARIAL, FOTOCOPIADO COBRANZA, INVESTIGACIONES, CREDITICIA, FAX, AFINES Y SIMILARES
- SERVICIOS DE SALUD Y DE ASISTENCIA SOCIAL, SERVICIOS MEDICOS DE CONSULTA EXTERNA Y SERVICIOS RELACIONADOS
- CONSULTORIOS MEDICOS
- SERVICIOS PROFESIONALES, CIENTIFICOS Y TECNICOS
- SERVICIOS DE CASSETAS TELEFONICAS, RECEPCION DE LLAMADAS Y PROMOCION POR TELEFONO
- SERVICIOS DE SALUD Y DE ASISTENCIA SOCIAL, ORIENTACION Y TRABAJO SOCIAL
- REPARACION Y MANTENIMIENTO DE ARTICULOS PARA EL HOGAR Y PERSONALES
- REPARACION DE CALZADO Y OTROS ARTICULOS DE PIEL Y CUERO
- ALQUILER DE MAQUINARIA Y EQUIPO INDUSTRIAL, COMERCIAL Y DE SERVICIOS
- ALQUILER DE OTRA MAQUINARIA Y EQUIPO INDUSTRIAL, COMERCIAL Y DE SERVICIOS
- CENTROS NOCTURNOS, BARES, CANTINAS Y SIMILARES
- REPARACION Y MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO AGROPECUARIO, INDUSTRIAL, COMERCIAL Y DE SERVICIOS
- AUTOTRANSPORTE DE CARGA GENERAL
- SERVICIOS RELACIONADOS CON EL TRANSPORTE
- SERVICIOS RELACIONADOS CON EL TRANSPORTE POR CARRETERA
- OTROS SERVICIOS RELACIONADOS CON EL TRANSPORTE POR CARRETERA
- CENTROS GENERALES DE ALQUILER Y SERVICIOS DE ENTRETENIMIENTO EN
- INSTALACIONES RECREATIVAS Y OTROS SERVICIOS RECREATIVOS
- RESTAURANTES CON SERVICIO DE MESEROS
- REPARACION Y MANTENIMIENTO DE ARTICULOS PARA EL HOGAR Y PERSONALES
- ASOCIACIONES Y ORGANIZACIONES COMERCIALES, LABORALES, PROFESIONALES Y RECREATIVAS
- ASOCIACIONES, ORGANIZACIONES Y CAMARAS DE PRODUCTORES, COMERCIANTES Y PRESTADORES DE SERVICIOS
- ASOCIACIONES Y ORGANIZACIONES RELIGIOSAS, POLITICAS Y CIVILES
- ALQUILER DE MAQUINARIA Y EQUIPO PARA CONSTRUCCION, MINERIA, ACTIVIDADES FORESTALES Y TRANSPORTE, EXCEPTO TERRESTRE
- SECTOR 51 INFORMACION EN MEDIOS MASIVOS, INDUSTRIA FILMICA Y DEL VIDEO, E INDUSTRIA DEL SONIDO EXHIBICION DE PELICULAS CINEMATOGRAFICAS, VIDEOS Y OTROS MATERIALES AUDIOVISUALES, OTRAS TELECOMUNICACIONES, DISTRIBUCION POR SUSCRIPCION DE PROGRAMAS DE TELEVISION, EXCEPTO A TRAVES DE INTERNET
- ALQUILER DE ARTICULOS PARA EL HOGAR Y VIDEOCASSETES Y DISCOS
- NOTARIAS PUBLICAS
- SERVICIOS DE CONTABILIDAD, AUDITORIA Y SERVICIOS RELACIONADOS
- TRANSPORTE TERRESTRE DE PASAJEROS, EXCEPTO POR FERROCARRIL, INTERURBANO, RURAL, TURISTICO Y REMOLQUES DE VEHICULOS DE MOTOR
- SERVICIOS INMOBILIARIOS, ALQUILER SIN INTERMEDIACION DE VIVIENDAS Y OTROS INMUEBLES
- SERVICIOS DE ARGUMENTURA, INGENIERIA Y ACTIVIDADES RELACIONADAS
- SERVICIOS DE ADMINISTRACION DE NEGOCIOS
- ESCUELAS DE EDUCACION MEDIA SUPERIOR
- GUARDERIAS
- ALQUILER DE OTROS ARTICULOS PARA EL HOGAR
- CONSULTORIOS DE AUDILOGIA Y DE TERAPIA OCUPACIONAL, FISICA Y DEL LENGUAJE Y CENTROS PARA LA ATENCION DE PACIENTES QUE NO REQUIEREN HOSPITALIZACION
- SERVICIOS PERSONALES SALONES Y CLINICAS DE BELLEZA, BAÑOS PUBLICOS Y BOLERIAS, RESTAURANTES DE AUTOSERVICIO Y DE COMIDA PARA LLEVAR
- HOJALATERIA, TAPICERIA Y OTRAS REPARACIONES A LA CARROGERIA DE AUTOMOVILES Y CAMIONES
- OTROS SERVICIOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO DE AUTOMOVILES Y CAMIONES
- SERVICIOS INMOBILIARIOS Y DE ALQUILER DE BIENES MUEBLES E INTANGIBLES
- REPARACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO ELECTRONICO Y DE EQUIPO DE PRECISION
- DISEÑO ESPECIALIZADO, GRAFICO Y CONSULTORIOS DENTALES
- OTROS CONSULTORIOS PARA EL CUIDADO DE LA SALUD
- LABORATORIOS MEDICOS Y DE DIAGNOSTICO
- SERVICIOS DE ESPARCIMIENTO, ENTRETENIMIENTO EN INSTALACIONES RECREATIVAS, CULTURALES Y DEPORTIVOS, Y OTROS SERVICIOS RECREATIVOS
- OTROS SERVICIOS RECREATIVOS
- REPARACION Y MANTENIMIENTO DE APARATOS ELECTRICOS PARA EL HOGAR, TAPICERIA DE MUEBLES Y PERSONALES
- OTROS SERVICIOS PROFESIONALES, CIENTIFICOS, TECNICOS Y DE FOTOGRAFIA
- SERVICIOS DE SALUD, MEDICOS DE CONSULTA EXTERNA Y SERVICIOS DE ASISTENCIA SOCIAL Y RELACIONADOS
- SERVICIOS DE ALOJAMIENTO TEMPORAL, HOTELES, MOTELS Y SIMILARES, EXCEPTO HOTELES CON CASINO
- PENSIONES Y CASAS DE HUESPEDES, Y DEPARTAMENTOS Y CASAS AMUEBLADOS CON SERVICIOS DE HOTELERIA
- ESCUELAS DE EDUCACION SUPERIOR
- ESCUELAS QUE COMBINAN DIVERSOS NIVELES DE EDUCACION Y ALQUILER DE EQUIPO DE COMPUTO Y DE OTRAS MAQUINAS Y MOVILIARIO DE OFICINA
- ESCUELAS DE EDUCACION PRIMARIA
- LAVANDERIAS Y TINTORERIAS
- SERVICIOS FUNERARIOS Y ADMINISTRACION DE CEMENTERIOS
- ESTACIONAMIENTOS Y PENSIONES PARA AUTOMOVILES
- SERVICIOS DE REVELADO DE FOTOGRAFIAS Y OTROS SERVICIOS PERSONALES
- SERVICIOS DE MENSAJERIA, PAQUETERIA Y FORANEA
- SERVICIOS FINANCIEROS Y DE SEGUROS
- INSTITUCIONES DE INTERMEDIACION CREDITICIA Y FINANCIERA NO BURSATIL
- UNIONES DE CREDITO E INSTITUCIONES DE AHORRO Y CAJAS DE AHORRO POPULAR
- ACTIVIDADES BURSATILES CAMBIARIAS Y DE INVERSION FINANCIERA, CASAS DE BOLSA, CASAS DE CAMBIO Y CENTROS CAMBIARIOS
- SERVICIOS LEGALES Y BUFETES JURIDICOS
- SERVICIOS DE PUBLICIDAD, ACTIVIDADES RELACIONADAS Y OTROS
- COMPAÑIAS DE FIANZAS, SEGUROS, PENSIONES Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LOS SEGUROS Y LAS FIANZAS
- SERVICIOS RELACIONADOS CON LOS SERVICIOS INMOBILIARIOS
- SERVICIOS DE INGENIERIA
- ESCUELAS DE EDUCACION PREESCOLAR
- ESCUELAS COMERCIALES, DE COMPUTACION Y DE CAPACITACION PARA FUNCIONARIOS Y PROFESIONALES DE OFICINA
- ESCUELAS DE DEPORTE, IDIOMAS Y OTROS SERVICIOS EDUCATIVOS
- CLUBES DEPORTIVOS, BALNEARIOS Y CENTROS DE ACONDICIONAMIENTO FISICO
- PENSIONES Y CASAS DE HUESPEDES, Y DEPARTAMENTOS Y CASAS AMUEBLADOS CON SERVICIOS DE HOTELERIA
- HOSPITALES Y HOSPITALES GENERALES

Figura 3.3. Distribución espacial de las actividades relacionadas con el sector secundario.



- | | |
|--|---|
| ■ FABRICACION DE ESTRUCTURAS METALICAS Y PRODUCTOS DE HERRERIA | ■ COMERCIO AL POR MENOR DE VEHICULOS DE MOTOR, REFACCIONES, COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE DULCES Y MATERIAS PRIMAS PARA REPOSTERIA | ■ COMERCIO AL POR MENOR DE COMBUSTIBLES, ACEITES Y GRASAS LUBRICANTES |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE CALZADO | ■ COMERCIO AL POR MENOR DE COMBUSTIBLES |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE ARTICULOS PARA EL ESPARCIMIENTO | ■ COMERCIO AL POR MENOR DE PARTES Y REFACCIONES PARA AUTOMOVILES, CAMIONETAS, CAMIONES ACEITES Y GRASAS LUBRICANTES, ADITIVOS Y SIMILARES |
| ■ COMERCIO AL POR MAYOR DE MATERIAS PRIMAS PARA LA INDUSTRIA Y LA CONSTRUCCION, EXCEPTO DE MADERA | □ ELABORACION DE PRODUCTOS LACTEOS, ELABORACION DE HELADOS Y PALETAS |
| ■ SERVICIOS DE SALUD, MEDICOS DE CONSULTA EXTERNA Y DE ASISTENCIA SOCIAL Y RELACIONADOS | ■ OTRAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, INDUSTRIAS DEL CAFE Y DEL TE |
| ■ CONSULTORIOS DENTALES | ■ FABRICACION DE INSUMOS TEXTILES, PREPARACION E HILADO DE FIBRAS TEXTILES Y FABRICACION DE HILOS |
| ■ INDUSTRIA DE LA MADERA Y FABRICACION DE OTROS PRODUCTOS DE MADERA | ■ FABRICACION DE CALZADO |
| ■ FABRICACION DE PRODUCTOS DE MADERA PARA LA CONSTRUCCION | ■ FABRICACION DE PRODUCTOS DE PAPEL Y CARTON |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE LECHE PROCESADA, OTROS PRODUCTOS LACTEOS Y EMBUTIDOS | □ COMERCIO AL POR MAYOR DE ALIMENTOS, BEBIDAS, TABACO, ABARROTES, FRUTAS Y VERDURAS FRESCAS |
| ■ INDUSTRIAS MANUFACTURERAS, ALIMENTARIA, ELABORACION DE PRODUCTOS LACTEOS, HELADOS PALETAS, ELABORACION DE PAN Y TORTILLAS Y OTROS PRODUCTOS DE PANADERIA MOLIENDA DE NIXTAMAL | ■ COMERCIO AL POR MENOR DE SEMILLAS Y GRANOS ALIMENTICIOS, ESPECIAS Y CHILES SECOS |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE ALIMENTOS, DE ABARROTES, ULTRAMARINOS Y MISCELANEAS | □ COMERCIO AL POR MENOR DE COMPUTADORAS, TELEFONOS Y OTROS APARATOS DE COMUNICACION |
| ■ COMERCIO AL POR MAYOR DE MATERIAS PRIMAS AGROPECUARIAS, PARA LA INDUSTRIA Y MATERIALES DE DESECHO | ■ INDUSTRIA QUIMICA |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE ARTICULOS DE PAPELERIA, LIBROS Y PERIODICOS | ■ FABRICACION DE PRODUCTOS QUIMICOS BASICOS Y PETROQUIMICOS |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE BEBIDAS Y TABACO | ■ FABRICACION DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS |
| ■ MENOR DE PRODUCTOS TEXTILES, EXCEPTO ROPA | ■ MATANZA ENPACADO Y PROCESAMIENTO DE CARNES |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE CARNES, OTROS ALIMENTOS, PRODUCTOS TEXTILES, ACCESORIOS DE VESTIR Y CALZADO, ARTICULOS PARA EL CUIDADO DE LA SALUD, PRODUCTOS FARMACEUTICOS Y NATURISTAS, ARTICULOS DE PAPELERIA, PARA EL ESPARCIMIENTO Y OTROS ARTICULOS DE USO PERSONAL, MASCOTAS, REGALOS, ARTICULOS RELIGIOSOS, ARTESANIAS, ARTICULOS EN TIENDAS IMPORTADORAS, ARTICULOS DE FERRETERIA, TLPALERIA Y VIDRIOS, PARTES Y REFACCIONES PARA AUTOMOVILES, CAMIONETAS Y CAMIONES | ■ IMPRESION E INDUSTRIAS CONEXAS |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE FRUTAS Y VERDURAS FRESCAS | ■ MAQUINADO DE PIEZAS METALICAS Y FABRICACION DE TORNILLOS |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR EN TIENDAS DE AUTOSERVICIO Y DEPARTAMENTALES | ■ FABRICACION DE PARTES PARA VEHICULOS AUTOMOTORES |
| ■ COMERCIO AL POR MENOR DE ARTICULOS DE PERFUMERIA Y JOYERIA | ■ FABRICACION DE CALDERAS, TANQUES Y ENVASES METALICOS Y DE CALIBRE LIGERO |
| | ■ FABRICACION DE MAQUINARIA Y EQUIPO PARA LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS, PARA LA CONSTRUCCION Y PARA LA INDUSTRIA EXTRACTIVA |
| | ■ FABRICACION DE ESTRUCTURAS METALICAS |
| | ■ FABRICACION DE COLCHONES |
| | ■ COMERCIO AL POR MENOR DE ARTICULOS PARA LA DECORACION DE INTERIORES |
| | ■ COMERCIO DE AUTOMOVILES Y CAMIONETAS |

Figura 3.4. Distribución espacial de las actividades relacionadas con el sector terciario.

4. Uso y aprovechamiento del agua en la cuenca

4.1 Fuentes de abasto

Las fuentes de abasto en los diferentes municipios son básicamente de aguas superficiales, a través de presas derivadoras y obras de captación en las márgenes de los ríos, y de agua subterránea, la cual es aprovechada por medio de la captación de manantiales, norias y pozos. En la tabla 4.1 se muestra el número de obras de captación oficiales en cada uno de los municipios considerados.

nombre	UP	BH	PP	PC	rio	manantial	presa	otra
Medellín	48	1	35	2	10	0	0	0
Jamapa	17	1	9	5	1	1	0	0
Manlio Fabio Altamirano	319	46	224	9	38	2	0	1
Cotaxtla	250	1	76	140	36	1	0	2
Soledad del Doblado	267	1	165	12	90	0	1	0
Paso del macho	335	3	4	0	298	26	4	4
Camarón de Tejada	95	0	93	1	1	0	0	0
Zentla	*	*	*	*	*	*	*	*
Comapa	*	*	*	*	*	*	*	*
Huatusco	5	0	0	0	3	1	0	1
Ixhutilàn del café	*	*	*	*	*	*	*	*
Tepatlxaco	*	*	*	*	*	*	*	*
Sochiapa	*	*	*	*	*	*	*	*
Totutla	7	0	0	4	0	1	1	1
Tlaltetela	86	13	0	0	72	2	0	0
Carrillo Puerto	718	0	17	2	560	112	40	2
Coscomatepec	5	0	1	0	4	0	0	0
Chichiquila	7	1	1	0	0	1	3	1
Calchualco	*	*	*	*	*	*	*	*
Tomatlàn	*	*	*	*	*	*	*	*
Alpatlàhuac	*	*	*	*	*	*	*	*
Quimixtlàn	3	1	1	1	1	0	0	0
Tlachichuca	62	0	60	0	1	0	1	0
Chilchotla	7	0	0	0	5	2	0	0

Nota:

UP=unidades de producción; BH=bordo u hoyo de agua; PP=pozo profundo
PC= pozo a cielo abierto.

Tabla 4.1. Fuentes de captación a nivel municipal en la cuenca del río Jamapa.

4.2 Usos del agua

Los principales usos del agua son el público urbano, agrícola y el industrial. Destaca el uso agrícola, tanto por lo intensivo de la producción como por su distribución espacial en la cuenca. En segundo término se encuentra el público urbano, el cual empieza a competir con los otros usos. El uso industrial está asociado a las grandes zonas metropolitanas.

En la figura 4.1 se muestran las principales zonas metropolitanas de la cuenca, la cual es básicamente de uso público urbano.

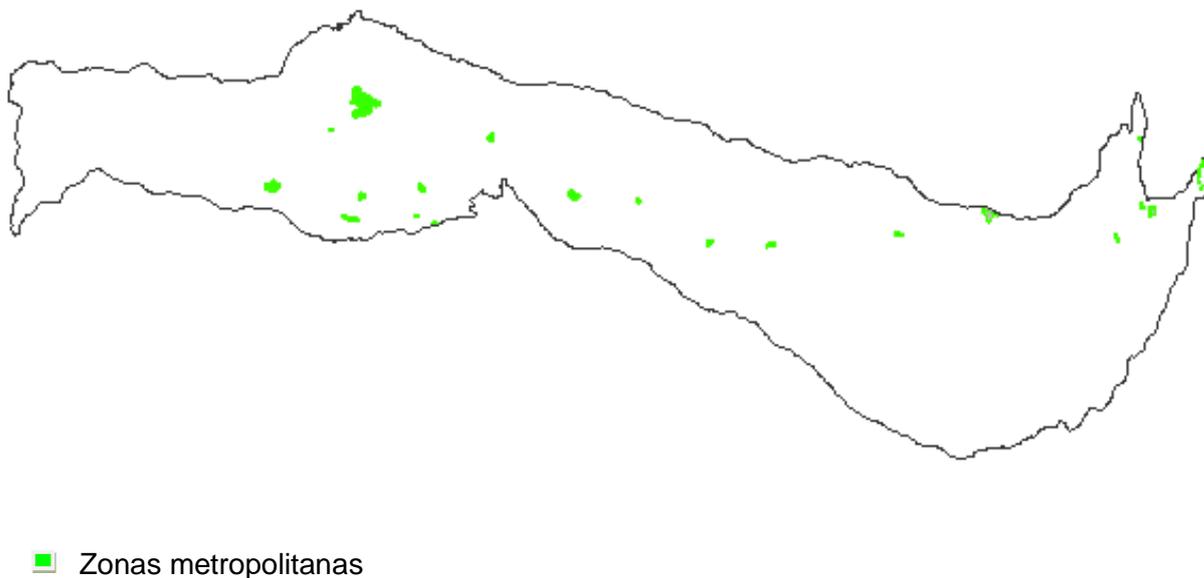


Figura 4.1. Zonas metropolitanas en la cuenca del río Jamapa.

En la tabla 4.2 se muestra el volumen de agua en miles para el riego, considerando la extensión de las unidades de Producción Rural. También se incluye la extensión de la superficie asociada con la agricultura de temporal.

Nombre	UP	Total	UPR	Riego hectáreas	UPT	Temporal, ha
Medellín	1 068	9 144,47	48	478,68	1 051	8 665,79
Jamapa	450	3 796,20	17	60,16	444	3 736,04
Manlio Fabio Altamirano	1 389	10 119,06	319	1 463,68	1 304	8 655,38
Cotaxtla	2 137	21 079,44	250	1 567,70	2 086	19 511,74
Soledad del Doblado	2 192	23 230,96	267	984,18	2 124	22 246,78
Paso del macho	2 858	22 929,46	335	2 390,92	2 569	20 538,55
Camarón de Tejada	627	5 319,76	95	680,04	578	4 639,72
Zentla	1 575	11 514,01	3	41,23	1 574	11 472,78
Comapa	2 528	11 970,32	0	0,00	2 528	11 970,32
Huatusco	3 212	10 334,34	5	0,78	3 211	10 333,57
Ixhutilán del café	3 282	7 260,87	2	0,94	3 281	7 259,93
Tepatlaxco	1 481	4 430,76	0	0,00	1 481	4 430,76
Sochiapa	450	1 145,18	0	0,00	450	1 145,18
Totutla	2 141	6 992,82	7	50,11	2 136	6 942,71
Tlaltetela	2 765	11 717,38	86	158,64	2 745	11 558,74
Carrillo Puerto	1 939	7 561,49	718	2 508,70	1 261	5 052,80
Coscomatepec	4 326	7 221,72	5	12,87	4 324	7 208,85
Chichiquila	3 584	6 674,04	7	5,89	3 581	6 668,15
Calcahualco	1 560	2 560,75	2	0,55	1 560	2 560,20
Tomatlán	834	1 752,00	0	0,00	834	1 752,00
Alpatláhuac	1 515	3 723,46	0	0,00	1 515	3 723,46
Quimixtlán	3 398	5 677,23	3	3,00	3 397	5 674,23
Tlachichuca	3 955	17 594,18	62	406,65	3 916	17 187,52
Chilchotla	3 116	7 898,73	7	29,57	3 113	7 869,16

Notas:

UPR= unidades de producción riego; UPT= unidades de producción temporal; UP=unidades de producción

Tabla 4.2. Volumen de agua utilizada en las actividades agropecuarias.

4.3 Tratamiento de aguas residuales

De acuerdo a los usos del agua, se espera que el agua residual tenga características particulares en cada uno de los municipios. En el caso del sector primario, las actividades contaminantes están asociadas con la agricultura intensiva, sobre todo por el empleo de fertilizantes químicos,

herbicidas químicos, insecticidas químicos y restos orgánicos, destacando como iones incorporados al agua superficial los nitratos y los fosfatos.

En el caso del sector secundario, se tiene que es el más contaminado, tanto por la forma en la que se vierten los residuos sólidos, líquidos y gaseosos (puntual y difusa), como por el tipo de sustancias y sus concentraciones. Destacan las empresas de la transformación de productos químicos básicos, la industria petroquímica, la industria del papel, la industria textil, alcoholeras, entre otras. Las principales sustancias generadas se muestran a continuación

- La industria química contamina con Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, Ba, Cr y sus compuestos
- En la transformación de productos químicos básicos y petroquímicos se producen de manera destacada sulfuros, compuestos de cromo, fenoles, amoníaco, organohalogenados y organosilícicos, compuestos considerados cancerígenos, y que además afectan el balance de oxígeno en los cuerpos de agua receptoras
- En la elaboración de productos lácteos, en la que se incluye el lavado de tanques de recepción de leche, lavado de conducción sistema de evaporación las aguas que fabricación de queso, generando aguas acidas por la presencia de suero, materia en suspensión y contaminación orgánica
- En la industria del papel, cartón e impresiones se incrementa la concentración de sólidos en suspensión, además de verter cloro, fenoles y fungicidas
- En la fabricación y confección de prendas de vestir se vierten compuestos de cromo, taninos, tenso activos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión
- En la fabricación de productos, estructuras metálicas y productos de herrería el vertido de sustancias incluye cianuros, metales, según el proceso de acabado, pueden incluir Al, Ni, Cr, Cd, V, Ba y Cd
- En la Industria de la madera y fabricación de otros productos de madera básicamente se vierten sustancias que provocan el incremento de la concentración de sólidos en suspensión, con concentraciones que alcanzan en promedio 320 ppm, lo que induce a la disminución de la DBO
- En la fabricación de azúcar se induce el incremento en la concentración de sólidos en suspensión; además se vierten ácidos procedentes de la tierra, hojas y raíces de la remolacha. La disposición materia orgánica por los residuos generados por la prensa de pulpa así como los lodos de cal, disminuye la DBO

En el caso del sector terciario, la contaminación puede ser difusa y puntual, destacando la que se genera en las zonas urbanas y turísticas que se están desarrollando en las zonas costeras. El tipo de contaminación es similar a la que se genera por los centros urbanos.

Las aguas residuales generadas en los diferentes municipios, no reciben un tratamiento extensivo ni intensivo, de modo que es un aspecto pendiente que debe resolverse lo más pronto posible, para evitar afectaciones a la salud, ambiente y vulneración de cuerpos de agua que actualmente son considerados como reservas para el continuo crecimiento de la demanda de todos los usuarios del agua.

En la tabla 4.3 se muestran los municipios que cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales o con algún sistema de contención temporal contra la contaminación.

municipio tipo de servicio	total	fosa séptica	Fosa bioenzimática	lodos activos	otras	Capacidad (l/s)	volumen (m ³)
MEDELLÍN	6	0	1	3	2	43,3	980.814,2
PÚBLICO	2	0	0	1	1	28,7	715.551,8
PRIVADO	4	0	1	2	1	14,6	265.262,4
MANLIO FABIO ALTAMIRANO	1	1	0	0	0	0,5	8.199,4
PRIVADO	1	1	0	0	0	0,5	8.199,4
COTAXTLA	2	0	1	0	1	161,0	4.872.312,0
PRIVADO	2	0	1	0	1	161,0	4.872.312,0
PASO DEL MACHO	2	0	0	0	2	38,4	390.960,0
PÚBLICO	1	0	0	0	1	8,0	157.680,0
PRIVADO	1	0	0	0	1	30,4	233.280,0
HUATUSCO	2	0	0	0	2	3,9	12.856,3
PRIVADO	2	0	0	0	2	3,9	12.856,3
EPATLAXCO	1	0	0	0	1	1,2	37.212,5
PÚBLICO	1	0	0	0	1	1,2	37.212,5

Tabla 4.3. Obras de contención y tratamiento de aguas residuales en los municipios de la cuenca del río Jamapa.

5. Modelación hidrológica de la cuenca

Con la información recopilada y analizada en los capítulos anteriores, se procedió a la modelación de los escurrimientos superficiales a partir de las condiciones hidrológicas más desfavorables esperadas. Para ello se llevó a cabo el análisis de frecuencias de las lluvias diarias máximas, a partir de lo cual se construyeron los mapas de isoyetas para láminas de 24 horas. Posteriormente se aplicaron tres modelos lluvia escurrimiento en la cual, para lo cual se procedió a su discretización. Finalmente se generaron los hidrogramas de diseño, así como los gastos pico esperados para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100, 500 y 1000 años.

5.1 Análisis de frecuencias

En este apartado se obtienen los valores de lluvia máxima esperada por cada una de las estaciones asociadas con la cuenca del río Jamapa. Para ello fue necesario obtener los datos de lluvia diaria contenidas en el Extractor Rápido de Información Climatológica, ERIC, actualizado con la información del Sistema de Información Hidroclimatológica de la Comisión Nacional del Agua. La información disponible es bastante heterogénea, de modo que se hizo un análisis de contenido de información, descartando aquellas estaciones con registro continuo menor a 10 años. El periodo considerado abarca desde 1960 hasta 2005. En la figura 5.1 se muestra en esquema con la ubicación de las estaciones climatológicas.

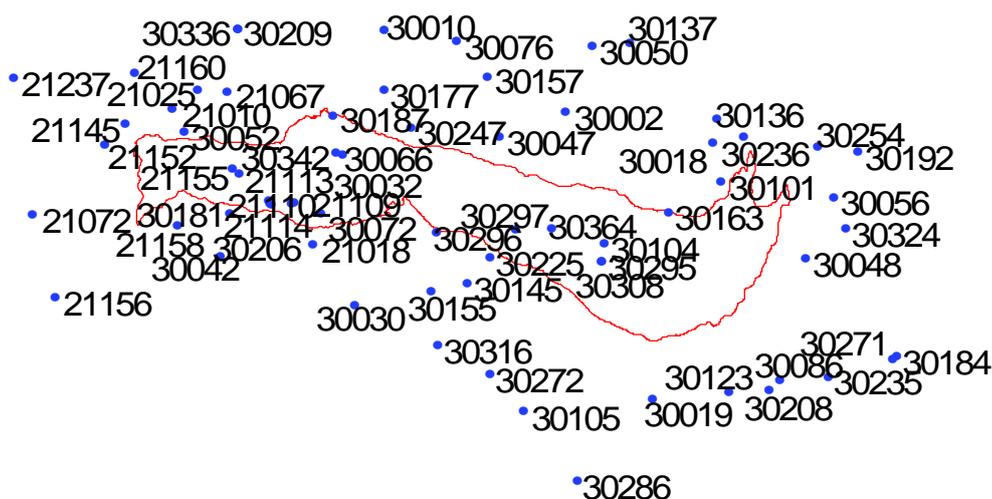


Figura 5.1. Esquema con la ubicación de las estaciones climatológicas asociadas a la cuenca del río Jamapa.

Las estaciones seleccionadas se muestran en la tabla 5.1. Una vez analizada la información de lluvia diaria, se procedió a obtener los valores máximos por año, lo cual se muestra en la tabla 5.1.

San diego texmelucan-21072	Ixhuatlan del café-30072
Zapotitlán de s (SMN)-21109	Manlio Fabio Altamirano-30101
Zapotitlán de s (DGE)-21110	Mata anona Soledad-30104
Zinacatepec, Zinacatepec-21113	Palo Gacho; Tlalixcoyan-30123
Zoquitlan, zoquitlan-21114	Soledad del doblado-30163
Buzón Manlio Fabio Altamirano-30018	Huatusco de chicuellar-30066
Acazonica pasó ovejas-30002	Totutla; Totutla-30187
Tetelzingo; Coscomatepec-30181	Coscomatepec Bravo (DGE)-30206
Camelpo Cotaxtla-30019	El copital Medellín-30048
Coscomatepec Bravo (SMN)-30032	Centro regional Huatusco-30342
El coyol Comapa-30047	Villa Tejeda-30364
Elotepec; Huatusco-30052	

Tabla 5.1. Estaciones climatológicas seleccionadas para el análisis de frecuencias.

Año	21072	21109	21110	21113	21114	30002	30018	30019
1960				132				
1961				48	80		132	100
1962				51	90		74,7	92
1963				32	250		82	90
1964				83	53	35,2	120	83
1965				24,6	44	56	115	128
1966			53,5	32	50,5	109,7	120	85,5
1967	32,2		48	25,2	53,5	157,9	28,4	77
1968	52,5		43,5	38,4	53	87,4	64,5	60
1969	32,5	51,1	31,5	44,2	83	128,5	165,5	97
1970	47,8	48	48	24	63	100,3	82,5	120,6
1971	22,5	36			64	68,9	90	79,5
1972	32,2		31	24,8	63	102,5	83,5	96
1973	35,1	60	60	34	70	90,2	107	134
1974	41,2	57	57	65,6	30,4	178,6	185	186
1975	35,8	40	40	37,5	45,2	79,5	93,5	94,4
1976	56,4	35	35	36,8	20	116,1	62	130

Tabla 5.2. Datos de lluvia máxima por estación climatológica, en mm/24 horas.

Año	21072	21109	21110	21113	21114	30002	30018	30019
1977	20	51	51	32	48	58,3	54	51,3
1978	40	23	23	39	60	80,2	74	85,2
1979	38	49	49	26	75	110,2	69	93,2
1980	26,4	45	45	26	140,7	100,7	165	162
1981	21,4	46,4	46,4	10	80,5	106,6	160,5	100,5
1982	41,8		39,6	32	60,8	100,6	56	49
1983	28,7		46,2	42	75,6		94	112,7
1984	40,7		42,5		85	108,6	125	89
1985	40,4					131,4	120	121
1986	34					93,6	102	126,4
1987	22,4	87			46	68,7	103,5	87,5
1988	37,2	34			80	76,6	67	116
1989	54,7	40			82	113,6		94
1990	31,5	33,5			61	68,6		66,8
1991	50,5	6			66,5	83,4		154,5
1992	53,8	47			74,5	99,1		140,7
1993	28,5	35			85	167,5		98,8
1994	35,2	46			58	65,6		75,2
1995	44,5	52			63	90,4		66,5
1996	30,7	75			40	90,3		84,1
1997	36,8	31			17	43,4		117,3
1998	30,6	0			83			80,5
1999		70			90			127,6
2000	37	85			70			83,2
2001	19,5	37			10			88,7
2002								85,5
2003								82,5
Año	30032	30047	30048	30052	30066	30072	30101	30104
1960	94				86	120,3	94,5	
1961	159		111,3		180	200,5	65	
1962	60		75		83	90,5	106	
1963	68,5		58		104	53,5	86	
1964	64,5	35	121	24	82	95	98	65,2
1965	88	70	90	20	110	80,5	77	85,8
1966	68	99,2	75	20	73	90,5	97	70,6
1967	81	176,5	113,5	20	102	200	90	74,5
1968	74	98,1	94	20	73	200	57	87,5
1969	73	94,2	231	20	97	80	97	130,7
1970	88	81	95	20	127			99,9
1971	64	57	178,5	21	35	101,5	100	63,1
1972	94	64	112	20	110	89	105	90,8
1973	73	72,8	107,5	160	77	68	109,5	78,9

Tabla 5.2. Datos de lluvia máxima por estación climatológica, en mm/24 horas (continuación).

Año	30032	30047	30048	30052	30066	30072	30101	30104
1974	130	85,1	480	20	177	123	128	185
1975	50,5	100,7	93	27	116	53,5	95	81
1976	121	82,5	115	20	166	110,5	73	93
1977	200	79,2	118	40	120	64,5	50	50,2
1978	74	112,4	125	65	120	84	80	73,1
1979	72,5	81,2	65	101	102	65	84	66,1
1980	575	86,5	170	71	160	84,6	80	111,4
1981	126	94,5	148	80	102	85		89,2
1982	73,5	73,5	90	110	164	90	65,5	70
1983	124,5	96,4	86		176	62	148,5	98,2
1984	96	118,2	135	80	112	91	120,5	90
1985	80	67,1	106	120	97	102	109,5	72
1986	65	85,5	117	126	86	77,5	120	73,5
1987	75,5	56,6	90	85	110	60	110,5	74,8
1988	93	72,2	95	100	128	76	71,5	77,4
1989	68	54,6	83	55	87	70		92,2
1990	62	54,8	80	101	79	112		67,4
1991	85	90,8	160	91	82	55		99,9
1992	80	63,8	82	95	114	85,5	100	97,4
1993	111	65,9	80	64	87	123,5	100	47,2
1994	77,5	120,3	60	98	88	78,5	0	70,5
1995	56	70	90	105	109	110		50,1
1996	47	84,2	75	62	87	122	95	60
1997	61	67,2	50	50	116	83	97	18,7
1998	67	7,5	115		109	102	120	
1999	57	56,3	98		232	186	165	
2000	53	102	133		107	160	65	
2001	51	71,5	84		77	77	82	
2002	46	58,4	105			84,5		
2003		10,4	130					
2004		69						

Tabla 5.2. Datos de lluvia máxima por estación climatológica, en mm/24 horas (continuación).

Año	30123	30163	30181	30187	30206	30342	30364
1960		98		96,5			
1961	90	137		135	150		
1962	128,5	103		68	62		
1963	62,5	54		140	67		
1964	69,7	100		110	54		
1965	68,7	128,5	70,5	29,5	100		
1966	55	136	60	105,8	60		
1967	48,6	75	90	100	90		
1968	72,2	78	70	65	60		
1969	87,2	176	94	150,6	170		
1970	75	75	33	161,7	100		
1971	126,5	100	31	74,4	52		
1972	62,5	115	62	101,3	83		
1973	94	110	44	88,7	65		
1974	67,2	160	38	218,2	140		
1975	53,7	108,5	26	117,4	127,3		
1976	61	49	62	90,2	143		
1977	28	49	52	89,5	50,4		
1978	98	80	66	81,8	20,5		
1979	80	65	83	120,5	20		
1980	38,5	100	44	114,5	20	85,9	
1981		91	62	95,2	20	87,2	
1982		63	55	99,8	46,6	108,5	43
1983	2,4	250	35	110,3	66	122	75,5
1984		124,5	77	128,9	100	104,5	120,7
1985		115,5	42	96,5	90	66,5	105
1986		85	42	88,8		88	80,3
1987		120		65,5		82	54,9
1988		72		184,5		100,5	6,1
1989		95		96,3		93,2	
1990		62		95,3		67	3
1991		100		80,4		82,5	73
1992		35		107,8		136	82
1993		110		104,2		134,9	83
1994		115		123,8		117	64
1995		60		130,2		114	52
1996		85		96,8		78	70
1997		90		82		89,4	52,5
1998		96		89		119	
1999		96		280,5		214	150,5
2000		105		84,5		93	74,5
2001		76,5		94,5		77	78
2002		68		102,3		69,9	58,3
2003		120					

Tabla 5.2. Datos de lluvia máxima por estación climatológica, en mm/24 horas (continuación).

Una vez obtenidos los valores máximos por año y por estación, se procedió al ajuste de los datos a una función de probabilidad, por medio de la cual se determinó el valor de lluvia máxima esperada para cada uno de los periodos de retorno considerados. Las funciones de probabilidad consideradas fueron las siguientes: Normal, Log-normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y doble Gumbel. Los métodos para calcular los parámetros de las funciones de probabilidad fueron por momentos y por máxima verosimilitud. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.3.

Tr	Estación 21072	Tr	Estación 30052	Tr	Estación 30181
2	36,61	2	79,17	2	55,27
5	44,88	5	113,2	5	72,22
10	49,57	10	131,08	10	81,7
50	58,43	50	162,48	50	99,45
100	61,76	100	173,56	100	106,07
500	68,8	500	195,97	500	120,08
1000	71,63	1000	204,58	1000	125,76

Tr	Estación 21113	Tr	Estación 21114	Tr	Estación 21109
2	34,09	2	61,72	2	45,87
5	48,84	5	81,51	5	60,33
10	77,19	10	100,84	10	69,9
50	128,89	50	257,85	50	90,97
100	148,67	100	331,54	100	99,88
500	193,43	500	493,78	500	120,46
1000	212,63	1000	562,12	1000	129,31

Tr	Estación 21110	Tr	Estación 30032	Tr	Estación 30206
2	43,9	2	72,08	2	71,12
5	51,83	5	98,9	5	110,34
10	56	10	124,96	10	136,3
50	63,31	50	478,58	50	193,45
100	65,89	100	651,59	100	217,61
500	71,12	500	1031,97	500	273,43
1000	73,12	1000	1193,42	1000	297,43

Tabla 5.3. Valores de lluvia máxima en 24 horas estimada para los diferentes periodos de retorno.

Tr	Estación 30072
2	87,61
5	112,94
10	161,39
50	206,84
100	219,8
500	248,39
1000	260,53

Tr	Estación 30187
2	98,75
5	127,72
10	159,01
50	284,12
100	333
500	440,88
1000	486,45

Tr	Estación 30066
2	88,38
5	127,75
10	153,81
50	211,16
100	235,41
500	291,44
1000	315,53

Tr	Estación 30342
2	92,59
5	119,6
10	147,3
50	206,61
100	230,12
500	283,48
1000	306,13

Tr	Estación 30047
2	86,46
5	114,57
10	129,34
50	155,28
100	164,44
500	182,95
1000	190,06

Tr	Estación 30364
2	78,9
5	102,29
10	117,77
50	151,84
100	166,24
500	199,53
1000	213,84

Tr	Estación 30002
2	94,73
5	128,25
10	150,45
50	199,29
100	219,94
500	267,66
1000	288,17

Tr	Estación 30104
2	82,09
5	116,21
10	139,36
50	191,72
100	214,58
500	269,55
1000	294,57

Tr	Estación 30019
2	99,17
5	128,92
10	148,63
50	191,99
100	210,32
500	252,68
1000	270,89

Tr	Estación 30163
2	91,46
5	125,56
10	157,67
50	248,41
100	285,55
500	368,67
1000	404,06

Tr	Estación 30018
2	94,99
5	132,04
10	156,57
50	210,55
100	233,37
500	286,1
1000	308,77

Tr	Estación 30101
2	94,86
5	124,33
10	151,99
50	300,15
100	370,81
500	526,48
1000	592,72

Tabla 5.3. Valores de lluvia máxima en 24 horas estimada para los diferentes periodos de retorno (continuación).

Tr	Estación 30123	Tr	Estación 30048
2	69,42	2	98,92
5	93,88	5	130,42
10	110,08	10	161,45
50	145,73	50	465,1
100	160,81	100	607,63
500	195,63	500	921,8
1000	210,61	1000	1053,97

Tabla 5.3. Valores de lluvia máxima en 24 horas estimada para los diferentes periodos de retorno (continuación).

5.2 Distribución espacial de la lluvia máxima esperada

La distribución espacial y temporal de la lluvia en la cuenca se caracterizó a través de mapas de isoyetas, haciendo uso de los valores máximos estimados por medio del análisis de frecuencias. En la tabla 5.4 se muestran los datos utilizados para la configuración de cada uno de los mapas.

En las figuras de la 5.2 a la 5.8 se muestran los mapas configurados para cada uno de los periodos de retorno.

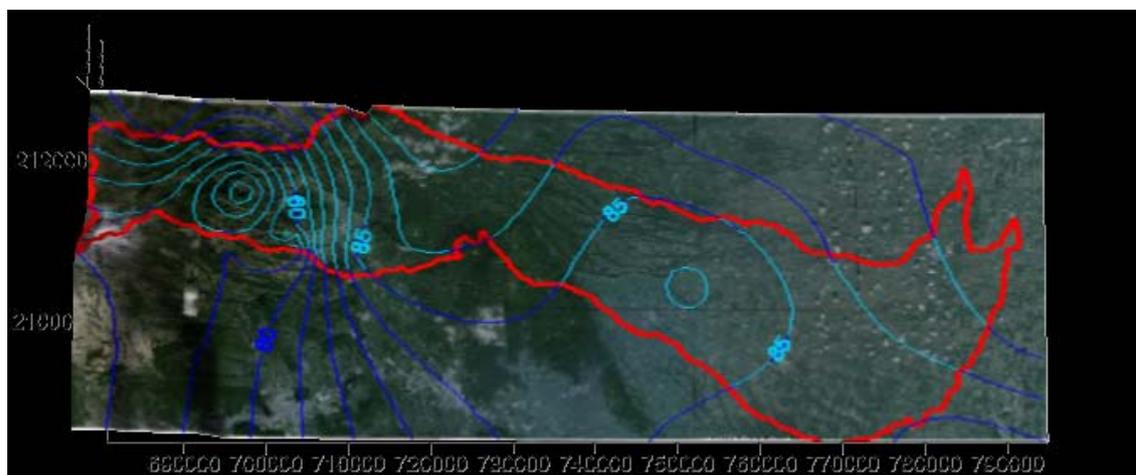


Figura 5.2. Isoyetas correspondientes a un periodo de retorno de 2 años.

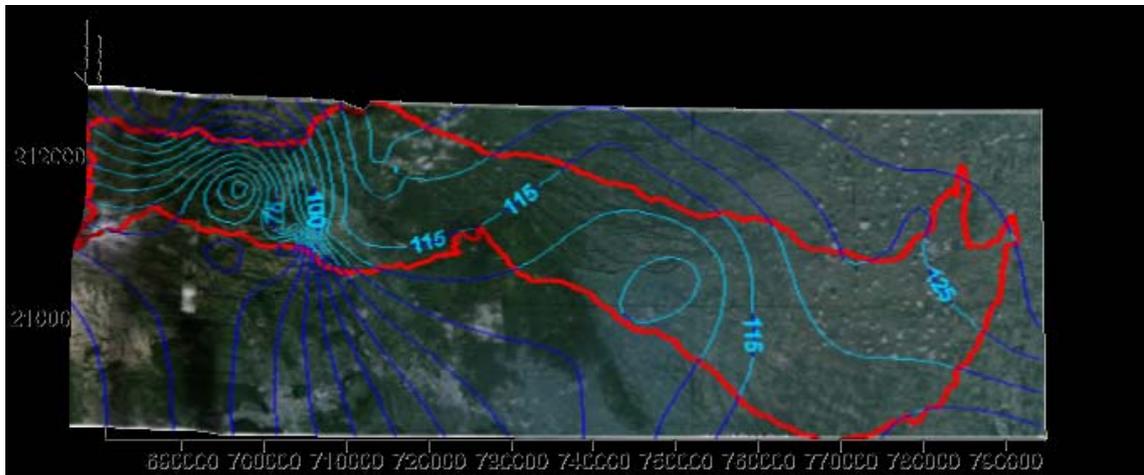


Figura 5.3. Isoyetas correspondientes a un periodo de retorno de 5 años.

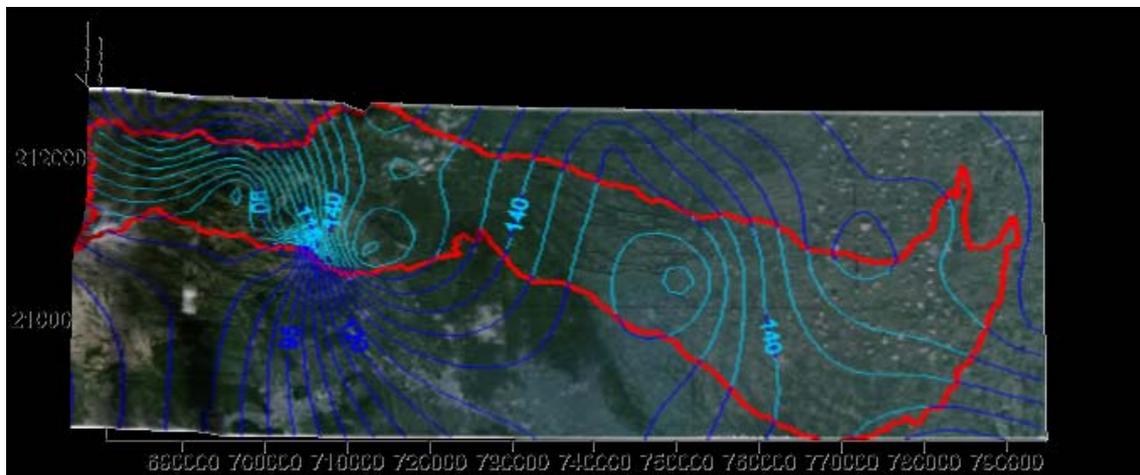


Figura 5.4. Isoyetas correspondientes a un periodo de retorno de 10 años.

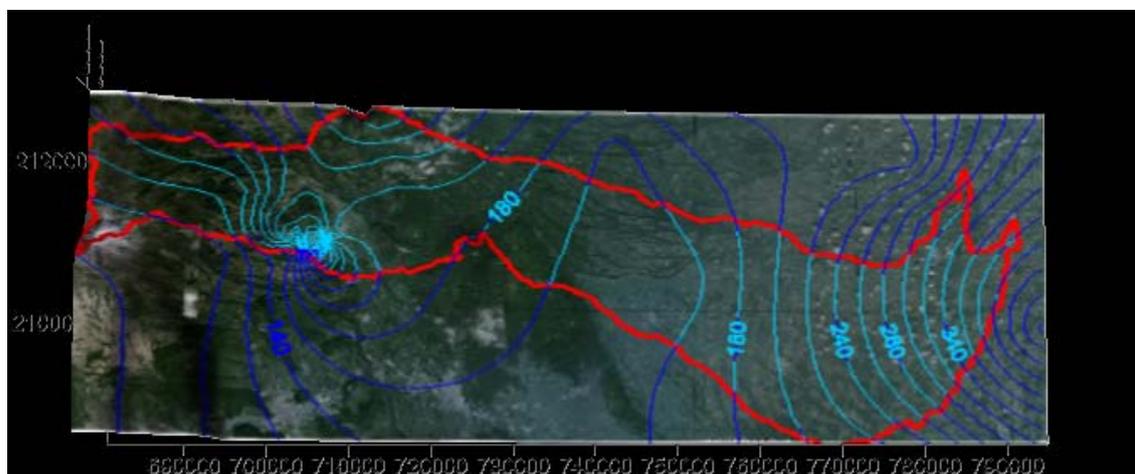


Figura 5.5. Isoyetas correspondientes a un periodo de retorno de 50 años.

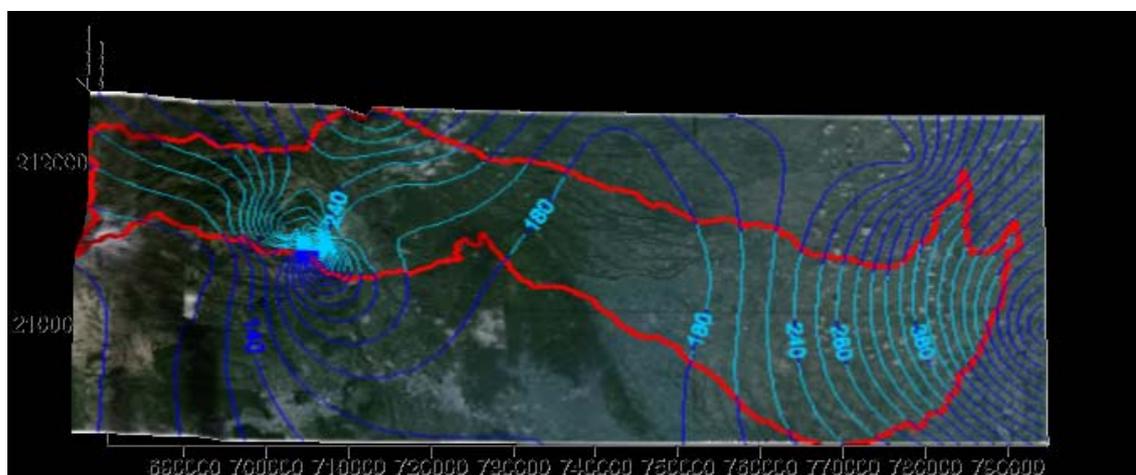


Figura 5.6. Isoyetas correspondientes a un periodo de retorno de 100 años.

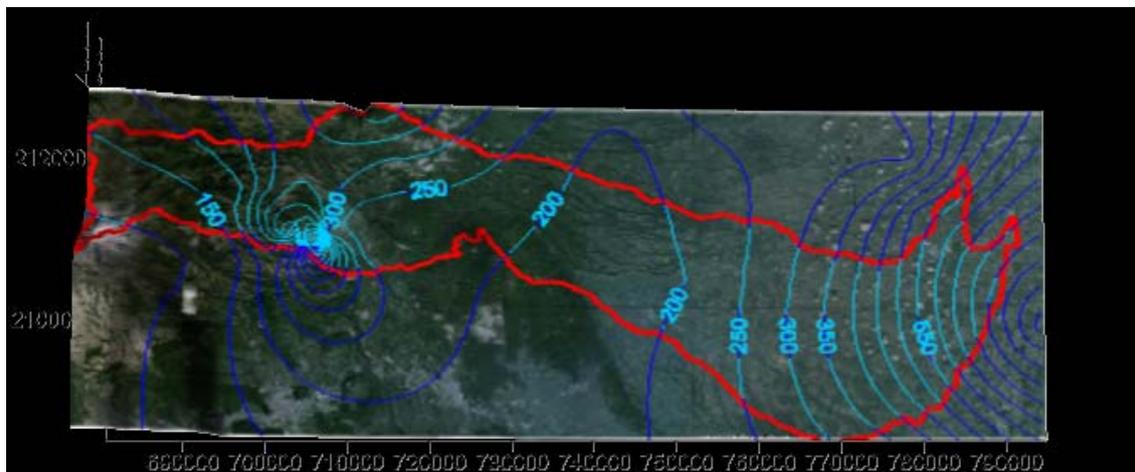


Figura 5.7. Isoyetas correspondientes a un periodo de retorno de 500 años.



Figura 5.8. Isoyetas correspondientes a un periodo de retorno de 1000 años.

Estación	X	Y	Tr-2	Tr-5	Tr-10	Tr-50	Tr-100	Tr-500	Tr-1000
21072	662998,55	2107285,04	36,61	44,88	49,57	58,43	61,76	68,8	71,63
30052	688633,52	2122362,67	79,17	113,2	131,08	162,48	173,56	195,97	204,58
30181	696469,72	2107610,86	55,27	72,22	81,7	99,45	106,07	120,08	125,76
21113	697971,35	2114822,60	34,09	48,84	77,19	128,89	148,67	193,43	212,63
21114	702974,16	2109673,93	61,72	81,51	100,84	257,85	331,54	493,78	562,12
21109	703400,06	2109235,80	45,87	60,33	69,9	90,97	99,88	120,46	129,31
21110	703506,53	2109126,26	43,9	51,83	56	63,31	65,89	71,12	73,12
30032	706978,81	2109275,60	72,08	98,9	124,96	478,58	651,59	1031,97	1193,42
30206	707501,37	2109613,60	71,12	110,34	136,3	193,45	217,61	273,43	297,43
30072	711947,62	2107449,92	87,61	112,94	161,39	206,84	219,8	248,39	260,53
30187	714054,67	2125409,87	98,75	127,72	159,01	284,12	333	440,88	486,45
30066	714555,67	2118551,42	88,38	127,75	153,81	211,16	235,41	291,44	315,53
30342	715611,67	2118231,64	92,59	119,6	147,3	206,61	230,12	283,48	306,13
30047	742300,68	2121332,73	86,46	114,57	129,34	155,28	164,44	182,95	190,06
30364	751154,51	2104840,89	78,9	102,29	117,77	151,84	166,24	199,53	213,84
30002	753602,38	2125915,27	94,73	128,25	150,45	199,29	219,94	267,66	288,17
30104	760041,22	2102084,33	82,09	116,21	139,36	191,72	214,58	269,55	294,57
30019	768244,80	2073738,49	99,17	128,92	148,63	191,99	210,32	252,68	270,89
30163	771020,24	2107779,48	91,46	125,56	157,67	248,41	285,55	368,67	404,06
30018	778627,01	2120187,28	94,99	132,04	156,57	210,55	233,37	286,1	308,77
30101	779996,15	2113230,01	94,86	124,33	151,99	300,15	370,81	526,48	592,72
30123	781310,42	2075037,13	69,42	93,88	110,08	145,73	160,81	195,63	210,61
30048	794328,46	2099385,07	98,92	130,42	161,45	465,1	607,63	921,8	1053,97

Tabla 5.4. Valores de lluvia máxima en 24 horas por estación para los diferentes periodos de retorno.

5.3 Modelos lluvia escurrimiento

Los modelos lluvia escurrimiento utilizados en este trabajo fueron el Racional Americano, Curva Número, Ven Te Chow, los cuales se describen brevemente en este subcapítulo. Asimismo, se presentan los métodos utilizados para calcular el tiempo de concentración, variable básica para estos modelos.

El tiempo de concentración, se determinó mediante los siguientes métodos:

Método de Rowe

$$T_C = \left(\frac{0.87 L^3}{D} \right)^{0.385}$$

Método de Kirpich

$$T_c = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Método de Kirpich

$$T_c = \left(\frac{L^{1.15}}{3085 D^{0.38}} \right)$$

Donde L , es la distancia entre curvas de nivel en un cuadro de la discretización; D , el desnivel o diferencia de los valores de cotas; S , la pendiente del terreno y T_c , el tiempo de concentración en horas

Una vez calculado el tiempo de concentración, con objeto de obtener la lluvia efectiva, se determina el valor del coeficiente de Kuishling, mostrado en la figura 5.9.

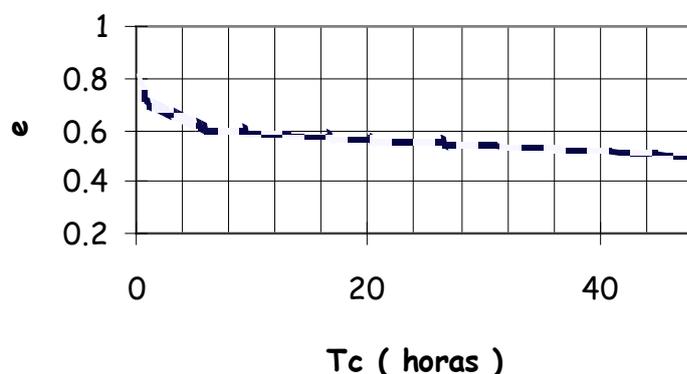


Figura 5.9. Gráfica para obtener el coeficiente de Kuishling.

La lámina de lluvia efectiva se calcula por medio de las ecuaciones siguientes

$$H_{p_d} = \frac{K T_c^{1-e}}{1-e}$$

$$K = \frac{\bar{h} p (1-e)}{24^{1-e}}$$

$$H_e = \frac{\left(H_p - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\left(H_p + \frac{2032}{46} - 20.32 \right)}$$

$$C = \frac{He}{Hp_d}$$

$$I = \frac{K}{(1 - e)Tc^e}$$

Donde Hp es la lluvia media; N =Numero de escurrimiento; Tc , Tiempo de concentración; C , Coeficiente de escurrimiento e I , la intensidad de lluvia.

Teniendo estos valores se procedió a calcular los gastos máximos con los tres métodos propuestos: Racional Americano, Hidrograma Triangular Unitario y Ven Te Chow

Método racional americano

En este método se calcula el gasto pico a partir de una constante de escurrimiento C , de la intensidad de la lluvia y del área de escurrimiento A . La ecuación se muestra a continuación

$$Qd = 0.278 CIA$$

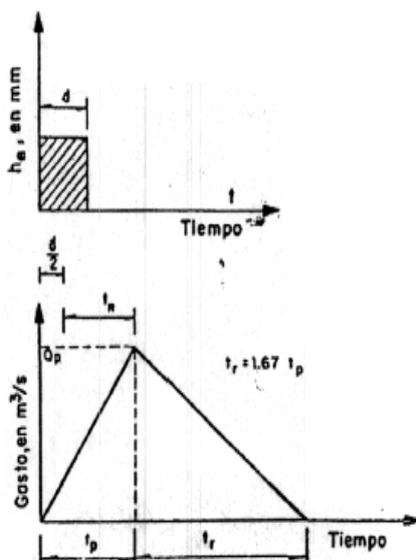
Método del Hidrograma Triangular Unitario

En este método se estima el gasto pico, el tiempo pico y el tiempo base a partir de las ecuaciones siguientes

$$Qd = \frac{0.556 HeA}{nTp}$$

$$Tp = 0.60Tc + \frac{\Delta t}{2}$$

En la figura siguiente se muestran de manera esquematizada las variables involucradas.



Método de Ven Te Chow

El gasto pico se calcula a través del área de escurrimiento, del factor de escurrimiento, factor climático y factor de reducción, quedando expresada como

$$Q_d = AXYZ$$

Donde $X=He /D$ es el factor de escurrimiento; Y , el factor climático y vale 0.278 y Z , el factor de reducción, es Q_p/Q_e .

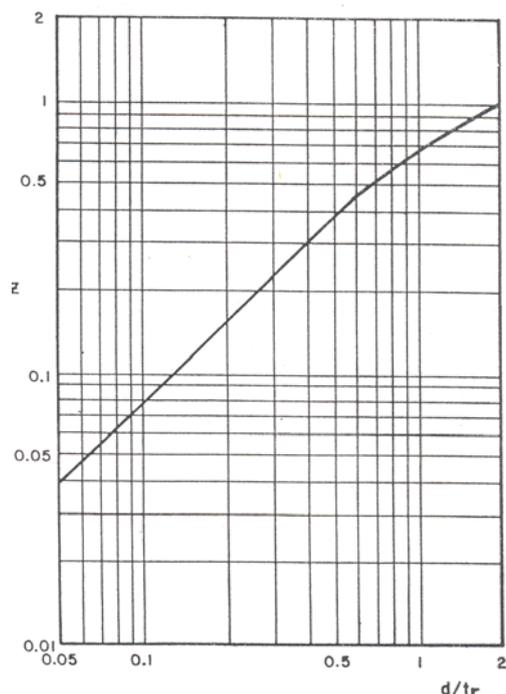
El tiempo de retraso se calcula con la ecuación siguiente

$$Tr = 0.00505 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$$

El valor de Z se obtiene de la ecuación siguiente

$$Z = \frac{Q_p}{Q_e}$$

O bien de la gráfica mostrada a continuación



5.4 Planteamiento del modelo hidrológico

La cuenca de interés se discretizó en cuadros de 1 km², en los cuales se determinó el valor de pendiente del terreno a partir de la topografía. Asimismo se consideró el uso de suelo, edafología y la intensidad de la lluvia en 24 horas para aplicar, al nivel de cada uno de los cuadros, los tres modelos lluvia-escurrimiento considerados, a saber, Racional Americano, Hidrograma Unitario Adimensional y Curva Número. En la figura 5.1 se muestra una representación esquemática de la discretización de la cuenca.

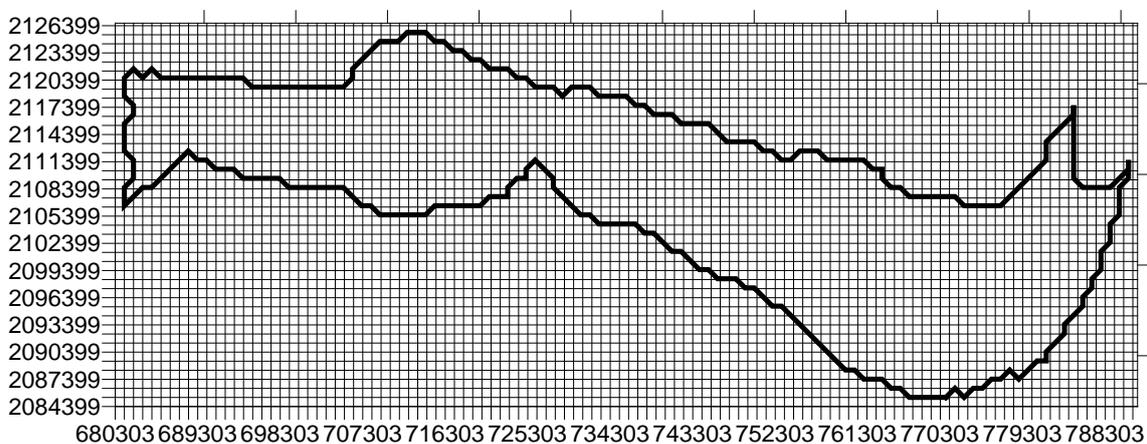


Figura 5.10. Representación esquemática de la discretización de la cuenca del río Jamapa.

La determinación de la pendiente del terreno, variable básica para aplicar los modelos lluvia escurrimiento, se llevó a cabo a partir de la topografía de la cuenca, la cual se muestra en la figura 5.2. La forma en la cual se estimó la pendiente se describe a continuación: En cada cuadro se estimó el desnivel, restando la curva de nivel de valor máximo, denominada H1, a la de menor cota, H2. Este valor de desnivel se dividió por la longitud máxima identificada de acuerdo con la configuración de las curvas de nivel. Cabe señalar que en las proximidades con el parteaguas, se consideraron cuadros de menor extensión, así como triángulos. En la figura 5.3 se muestra una representación esquemática de la obtención de la tanto del desnivel como de la longitud máxima. Una vez identificados los trazos de las curvas de nivel en cada uno de los cuadros, se procedió a estimar la longitud por medio del teorema de Pitágoras: $L = \sqrt{y^2 + x^2}$; en el caso que las curvas mostraron un trazo paralelo a cualquiera de los lados del cuadro, la distancia coincidió con 1 km.

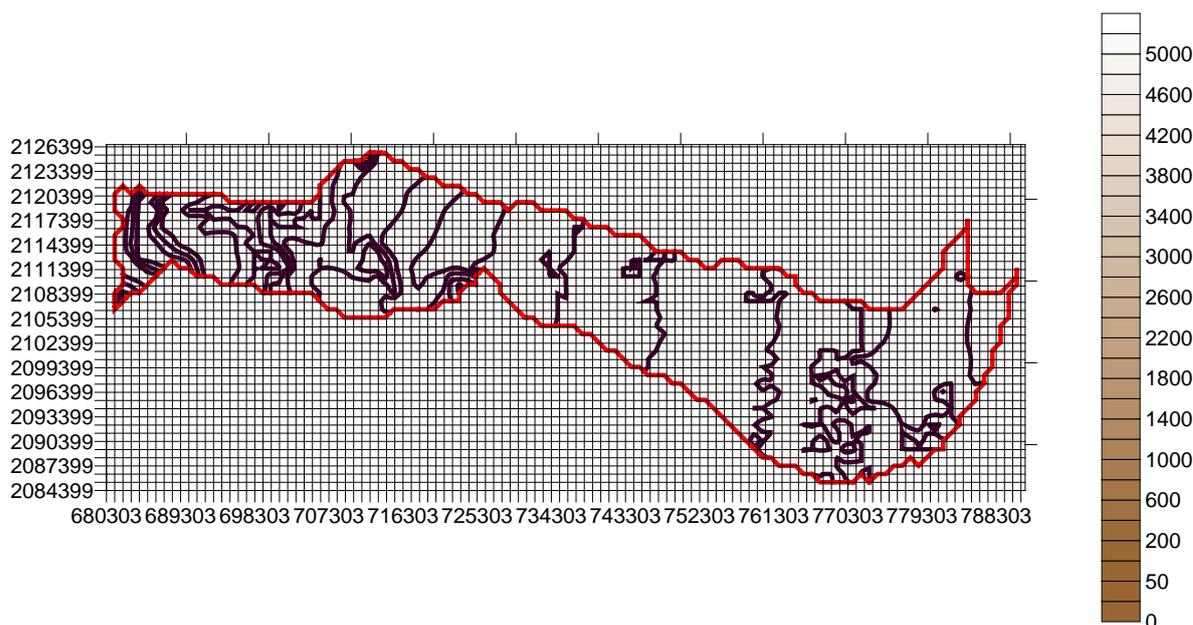


Figura 5.11. Topografía para el planteamiento del modelo hidrológico.

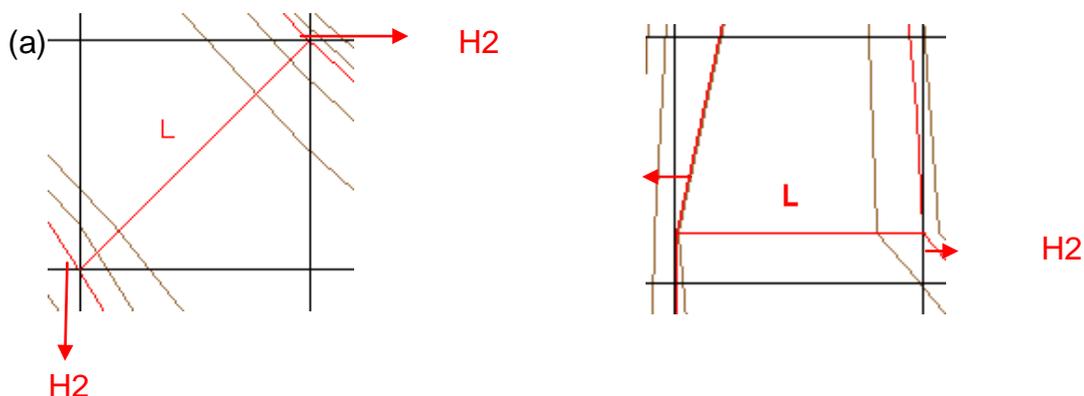


Figura 5.12. Representación esquemática de la determinación de la pendiente por cuadro en la discretización.

Una vez determinados los elementos físicos de la cuenca, se procedió al planteamiento de uso de suelo y edafología, variables fundamentales para caracterizar los escurrimientos en cada uno de los cuadros de la discretización.

En primer término se tienen la discretización del uso de suelo, el cual se utiliza junto con el método de la curva número, resumido en la tabla 5.5. En la figura 5.13 se muestra la distribución espacial del uso de suelo. Asimismo, en la figura 5.14 se muestra la distribución espacial edafológica de la cuenca, por medio de la cual, junto con el uso de suelo y la curva número se caracteriza el escurrimiento para incluir en el modelo hidrológico. En la tabla 5.6 se muestra la caracterización edafológica obtenida a partir de la curva número.

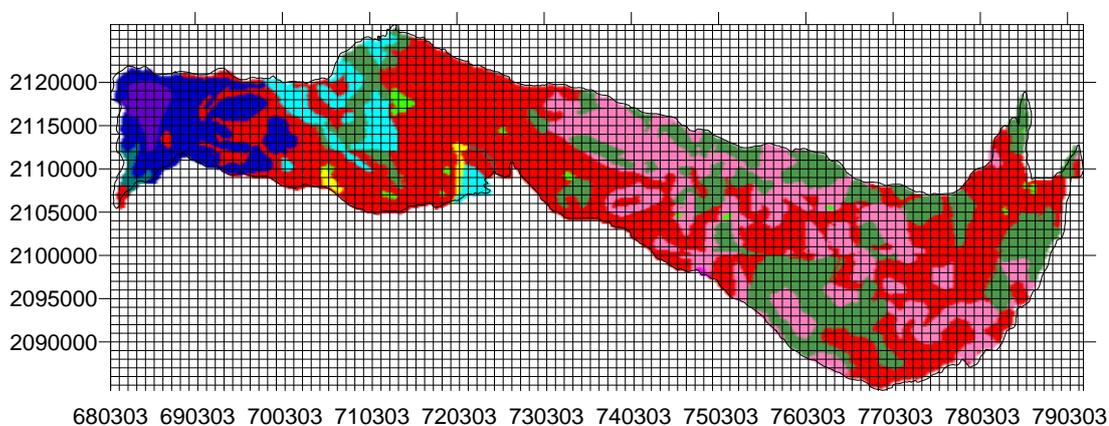


Figura 5.13. Distribución del uso de suelo en la cuenca del río Jamapa.

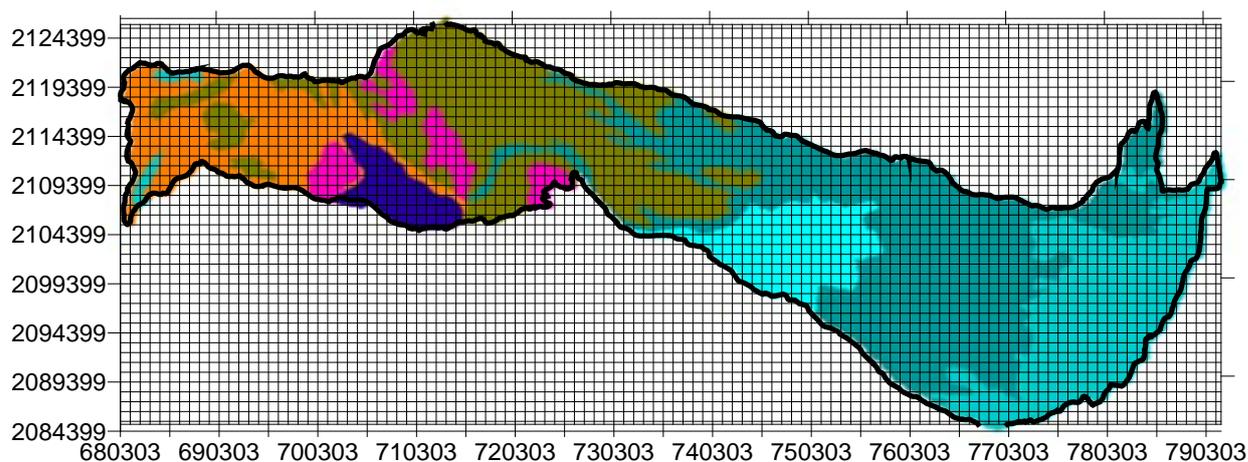


Figura 5.14. Distribución espacial de la edafología en la cuenca del río Jamapa.

Uso de tierra	Condición de la cobertura vegetal de la superficie	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
Bosques cultivados	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso, alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques naturales	Muy ralo, muy baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso, alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso, muy alta transpiración	15	44	54	61
Descanso, sin cultivo	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surco en curva de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surco en curva de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas sembradas con maquinaria o al voleo	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surco en curva de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curva de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curva de nivel, normal	25	59	75	83
	Curva de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero permanente	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100

Tabla 5.5. Caracterización para la curva número.

CLAVE	TIPO	TIPO DE VEGETACIÓN	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Ao+Ah+Th/2/LP	C	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
Ao+Ah+Th/2/LP	C	BOSQUE DE ENCINO	56	75	86	91
Ao+Ah+Th/2/LP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	46	68	78	84
Ao+Ah+Th/2/LP	C	BOSQUE MESOFILO DE MONTANA	46	68	78	84
Ao+Ah+Th/2/LP	C	SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	36	60	70	76
Ao+Ah+Th/2/LP	C	SELVA BAJA CADUCIFOLIA	45	66	77	83
Ao+Ah+Th/2/LP	C	ZONA URBANA	72	82	87	89
Hh+Vp/2/L	B	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
Hh+Vp/2/L	B	SELVA BAJA CADUCIFOLIA	45	66	77	83
I+E/3	D	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
I+E/3	D	BOSQUE DE ENCINO-PINO	46	68	78	84
I+E/3	D	BOSQUE MESOFILO DE MONTANA	46	68	78	84
I+E/3	D	SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	36	60	70	76
Th+To+Ah/2/P	B	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
Th+To+Ah/2/P	B	BOSQUE DE ENCINO	56	75	86	91
Th+To+Ah/2/P	B	BOSQUE MESOFILO DE MONTANA	46	68	78	84
Th+To+Ah/2/P	B	ZONA URBANA	72	82	87	89
Th+To+Bh/2/LP	B	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
Th+To+Bh/2/LP	B	BOSQUE DE PINO-ENCINO	60	72	81	84
Th+To+Bh/2/LP	B	BOSQUE MESOFILO DE MONTANA	46	68	78	84
To+Th/2/LP	B	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
To+Th/2/LP	B	BOSQUE DE OYAMEL	36	60	73	79
To+Th/2/LP	B	BOSQUE DE PINO	56	75	86	91
To+Th/2/LP	B	BOSQUE DE PINO-ENCINO	60	72	81	84
To+Th/2/LP	B	PASTIZAL INDUCIDO	39	61	74	80
To+Th/2/LP	B	PRADERA DE ALTA MONTANA	6	35	70	79
Vp+Hh+Re/3/P	C	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
Vp+Hh+Re/3/P	C	PASTIZAL INDUCIDO	39	61	74	80
Vp+Hh+Re/3/P	C	SELVA BAJA CADUCIFOLIA	45	66	77	83
Vp+Hh+Re/3/P	C	ZONA URBANA	72	82	87	89
ZU	C	AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL	45	66	77	83
ZU	C	ZONA URBANA	72	82	87	89

Tabla 5.6. Caracterización agrológica para la curva número.

Para el cálculo del valor del número de escurrimiento se tomo pendiente que cuantos tipos de vegetación y edafología estén dentro de la sección de 1 km² según el caso.

- Caso 1. Si hay un solo tipos de vegetación y edafología en la sección se tomo el valor de tipo de suelo como valor de N (numero de escurrimiento)
- Caso 2. Si hay dos o más tipos de vegetación y edafología en la sección se utiliza la siguiente fórmula para encontrar el valor de n.

$$n_{ponderada} = \frac{\sum n_i A_i}{\sum A_i}$$

Donde n_i es el valor de tipo de suelo asignado según la clave edafológica y su tipo de vegetación del i -ésimo elemento dentro de la sección; A_i , el área que ocupa el i -ésimo elemento dentro de la sección.

De esta manera se calculó el valor de n de cada una de las secciones de 1km^2 dentro de la cuenca del río Jamapa.

5.5 Generación de hidrogramas de diseño

Los valores de diseño, esto es, los valores máximos esperados asociados con el escurrimiento superficial generado por la ocurrencia de las lluvias más desfavorables, se estimaron a partir de la suma de los aportes que genera cada una de las subáreas en las que se dividió la cuenca del río Jamapa. De esta manera, se estimaron los gastos picos en las diferentes subcuencas en las que se propuso dividir la unidad hidrológica en estudio. En la figura 5.15 se muestra el esquema con las subcuencas, considerando los aportes de las subáreas generadas en la discretización.

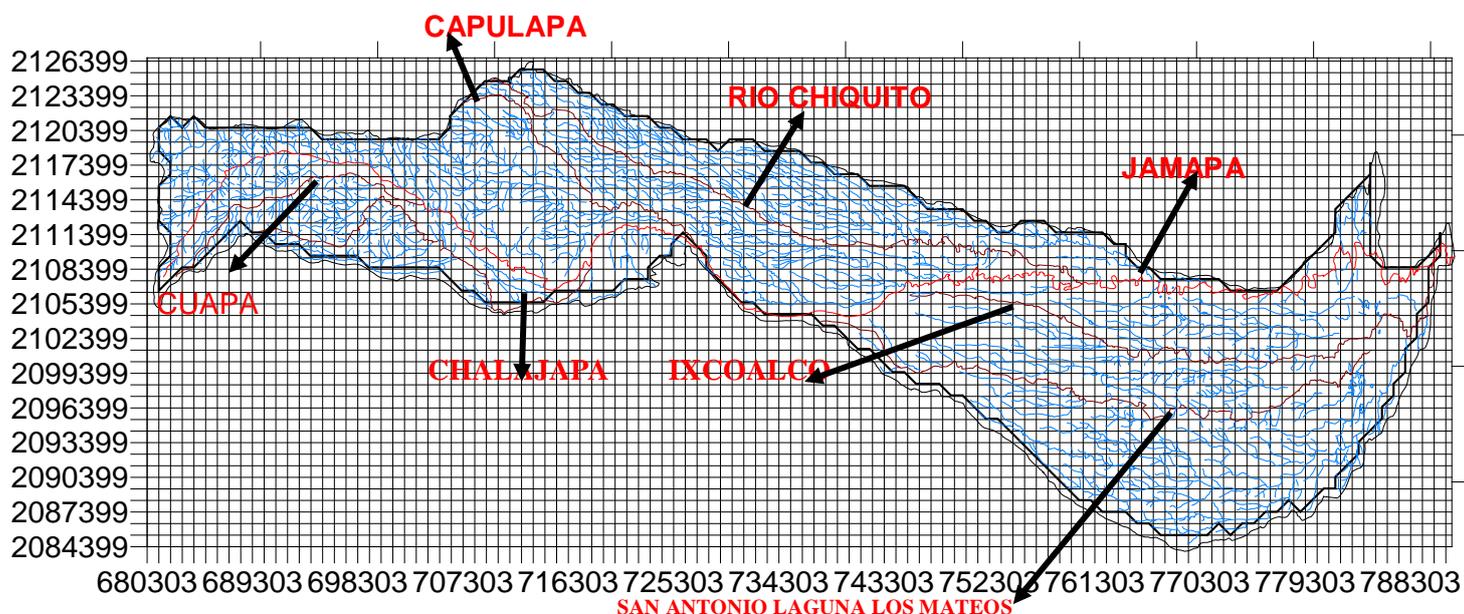


Figura 5.15. Subcuencas de la unidad hidrológica del río Jamapa.

En el mapa se muestran las principales corrientes, las cuales son los puntos de descarga para el proceso de acumulación de gastos en las diferentes vertientes.

Los resultados obtenidos para cada una de las subcuencas, tomando en consideración los métodos empleados y los periodos de retorno definidos, se muestran en la tabla 5.7.

RIO CUAPA			
Tr	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
años	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.00	8.13	6.77	4.21
5.00	14.54	13.22	8.26
10.00	63.17	57.43	35.77
50.00	226.34	205.76	127.99
100.00	362.77	329.80	204.72
500.00	656.39	596.72	370.18
1000.00	793.78	721.62	447.56

RIO CHALAJAPA			
Tr	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
años	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.00	36.51	32.80	20.32
5.00	67.99	61.81	39.26
10.00	268.12	243.75	154.46
50.00	1573.42	1430.39	899.55
100.00	2624.23	2385.67	1491.25
500.00	5049.55	4590.50	2862.57
1000.00	6198.36	5634.88	3512.23

RIO IXCOALCO			
Tr	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
años	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.00	651.18	591.98	415.16
5.00	1399.80	1272.55	880.20
10.00	2282.83	2075.30	1432.63
50.00	5694.91	5177.19	3612.53
100.00	7385.05	6713.68	4695.06
500.00	11986.24	10896.58	7618.06
1000.00	2808.71	2553.37	1852.68

RIO SAN ANTONIO LAGUNA LOSMATEOS			
Tr	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
años	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.00	201.43	183.12	128.11
5.00	497.66	452.42	313.65
10.00	815.39	741.26	513.67
50.00	2247.42	2043.11	1417.19
100.00	2918.77	2653.43	1841.37
500.00	4816.77	4378.88	3035.33
1000.00	5507.52	5006.83	3472.88

RIO CHIQUITO			
Tr	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
años	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.00	624.22	536.93	354.22
5.00	1296.93	1179.03	774.33
10.00	2074.44	1885.86	1235.19
50.00	4215.42	3832.20	2488.68
100.00	5169.50	4699.55	3043.76
500.00	7337.61	6670.55	4306.08
1000.00	8311.41	7555.82	4873.47

RIO CAPULAPA			
Tr	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
años	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.00	158.01	131.06	85.79
5.00	424.25	385.68	251.28
10.00	878.72	798.83	516.42
50.00	2374.32	2158.47	1380.28
100.00	3126.10	2841.91	1812.31
500.00	5014.10	4558.27	2896.30
1000.00	5887.89	5352.63	3397.77

Tabla 5.7. Resultados del modelo hidrológico por cada una de las subcuencas.

JAPAMA			
Tr años	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.00	2475.35	2206.17	1484.37
5.00	5391.10	4901.00	3263.95
10.00	9639.10	8762.81	5789.26
50.00	22814.36	20740.33	13702.76
100.00	29402.24	26729.31	17644.89
500.00	46178.60	41980.54	27675.28
1000.00	42349.85	38499.87	25027.14

Tabla 5.7. Resultados del modelo hidrológico por cada una de las subcuencas (continuación).

A manera de resumen, se muestran los resultados acumulados de gastos máximos por cada uno de los modelos empleados y para los diferentes periodos de retorno. Ver la tabla 5.8, Estas estimaciones tienen lugar en las confluencias de las principales corrientes, las cuales se muestran en la figura 5.16.

CORRIENTE	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
SAN ANTONIO LAGUNA LOS MATEOS	201.43	183.12	128.11
RIO JAMAPA	17.77	16.15	9.68
CUAPA	8.13	6.77	4.21
Q ACUMULADO	25.90	22.93	13.90
CHALAPA	36.51	32.80	20.32
Q ACUMULADO	112.39	101.15	62.98
CAPULAPA	158.01	131.06	85.79
Q ACUMULADO	440.98	387.29	244.18
RIO CHIQUITO	624.22	536.93	354.22
Q ACUMULADO	1404.54	1232.72	804.85
IXCOALCO	651.18	591.98	415.16
Q SALIDA	2475.35	2206.17	1484.37

Tabla 5.8. Gastos acumulados generados por el modelo hidrológico: Tr de 2 años.

PERIODOS DE RETORNO DE 5 AÑOS TR-5			
CORRIENTE	GASTOS MAXIMOS (m ³ / s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
SAN ANTONIO LAGUNA LOS MATEOS	497.66	452.42	313.65
RIO JAMAPA	100.77	91.61	55.69
CUAPA	14.54	13.22	8.26
Q ACUMULADO	115.75	105.22	64.22
CHALAPA	67.99	61.81	39.26
Q ACUMULADO	359.14	326.49	204.17
CAPULAPA	424.25	385.68	251.28
Q ACUMULADO	1186.21	1078.37	680.27
RIO CHIQUITO	1296.93	1179.03	774.33
Q ACUMULADO	3210.83	2918.94	1896.62
IXCOALCO	1399.80	1272.55	880.20
Q SALIDA	5391.10	4901.00	3263.95

Tabla 5.9. Gastos acumulados generados por el modelo hidrológico: Tr de 5 años.

PERIODOS DE RETORNO DE 10 AÑOS TR-10			
CORRIENTE	GASTOS MAXIMOS (m ³ / s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
SAN ANTONIO LAGUNA LOS MATEOS	815.39	741.26	513.67
RIO JAMAPA	282.49	256.81	155.84
CUAPA	63.17	57.43	35.77
Q ACUMULADO	347.19	315.62	192.62
CHALAPA	268.12	243.75	154.46
Q ACUMULADO	1075.77	977.97	610.57
CAPULAPA	878.72	798.83	516.42
Q ACUMULADO	2844.53	2585.94	1623.07
RIO CHIQUITO	2074.44	1885.86	1235.19
Q ACUMULADO	6106.78	5551.62	3578.07
IXCOALCO	2282.83	2075.30	1432.63
Q SALIDA	9639.10	8762.81	5789.26

Tabla 5.10. Gastos acumulados generados por el modelo hidrológico: Tr de 10 años.

PERIODOS DE RETORNO DE 50 AÑOS TR-50			
CORRIENTE	GASTOS MAXIMOS (m ³ / s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
SAN ANTONIO LAGUNA LOS MATEOS	2247.42	2043.11	1417.19
RIO JAMAPA	834.95	759.05	462.51
CUAPA	226.34	205.76	127.99
Q ACUMULADO	1071.10	973.72	596.93
CHALAPA	1573.42	1430.39	899.55
Q ACUMULADO	3942.70	3584.28	2229.04
CAPULAPA	2374.32	2158.47	1380.28
Q ACUMULADO	7755.30	7050.27	4409.89
RIO CHIQUITO	4215.42	3832.20	2488.68
Q ACUMULADO	13932.32	12665.75	8085.63
IXCOALCO	5694.91	5177.19	3612.53
Q SALIDA	22814.36	20740.33	13702.76

Tabla 5.11. Gastos acumulados generados por el modelo hidrológico: Tr de 50 años.

PERIODOS DE RETORNO DE 100 AÑOS TR-100			
CORRIENTE	GASTOS MAXIMOS (m ³ / s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
SAN ANTONIO LAGUNA LOS MATEOS	2918.77	2653.43	1841.37
RIO JAMAPA	1211.02	1100.92	671.32
CUAPA	362.77	329.80	204.72
Q ACUMULADO	1590.11	1445.55	886.75
CHALAPA	2624.23	2385.67	1491.25
Q ACUMULADO	5736.86	5215.33	3238.06
CAPULAPA	3126.10	2841.91	1812.31
Q ACUMULADO	10485.73	9532.48	5953.43
RIO CHIQUITO	5169.50	4699.55	3043.76
Q ACUMULADO	17913.78	16285.25	10363.50
IXCOALCO	7385.05	6713.68	4695.06
Q SALIDA	29402.24	26729.31	17644.89

Tabla 5.12. Gastos acumulados generados por el modelo hidrológico: Tr de 100 años.

PERIODOS DE RETORNO DE 500 AÑOS TR-500			
CORRIENTE	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
SAN ANTONIO LAGUNA LOS MATEOS	4816.77	4378.88	3035.33
RIO JAMAPA	2049.11	1862.83	1136.82
CUAPA	656.39	596.72	370.18
Q ACUMULADO	2736.99	2488.17	1527.64
CHALAPA	5049.55	4590.50	2862.57
Q ACUMULADO	10196.39	9269.45	5744.44
CAPULAPA	5014.10	4558.27	2896.30
Q ACUMULADO	17264.70	15695.19	9783.38
RIO CHIQUITO	7337.61	6670.55	4306.08
Q ACUMULADO	27596.37	25087.61	15900.22
IXCOALCO	11986.24	10896.58	7618.06
Q SALIDA	46178.60	41980.54	27675.28

Tabla 5.13. Gastos acumulados generados por el modelo hidrológico: Tr de 500 años.

PERIODOS DE RETORNO DE 1000 AÑOS TR-1000			
CORRIENTE	GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
SAN ANTONIO LAGUNA LOS MATEOS	5507.52	5006.83	3472.88
RIO JAMAPA	2432.89	2211.72	1349.97
CUAPA	793.78	721.62	447.56
Q ACUMULADO	3265.20	2968.36	1822.80
CHALAPA	6198.36	5634.88	3512.23
Q ACUMULADO	12302.37	11183.98	6929.62
CAPULAPA	5887.89	5352.63	3397.77
Q ACUMULADO	20423.14	18566.49	11569.08
RIO CHIQUITO	8311.41	7555.82	4873.47
Q ACUMULADO	32039.19	29126.54	18440.84
IXCOALCO	2808.71	2553.37	1852.68
Q SALIDA	42349.85	38499.87	25027.14

Tabla 5.14. Gastos acumulados generados por el modelo hidrológico: Tr de 1000 años.

6. Conclusiones y recomendaciones

Con el conocimiento de la zona, el funcionamiento hidrológico de los cuerpos de agua y la proyección de la demanda para un horizonte de 15 años, es posible hacer el diseño de estructuras que aseguren el abasto de agua en esta región, procurando alcanzar un manejo conjunto de las aguas superficiales y subterráneas.

Una vez identificados los tipos de usuarios, es posible caracterizar de manera general el tipo de contaminante esperado en las diferentes subcuencas, lo que, aunado con el modelo hidrológico, permitirá contar con herramientas útiles para plantear medidas de contención de afectaciones tanto a los centros poblacionales como a las zonas productoras.

Uno de los resultados más importantes del modelo hidrológico, es la estimación de los gastos máximos esperados en las diferentes subcuencas. Esto es un elemento fundamental para proceder a analizar las posibilidades de implementación de medidas estructurales y no estructurales asociadas con las frecuentes afectaciones por inundaciones.

Se recomienda que en estudios posteriores se analicen los aspectos temporales de la lluvia y el escurrimiento, de manera que sea posible caracterizar la cuenca de modo que sea posible simular en tiempo real los efectos que podrían tener en la cuenca la ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo tal como un huracán.

Referencias

Campos Aranda, D.F. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 3ª reimpresión. México

CNA-Comisión Nacional del Agua. 2004. Estadísticas del agua en México. Edición 2004. México

CNA. 2001. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. México

COREMI-Consejo de Recursos Minerales. 1994. Monografía geológico – minera del estado de Veracruz. Secretaría de Minas e Industria Paraestatal. México

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª edición. México

INEGI-Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1987a. Carta estatal de climas. Escala 1:1,000,000, Estado de Veracruz. México

INEGI. 1987b. Carta estatal de regionalización fisiográfica. Escala 1:1'000,000. Estado de Veracruz. México

INEGI. 1998. Carta topográfica. Escala 1:250,000, Veracruz, E14-3. México

INEGI. 1999. Carta topográfica. Escala 1:50,000, Veracruz, E14B49. Tercera edición, primera impresión. México

INEGI. 1999. Carta topográfica. Escala 1:50,000, Veracruz, E14B48. Tercera edición, primera impresión. México

INEGI. 1999. Carta topográfica. Escala 1:50,000, Veracruz, E14B47. Tercera edición, primera impresión. México

INEGI. 1999. Carta topográfica. Escala 1:50,000, Veracruz, E14B46. Tercera edición, primera impresión. México

INEGI. 2000. Carta hidrológica de aguas subterráneas. Escala 1:250,000, Orizaba, E14-6. Segunda impresión. México

INEGI. 2000b. SCINCE- Sistema para la Consulta de Información Censal. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. México

INEGI. 2002. Carta hidrológica de aguas superficiales. Escala 1:250,000, Veracruz, E14-3. Segunda impresión. México

Remenieras, G. 1974. Tratado de hidrología aplicada. Editores Técnicos Asociados S.A. España

Robin, C. 1975. Las series volcánicas de Sierra Madre Oriental (Basaltos e ignimbritas). Descripción y caracteres químicos. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, N0. 2, pp 13-42

Rueda Gaxiola, J. 2004. A triple junction in the Gulf of Mexico: Implications for deep petroleum exploration. Geofísica Internacional, Vol. 43, Num. 3, pp 395-414

SARH-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1979. Estudio geohidrológico preliminar de la cuenca del río La Antigua, Ver. Dos tomos. Contrato No. GZA-79-26-GD. Ariel Construcciones S. A. México

SARH. 1980 a. Estudio geohidrológico preliminar de la zona de Cotaxtla, Ver. Dos tomos. Contrato No. GZA-80-82-GD. Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados S. A. México

SARH. 1980 b. Continuación del estudio geohidrológico de la zona de Jamapa, Edo. de Veracruz. Dos tomos. Contrato No. GZA-80-81-GD. Ariel Construcciones S. A. México

SARH. 1987. Estudio hidrogeoquímico de la zona costera de Veracruz. Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos, Dirección de Aguas Subterráneas, Departamento de Estudios Geohidrológicos. México



Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Procesos e
Hidráulica
Ingeniería Hidrológica

Proyecto Terminal

**Modelación hidrológica en la cuenca del río Jamapa,
Veracruz**

Realizado por:

Luis Manuel Santamaría Garnica

Asesor:

Marco Antonio Jacobo Villa

Profesor titular

Num. Económico: 20996

México D.F.

Marzo de 2011