



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS MONTECILLO**

### **POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS**

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD  
TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO DE TEMPORAL  
TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PAPALOAPAN-  
TESECHOACÁN, ESTADO DE VERACRUZ**

**JESÚS RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.**

**2010**

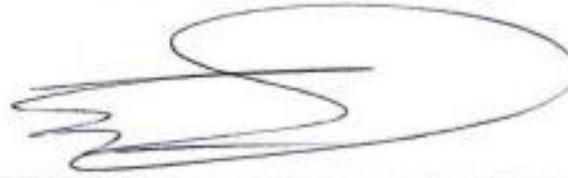
La presente tesis, titulada: **Modelación hidrológica y análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto de temporal tecnificado de ampliación del Bajo Papaloapan-Tesechoacán, estado de Veracruz**, realizada por el alumno: Jesús Rodríguez Rodríguez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



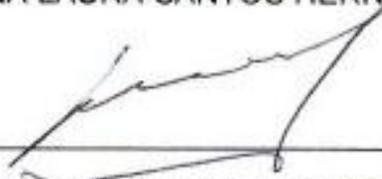
DR. ENRIQUE MEJÍA SAENZ

ASESOR:



M.C. ANA LAURA SANTOS HERNÁNDEZ

ASESOR:



M.C. FELIPE PEDRAZA OROPEZA

ASESOR:



DR. HÉCTOR FLORES MAGDALENO

Montecillo, Texcoco, México, Agosto de 2010.

Modelación hidrológica y análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto de temporal tecnificado de ampliación del Bajo Papaloapan-Tesechoacán, estado de Veracruz.

Rodríguez Rodríguez Jesús, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2010

**RESUMEN**

Se realizó la modelación hidrológica y el análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto de ampliación de la superficie del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán, cuenca del río Papaloapan, que presenta problemas con inundaciones. A partir de la información de los estudios básicos, se realizó una simulación hidrológica usando el software MIKE, del Instituto Hidráulico Danés, para identificar las áreas de afectación. La modelación realizada permitió precisar las superficies inundadas las cuales, al estar georreferenciadas, permitieron el análisis de diferentes estrategias de control de inundaciones. Considerando un periodo de retorno de 25 años, el área inundable simulada bajo las condiciones actuales resultó de 51,175.59 ha.

Se propusieron dos alternativas de solución para incorporar las áreas inundadas al Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán. La primer alternativa consiste en construir bordos en las márgenes izquierda y derecha de los ríos Obispo y Tesechoacán, considera estructuras para descargas controladas y unión de drenes, cruces de caminos, rectificación de drenes, caminos y construcción de drenes parcelarios, así como indemnizaciones, maquinaria y equipos. La segunda propuesta no considera la construcción de bordos ni estructuras para descargas controladas, pero si considera la infraestructura restante de protección y drenaje de la alternativa 1. Después de realizar la simulación hidrológica de ambos escenarios, se desarrolló la ingeniería del proyecto y se obtuvieron los costos e indicadores económicos de cada alternativa, y se concluyó que la alternativa 2 es mejor para la ampliación Bajo Papaloapan-Tesechoacán. De esta manera, se pueden rescatar 12,402.4 ha de las que actualmente se inundan.

**Palabras clave:** distrito de temporal tecnificado, simulación hidrológica, inundaciones, drenes.

Hydrological modelling and technical and economic feasibility analysis for the  
technified rainfed agriculture project of expansion of Bajo Papaloapan-  
Tesechoacan, State of Veracruz.

Rodríguez Rodríguez Jesús, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2010

**ABSTRACT**

Hydrological modeling and analysis of technical and economic feasibility were performed for the expansion project of the area of Technified Rainfed Agriculture District 003 Tesechoacan, at Papaloapan River basin, which has flooding problems. From the basic study information, hydrologic simulation was performed using MIKE software, developed by the Danish Hydraulic Institute, to identify the involved areas. Modeling let define the flooded areas which, by being geo referenced enabled the analysis of different strategies for flood control. For current condition, the result is a flooded area of 51,175.59 ha considering 25 years as a return period.

There were two alternative solutions to incorporate the flooded areas to Technified Rainfed Agriculture District. The first one is to build levees on the left and right margins of Obispo and Tesechoacán rivers, it considers structures for controlled discharges and drain joints, road crossings, correction of drains, roads and construction of the parcel drain, as well as compensations, equipment and machinery. Second proposal does not include the construction of levees and structures for controlled discharges, but it includes the remaining protection and drainage infrastructure of Alternative 1. After performing hydrologic simulation of both scenarios, the project engineering was developed and the costs and economic indicators of each alternative were obtained, and it was concluded that alternative 2 is better for expansion of Bajo Papaloapan-Tesechoacan. By doing so, 12,402.4 ha were recuperated from the flooded area.

**Keywords:** technified rainfed agriculture district, hydrological simulation, flood, drains.

Expreso mi agradecimiento:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Colegio de Postgraduados, que han participado en el financiamiento de mi posgrado.

Al Dr. Enrique Mejía Saenz por la oportunidad de participar en esta investigación, por sus valiosas contribuciones y correcciones en la revisión de este trabajo.

A los asesores del consejo particular de esta investigación (M.C. Ana Laura Santos Hernández, M.C. Felipe Pedraza Oropeza y Dr. Héctor Flores Magdaleno) por el apoyo brindado y participación en la dirección de la investigación.

A los ingenieros: Jorge Arturo Salgado, Genaro Contreras, Sandra Torres, Mauricio Jiménez, Andrés Paredes, Roberto Guzmán, Guillermo Zenteno, Erick Taboada y Fernando Yescas, por las contribuciones a este trabajo.

A todos los familiares y amigos que me han apoyado incondicionalmente.

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1. GENERAL.....	3
2.2. PARTICULARES.....	3
<b>3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>3</b>
3.1. GENERAL.....	3
3.2. PARTICULARES.....	3
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
4.1. ESTUDIOS BÁSICOS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA. ....	4
4.2. TOPOGRAFÍA. ....	5
4.3. AGROLOGÍA. ....	13
4.4. AGROCLIMATOLOGÍA. ....	14
4.5. HIDROLOGÍA. ....	18
4.6. SIMULACIÓN HIDRÁULICA.....	33
4.7. ACCIONES PARA EVITAR O REDUCIR INUNDACIONES.....	48
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
5.1. PLATAFORMA DE DESARROLLO.....	51
5.2. RECOPIACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.....	51
5.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.....	51
5.4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	52
5.5. ESTUDIOS BÁSICOS.....	52
5.6. INGENIERÍA DE PROYECTO.....	53
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
6.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	54
6.2. ESTUDIOS BÁSICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO.....	85
6.3. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	198
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>244</b>
<b>8. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>246</b>
<b>9. ANEXO .....</b>	<b>250</b>

## CONTENIDO DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b>	CURVA NUMÉRICA PARA ESTIMAR ESCURRIMIENTO.....	27
<b>CUADRO 2.</b>	DIFERENCIAS ENTRE ALGUNOS DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DE INUNDACIONES.....	37
<b>CUADRO 3.</b>	COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL MODELO MIKE SHE.....	42
<b>CUADRO 4.</b>	MUNICIPIOS Y SUPERFICIE QUE OCUPAN EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	55
<b>CUADRO 5.</b>	POBLACIÓN DE FAUNA REGIONAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	61
<b>CUADRO 6.</b>	NOMBRE CIENTÍFICO Y COMÚN DE AVES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	62
<b>CUADRO 7.</b>	DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE PROPIEDAD EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	76
<b>CUADRO 8.</b>	ESTRATIFICACIÓN DE LOS PREDIOS EN EL RÉGIMEN DE PEQUEÑA PROPIEDAD.....	76
<b>CUADRO 9.</b>	ESTRATIFICACIÓN DE LOS PREDIOS EN EL RÉGIMEN EJIDAL.....	78
<b>CUADRO 10.</b>	ESTRATIFICACIÓN DE LAS DOTACIONES EJIDALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	79
<b>CUADRO 11.</b>	PORCENTAJE DE SERVICIOS BÁSICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	82
<b>CUADRO 12.</b>	PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE LOS PRODUCTORES.....	85
<b>CUADRO 13.</b>	INTERVALOS DE PENDIENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	87
<b>CUADRO 14.</b>	PRINCIPALES USOS DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	89
<b>CUADRO 15.</b>	SUPERFICIE OCUPADA POR CULTIVOS PRINCIPALES.....	90
<b>CUADRO 16.</b>	ASOCIACIONES DE SUELOS LOCALIZADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	105
<b>CUADRO 17.</b>	ESTACIONES SELECCIONADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	109
<b>CUADRO 18.</b>	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL.....	110
<b>CUADRO 19.</b>	PROBABILIDAD DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES CLIMÁTICAS.....	112
<b>CUADRO 20.</b>	SUPERFICIE OCUPADA POR ISOYETAS.....	114
<b>CUADRO 21.</b>	TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA HISTÓRICA.....	115
<b>CUADRO 22.</b>	SUPERFICIE ENTRE ISOTERMAS.....	116
<b>CUADRO 23.</b>	DÍAS DESPEJADOS EN LAS ESTACIONES CLIMÁTICAS.....	118
<b>CUADRO 24.</b>	SUPERFICIE DE LOS CLIMAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	120
<b>CUADRO 25.</b>	SUPERFICIE POR SUBGRUPO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	124
<b>CUADRO 26.</b>	CULTIVOS PRINCIPALES Y SU CICLO.....	128
<b>CUADRO 27.</b>	USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS PRINCIPALES.....	128
<b>CUADRO 28.</b>	ESTACIONES CLIMÁTICAS E HIDROMÉTRICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	132
<b>CUADRO 29.</b>	VALORES MÁXIMOS DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA ESTACIÓN Cd. ALEMÁN.....	133
<b>CUADRO 30.</b>	VALORES DE LA HUMEDAD ANTECEDENTE PARA DEFINIR LA CN.....	138
<b>CUADRO 31.</b>	VALORES DE C PARA EL CÁLCULO DE ESCURRIMIENTO.....	138
<b>CUADRO 32.</b>	ESTACIONES CON INFLUENCIA SOBRE EL ÁREA DE DRENAJE DE CADA CUENCA.....	139
<b>CUADRO 33.</b>	VARIABLES UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO DE LOS GASTOS EN CADA CUENCA.....	139
<b>CUADRO 34.</b>	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SEGÚN SUELO Y CULTIVO.....	143
<b>CUADRO 35.</b>	PARÁMETROS ASOCIADOS AL CAUCE PRINCIPAL Y CUENCAS.....	146
<b>CUADRO 36.</b>	GASTOS MÁXIMOS ANUALES ( $m^3 s^{-1}$ ) EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....	147
<b>CUADRO 37.</b>	GASTO MÁXIMO ( $m^3 s^{-1}$ ) DE LA ESTACIÓN JOSÉ AZUETA.....	149
<b>CUADRO 38.</b>	GASTO MÁXIMO ( $m^3 s^{-1}$ ) DE LA ESTACIÓN PAPALOAPAN.....	149
<b>CUADRO 39.</b>	GASTO MÁXIMO ( $m^3 s^{-1}$ ) DE LA ESTACIÓN CHACALTIANGUIS.....	151
<b>CUADRO 40.</b>	GASTO MÁXIMO ( $m^3 s^{-1}$ ) DE LA ESTACIÓN SAN JOSÉ CHILAPA.....	151
<b>CUADRO 41.</b>	GASTO MÁXIMO ( $m^3 s^{-1}$ ) DE LA ESTACIÓN GARRO.....	152
<b>CUADRO 42.</b>	GASTO MÁXIMO ( $m^3 s^{-1}$ ) DE LA ESTACIÓN OBISPO.....	152
<b>CUADRO 43.</b>	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS ANALIZADAS.....	154
<b>CUADRO 44.</b>	ALTURA MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN (MM) REGISTRADAS.....	154
<b>CUADRO 45.</b>	ALTURA MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN (MM) REGISTRADAS (CONTINUACIÓN).....	156
<b>CUADRO 46.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN SAN MIGUEL ACULA.....	157

<b>CUADRO 47.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN TUXTEPEC. ....	158
<b>CUADRO 48.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN BETANIA.....	158
<b>CUADRO 49.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN COLONIA GRUPO. ....	160
<b>CUADRO 50.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN MATA DE LIMONES.....	160
<b>CUADRO 51.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN SANTA MARÍA. ....	161
<b>CUADRO 52.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN JUAN RODRÍGUEZ. ....	161
<b>CUADRO 53.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN CUATOTOLAPAN.....	163
<b>CUADRO 54.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN INDEPENDENCIA. ....	163
<b>CUADRO 55.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN SAN JUANILLO, ACAYUCAN.....	164
<b>CUADRO 56.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN TRES ZAPOTES.....	164
<b>CUADRO 57.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN NICOLÁS.....	166
<b>CUADRO 58.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN CD. ALEMÁN. ....	166
<b>CUADRO 59.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN PLAYA VICENTE. ....	167
<b>CUADRO 60.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN JOSÉ AZUETA. ....	167
<b>CUADRO 61.</b>	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA (MM) ESTACIÓN PARAÍSO NOVILLERO. ....	169
<b>CUADRO 62.</b>	DELIMITACIÓN DE CUENCAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	169
<b>CUADRO 63.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 1. ....	170
<b>CUADRO 64.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 1. ....	170
<b>CUADRO 65.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 2.....	171
<b>CUADRO 66.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 2. ....	171
<b>CUADRO 67.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 3.....	172
<b>CUADRO 68.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 3. ....	173
<b>CUADRO 69.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 4.....	173
<b>CUADRO 70.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 4. ....	174
<b>CUADRO 71.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 5.....	175
<b>CUADRO 72.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 5. ....	175
<b>CUADRO 73.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 6.....	176
<b>CUADRO 74.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 6. ....	176
<b>CUADRO 75.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 7.....	177
<b>CUADRO 76.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 7. ....	177
<b>CUADRO 77.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 8.....	178
<b>CUADRO 78.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 8. ....	178
<b>CUADRO 79.</b>	PRECIPITACIÓN POR DISTRIBUCIÓN GUMBEL PARA LA CUENCA 9.....	179
<b>CUADRO 80.</b>	VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA 9. ....	179
<b>CUADRO 81.</b>	VALORES MEDIOS MENSUALES HIDROLÓGICOS, ESTACIÓN JOSÉ AZUETA. ....	180
<b>CUADRO 82.</b>	VALORES MEDIOS MENSUALES HIDROLÓGICOS, ESTACIÓN PARAÍSO NOVILLERO. ....	180
<b>CUADRO 83.</b>	VALORES MEDIOS MENSUALES HIDROLÓGICOS DE LA ESTACIÓN TLACOTALPAN. ....	181
<b>CUADRO 84.</b>	VALORES MEDIOS MENSUALES HIDROLÓGICOS, ESTACIÓN PLAYA VICENTE.....	181
<b>CUADRO 85.</b>	VALORES MEDIOS MENSUALES HIDROLÓGICOS, ESTACIÓN COSAMALOAPAN.....	182
<b>CUADRO 86.</b>	VALORES MEDIOS MENSUALES HIDROLÓGICOS DE LA ESTACIÓN CD. ALEMÁN.....	182
<b>CUADRO 87.</b>	INTENSIDADES MÁXIMAS DE LLUVIA (MM H <sup>-1</sup> ), ESTACIÓN CIUDAD ALEMÁN. ....	183
<b>CUADRO 88.</b>	INTENSIDADES MÁXIMAS DE LLUVIA (MM H <sup>-1</sup> ), ESTACIÓN VILLA AZUETA. ....	184
<b>CUADRO 89.</b>	ANÁLISIS DEL COEFICIENTE UNITARIO DE DRENAJE POR CUENCA. ....	185
<b>CUADRO 90.</b>	PRECIPITACIÓN (MM) EN LAS ESTACIONES PARA CADA CICLO DE CULTIVO. ....	186
<b>CUADRO 91.</b>	GASTOS MÁXIMOS (M <sup>3</sup> S <sup>-1</sup> ) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ....	186
<b>CUADRO 92.</b>	SUPERFICIE INUNDADA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ....	194
<b>CUADRO 93.</b>	DRENES A REHABILITAR.....	201
<b>CUADRO 94.</b>	COEFICIENTES UNITARIOS DE DRENAJE A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ....	203

<b>CUADRO 95.</b>	CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN DE DRENES.....	205
<b>CUADRO 96.</b>	ESTRUCTURAS DE CRUCE DE DRENES. ....	207
<b>CUADRO 97.</b>	CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS DE UNIÓN DE DRENES.....	209
<b>CUADRO 98.</b>	DRENES CON DESCARGA CONTROLADA.....	210
<b>CUADRO 99.</b>	COEFICIENTE UNITARIO DE DRENAJE POR CULTIVO.....	212
<b>CUADRO 100.</b>	CARACTERÍSTICAS DE SECCIÓN DE DRENES PARCELARIOS.....	213
<b>CUADRO 101.</b>	VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN EN DRENAJE PARCELARIO.....	215
<b>CUADRO 102.</b>	LONGITUDES DE CAMINOS POR REHABILITAR POR ZONA.....	217
<b>CUADRO 103.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN BORDOS.....	220
<b>CUADRO 104.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN DRENES A REHABILITAR. ....	220
<b>CUADRO 105.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN ESTRUCTURAS DE CRUCE DE DRENES. ....	222
<b>CUADRO 106.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN ESTRUCTURAS DE CRUCE DE DRENES (CONTINUACIÓN).....	224
<b>CUADRO 107.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN ESTRUCTURAS DE UNIÓN DE DRENES.....	225
<b>CUADRO 108.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN ESTRUCTURAS DE DESCARGA CONTROLADA. ....	226
<b>CUADRO 109.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN CÁRCAMOS DE BOMBEO.....	227
<b>CUADRO 110.</b>	VOLÚMENES DE OBRA EN LA RED DE CAMINOS. ....	228
<b>CUADRO 111.</b>	CATÁLOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA. ALTERNATIVA 1.....	231
<b>CUADRO 112.</b>	CATÁLOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA. ALTERNATIVA 2.....	235
<b>CUADRO 113.</b>	COSTOS DE INVERSIÓN PARA LA ALTERNATIVA 1 (MILLONES DE PESOS).....	236
<b>CUADRO 114.</b>	COSTOS DE INVERSIÓN PARA LA ALTERNATIVA 2 (MILLONES DE PESOS).....	237
<b>CUADRO 115.</b>	PROGRAMA DE INVERSIONES PARA LA ALTERNATIVA 1. ....	237
<b>CUADRO 116.</b>	PROGRAMA DE INVERSIONES PARA LA ALTERNATIVA 2. ....	238
<b>CUADRO 117.</b>	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS. ....	238
<b>CUADRO 118.</b>	COSTOS DE INVERSIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA. ....	240
<b>CUADRO 119.</b>	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	241

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b>	CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO. ....	4
<b>FIGURA 2.</b>	ESTACIONES METEOROLÓGICAS MÁS CERCANAS AL ÁREA DE ESTUDIO. ....	15
<b>FIGURA 3.</b>	COMPONENTES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN. ....	17
<b>FIGURA 4.</b>	BALANCE DE AGUA EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA. ....	18
<b>FIGURA 5.</b>	CLASIFICACIÓN DE MODELOS. ....	35
<b>FIGURA 6.</b>	PROCESOS HIDROLÓGICOS SIMULADOS.....	40
<b>FIGURA 7.</b>	INTERFACE DEL MODELO MIKE SHE.....	41
<b>FIGURA 8.</b>	ESQUEMA CENTRADO DE ABBOTT DE LOS 6 PUNTOS. ....	46
<b>FIGURA 9.</b>	ESQUEMA DE INTEGRACIÓN DEL PROCESO HIDROLÓGICO UTILIZADO.....	48
<b>FIGURA 10.</b>	SOFTWARE MIKE DE DEL INSTITUTO HIDRÁULICO DANÉS (DHI).....	53
<b>FIGURA 11.</b>	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	55
<b>FIGURA 12.</b>	PROVINCIA Y SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....	56
<b>FIGURA 13.</b>	ESTRATIFICACIÓN DE LOS PREDIOS EN PEQUEÑA PROPIEDAD. ....	77
<b>FIGURA 14.</b>	ESTRATIFICACIÓN DE LAS DOTACIONES EJIDALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. ....	80
<b>FIGURA 15.</b>	ÁREAS DE BATIMETRÍA PARA LOS RÍOS PAPALOAPAN, OBISPO Y TESECHOACÁN.....	86
<b>FIGURA 16.</b>	PLANO DE BATIMETRÍA DEL RÍO TESECHOACÁN KM 0+000 AL 2+000.....	88
<b>FIGURA 17.</b>	ÁREAS DE VEGETACIÓN NATURAL EN LAS MÁRGENES DE RÍO OBISPO. ....	91
<b>FIGURA 18.</b>	SERIES DE SUELO Y SU SUPERFICIE. ....	96

<b>FIGURA 19.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE TUXTILLA.....	98
<b>FIGURA 20.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE JUAN GARCÍA.....	98
<b>FIGURA 21.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE LINDA VISTA.....	99
<b>FIGURA 22.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE BENITO JUÁREZ.....	100
<b>FIGURA 23.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE AGUA FRÍA.....	100
<b>FIGURA 24.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE OTATITLÁN.....	101
<b>FIGURA 25.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE MATA DE CAÑA.....	102
<b>FIGURA 26.</b>	PANORÁMICA REPRESENTATIVA DE LA SERIE LA GALLINA.....	103
<b>FIGURA 27.</b>	DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE DEGRADACIÓN.....	106
<b>FIGURA 28.</b>	UNIDAD DE DEGRADACIÓN QD2.80(+)/AG/HS2.80(+)/AF.....	106
<b>FIGURA 29.</b>	UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE DEGRADACIÓN.....	107
<b>FIGURA 30.</b>	CUERPOS DE AGUA Y UNIDAD DE DEGRADACIÓN FU3.80(+)/U.....	108
<b>FIGURA 31.</b>	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS ISOYETAS.....	114
<b>FIGURA 32.</b>	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE ISOTERMAS.....	115
<b>FIGURA 33.</b>	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE ISOLÍNEAS DE EVAPORACIÓN.....	116
<b>FIGURA 34.</b>	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE ISOLÍNEAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA.....	117
<b>FIGURA 35.</b>	DIAGRAMA DEL CLIMA Aw2(e)GW".	120
<b>FIGURA 36.</b>	DIAGRAMA DEL CLIMA Aw2(i')GW".	121
<b>FIGURA 37.</b>	DIAGRAMA DEL CLIMA Aw2(w)(i')GW".	121
<b>FIGURA 38.</b>	DIAGRAMA DEL CLIMA Am(w)(i')G.....	122
<b>FIGURA 39.</b>	DIAGRAMA DEL CLIMA Am(w)(e)GW".	122
<b>FIGURA 40.</b>	DIAGRAMA DEL CLIMA Ax'(w1)(e)G.....	123
<b>FIGURA 41.</b>	DIAGRAMA DEL CLIMA Aw1(e)GW".	123
<b>FIGURA 42.</b>	CLIMOGRAMA DEL CLIMA B1w1A'A'.....	125
<b>FIGURA 43.</b>	CLIMOGRAMA DEL CLIMA C1dA'A'.....	125
<b>FIGURA 44.</b>	CLIMOGRAMA DEL CLIMA C1s1A'A'.....	126
<b>FIGURA 45.</b>	CLIMOGRAMA DEL CLIMA C1w2A'A'.....	126
<b>FIGURA 46.</b>	CLIMOGRAMA DEL CLIMA C2s1A'A'.....	127
<b>FIGURA 47.</b>	CLIMOGRAMA DEL CLIMA C2w1A'A'.....	127
<b>FIGURA 48.</b>	DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	130
<b>FIGURA 49.</b>	UBICACIÓN DE ESTACIONES CLIMÁTICAS E HIDROMÉTRICAS.....	133
<b>FIGURA 50.</b>	DISTRIBUCIÓN DE LAS CUENCAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	146
<b>FIGURA 51.</b>	GASTO MÁXIMO DE LA ESTACIÓN JOSÉ AZUETA.....	149
<b>FIGURA 52.</b>	GASTO MÁXIMO DE LA ESTACIÓN PAPALOAPAN.....	150
<b>FIGURA 53.</b>	GASTO MÁXIMO DE LA ESTACIÓN CHACALTIANGUIS.....	150
<b>FIGURA 54.</b>	GASTO MÁXIMO DE LA ESTACIÓN CHILAPA.....	151
<b>FIGURA 55.</b>	GASTO MÁXIMO DE LA ESTACIÓN GARRO.....	152
<b>FIGURA 56.</b>	GASTO MÁXIMO DE LA ESTACIÓN OBISPO.....	153
<b>FIGURA 57.</b>	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS ANALIZADAS.....	153
<b>FIGURA 58.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN SAN MIGUEL ACULA.....	157
<b>FIGURA 59.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN TUXTEPEC.....	158
<b>FIGURA 60.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN BETANIA.....	159
<b>FIGURA 61.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN COLONIA GRUPO.....	159
<b>FIGURA 62.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN MATA DE LIMONES.....	160
<b>FIGURA 63.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN SANTA MARÍA.....	161
<b>FIGURA 64.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN JUAN RODRÍGUEZ.....	162
<b>FIGURA 65.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN CUATOTOLAPAN.....	162
<b>FIGURA 66.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN INDEPENDENCIA.....	163

<b>FIGURA 67.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN SAN JUANILLO, ACAYUCAN. ....	164
<b>FIGURA 68.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN TRES ZAPOTES. ....	165
<b>FIGURA 69.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN NICOLÁS. ....	165
<b>FIGURA 70.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN CIUDAD ALEMÁN. ....	166
<b>FIGURA 71.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN PLAYA VICENTE. ....	167
<b>FIGURA 72.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN JOSÉ AZUETA. ....	168
<b>FIGURA 73.</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE LA ESTACIÓN PARAÍSO NOVILLERO. ....	168
<b>FIGURA 74.</b>	CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO, ESTACIÓN CD. ALEMÁN. ....	183
<b>FIGURA 75.</b>	CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO, ESTACIÓN VILLA AZUETA. ....	184
<b>FIGURA 76.</b>	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE SIMULACIÓN. ....	188
<b>FIGURA 77.</b>	COMPARACIÓN MDE SRTM ORIGINAL (DER.) CON REINTERPOLADO GRASS GIS (IZQ.) ....	189
<b>FIGURA 78.</b>	MALLA TOPOGRÁFICA A 200 M, CONSIDERADA EN EL PROCESO DE SIMULACIÓN. ....	189
<b>FIGURA 79.</b>	ÁREAS DE BATIMETRÍA DISPONIBLE DE LOS RÍOS PAPALOAPAN, OBISPO Y TESECHOACÁN...	190
<b>FIGURA 80.</b>	SECCIONES DE LOS RÍOS PAPALOAPAN, OBISPO Y TESECHOACÁN. ....	190
<b>FIGURA 81.</b>	VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL PARA DIFERENTES ESTACIONES. ....	191
<b>FIGURA 82.</b>	HISTOGRAMAS POR PERÍODO DE RETORNO. ....	192
<b>FIGURA 83.</b>	ÁREA DE INFLUENCIA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA POR ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA. ....	192
<b>FIGURA 84.</b>	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN PRESENTES. ....	193
<b>FIGURA 85.</b>	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS TIPOS DE SUELO PRESENTES. ....	194
<b>FIGURA 86.</b>	PERFIL DE LOS RÍOS PAPALOAPAN, OBISPO Y TESECHOACÁN. ....	195
<b>FIGURA 87.</b>	PERFIL DE RÍOS TESECHOACÁN Y OBISPO, CON BORDOS PROPUESTOS. ....	196
<b>FIGURA 88.</b>	LÁMINAS DE INUNDACIÓN PARA LA SITUACIÓN ACTUAL Y CON RECTIFICACIÓN DE DRENES.	197
<b>FIGURA 89.</b>	SECCIÓN TIPO DE LOS BORDOS PROPUESTOS. ....	200
<b>FIGURA 90.</b>	SECCIÓN TIPO DE LOS DRENES PARA LA ZONA DE ESTUDIO. ....	203
<b>FIGURA 91.</b>	ESTRUCTURA TIPO PARA CRUCE DE CAMINO. ....	206
<b>FIGURA 92.</b>	ESTRUCTURA TIPO PARA UNIÓN DE DRENES. ....	208
<b>FIGURA 93.</b>	ESTRUCTURA TIPO PARA DESCARGA CONTROLADA. ....	210
<b>FIGURA 94.</b>	PARTES QUE COMPONEN EL ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES. ....	212
<b>FIGURA 95.</b>	NOMOGRAMAS DE ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES. ....	213
<b>FIGURA 96.</b>	SECCIÓN TIPO DE DRENAJE PARCELARIO. ....	214
<b>FIGURA 97.</b>	CARACTERÍSTICAS COMUNES DE DRENES PARCELARIOS EN MÉXICO. ....	214
<b>FIGURA 98.</b>	SECCIÓN TIPO DE CAMINO PRINCIPAL. ....	216
<b>FIGURA 99.</b>	SECCIÓN TIPO DE CAMINO SECUNDARIO. ....	216

## 1. INTRODUCCIÓN

De los 22 millones de hectáreas de superficie agrícola potencial en México, 7.5 millones de hectáreas se ubican en las zonas del trópico húmedo y subhúmedo donde el exceso de lluvias inunda los terrenos de cultivo y dificulta la comunicación terrestre. Para incorporar a los pobladores de estas áreas al desarrollo social y económico, se crearon 21 Distritos de Temporal Tecnificado en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas y Nayarit.

En 1978, el Gobierno Federal inició la creación de un plan piloto (Proyecto Tesechoacán) a través de la extinta Comisión del Papaloapan y el también extinto Programa de Desarrollo Rural Integral del Trópico Húmedo (PRODERITH), estableciéndose el Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán con la construcción de infraestructura para incorporar una superficie piloto de 18,000 ha al temporal tecnificado, mismo que se concluyó y entregó a los usuarios en el año 2000.

La Comisión Nacional del Agua, en 1992, contrató el estudio de factibilidad del “Proyecto de Temporal Tecnificado Bajo Papaloapan-Tesechoacán, Ver., en una superficie de 120,000 ha”, como parte complementaria a la zona piloto del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán. Como resultado de dicho estudio, se autorizaron y se ejercieron inversiones en infraestructura caminera dentro de la zona del proyecto. Sin embargo, en el año 2005 estas inversiones se suspendieron por no tener actualizados los estudios de factibilidad. Con la complementación de los estudios de factibilidad, se proveerá de elementos que justifiquen la seguridad de apoyar al campo.

Bajo este marco de referencia, se realizó la modelación hidrológica y análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto de temporal tecnificado, Ampliación Bajo Papaloapan-Tesechoacán, estado de Veracruz.

A partir de los estudios básicos de topografía, agrología, agroclimatología e hidrología en la zona baja del río Papaloapan (zona del proyecto) y del complemento de los mismos, se

realizó una simulación hidrológica usando el software MIKE, del Instituto Hidráulico Danés, para identificar las áreas de inundación precisas y georeferenciadas.

Holguín *et al.* (2010) mencionan que el modelo MIKE permitió representar los complejos procesos que describen el comportamiento de las características de la calidad del agua del río Cauca en Colombia. Además, en otro estudio en Pamplona, España, se desarrolló un modelo matemático del río Arga. Dada la dificultad de la zona, amplia llanura de inundación con pendientes muy bajas, que incluso podrían cuestionar la validez de un modelo unidimensional, se consideró preferible simular la zona con el programa MIKE 11 del Instituto Hidráulico Danés (Peralta, 2004).

Asimismo, en esta investigación se evaluó la factibilidad de ampliar el área del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán. Como resultado de la simulación hidrológica, se proponen obras para reducir las inundaciones y, de esta manera, se pretende incorporar 12,402.4 ha más al Distrito de Temporal Tecnificado.

En este trabajo se presentan una introducción, los objetivos e hipótesis en los tres primeros capítulos, respectivamente. Luego en el capítulo 4 se hace una revisión de la bibliografía actual relacionada con el tema de estudio, se presentan definiciones de conceptos y resultados de investigaciones que se han realizado y son de utilidad para el presente proyecto. En el capítulo 5 se menciona el procedimiento seguido para completar este estudio. En el capítulo 6 se muestran los resultados obtenidos, considerados como la parte medular de la investigación y se espera sean de utilidad para los lectores. Finalmente, en los capítulos 7 y 8, se presentan algunas recomendaciones, conclusiones y la literatura citada. Los mapas elaborados se presentan al final en el anexo de este documento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL.**

Evaluar la factibilidad técnica y financiera de incorporar superficie con potencial agrícola a la zona piloto del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán, haciendo más eficiente el uso de los recursos naturales como suelo y agua, lo cual repercutirá en mejorar significativamente las condiciones de vida de los pobladores de la región.

### **2.2. PARTICULARES.**

- Complementar y actualizar los estudios de factibilidad previos del proyecto de Temporal Tecnificado Bajo Papaloapan-Tesechoacán, Ver., a fin de considerar su incorporación al Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán.
- Hacer la simulación hidrológica de las inundaciones en la zona del proyecto usando la información de los estudios básicos de factibilidad técnica.
- Obtener propuestas de tecnificación para incorporar las áreas inundadas al Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán.
- Realizar la ingeniería del proyecto, obtener costos y seleccionar la mejor alternativa de solución.

## **3. HIPÓTESIS**

### **3.1. GENERAL.**

A través la modelación hidrológica y el análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto de ampliación del Bajo Papaloapan-Tesechoacán, estado de Veracruz, es posible obtener propuestas de infraestructura para incorporar áreas con potencial agrícola a la zona piloto del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán.

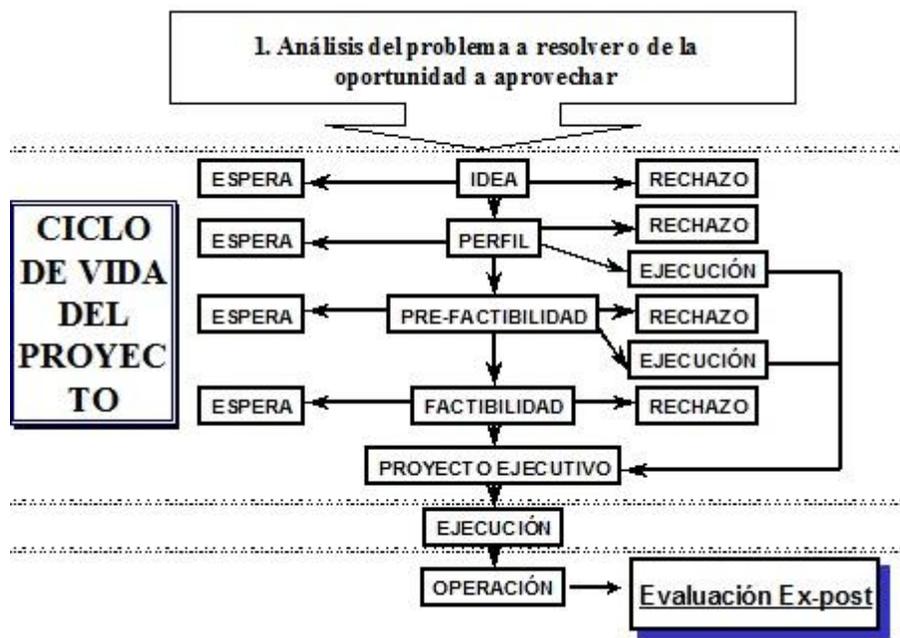
### **3.2. PARTICULARES.**

- Se contará con el estudio de factibilidad técnica que permita describir la problemática del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán.
- Se tendrán alternativas de solución para aumentar de la producción de alimentos en la zona.
- Se definirá la infraestructura de protección y de drenaje de la zona del proyecto de Temporal Tecnificado.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. ESTUDIOS BÁSICOS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.

Los estudios de factibilidad son una de las etapas de un proyecto de inversión. Para el CEPEP (Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos), las etapas de un proyecto de inversión en México son: Idea, Perfil, Pre-Factibilidad, Factibilidad, Proyecto Ejecutivo, Ejecución, Operación y Evaluación Ex-post (Gala, 2006). El ciclo de vida de un proyecto se ilustra en la Figura 1.



**Figura 1.** Ciclo de vida de un proyecto.

El informe de factibilidad es la culminación de la formulación de un proyecto, y constituye la base de la decisión respecto de su ejecución. Sirve a quienes promueven el proyecto, a las instituciones financieras, a los responsables de la implementación económica global, regional y sectorial. Los estudios de factibilidad son los siguientes:

Estudio de mercado: Se analiza el comportamiento histórico de la demanda, oferta y precios de los bienes y servicios involucrados en el proyecto. Con esto, se estima la demanda potencial futura para compararla con la oferta, en un horizonte de evaluación.

Estudio de factibilidad técnica: Se detallan y cuantifican los costos de inversión, mantenimiento y operación de la alternativa seleccionada. Además, se verifica si la tecnología es la más adecuada para llevar a cabo el proyecto.

Estudio de factibilidad ambiental: Se determina el impacto, negativo o positivo, y las acciones para prevenir o mitigar cualquier efecto adverso que el proyecto provoque en el medio ambiente. Asimismo, se determina si el proyecto se puede ejecutar aún con los efectos que éste propicie.

Estudio de factibilidad legal: Se verifica que las acciones del proyecto estén dentro del marco jurídico vigente y, por consiguiente, puedan llevarse a cabo.

Estudio económico: Se determina la conveniencia económica de llevar a cabo la alternativa seleccionada, mostrando los riesgos posibles de su ejecución.

Los estudios básicos de factibilidad técnica que se realizan para el proyecto de un área con problemas de inundaciones son: Topografía, Agrología, Agroclimatología e Hidrología.

#### **4.2. TOPOGRAFÍA.**

La topografía se refiere a la forma tridimensional de un terreno. Describe los cerros, valles, pendientes y la elevación de la tierra. Tradicionalmente se ha definido a la topografía como “el conjunto de métodos e instrumentos para representar el terreno con todos sus detalles naturales o artificiales”. Esta definición, sin embargo, resulta hoy en día un tanto parcial debido principalmente al desarrollo experimentado por otras disciplinas anexas, como en el caso de la Fotogrametría (Franco, 2009).

De acuerdo con las Normas y Especificaciones de la Obra Pública de la Comisión Nacional del Agua (1990), el estudio topográfico es el conjunto de actividades de campo y gabinete; que tiene como fin obtener información altimétrica y planimétrica, para representar en planos a escala adecuada la configuración de un área de terreno para su empleo en otros estudios o proyectos.

La fotogrametría es la técnica de adquirir mediciones de las imágenes fotográficas, generalmente estereoscópica (ICES, 2009). El término fotogrametría fue utilizado por primera vez por el arquitecto prusiano Albrecht Meydenbauer en 1867, quien produjo algunos de los primeros planos topográficos y de elevación. El uso de la fotogrametría en la cartografía topográfica está bien establecido, pero en los últimos años la técnica ha sido ampliamente aplicada en los campos de la arquitectura, industria, ingeniería, forense, agua subterránea, medicina, geología y muchos otros para la producción de fuentes de datos precisos en 3D. Los datos obtenidos por métodos fotogramétricos son una parte integral de la entrada de datos a los sistemas de información geográfica (SIG) y el diseño asistido por computadora (CAD). De hecho, tiene importancia en cualquier área donde se requiere precisión de datos espaciales.

Teledetección es una tecnología muy cercana a la fotogrametría en la que también se recoge la información de las imágenes. El término se deriva del hecho de que la información sobre objetos y características se recogen sin entrar en contacto con ellos.

El mapeo cartográfico constituye un componente integral del proceso de gestión de los recursos de la Tierra, y la información asignada es el producto común del análisis de datos obtenidos por teledetección (Canada Centre for Remote Sensing, 2009). Los rasgos naturales e infraestructuras manufacturadas, como redes de transporte, zonas urbanas, y los límites administrativos pueden ser presentados espacialmente con respecto a los sistemas de coordenadas referenciados, que luego pueden combinarse con información temática. Los mapas de línea de base, temáticos y topográficos son esenciales para la planificación, evaluación y seguimiento, para el reconocimiento militar o civil, o el manejo del uso de la tierra, sobre todo si están digitalmente integrados en un sistema de información geográfica como base de información.

Waters (2009) menciona que algunas aplicaciones de la topografía obtenida por teledetección son:

- Análisis de la erosión de todo un estado.
- *Mapeo de zonas de inundación.*

- Análisis de la erosión local.
- Las decisiones de gestión local.

#### **4.2.1. Modelos topográficos digitales.**

Los modelos topográficos digitales (MTD) son un término genérico que se refiere a cualquier representación digital de una superficie topográfica (Burrough, 1987). Esta superficie puede ser representada en dos o tres dimensiones. Se le llama Modelo Digital de Elevaciones (MDE) si el modelo contiene únicamente datos de elevaciones y si además contiene atributos topográficos como pendiente o aspecto se le considera como un MTD.

Arrighi y Soille (1999) mencionan que los mapas o modelos de elevación digital son matrices de números que representan la distribución de espacial de elevaciones del terreno. Se pueden ver como imágenes en escala de grises mediante la cual el valor de un píxel representa una elevación en lugar de una intensidad de luminosidad (entre más brillante esté el nivel de tono de gris de un píxel, será mayor la elevación del punto de terreno correspondiente a este píxel). Aplicaciones útiles de los MDE se pueden encontrar en la ingeniería civil y rural, sistemas de información geográfica (SIG), la geología, la geomorfología, los recursos hídricos, la fotogrametría, imágenes de satélite, etc.

Existen varios métodos para representar o modelar la superficie topográfica. Las formas más comunes de MDE son las matrices altimétricas y las redes triangulares irregulares (TIN). Las matrices altimétricas intentan modelar la superficie terrestre con una malla regular o puntos regularmente espaciados, mientras que los TIN usan triángulos continuos irregulares. El objetivo de ambas formas es representar características críticas de la Tierra como picos, cursos de corrientes, cordilleras, etc., sin redundancia de datos en terrenos uniformes. No obstante, un detalle más fino demanda gran cantidad de espacio de almacenaje en computadora.

Los MDT se clasifican de acuerdo con el modelo matemático utilizado. Los modelos de interpolación (red de puntos/mosaicos) son usualmente más aceptados que los modelos de aproximación (ecuaciones analíticas) (Sakude, 1992; citado por Avelar, 1994). De acuerdo

con la distribución espacial de los puntos incluidos en la muestra, los modelos pueden tener una distribución regular (mosaicos cuadrados, rectangulares y triangulares) o irregular.

El uso de los MDT permite:

- Generar, calcular y desplegar elevaciones y pendientes.
- Planear cortes y rellenos en la nivelación de tierras, construcción de canales, caminos y otros tipos de proyectos de ingeniería civil.
- Planear rutas para carreteras y localización de presas.
- Delimitar cuencas y estimar escurrimientos en estudios hidrológicos.
- Proporcionar información para modelos de simulación de paisajes.
- Proporcionar un fondo para presentación de la información temática o para combinarla con datos de suelos, comunicaciones o vegetación.

Al reemplazar la altitud por cualquier otro atributo continuo, el modelo de elevación digital puede presentar superficies de tiempo de recorrido, costos, población, niveles de contaminación, etc.

#### **4.2.2. Pendiente del terreno.**

Por lo general, los cambios de pendiente son definidos en términos de porcentaje de inclinación, suministrando así un lenguaje uniforme para el entendimiento de la topografía. La inclinación, expresada en porcentaje, es el número de unidades de levantamiento o cambio de elevación vertical en 100 unidades de distancia horizontal. La fórmula para determinar el porcentaje de inclinación es:

$$S = (DE/L) \times 100$$

Donde:

S = porcentaje de inclinación

DE = diferencia en elevación

L = distancia horizontal

Si se conocen dos variables de la ecuación anterior, se puede calcular la tercera. Casi siempre se podrá calcular la diferencia en elevación contando las curvas de nivel a lo largo

de la distancia que se quiere medir. Por ejemplo, si se está usando un mapa con un intervalo de contorno de 1 metro y hay 10 curvas de nivel entre la cima de una pendiente y su base, se puede determinar que la diferencia en elevación es de 10 metros (10 intervalos de contorno x 1 metro / intervalo de contorno). Y la distancia horizontal se puede calcular usando la escala del mapa. Una vez que se tiene esta información, entonces se puede calcular la inclinación.

Las inclinaciones también se pueden expresar como una proporción; la fórmula para expresar la inclinación como una proporción es  $S=L/DE$ . Por ejemplo, si una inclinación tiene 25 metros de cambio de elevación vertical sobre una distancia horizontal de 100 metros, tiene una proporción de inclinación de 4:1 ( $S = 100/4$ ). Esto significa que por cada cuatro metros de distancia horizontal, hay un metro de cambio vertical, bien sea hacia arriba o hacia abajo.

#### **4.2.3. Mapas topográficos.**

Los mapas topográficos proporcionan una representación bidimensional de un terreno tridimensional. Típicamente, un topógrafo profesional produce mapas topográficos utilizando equipo de medición especial para anotar la elevación en diferentes lugares comprendidos en un área. Estas medidas son llamadas elevaciones de punto. El examinador muestra esta información como un mapa topográfico o de contorno. Los mapas topográficos en ocasiones derivan de fotografías aéreas. Estos mapas son usados para ayudar a los profesionales, técnicos y a los diseñadores para comprender la planificación del paisaje, incluyendo los beneficios de las formas naturales del terreno y su alteración.

#### **4.2.4. Curvas de nivel.**

La topografía se muestra gráficamente por curvas de nivel. Cada curva de nivel es una línea continua, la cual forma una figura cerrada, ya sea dentro o más allá de los límites del mapa o del dibujo (cuando estas líneas cruzan una característica vertical hecha por el hombre, esa curva de nivel se superpondrá con esa característica en el plano). Todos los puntos de la curva de nivel están a la misma elevación y todas las curvas de nivel están separadas en un mapa por el intervalo de la curva, el cual es la diferencia en elevación entre las curvas.

Se requiere de dos o más curvas de nivel para indicar una forma tridimensional y la dirección de una pendiente. La dirección de la pendiente es siempre perpendicular a las curvas de nivel y, por lo tanto, cambia de acuerdo al cambio de dirección de las curvas. El agua fluye de manera perpendicular a las curvas de nivel en dirección descendente. Generalmente, para la misma escala e intervalo de nivel, el ángulo de la inclinación se incrementa a medida que la distancia entre las curvas de nivel disminuye. Las curvas de nivel igualmente espaciadas indican una inclinación que se mantiene constante. Las curvas de nivel nunca se cruzan excepto cuando existe un precipicio saliente, un puente natural o alguna forma de terreno similar. Finalmente, en el paisaje natural, las curvas de nivel nunca se dividen o se parten.

Debido a que las computadoras están cada vez más asociadas a las aplicaciones en el razonamiento de sentido común y en los sistemas de información para uso público, se requieren más y más algoritmos para convertir las representaciones cuantitativas en cualitativas (Smith y Mark, 2001).

En el subcampo matemático del análisis numérico, la interpolación es un método de adquisición de nuevos datos de puntos de un conjunto discreto de puntos conocidos. En el contexto de los Sistemas de Información Geográfica, es un método para estimar los valores de las celdas en formato ráster de un número limitado de puntos de datos de la muestra. Por lo tanto, la interpolación se utiliza para crear una superficie continua, mediante la adquisición de nuevos valores de los parámetros en los puntos que no han sido muestreados directamente.

Cruz (2007) menciona que en la rama de la ingeniería civil conocida como “fotogrametría” se obtienen las curvas de nivel de cierta parte de la superficie terrestre mediante una serie de fotografías estereoscópicas; esta actividad se efectúa en forma manual, quedando involucrados operadores humanos, hecho que hace a este procedimiento tardado, por consiguiente caro y poco preciso. En su trabajo, Cruz presenta un desarrollo para la obtención automática de las curvas de nivel a partir de pares de fotografías estereoscópicas.

También describe el proceso de obtención de las curvas y el resultado obtenido al procesar imágenes reales.

La empresa MicroImages Inc. (2006) presenta un trabajo donde asegura que las imágenes adquiridas por fotografía aérea o por sensores de satélite proporcionan una importante fuente de información para el mapeo y seguimiento de las características naturales y artificiales en la superficie de la Tierra. La interpretación y el análisis de imágenes de teledetección requieren una comprensión de los procesos que determinan las relaciones entre las propiedades del sensor y las propiedades de la superficie que estamos interesados en identificar y estudiar. El conocimiento de estas relaciones es un requisito previo para el procesamiento adecuado y la interpretación.

En un estudio de ScienceDirect (2009) se presenta un algoritmo de registro que combina la segmentación de curvas activas junto con la información mutua. El enfoque de dicho estudio se inicia con un procedimiento de segmentación. Es decir, formado por una curva activa geométrica en el modelo de contorno activo, usando un procedimiento moderno llamado Edgeflow. Se obtienen dos imágenes “edgemap” que contienen curvas cerradas. Después de descartar las curvas que no coinciden, se usa la información mutua como una medida de similitud al registrar dos imágenes “edgemap”. Los resultados experimentales son para ilustrar el desempeño del algoritmo de registro propuesto utilizando imágenes sintéticas y multisensoriales. También se proporciona el análisis cuantitativo de error y se muestran varias imágenes para la evaluación subjetiva.

Sulzer (2006) hizo una investigación donde utiliza la integración de diversos datos basados en sensores remotos (SRTM, LANDSAT Stereo y ASTER) para generar un mapa topográfico (curvas de nivel) del monte Aconcagua (Argentina). Debido a la falta mapas topográficos oficiales adecuados (1:50,000) en ese país, los datos de teledetección son la única fuente para proporcionar información topográfica adecuada.

Una imagen digital no es una toma instantánea exacta de la realidad, es sólo una aproximación discreta (Wittman, 2006). Este hecho debería ser evidente para el navegador

medio en la web, debido a que las imágenes comúnmente se bloquean o se hacen irregulares después de ser redimensionadas para ajustarse al navegador. El objetivo de la interpolación de imágenes es producir imágenes aceptables a diferentes resoluciones de una sola imagen de baja resolución. La resolución real de una imagen se define como el número de píxeles, pero la resolución efectiva es una cantidad mucho más difícil de definir ya que depende del juicio y la percepción subjetiva del humano.

En el Reino Unido, la compañía Ordnance Survey ha desarrollado la OS MasterMap Topography Layer en respuesta a la necesidad de un conjunto de datos topográficos nacionales que ofrece a los clientes un tipo de datos más sofisticados que representen el mundo de una manera más realista y se ajustaba más a la creciente utilización y funcionalidad de los SIG y a la tecnología de bases de datos espaciales entre las organizaciones (Ordnance Survey, 2009). Su objetivo principal es proporcionar datos topográficos más detallados disponibles del entorno físico de Gran Bretaña. Se actualiza periódicamente de fuentes terrestres y reconocimiento aéreo en los horarios publicados y con las normas de captura.

Childs (2004) menciona que la interpolación es un procedimiento usado para predecir los valores de las celdas en ubicaciones que no tienen puntos de muestra. Se basa en el principio de la autocorrelación o dependencia espacial, la cual mide el grado de dependencia o correlación entre objetos cercanos y distantes.

La autocorrelación espacial determina si los valores están interrelacionados. Si los valores están interrelacionados, se determina si hay un patrón espacial. Esta correlación es usada para medir:

- Similitud de objetos dentro de un área.
- El grado al cual un fenómeno espacial se correlaciona a sí mismo en el espacio.
- El nivel de interdependencia entre las variables.
- La naturaleza y fortaleza de la interdependencia.

Las técnicas de interpolación pueden dividirse en dos ramas, determinista y geoestadística. Las técnicas deterministas asignan valores a las localidades basados en los valores medidos de los alrededores y en las fórmulas matemáticas específicas (Lam, 1983; citado por Her y Heatwole, 2008). Los métodos IDW (inverso de distancia ponderada), Spline y Vecino Natural son métodos deterministas. Las técnicas geoestadísticas, tales como Kriging, se basan en modelos estadísticos que incluyen autocorrelación, que es la relación estadística entre los puntos medidos. En el trabajo realizado por Her y Heatwole, los métodos Spline fueron mejores en la deducción de las redes de corriente y otros derivados de elevación.

#### **4.3. AGROLOGÍA.**

La agrología es la parte de la agronomía que estudia las relaciones entre el suelo y la vegetación. En el curso en línea de “Homologación de Criterios y Lineamientos Técnicos utilizados en la Revisión de Proyectos Ejecutivos de Infraestructura Hidroagrícola”, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2009) menciona que un estudio agrológico es el procedimiento mediante el cual se determina la potencialidad de una zona, es decir, la cantidad, calidad y capacidad de los suelos para determinar si son aptos para la agricultura.

El objetivo de un estudio agrológico es determinar con precisión las características generales físicas, químicas, biológicas e hidrodinámicas de los suelos de manera que se pueda planear, con base a esta información, una agricultura bajo riego tecnificada.

Para su aprovechamiento en la agricultura, se hace una clasificación edafológica de acuerdo con su morfología y composición de las unidades de riego en órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias, series, tipos y fases.

En la actualidad, la clasificación de suelos se hace aplicando cualquiera de los métodos internacionales presentados a continuación:

- Soil Taxonomy (Soil Survey Staff).
- World Reference Base-Soil Resource (WRB).

Que desplaza la clasificación mundial de suelos, desarrollada por la FAO-UNESCO.

#### **4.4. AGROCLIMATOLOGÍA.**

Según la fórmula más ampliamente aceptada, el clima de una localidad queda definido por las estadísticas a largo plazo de los caracteres que describen el tiempo de esa localidad, como temperatura, humedad, viento, precipitación, entre otros, siendo el tiempo del estado de la atmósfera en un lugar y momento determinados.

Así pues, el clima de una región resulta del conjunto de condiciones atmosféricas que se presentan típicamente en ella a lo largo de los años.

La importancia del clima es tan grande y alcanza a tantos aspectos de la vida humana, que su consideración resulta imprescindible en los estudios del medio físico que abarquen zonas con distintos climas, como es el caso de las ordenaciones de cuencas. Por otra parte el clima influye en el tipo de suelo y así como en la utilización de la tierra. También se encuentra íntimamente relacionado con la topografía.

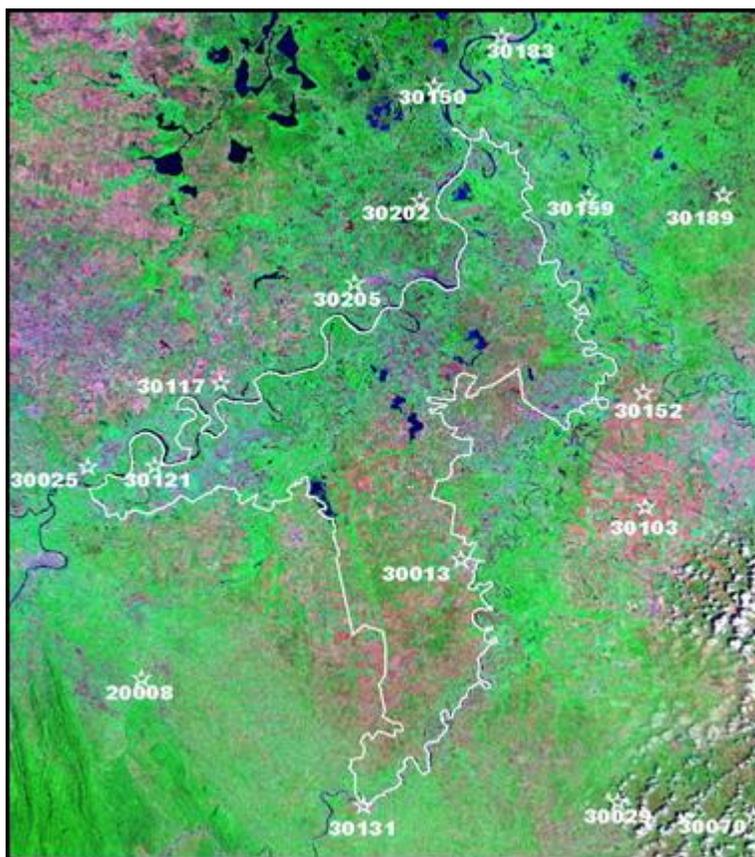
De manera general, el clima afecta a la actividad física y material del hombre y a las actuaciones que éste desarrolla, pudiendo estas actividades en algunos casos concretos, modificar el clima.

El clima es una resultante de varios factores ambientales, tales como la precipitación, la temperatura y los vientos, principalmente (García, 2004). La cuantificación de estos, su frecuencia estacional y su interacción, generan otras variables del clima como la nubosidad, la humedad relativa, las heladas y las granizadas, que afectan el desarrollo de las actividades agropecuarias, forestales y ecológicas de una región.

No existen dos lugares en el mundo que experimente el mismo clima, aunque es posible identificar áreas con climas similares. Este método de agrupación o analogía se denomina “clasificación climática”; generalmente se elabora una clasificación para resolver algún problema específico, por ejemplo el estudio de las interrelaciones entre el clima y la vegetación. Por lo que resulta imposible lograr una clasificación completamente satisfactoria para todo tipo de aplicaciones, aunque cualquier sistema que se elabore debe

tener una aplicación fácil, basarse en principios meteorológicos, reunir datos prácticos y fáciles de manejar, limitarlos y dirigirlos a objetivos bien definidos.

Para la caracterización climática de la zona de estudio de esta investigación, se identificaron 24 estaciones cercanas. Sin embargo, para elaborar un mapa detallado de las variables climáticas se seleccionaron aquellas estaciones más cercanas, con el mayor número de registros y que compartieran características similares al lugar (véase Figura 2). En los resultados se mostrará la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García y la clasificación climática según Thornthwaite para la zona estudiada.



**Figura 2.** Estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.

#### **4.4.1. Precipitación.**

La distribución de la precipitación presenta variaciones que van desde los 900 mm anuales en la parte noreste del área de estudio, hasta valores mayores a 2,000 mm anuales en la

parte suroeste. Para estimar la distribución de la precipitación se utilizó el método de los polígonos de Thiessen, la estación José Azueta (30013) presenta la mayor influencia en el área (36%) con una lámina de 1,632.5 mm de lluvia.

#### **4.4.2. Temperatura.**

Es importante mencionar que la ausencia de grandes elevaciones en la región da como resultado pequeñas variaciones de temperatura en el área de estudio. La temperatura media anual de la región es de 26.1 °C; la temperatura máxima se registra de 37.2 °C presentándose durante el mes de mayo; mientras que la temperatura mínima es de 17.4 °C y se presenta en el mes de enero.

#### **4.4.3. Evaporación y evapotranspiración.**

La evaporación del agua por las plantas se debe a la necesidad de agua que tienen las plantas para incorporarla a su estructura celular, además de utilizarla como elemento de transporte de alimentos y de eliminación de residuos. La circulación del agua en la planta no es un circuito cerrado, sino que por el contrario es una circulación abierta. El agua penetra por la raíz, circula por la planta y gran parte de ella se evapora por las hojas.

Al buscar una definición de evapotranspiración, se encuentran variaciones. En general, la evapotranspiración es la suma de la evaporación y transpiración. Se denomina evapotranspiración a la evaporación en superficies cubiertas de vegetales junto con la transpiración de estos vegetales (USGS, 2008).

La transpiración depende de los siguientes factores:

- Tipo de planta.
- Ciclo de crecimiento de la planta (inicial, vegetativo, medio, maduro).
- Tipo de suelo y humedad del suelo.
- Insolación, viento, humedad de la atmósfera, etc.

La evapotranspiración forma parte del ciclo hidrológico y si se hace un balance hídrico en una región determinada, ver Figura 4, tendremos como resultado la expresión

$$P=ET+RO+R$$

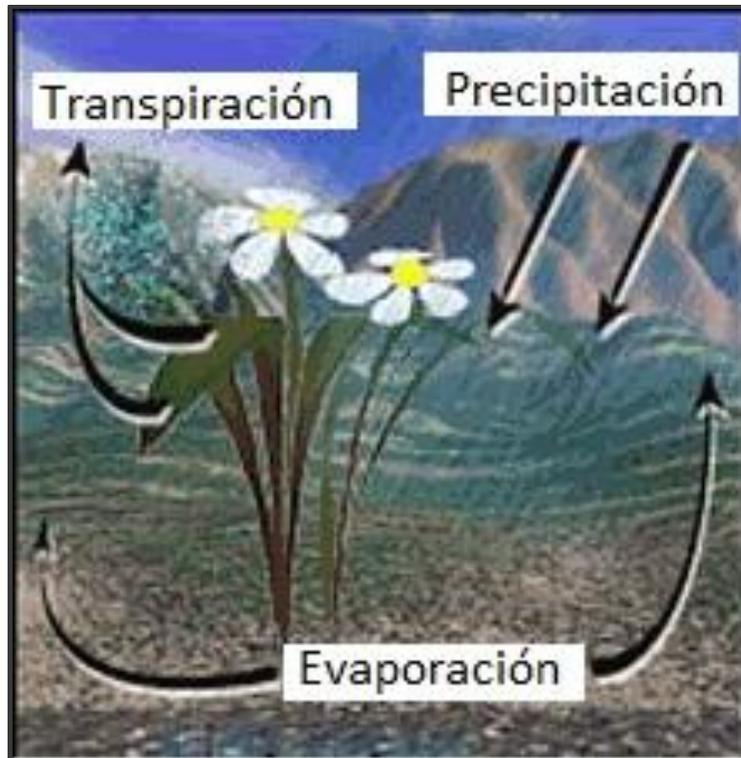
Donde:

P = precipitación que ocurre en el área de estudio

ET = evapotranspiración

RO = escurrimiento

R = recarga al acuífero

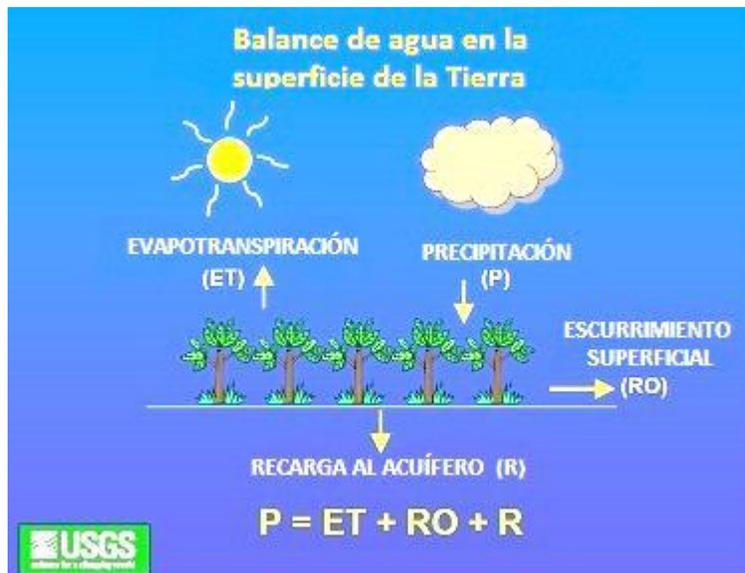


**Figura 3.** Componentes de la evapotranspiración.

Con objeto de valorar la capacidad máxima de evaporación y transpiración de un suelo, con unas determinadas condiciones atmosféricas y de radiación, se define el concepto de evapotranspiración potencial como: “la cantidad de agua transpirada por unidad de tiempo, teniendo el suelo un cultivo herbáceo uniforme de 30-50 cm de altura (por ejemplo, la alfalfa) y siempre con suficiente agua”. En esas condiciones se produce el máximo de transpiración y coincide con las óptimas condiciones de crecimiento de las plantas (Chow, 1994). En forma simple, podemos decir que la evapotranspiración potencial es un término usado para medir la resequedad de la atmósfera (Quevedo, 2009). La evapotranspiración real es inferior a la evapotranspiración potencial debido a los siguientes factores:

- Falta de agua en algunos periodos.
- Variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta.
- Variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, etc.

Por lo tanto, evapotranspiración real =  $K * \text{evapotranspiración potencial}$ , donde el coeficiente  $K$  es variable y oscila entre 0.10 y 0.90, aproximándose a 1 cuando la planta está en su máximo desarrollo de foliación y fruto.



**Figura 4.** Balance de agua en la superficie de la Tierra.  
**FUENTE:** United States Geological Survey.

#### 4.5. HIDROLOGÍA.

El estudio hidrológico es la base para el dimensionamiento hidráulico de las estructuras necesarias para el control y manejo del agua; además de que permitirá garantizar el óptimo aprovechamiento del recurso agua, ya sea para su uso en consumo doméstico, agrícola o industrial.

##### 4.5.1. La hidrología como ciencia.

La hidrología es la ciencia que estudia el agua en la Tierra: su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluidos los seres vivos. Como el agua está presente en multitud de lugares y formas, su

estudio necesariamente requiere de otras ciencias, lo que implica su carácter marcadamente disciplinario.

#### **4.5.2. Conceptos generales de cuencas.**

Una cuenca es un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por la precipitación y cuyos excedentes de agua o de sedimentos son transportados hasta un punto espacial único que puede ser: una desembocadura, una estación de aforo, o un punto arbitrario (Llamas, 1993).

Una cuenca se delimita por una línea divisoria imaginaria que generalmente corresponde a la cresta que separa dos vertientes, teniendo en cuenta el drenaje superficial, pero en algunos casos se debe considerar la línea definida por las elevaciones más altas de la capa freática (almacenamiento de agua gravitacional en el suelo - agua libre en el suelo). Sin embargo, dado que dicho límite generalmente no difiere mucho del que está determinado por el drenaje superficial y cuando difiere un poco es muy difícil de detectar, se suele considerar como cuenca a la determinada por el límite de las aguas superficiales.

Dos cuencas sometidas a condiciones climáticas similares, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos. Esta diferencia, entre otras, se debe principalmente a las diversas características físicas. Aunque resulta evidente que factores como el tipo de suelo y el espesor de la capa permeable ejercen un gran efecto sobre el régimen de flujo, la fisiografía puede ser importante en la respuesta de la cuenca a las precipitaciones.

#### **4.5.3. Características morfométricas de las cuencas.**

En la mayoría de los casos dentro de los trabajos que se realizan a nivel de cuenca en el país, se encuentran con la falta de infraestructura para la toma de datos, haciendo complicado su entendimiento sobre el comportamiento hidrológico de las mismas. Aunque se cuenta con información sobre eventos meteorológicos, no se cuenta con la información cuantitativa del efecto de dichos eventos y con ello poder interpretar la influencia que tienen las condiciones de la cuenca.

Lo anterior no es exclusivo de México, el pretender contar con datos de interés como escurrimiento, producción de sedimentos, etc., en todas las cuencas o micro cuencas por trabajar resulta prácticamente imposible. Por otro lado, existen diversos indicadores, algunos, producto del análisis de la geomorfología, otros obtenidos por medio de relaciones matemáticas, y algunos más generados por una síntesis de procesos ocurridos en la cuenca hidrológica.

#### **4.5.4. Relieve.**

La influencia del relieve (topografía) sobre la respuesta hidrológica de la cuenca es importante, se sabe que a mayores pendientes corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes y menor será el tiempo de concentración de la cuenca, además de la influencia de la fisiografía sobre la distribución de la precipitación, y por tanto sobre la diversidad y posibles características naturales de la vegetación.

Los indicadores del relieve con mayor representación son: altitud media, pendiente media, pendiente media del cauce principal, entre otros.

#### **4.5.5. Tiempo de Concentración.**

El tiempo de concentración también es denominado tiempo de respuesta o de equilibrio, Llamas (1993) lo define como el tiempo requerido para que, durante una tormenta uniforme, se alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe. Se atribuye muy comúnmente el tiempo de concentración al tiempo que tarda una partícula de agua caída en el punto de la cuenca más alejado del desagüe en llegar a éste. Esto no corresponde con el fenómeno real, pues puede haber puntos de la cuenca en los que el agua precipitada tarde más en llegar al desagüe que el más alejado. Además, debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante; depende de la intensidad del evento de lluvia (aunque muy ligeramente).

Debido a la base física que involucra el concepto de tiempo de concentración, numerosos autores han obtenido formulaciones del mismo, a partir de características morfológicas y geométricas de la cuenca.

#### 4.5.5.1. Ecuación de retardo SCS.

Esta ecuación fue desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU (SCS) a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 2,000 ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; además, se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; y la ecuación supone que  $t_c = 1.67 * \text{retardo de la cuenca}$ .

$$t_c = \frac{100L^{0.8}[(1,000 / CN) - 9]^{0.7}}{1,900S^{0.5}}$$

$L$  = longitud hidráulica de la cuenca  
(mayor trayectoria de flujo), pies

$CN$  = número de curva SCS

$S$  = Pendiente promedio de la cuenca, %

#### 4.5.6. Conceptos de escurrimientos.

El escurrimiento es la parte de la precipitación que llega a la red hidrográfica de la cuenca y discurre por ella dando lugar a los caudales líquidos.

Se pueden distinguir dos tipos de escorrentías generadoras de caudales. En primer lugar están las escorrentías rápidas, que discurren por la superficie del terreno, y por tanto llegan a los cauces en poco tiempo: estos volúmenes de agua son los causantes de los caudales punta de las avenidas. En segundo lugar están las escorrentías subsuperficiales y subterráneas que alimentan los cauces de una forma lenta y dan como resultado el caudal base que discurre por la red entre aguaceros.

El valor real de la escorrentía superficial directa que circula por la superficie del terreno hacia los cauces sólo puede determinarse de una forma experimental, mediante la instalación de pluviómetros en la propia cuenca y por aforos de los caudales en la red.

Los factores que intervienen en la escorrentía son numerosos y pueden citarse como principales, entre otros, los agroclimáticos y los fisiográficos.

Uno de los problemas que siempre se presenta en cuencas pequeñas, hasta de unos 50 km<sup>2</sup>, es la ausencia de aforos en series suficientes que permitan establecer escorrentías mensuales con bastante garantía, de forma que el balance hídrico pueda ser calculado. Otro es el cálculo de escorrentías correspondientes a precipitaciones máximas de determinada recurrencia para la evaluación de los caudales máximos.

#### **4.5.7. Análisis estadísticos de valores extremos: Métodos paramétricos.**

En la literatura existen numerosas funciones de distribución de probabilidad teórica, que permiten estimar precipitación y avenida máxima a partir de la información de la precipitación máxima anual y de las estaciones hidrométricas, con base en la extrapolación de una función de distribución de probabilidades que considera como variable aleatoria el gasto máximo anual. Sin embargo, las diversas funciones deben tomarse con reservas ya que sus ajustes, aunque aceptables, no son rigurosamente buenos debido a la dispersión que presentan los valores extremos de cualquier serie de datos hidrológicos que se pretende extrapolar. En hidrología, las funciones comúnmente empleadas para determinar avenida con un periodo de retorno específico son: Gumbel, Normal, Lognormal, Pearson III, y Log Pearson III.

##### **4.5.7.1. Distribución Normal.**

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$\sigma$  y  $\mu$  son parámetros de la distribución, que corresponden a la media y la desviación estándar de la población; pueden estimarse como la media y desviación estándar de los datos.

La ecuación que se muestra a continuación es la variable estandarizada de la función de probabilidad normal.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$\mu = \bar{x}$$

$$\sigma = S$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

#### 4.5.7.2. Distribución lognormal.

En esta función los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente, la función de densidad de probabilidad es:

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * \frac{1}{x\beta} * e^{-\frac{1}{2}(\frac{\ln x - \alpha}{\beta})^2}$$

Donde  $\beta$  y  $\alpha$  son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria. Sus valores se estiman a partir de  $n$  observaciones  $x_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ .

Como  $\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$  y  $\beta = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$ , la función de distribución de probabilidad es:

$$Z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$$

#### 4.5.7.3. Distribución Gumbel.

Al suponer que se tienen  $N$  muestras, cada una de las cuales contienen  $n$  eventos. Si se selecciona el máximo “ $x$ ” de “ $n$ ” eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que  $n$  aumenta, la función de distribución de probabilidad de  $x$  tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la función y se estiman como:

$\alpha = \frac{1.2825}{S}$  y  $\beta = \bar{x} - 0.45S$  para muestras muy grandes, o bien como:

$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$  y  $\beta = \bar{x} - \mu_y / \alpha$  para muestras relativamente pequeñas, donde  $\mu_y$  y  $\alpha_y$  se muestran en tablas.

#### 4.5.7.4. Distribución Pearson III o gamma de tres parámetros.

La función de densidad de probabilidad Pearson III se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left\{ \frac{X - \delta_1}{\alpha_1} \right\}^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{X - \delta_1}{\alpha_1}}$$

Donde  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$  y  $\delta_1$  son los parámetros de la función y  $\Gamma(\beta_1)$  es la función gamma (valores de tabla).

Los parámetros  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$  y  $\delta_1$  se evalúan a partir de  $n$  datos medidos a través las ecuaciones siguientes:

$$\bar{x} = \alpha_1 \beta_1 + \delta_1$$

$$S^2 = \alpha_1^2 \beta_1$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}}$$

Donde  $\bar{x}$  es la media de los datos,  $S^2$  su varianza y  $\gamma$  su coeficiente de sesgo, que se define como:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{S^3} / n$$

La función de probabilidad es:

$$y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1}$$

#### **4.5.8. Estimación de escurrimientos.**

Mediante el método de estimación de escurrimiento medio y máximo del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de EE.UU., se puede predecir el escurrimiento con base en datos de precipitación y características del suelo.

Dicho método estima el escurrimiento directo, considerando el escurrimiento superficial y subsuperficial e ignorando el escurrimiento en canales, para esto se emplean las curvas numéricas (CN), que son indicadoras de la proporción de la escorrentía, esto es, valores cercanos a 100 sugieren que el escurrimiento es producto del flujo superficial y la infiltración que se presenta se reduce al máximo.

A partir de la duración de la precipitación (minutos, horas o días), sin considerar la intensidad se puede estimar el escurrimiento. Con el método del SCS, al presentarse una tormenta de larga duración sobre un área y si se grafica la precipitación acumulada, se tiene que el escurrimiento se presenta después de cierto tiempo cuando la lluvia se acumula, a esto se le conoce como “abstracciones iniciales” o “lluvia”, después a cualquier tiempo existe una infiltración acumulada.

La precipitación efectiva ( $P_e$ ) es igual a la precipitación total ( $P$ ) menos las abstracciones iniciales ( $I_a$ ), como se indica en la siguiente expresión:  $PE = P - I_a$

Las abstracciones iniciales pueden ser estimadas en función del máximo potencial de escurrimiento mediante la siguiente ecuación:  $I_a = 0.2S$

$S$  = Retención máxima potencial

$S = (25,400/CN) - 254$

CN = curva numérica (adimensional)

#### **4.5.9. Curvas numéricas.**

Las curvas numéricas son una representación general de los coeficientes de escurrimiento y dependen del tipo y uso de suelo, así como de la condición hidrológica de la cuenca.

#### 4.5.10. Suelos.

Considerando la textura de los suelos, el SCS los clasificó en cuatro grupos de acuerdo a sus características hidrológicas para producir escorrentía.

Tipo A: (Esgurrimiento mínimo). Incluye gravas y arenas de tamaño medio, limpias y mezcla de ambas.

Tipo B: Incluye arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y limo.

Tipo C: Comprende arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezclas de arena, limo y arcilla.

Tipo D: (Esgurrimiento máximo). Incluye principalmente arcillas de alta plasticidad, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

#### 4.5.11. Condiciones hidrológicas del área de drenaje.

Este indicador y su variación dependen de la densidad de la cobertura, se agrupa en tres grandes categorías y se clasifica de acuerdo a su porte. El tipo de vegetación influye en la condición hidrológica.

##### 4.5.12.1. Condición hidrológica.

Buena	Cobertura > del 75%
Regular	Cobertura entre 50 y 75%
Mala	Cobertura < del 50%

La utilización de los terrenos ya sea como áreas de cultivo, pastizales o bosque tienen influencia sobre la escorrentía. Esto es más notorio cuando, además de la cubierta vegetal, se realizan tratamientos al suelo o se realizan sistemas de siembra en hileras, tupidos, en surcos rectos o al contorno.

Con la ecuación siguiente se puede calcular el escurrimiento medio:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde:

Q= Esgurrimiento medio (mm)

P= Precipitación (mm)

S= Retención máxima potencial

**Cuadro 1.** Curva numérica para estimar escurrimiento.

USO DE LA TIERRA O CUBIERTA	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques Naturales	Muy ralo o 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, alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin cultivo)	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivo de surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas (sembrada con maquinaria o al voleo) o potrero de rotación.	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surcos en curvas 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
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero (permanente)	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100
Arbustos	Mala	48	67	77	83
	regular	35	56	70	77
	bueno	30	48	65	73

#### 4.5.12. Relación Precipitación-Escorrimento.

##### 4.5.12.1. Hidrograma unitario adimensional.

Es uno de los métodos que relacionan la precipitación con el escurrimiento, para su aplicación se necesita contar con una estación de aforo de gastos a la salida de la cuenca y con una estación pluviográfica. Su objetivo es la determinación del hidrograma de escurrimiento superficial en la salida de una cuenca, a partir de los histogramas correspondientes a las lluvias caídas en dicha cuenca. Para el cálculo del gasto máximo ( $Q_{\text{máx}}$ ), por este método, se emplean las ecuaciones siguientes:

$$T_e = TC^{0.5} + 0.6 * TC$$

$$T_p = 0.5 * T_e + 0.6 * TC$$

$$T_r = 0.6 * TC$$

$$TR = 4 * T_p$$

$$T_b = T_r + T_p$$

Donde:

TC = Tiempo de concentración (fórmula de Kirpich).

Te = Duración efectiva.

Tp = Tiempo pico.

Tr = Tiempo de retraso.

TR = Tiempo de recesión.

Tb = Tiempo base.

Ac = Área de la cuenca.

$$Q_{\text{máx}} = \frac{P_e * A_c}{4.878 * T_p}$$

Empleando el criterio de cuencas planas, las ecuaciones que se utilizan son:

$$Q_{\text{máx}} = C * A^{5/6}$$

$$C = 4.59 + 1.62 * P_e$$

$$P_e = \frac{\left( \frac{P - 5080}{N + 50.8} \right)^2}{\frac{P + 20320}{N - 203.2}}$$

Donde:

$Q_{\text{máx}} = \text{Gasto máximo (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)}.$

$C = \text{Coeficiente que depende de las características de la cuenca y de la tormenta contra la que se quiere dar protección.}$

$A = \text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}.$

$P_e = \text{Precipitación efectiva.}$

$N = \text{Número de escurrimiento.}$

$P = \text{Precipitación correspondiente a la duración y periodo de retorno analizado.}$

Empleando el método de Ven Te Chow, las ecuaciones empleadas son:

$$Q_{\text{máx}} = 2.78 * A * P_e * \frac{Z}{T_e}$$

$$T_p = 0.5 * T_e + T_r$$

$$T_r = 0.00505 * \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

Donde:

$S = \text{Pendiente del cauce (\%)}.$

$L = \text{Longitud del cauce (m)}.$

$Z = \text{Factor de reducción del pico.}$

$$Z = \frac{T_e}{T_r}$$

Las variables  $A$ ,  $P_e$ ,  $T_e$ ,  $T_p$  y  $T_r$  fueron descritas anteriormente, por lo que solo se hace referencia a ellas.

#### **4.5.13. Hidrografía del área de estudio.**

El área de estudio pertenece a la Región Hidrológica No 28 Papaloapan, que por el volumen de su caudal es la segunda en importancia en el país, con una superficie aproximada de 46, 517 km<sup>2</sup>, generan un aporte hidráulico medio anual estimado en 46, 687 Mm<sup>3</sup>, lo que representa 13% de todos los escurrimientos de la República, en solamente 2.4% del área del territorio nacional. Por la región geográfica en la que se encuentra ubicada esta área, el factor hidrológico juega un papel determinante. Desde el momento en que sus límites geográficos los constituyen las márgenes de los ríos Papaloapan,

Tesechoacán y la confluencia de ambos, la influencia de la hidrología en el área de estudio se presenta tanto en los aspectos físicos como en el desarrollo económico y social.

El área se encuentra dentro de la cuenca del río Papaloapan conformada por las subcuencas de los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán. En lo que respecta a corrientes superficiales, la zona presenta una red de drenaje del tipo detrítico constituida por arroyos intermitentes cuyos cauces presentan niveles de aguas máximas durante la temporada de lluvias sin embargo, las principales corrientes superficiales las constituyen los ríos Papaloapan, Obispo, y Tesechoacán.

#### **4.5.13.1. Río Obispo.**

Inicia cerca del poblado Cascajal, al sur de la ciudad de Loma Bonita, Oaxaca, con un recorrido aproximado de 63 km en dirección noreste hasta descargar por la margen derecha en el río Papaloapan a la altura de la población de Cosamaloapan. Su subcuenca tiene una superficie de 1, 764 km<sup>2</sup> y está limitada por la de los ríos Papaloapan, Valle Nacional y Tesechoacán. Debido a la pequeña sección hidráulica del cauce, la capacidad de conducción es mínima y en algunos tramos el nivel de agua rebasa los terrenos adyacentes, haciendo prácticamente imposible el drenaje de los mismos.

En época de avenidas se obstaculiza la descarga al río Papaloapan, debido a que el tirante de este es mayor que el del río Obispo, provocando con esto un remanso y por consiguiente su desbordamiento. Otro obstáculo que presenta la descarga libre del río Obispo, es el terraplén del ferrocarril Veracruz-Istmo, que también provoca remansos y obliga a los escurrimientos a pasar por los tres puentes de ferrocarril más cercanos, provocando además lecturas erróneas en la estación Obispo, localizada aguas arriba del cruce con el ferrocarril.

En la estación obispo, se ha aforado un escurrimiento medio anual de 172.82 Mm<sup>3</sup>. Existen, en los terrenos de la margen derecha, algunas lagunas y los arroyos Agua Fría, Sesecapa, Agua Clara, Agua Clarita y otros que drenan los terrenos de la margen derecha del río Obispo que representan sus principales afluentes.

Por otra parte, en las márgenes derecha del río Obispo e izquierda del río Tesechoacán, existen terrenos con escasa pendiente y con numerosas depresiones naturales que dan origen a varias lagunas como son la de El Potrero (cercana a la ranchería del Castro con un área aproximada de 2 km<sup>2</sup>); la de San Bartola al norte de la ranchería, Las Carreras con 2.4 km<sup>2</sup> de área, la Laguna del Lagarto que se comunica con el río Obispo por su margen derecha y tiene un área de 2.2 km<sup>2</sup>.

#### **4.5.13.2. Río Tesechoacán.**

El río Tesechoacán es uno de los principales aportadores al río Papaloapan en la zona baja de la cuenca, este río se forma al unirse los ríos Cajones y Manso, aguas arriba de la localidad de Playa Vicente, a una altitud aproximada de 50 m.s.n.m., para incorporarse al río Papaloapan por la margen derecha a 20 km aguas arriba de la población de Tlacotalpan. La trayectoria del cauce es en dirección noreste con un cambio de dirección antes de su desembocadura en sentido noreste.

El cauce es de poca pendiente y escurre por la planicie costera, describiendo numerosos meandros y atravesando extensas llanuras de inundación y zonas pantanosas desde Playa Vicente hasta su desembocadura con el río Papaloapan. La longitud del cauce principal, desde la unión de los ríos Cajones y Manso hasta la confluencia con el río Papaloapan, es de unos 195 km. Aporta un escurrimiento medio anual de 6,126 Mm<sup>3</sup> y un acarreo de azolves de 897,000 m<sup>3</sup>, medidos en la estación Garro.

La estación hidrométrica Villa Azueta, que mide los escurrimientos del río desde 1951, registra un escurrimiento medio anual de 5,999.6 Mm<sup>3</sup> sobre un área de cuenca de 4,655.7 km<sup>2</sup> y un acarreo de azolve de 1,736 Mm<sup>3</sup>. Uno de los principales afluentes que forman el río Tesechoacán es el río Cajones, que nace en la Sierra Madre de Oaxaca a una elevación de 2,800 m.s.n.m., abarcando parte de las sierras Mixe, Oaxaca y Juárez a partir de sus afluentes Yacoche y Ayutla. El escurrimiento medio anual registrado en la estación Monte Rosa es de 3,508.4 Mm<sup>3</sup> con un área de cuenca hasta este sitio de 2,869.5 km<sup>2</sup>.

#### **4.5.13.3. Drenaje natural de la zona de estudio.**

El drenaje natural de la zona de estudio está formado en su red principal por el colector general, que es el río Papaloapan y sus afluentes los ríos Tesechoacán y Obispo.

El río Obispo descarga al Papaloapan por la margen derecha a la altura del poblado de Cosamaloapan. En su recorrido, el río Obispo recibe por su margen izquierda las aportaciones del arroyo Zacatixpan a la altura del poblado Cerro el Mango, aguas abajo por la margen derecha del río Obispo se incorpora al arroyo El Cura a la altura del poblado El Carmen. Estos arroyos son los drenes naturales de más importancia que descargan al río Obispo.

El río Tesechoacán descarga al Papaloapan por la margen derecha a la altura del poblado Boca del Río. En su recorrido dentro de la zona de estudio, el río Tesechoacán recibe por su margen izquierda las aportaciones del arroyo Los Marines a la altura del poblado Tenejapan de Mata; este arroyo es el dren natural más importante que descarga el río Tesechoacán en la zona de estudio. Existen varios drenes naturales de menor importancia que aportan sus caudales al Tesechoacán.

Existen en la zona otros arroyos de importancia que descargan directamente al río Papaloapan por la margen derecha, como son los arroyos Huaraches y Susana.

Por lo anterior, se observa que la zona cuenta con una red primaria de drenaje muy importante. Se presentan desbordamientos en el río Obispo, provocados por las altas precipitaciones, los niveles del agua elevados del río Papaloapan y la escasa pendiente de los cauces que conforman el drenaje de la zona de estudio, así como la reducción del área hidráulica producto del alto contenido de sólidos en suspensión y a las bajas velocidades en los cauces. Para la medición de los caudales, estas corrientes cuentan con varias estaciones hidrométricas. En el mapa de Hidrología Superficial del anexo (Mapa 3) se observa la distribución de los cuerpos de agua así como la red hidrológica de la zona de estudio.

## **4.6. SIMULACIÓN HIDRÁULICA.**

### **4.6.1. Definición de modelo.**

Un modelo es una descripción física o matemática de un sistema físico, incluyendo la interacción con el mundo que lo rodea, que puede utilizarse para simular el efecto de los cambios en el sistema mismo, o el efecto de los cambios en las condiciones impuestas sobre él (Verwey, 1995).

### **4.6.2. Importancia de los modelos.**

La importancia de los modelos radica, entre otros aspectos, en la predicción de fenómenos a largo plazo en un tiempo relativamente corto, también permiten obtener relaciones de causa-efecto sin haber realizado cambios en los sistemas reales (Benavides, 1998).

Además de que se tiene una infinidad de usos, sobre todo de los modelos matemáticos, las ventajas de esos modelos son:

- Se tienen respuestas cuantitativas de los fenómenos.
- Dan idea de los puntos en los cuales no se tiene información.
- Ayudan a definir metodologías.
- Ayudan a la investigación debido a que categorizan variables.
- Ayudan a interpolar y predecir.
- Ayudan a sugerir prioridades en la investigación y desarrollo.
- Ayudan a imaginar el funcionamiento del fenómeno físico.
- Son una herramienta para experimentar sin destruir.

### **4.6.3. Modelación hidráulica.**

Muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos. Por lo anterior es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales, como herramienta en la obtención de soluciones prácticas, aplicadas a problemas de ingeniería, estuarios, fluvial y obras hidráulicas en general.

Los métodos matemáticos plantean soluciones con modelos matemáticos idealizados, lo que permite simplificaciones importantes, que a su vez causan efectos que deben ser valorados mediante ensayos experimentales, a través de modelos físicos a escala reducida o de tipo analógico.

En hidráulica, el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real llamado prototipo. El procesamiento adecuado de información permite el empleo de prototipos en el diseño y operación de obras de ingeniería. En la actualidad se dispone de técnicas avanzadas de modelación física de fenómenos hidráulicos que permiten predecir con alto grado de certidumbre lo que pueda ocurrir en el prototipo y, por tanto, se obtienen óptimos resultados en los aspectos de funcionalidad, estabilidad y economía de las estructuras a construir. Esto justifica ampliamente la utilización de modelos hidráulicos.

El empleo de un modelo hidráulico implica establecer un programa definido de investigación experimental sobre todas las variables que intervienen, en forma particular o en grupo. Lo anterior se hace para poder verificar en su caso la validez de soluciones analíticas de un problema dado, o determinar las leyes de relación entre las diferentes variables que, extrapoladas al prototipo, permitan optimizar la eficiencia de cada uno de los elementos del sistema modelo-prototipo.

La aplicación de modelos, físicos o matemáticos, tiene limitaciones, ya que ésta depende de la complejidad del problema en la intervención de las variables y sus fronteras a tratar, siendo en algunos casos los modelos matemáticos los más apropiados.

#### **4.6.5. Modelos físicos reducidos (hidráulicos).**

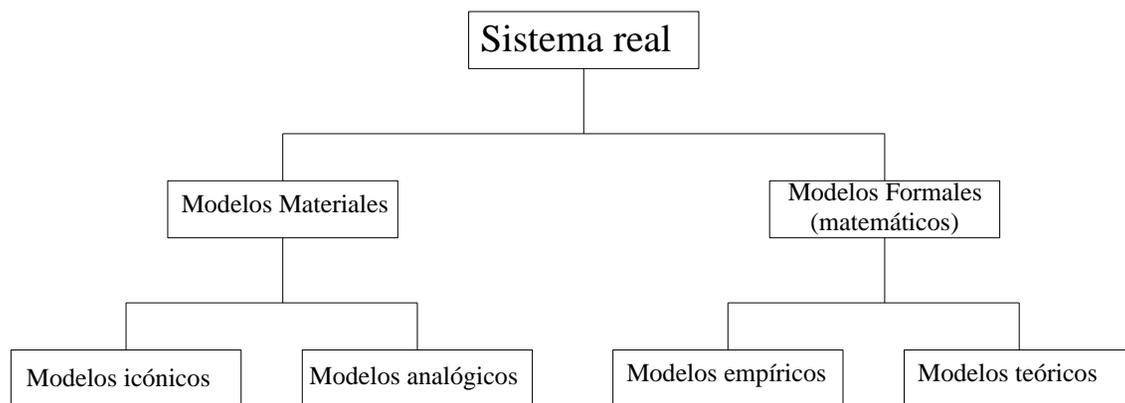
El uso de modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, implica que éstos deben ser semejantes al prototipo, para lo cual debe satisfacerse las leyes de similitud geométrica, cinemática y dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas.

Cuando se va a realizar una comparación con respecto a la similitud geométrica se definen puntos homólogos sobre los cuales se definen magnitudes tales como velocidad, presión,

etc.; de igual manera se definen lados, superficies y volúmenes homólogos. La similitud geométrica implica una relación constante para cualquier longitud  $L$ , esta relación es denominada escala de líneas de longitudes. Cuando la comparación entre el prototipo y modelo es con respecto a un movimiento, se establece entonces la similitud cinemática; ésta se cumple cuando la forma de los patrones de flujos homólogos es igual en cualquier tiempo, es decir, hay similitud en el movimiento de los sistemas. Es por esto que la relación de velocidades entre estos puntos debe ser constante y es denominada escala de velocidades. Es un requisito que se cumpla con la similitud geométrica, para que se cumpla la similitud cinemática.

En el movimiento de un fluido en el modelo y en el prototipo, para que sea similar en forma completa, no es suficiente con que se cumpla con las similitudes geométrica y cinemática, también es necesario tomar en consideración la acción de fuerzas sobre las partículas de un fluido, tales como fricción, tensión superficial, gravedad o peso, fuerzas de inercia, de Coriolis, entre otras. Lo anterior implica que la relación de fuerzas homólogas también debe ser constante, estableciéndose así la escala dinámica de fuerzas.

En el diseño de estructuras hidráulicas comunes se ha determinado cuales son los factores típicos que gobiernan su comportamiento y por lo tanto su modelación y diseño. Algunos de los modelos, usados en cualquier disciplina, pueden ser clasificados como lo hace Ozga (1976), ver Figura 5.



**Figura 5.** Clasificación de modelos.

#### **4.6.4. Modelación hidrológica.**

Las simulaciones hidrológicas pretenden capturar los más importantes componentes tierra-atmósfera del ciclo hidrológico. El Instituto Hidráulico Danés (DHI) ofrece una serie de modelos, incluyendo el MIKE SHE, que es una herramienta de modelado integrado de recursos hídricos capaz de simular todos los procesos principales sobre la fase terrestre del ciclo hidrológico. El Cuerpo de Ingenieros del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del Ejército de los Estados Unidos desarrolló el Sistema de Modelado Hidrológico del HEC (HSM), que simula los procesos de precipitación-escorrentía superficial de los sistemas de cuencas dendríticas.

Otros modelos hidrodinámicos son el MIKE21 y el MIKE3, del Instituto Hidráulico Danés, que pueden simular la hidráulica, la calidad del agua y el transporte de sedimento en ríos, lagos y áreas costeras y pueden ser utilizados para estudios de cuencas locales y regionales. Los modelos hidrodinámicos de HEC incluyen el HEC-RAS, que es un modelo unidimensional para cálculos hidráulicos y perfiles de agua superficial.

El grupo de modelación DHI proporciona un modelo de planificación basado en el SIG para el estudio de las opciones de manejo del agua, referidas como MIKE BASIN. El HEC-ResSim es un modelo de simulación de reservorios que puede describir reglas operativas tales como los requerimientos y las limitaciones de la descarga, los requisitos de la energía hidráulica y múltiples operaciones de reservorio, pero también requiere flujos prescritos de otros modelos.

El gran potencial que los modelos distribuidos ofrecen para el manejo o gestión integral de recursos hídricos generalmente contrasta con la cantidad significativa de variables de entrada y parámetros necesarios para esquematizar y representar de manera adecuada una cuenca en particular. Por lo tanto, es importante investigar cuál de esas variables de entrada son realmente significativas para la simulación de los procesos dinámicos que ocurren en el sistema hidrológico modelado.

**Cuadro 2.** Diferencias entre algunos de los modelos de simulación de inundaciones.

<b>Modelo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
MIKE11	<p>Interfase de fácil uso.</p> <p>Conversión de mapas de 2-D y 3-D a animaciones en Arcview sin necesidad de software adicional.</p> <p>Es completamente dinámico, por lo que es posible representar los procesos en tiempo y espacio.</p>	<p>El costo de la licencia es de alrededor de 6,000 dólares.</p> <p>La superficie del terreno usada, describe una zona cerrada, por lo que el comportamiento del agua es descrito por dicha superficie.</p>
HEC-RAS	<p>El modelo está disponible en Internet.</p> <p>Existe compatibilidad entre los datos generados por diferentes versiones del modelo, así como una interfase con Arc-View (HEC-HMS), para pre-procesar los datos antes de realizar el análisis en la interfase HEC-RAS.</p> <p>Es obtenido por investigación y análisis constante, por lo que se realizan avances en disminución de errores y dichas modificaciones están disponibles en forma libre.</p>	<p>El desarrollo de animaciones o mapas a través del tiempo requiere software adicional</p>
FLO-2D	<p>La interfase, así como los módulos de pre-procesamiento son de fácil uso y compatibilidad con diversos formatos (CAD, GIS e imágenes).</p> <p>Es completamente dinámico, por lo que es posible representar los procesos en tiempo y espacio.</p> <p>El área puede considerarse cerrada o abierta, además de opciones en variación de precipitación, así como tormentas en movimiento.</p> <p>A diferencia de los anteriores, cuenta con “ajustes” automáticos de acuerdo al principio de conservación de volumen.</p>	<p>Los diferentes valores como rugosidad e infiltración son únicos en cada celda.</p> <p>El proceso de simulación para grandes áreas requiere de mucho tiempo de procesamiento y computadoras de gran capacidad.</p>

#### **4.6.6. Límites de aplicación.**

En todo modelo matemático se debe especificar claramente el marco dentro del cual fue desarrollado, su jerarquía y los objetivos considerados (generales y particulares). Con esta información, el usuario podrá conocer el campo de aplicación real y los límites físicos y analíticos más allá de los cuales el uso del modelo puede ser inadecuado.

Como límites físicos se pueden citar, por ejemplo, las condiciones climáticas extremas bajo las cuales el modelo fue validado, de otra manera el modelo no podrá usarse en regiones tropicales o templadas, ya que existe el riesgo de tener diferencias y errores. Como límites analíticos se pueden considerar el número máximo de observaciones requeridas, la precisión considerada, el coeficiente de eficiencia necesario para comparar los valores observados y calculados, entre otros.

Dutta y Nakayama (2008) realizaron un estudio para analizar los efectos de la resolución de cuadrícula sobre flujos de pico de simulado de río y la inundación de superficie en dos cuencas seleccionadas mediante un modelo hidrológico distribuido basado en el proceso. Los resultados muestran que la resolución de cuadrícula afecta significativamente a los flujos de pico del río simulado y características de la superficie de inundación.

#### **4.6.7. Consideraciones del modelo de simulación utilizado.**

La empresa SIGSA (Sistemas de Información Geográfica S.A. de C.V., 2010) menciona que el MIKE (de DHI) es un conjunto de productos de modelado hidráulico para ciudades, ríos, lagos, estuarios, bahías, y zonas marítimas y costeras. Los modelos MIKE son el resultado de años de experiencia dedicados al desarrollo de herramientas competitivas. Los modelos MIKE realmente simulan el mundo del agua: desde la montaña hasta el océano y desde agua potable hasta drenaje.

El Instituto Hidráulico Danés (DHI) ofrece una serie de modelos, incluyendo el MIKE SHE, que es una herramienta de modelado integrado de recursos hídricos capaz de simular todos los procesos principales sobre la fase terrestre del ciclo hidrológico (UNFCCC, 2010).

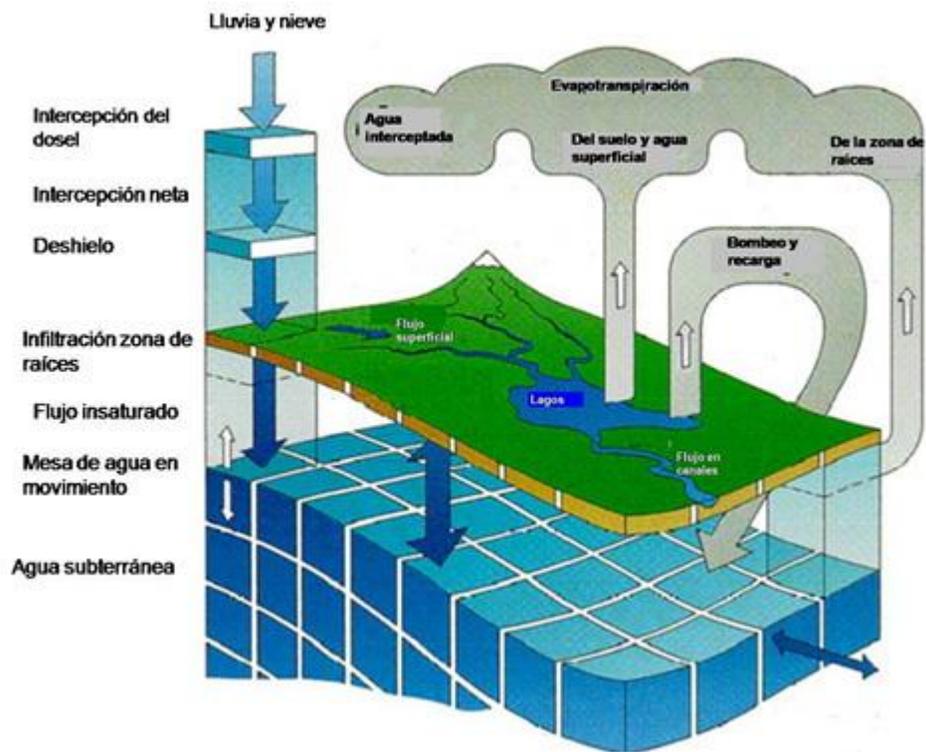
En el ciclo hidrológico, el agua se evapora de los océanos, lagos y ríos, y las plantas la toman del suelo. Este vapor de agua es transportado en la atmósfera y cae nuevamente a la superficie terrestre como agua y nieve. Se infiltra al subsuelo y se descarga a las corrientes y ríos como flujo base. También escurre directamente a las corrientes y ríos como flujo de retorno a los océanos. El ciclo hidrológico es entonces cerrado, el agua no se termina y seguirá siempre ocupando el mismo volumen, sin embargo, las actividades humanas

cotidianas, afectan el movimiento, transferencia, calidad y, por tanto, disponibilidad de agua.

En 1969, Freeze y Garland propusieron un modelo para simular el ciclo hidrológico, en el cual se describen diferentes procesos del flujo a partir de sus ecuaciones parciales gobernantes. Las ecuaciones usadas en el modelo fueron reconocidas para representar los procesos físicos a una escala apropiada en las diferentes etapas del ciclo hidrológico. Y, a partir de 1977, un consorcio de tres organizaciones europeas desarrollaron y aplicaron ampliamente, el *Système Hydrologique Européen* (SHE) basado en el modelo original de Freeze and Garland. Y el Sistema de Modelación Hidrológica Integrado, surgido de dicho proyecto, es el que se ha empleado en la presente investigación. Ver Figura 6.

Desde mediados de los años 80s, este procedimiento ha sido fuertemente desarrollado y promocionado por DHI Water & Environment, constituyendo a la fecha, un avanzado y flexible sistema para la modelización hidrológica, debido a que incluye una base de herramientas amplia para el pre y post procesamiento de la información, cubriendo los principales procesos del ciclo hidrológico tales como: evapotranspiración, flujo superficial, flujo no saturado, flujo subterráneo, flujo en canales y sus interacciones. Cada uno de estos procesos puede ser representado a diferentes niveles de distribución y complejidad, de acuerdo a los objetivos de la modelación, la disponibilidad de los datos de campo y de las opciones del modelador.

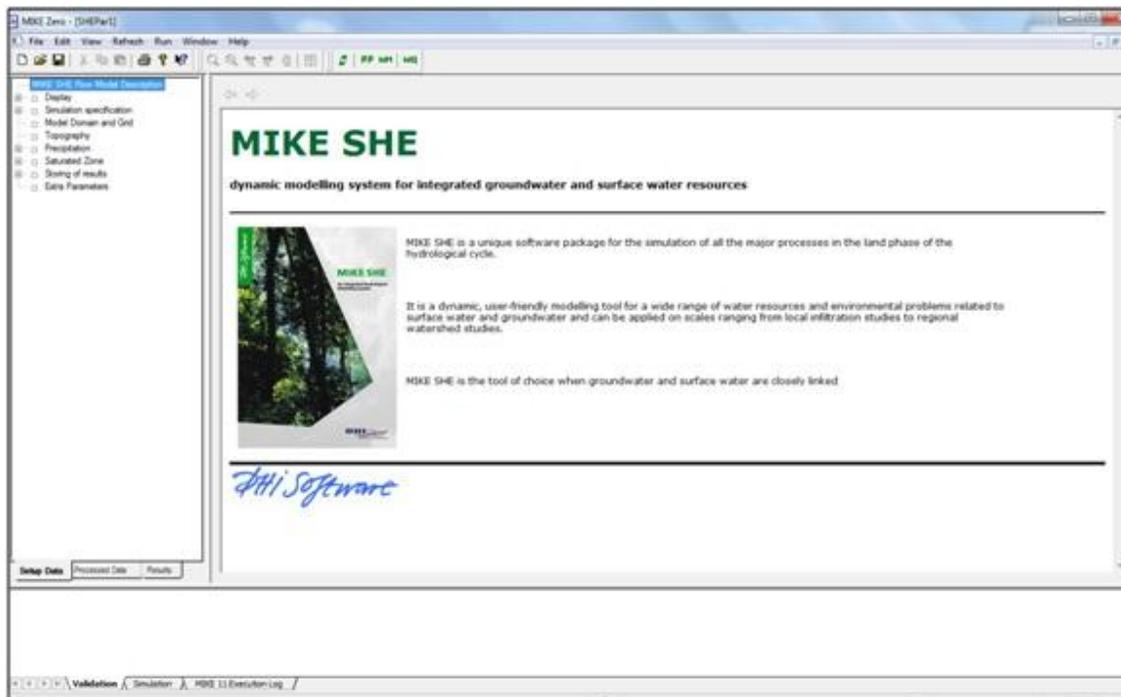
MIKE SHE es un código hidrológico determinístico (que se basa en principios físicos) y distribuido que describe la fase terrestre del ciclo hidrológico. El módulo del movimiento del agua (WM) es el componente principal de MIKE SHE que puede modelar: la retención en la vegetación, la evapotranspiración real ( $ET_{act}$ ), el flujo superficial (bidimensional, onda difusiva), flujo en canales (unidimensional, onda difusiva), flujo en la zona saturada (ecuación bidimensional o tridimensional de Boussinesq), flujo en la zona subsaturada (ecuación unidimensional de Richards) e intercambio entre los acuíferos y ríos (Vázquez *et al.*, 2004).



**Figura 6.** Procesos hidrológicos simulados.

El sistema de modelación MIKE SHE es capaz de simular el movimiento del agua superficial y subterránea, las interacciones entre los sistemas de agua superficial y subterránea, y los problemas puntuales y no puntuales asociados con la calidad del agua en la fuente de abastecimiento (Jan y Zhang, 2000). El sistema no tiene limitaciones en cuanto al tamaño de la cuenca. En el Cuadro 3 se muestran los componentes y características del modelo. Primeramente, el área del modelo se divide en polígonos basados en el uso del suelo, tipo de suelo, y áreas de precipitación; a los polígonos luego se les asigna números de identificación. Los archivos de entrada del modelo se pueden generar sobreponiendo los parámetros de entrada del modelo con una red de cuadrícula. La mayoría de la preparación de datos y la creación del modelo se basa en el uso del software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ArcView, o en el pre-procesador gráfico incluido en el MIKE SHE.

El sistema de modelación MIKE SHE simula los componentes hidrológicos, incluyendo el movimiento del agua superficial, el agua subsuperficial no saturada, el agua subterránea saturada, y los intercambios entre el agua superficial y subterránea. En lo que se refiere a la calidad del agua, el sistema simula el transporte de sedimentos, nutrientes y pesticidas en el área modelada. El modelo también simula las operaciones de uso y manejo del agua, incluyendo sistemas de riego, pozos de bombeo, y varias estructuras de control de agua. Una variedad de prácticas agrícolas y alternativas de protección al ambiente deben evaluarse usando muchos de los módulos desarrollados en el Instituto Hidráulico Danés. El sistema tiene un pre-procesador gráfico y digital incluido para la calibración y evaluación de condiciones actuales y alternativas de manejo. La animación de los escenarios del modelo es otra herramienta útil para analizar y presentar los resultados.



**Figura 7.** Interface del modelo MIKE SHE.

La interface del MIKE SHE consta de cuatro partes (ver Figura 7):

- a) En la parte superior: La barra de herramientas y los menús desplegables. Contiene iconos de acceso rápido para muchas operaciones del MIKE SHE que se pueden ejecutar a través de los menús. También, cambian dependiendo de las herramientas que están actualmente en uso.

- b) A la izquierda: El árbol de datos dinámicos y las pestañas de control.  
 Despliega los elementos de datos requeridos para correr el modelo como se definió actualmente. Si se agregan o eliminan procesos hidrológicos o si se cambian parámetros numéricos, la forma del árbol de datos cambiará.
- c) A la derecha: El área de diálogo del contexto sensitivo.  
 El área de diálogo es diferente para cada elemento en el árbol de datos.
- d) En la parte inferior: El área de validación y el área para uso del ratón.  
 El área de despliega información de los datos faltantes o elementos de datos inválidos. Cualquier elemento desplegado aquí está ligado al cuadro de diálogo en el cual ocurrió el error. El área para el uso del ratón despliega coordenadas dinámicas y valores de información relacionada con la posición del ratón en el área del mapa de cualquier cuadro de diálogo espacial.

**Cuadro 3.** Componentes y características especiales del modelo MIKE SHE.

CARACTERÍSTICAS	INCORPORADO EN EL MODELO	OBSERVACIONES
<b>Modelo en general</b>		
Escala espacial	Captación	Escalable, pero limitada por la memoria de la computadora.
Capacidad de acercamiento	Sí	Puede crear fácilmente un modelo fino de cuadrícula en un modelo de cuadrícula grande.
Discretización	Celdas de cuadrícula	Sólo celdas de cuadrícula.
Escala temporal	Días o minutos	Flexible, dependiendo de los proyectos.
<b>Estructura del modelo</b>		
Modular	Sí	Las funciones del modelo se pueden seleccionar en base a las necesidades.
<b>Simulación del agua</b>		
Intercepción/Evapotranspiración	Sí	Cobertura vegetal y diferentes opciones para calcular la evapotranspiración real.
Flujo superficial	Sí	Ecuaciones simplificadas de Saint-Venant.
Flujo no saturado	Sí	Métodos de ruta simple o Ecuación de Richard.
Flujo de agua subterránea	Sí	Flujo saturado en 3-D con sistemas de acuíferos múltiples.
Flujo en canales	Sí	Ecuación de Saint-Venant u opciones para métodos simplificados.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INCORPORADO EN EL MODELO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Intercambio acuífero-río	Sí	Contribuciones del flujo-base y pérdidas.
Deshielo	Sí	Días-grados o método de balance de energía.
Riego	Sí	De fuentes de agua superficial y/o bombeos de agua subterránea.
Simulación de tormenta simple	Sí	Curva SCS y métodos opcionales.
Estructuras de agua superficial	Sí	Variedad de estructuras.
<b>Sedimentación</b>		
Erosión del suelo	Sí	Permite el desarrollo de depresiones y surcos en una cuenca.
Transporte no cohesivo	Sí	Cuatro métodos para rangos de transporte y cambios en el nivel freático. Limitado a canales, no escurrimiento superficial.
Transporte cohesivo	Sí	Erosión y depósito de flujo superficial.
Clases de tamaño de partícula	Sí	Un promedio de tamaño de partícula y desviación del tamaño de distribución de los granos.
<b>Calidad del agua</b>		
Advección/Dispersión	Sí	Transporte de solutos de fuentes puntuales o no puntuales en flujo superficial, flujo no saturado o flujo saturado de agua subterránea.
<b>Suelo y agua subterráneos</b> Componentes: Rastreo de partículas Adsorción/Degradación Transporte de oxígeno	Sí Sí Sí	Concepto de avance aleatorio (modulo incluido). Consumo de degradación de suelo de primer orden (modulo incluido).
Componentes de ruta de canal: Relación BOD-DO Nitrificación/Desnitrificación Sedimentación y re suspensión Retención/asimilación de fósforo Consumo de oxígeno Metales pesados	Sí Sí Sí No Sí Sí	Módulos incluidos para aplicaciones específicas.
Asimilación de nitrógeno por los cultivos Asimilación de fósforo	Sí No	Evaluación de los impactos regionales de gestión de la producción agrícola en la calidad del agua.
Economía	No	
<b>Interface gráfica de usuario</b>		
Pre y post-procesamiento	Sí	Interface gráfica de usuario amigable para pre y post-procesamiento.
Interface con SIG	Sí	Importa y exporta datos.
Animación	Sí	Herramienta muy útil para análisis y presentaciones.

### **Procesos hidrológicos del Modelo**

- Evapotranspiración
- Evaporación del dosel de las plantas
- Evaporación del suelo
- Evaporación de los cuerpos de agua
- Transpiración de la zona de raíces

### **Esguerrimiento**

- Almacenamiento
- Esguerrimiento superficial

### **Flujo en canales**

- Flujo en ríos
- Inundaciones

### **Flujo en zonas no saturadas**

- Infiltración
- Distribución de la humedad
- Déficit de humedad

### **Flujo en zonas saturadas**

- Flujo subsuperficial
- Cambio en el almacenamiento subsuperficial

### **Ecuaciones Básicas Utilizadas**

El modelo está basado en la ecuación de diferencias finitas para la solución de diferencias parciales:

- Flujo superficial (2D Saint-Venant)
- Ríos (1D Saint-Venant)
- Zona no saturada (1D ecuación de Richard)
- Flujo subsuperficial (3D ecuación de Boussinesq)
- Evapotranspiración (ecuación de Kristensen y Jensen)

Las ecuaciones de Saint Venant (de continuidad, de conservación de masa y cantidad de movimiento) o ecuaciones unidimensionales de onda larga, describen el flujo no permanente en canales abiertos con base en lo siguiente:

- El agua es incompresible y homogénea, es decir, la variación de la densidad del agua en la dirección vertical es despreciable.
- La pendiente del fondo es muy pequeña, por lo cual el coseno del ángulo que forma con la horizontal puede considerarse igual a 1.0.
- Las longitudes de onda son grandes comparadas con la profundidad del agua. Esto asegura que el flujo es paralelo al fondo, es decir, que las aceleraciones verticales del flujo pueden despreciarse y por lo tanto, se tiene una distribución hidrostática de presiones.
- La velocidad es aproximadamente uniforme en la sección transversal, normal a la dirección principal del flujo.
- El flujo es subcrítico. Sin embargo, el flujo supercrítico también puede ser modelado empleando condiciones más restrictivas.

Las ecuaciones de Saint Venant que describen el flujo unidimensional de la onda larga y superficie libre en régimen no permanente son las siguientes:

- Ecuación de continuidad o de conservación de la masa de agua:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

- Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

Donde:

t = Tiempo, s

x = Distancia medida a lo largo del eje del canal, m

Q = Caudal, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

A = Area hidráulica, m<sup>2</sup>

q = Flujo lateral (descargas de tributarios y captaciones), m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

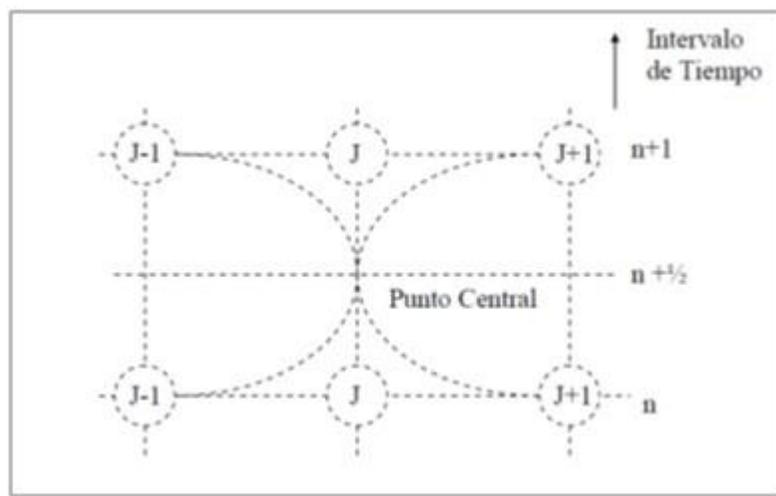
$h$  = Altura del nivel de agua con respecto al datum o nivel de referencia, m

$C$  = Coeficiente de rugosidad de Chezy,  $m^{0.5} s^{-1}$

$R$  = Radio hidráulico, m

$\alpha$  = Factor de corrección debido a la distribución no uniforme de la velocidad en el término de transporte.

En el proceso de simulación, las ecuaciones hidrodinámicas de continuidad y cantidad de movimiento son resueltas empleando el método de diferencias finitas. Las ecuaciones son discretizadas en espacio y tiempo sobre una malla computacional de puntos alternados de  $Q$  (caudal) y  $h$  (nivel del agua), basándose en el esquema implícito de diferencias finitas, desarrollado por Abbott y Ionescu (1967) y denominado Esquema de Abbott de los 6 puntos, ver Figura 8. La malla computacional es generada automáticamente de acuerdo con los requerimientos del simulador. Los “puntos  $Q$ ” son ubicados en el punto medio entre los “puntos  $h$ ” vecinos (aguas arriba y aguas abajo de cada “punto  $Q$ ”) y también donde se tienen estructuras, mientras que los “puntos  $h$ ” se ubican en los sitios donde se tienen secciones transversales, o a intervalos equidistantes si la distancia entre las secciones transversales es mayor que un espaciamiento máximo definido por el usuario ( $dx_{m\acute{a}x}$ ).



**Figura 8.** Esquema centrado de Abbott de los 6 puntos.

El esquema es aplicable en flujos verticalmente homogéneos, en ríos y canales de pendiente variada, desde ríos de pendiente pronunciada hasta ríos y estuarios de pendiente muy baja

(influenciados por la acción de las mareas). Tanto los flujos subcríticos como los supercríticos pueden ser descritos por medio de un esquema numérico que se adapta de acuerdo con las condiciones de flujo locales. Así mismo hace uso de ecuaciones analíticas y empíricas para el caso de: evapotranspiración, drenaje y riego.

### **Integración del Proceso Hidrológico**

El modelo integra diferentes procesos:

- Escalas espaciales.
- Escalas de tiempo.
- Variación de procesos tanto como se requiera.
- Escalas de tiempo independientes y controladas automáticamente.
- Procesos más simples, que son más rápidos y requieren una menor cantidad de información.

En la Figura 9 se muestra un esquema representativo de la manera de considerar todos los procesos que integran la simulación, así como el fundamento teórico correspondiente.

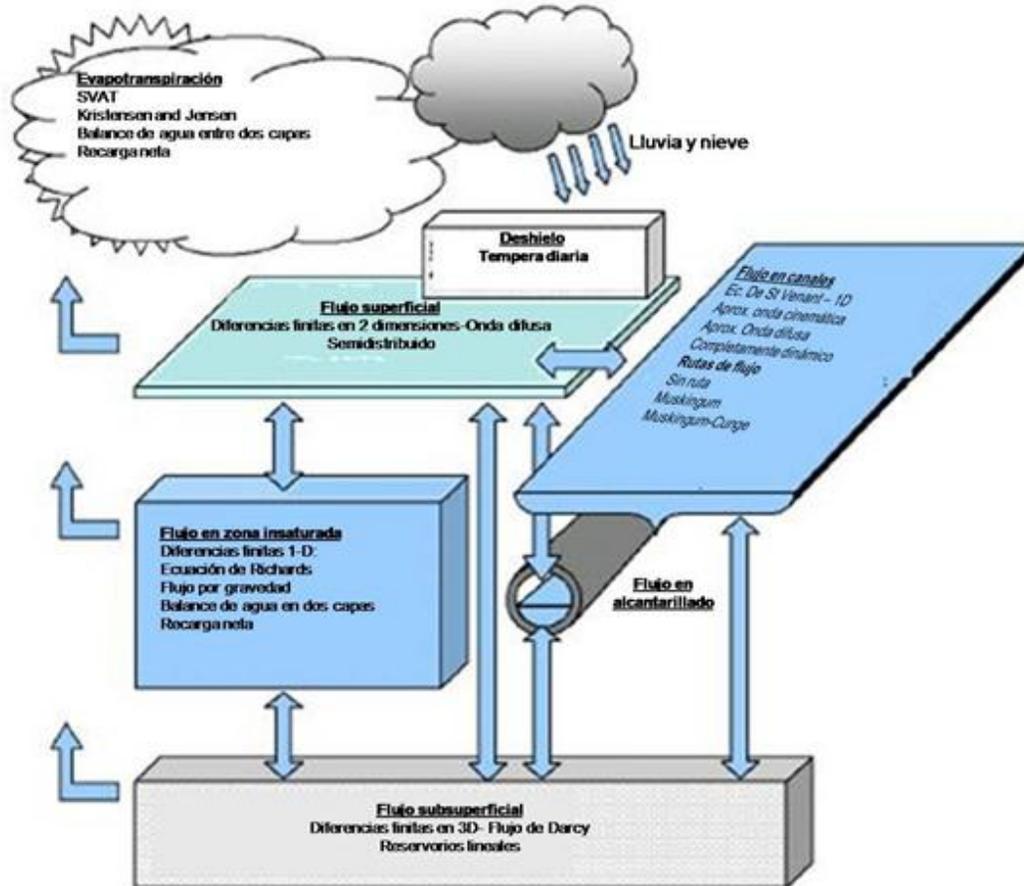
### **Requerimientos Hidrometeorológicos**

Los requerimientos hidrometeorológicos mínimos del modelo son los correspondientes a:

- Precipitación.
- Evapotranspiración.
- Niveles de agua superficial.
- Profundidad del nivel freático.

### **Requerimientos Hidrogeológicos**

- Geología superficial.
- Propiedades físicas del suelo (contenido de humedad a saturación, a CC, a PMP, velocidad de infiltración, etc.).
- Propiedades de la vegetación (profundidad de raíces, índice de área foliar, etc.).
- Condiciones de frontera.



**Figura 9.** Esquema de integración del proceso hidrológico utilizado.

#### 4.7. ACCIONES PARA EVITAR O REDUCIR INUNDACIONES.

##### 4.7.1. Acciones estructurales para evitar o reducir inundaciones.

De acuerdo con Maza y Franco (1990), estas acciones consisten en la construcción de obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o con la que escurre por los ríos, para impedir su paso, confinarla, encauzarla, almacenarla o modificar su velocidad de desplazamiento y caudales. Las obras que pueden ser construidas para reducir inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos son:

- a. Bordos perimetrales a poblaciones o construcciones de importancia.
- b. Bordos longitudinales a lo largo de una o ambas márgenes del río.
- c. Muros longitudinales a lo largo de una o ambas márgenes del río.
- d. Desvíos permanentes por medio de cauces de alivio.
- e. Desvíos temporales a lagunas o zonas bajas de la planicie de inundación.

- f. Corte de meandros o rectificaciones. Incrementan la pendiente del río y por lo tanto su capacidad hidráulica.
- g. Presas de almacenamiento.
- h. Presas rompe-picos.
- i. Presas para retener azolves.
- j. Remoción de la vegetación.
- k. Dragado del cauce principal y demolición de obstáculos.
- l. Reforestación de la cuenca.
- m. Canalización o entubamiento de un cauce. Se utiliza en los tramos en que los arroyos o ríos cruzan poblaciones o ciudades.

#### **4.7.2. Acciones estructurales para evitar o reducir inundaciones por lluvia local.**

El agua de lluvia que cae localmente en una región se puede acumular produciendo también inundaciones. Estas inundaciones se deben a diferentes causas, entre las que se pueden señalar:

- Suelos poco permeables.
- Terrenos con poca o nula pendiente.
- Terrenos confinados en forma natural.
- Terrenos confinados artificialmente con terraplenes de caminos, ferrocarriles, canales y bordos longitudinales.
- Drenaje natural azolvado o destruido.
- Lluvia en exceso, mayor a la capacidad de drenaje local.
- Incremento en la elevación del nivel freático.

Las inundaciones por lluvia local se reducen o evitan completamente con un drenaje adecuado, que puede estar formado por uno o varios de los elementos siguientes:

- a. Drenes, desde uno hasta una red completa.
- b. Estaciones de bombeo.
- c. Compuertas.
- d. Puentes y alcantarillas.
- e. Dragados de cauces y drenes actuales.
- f. Remoción de la vegetación en cauces y drenes existentes.

#### **4.7.3. Acciones no estructurales para evitar o reducir inundaciones.**

Las acciones no estructurales o indirectas para el control de inundaciones están relacionadas con estudios hidrológicos e hidráulicos, y no incluyen la construcción de obras. Su objetivo principal consiste en evitar o reducir los daños causados por inundaciones, sobre todo las pérdidas de vidas humanas, avisando oportunamente a las personas que pueden ser afectadas. Por otra parte, dentro de las acciones no estructurales se debe visualizar el libre escurrimiento del agua sobre la planicie, para evitar su acumulación en zonas que pueden ocasionar graves daños. Esto último se logra cuando al agua desbordada se le permite un paso libre, rompiendo los canales o caminos que se pueden interponer a su desplazamiento, o bien, construyendo los puentes necesarios, o excavando algunas zanjas para lograr que el agua retorne al río nuevamente, en algún tramo de aguas abajo. Debe tenerse en mente que las acciones para la prevención de desastres tienen también como objetivo evitar la pérdida de vidas humanas, pero además, auxiliar a la población ante la presencia de cualquier desastre.

### **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

En esta investigación se realizaron los estudios de factibilidad técnica y económica para un proyecto de inversión, en este caso para drenaje de una zona agrícola. La finalidad fue evaluar la factibilidad técnica y financiera de incorporar superficie con potencial agrícola a la zona piloto del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán, haciendo más eficiente el uso de los recursos naturales como suelo y agua. Primero se recopiló e integró información existente de la zona de estudio, después se complementaron los estudios básicos de factibilidad y se hizo un diagnóstico de la situación actual. Luego se realizó la modelación hidrológica de las inundaciones en el área de estudio con un software que calcula las envolventes de inundación en áreas precisas y georeferenciadas. Finalmente, se planteó la ingeniería del proyecto para solucionar la problemática del lugar y se obtuvieron los costos de inversión necesarios. Durante el desarrollo de la investigación se elaboraron mapas en el programa ArcGIS, dichos mapas se presentan en el anexo de este documento.

### ***5.1. PLATAFORMA DE DESARROLLO.***

La información se obtuvo de diversas fuentes documentales tanto escritas como publicadas en portales electrónicos, así mismo se complementó con entrevistas realizadas a productores de las comunidades del área de estudio, además de recorridos de campo y puntos de control. Para la simulación hidrológica, se utilizó una computadora personal con Windows 7 y 3 GB de memoria RAM. Los principales programas comerciales que se han requerido para esta investigación son: MIKE (MIKE11, MIKE21, MIKE SHE, MIKE COUPLE), ArcGIS, ArcView y sus utilidades, Microsoft Excel, Microsoft Word, AutoCAD, CivilCAD, Internet Explorer, Google Earth, WinRar, Corel Photo Paint, entre otros.

### ***5.2. RECOPIACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.***

Se recopiló documentación de los estudios realizados por la Dirección de Programación del Organismo de Cuenca Golfo Centro para la actualización del estudio de factibilidad del Proyecto de Temporal Tecnificado Bajo Papaloapan-Tesechoacán, Estado de Veracruz, en una superficie de 120,000.0 ha. La información requerida para esta investigación fueron los aspectos físicos y naturales de la zona del proyecto, la infraestructura y producción agropecuaria actual, estudios básicos como la topografía, agrología, agroclimatología, datos censales, climatología hidrométrica, infraestructura y servicios, datos socioeconómicos, de tenencia de la tierra, uso del suelo, características de los sistemas productivos de la región, costos de producción, utilización de insumos, asesoría técnica, de servicios de apoyo a la producción y formas de organización para la producción.

### ***5.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.***

Se revisó y verificó mediante recorridos de campo la información existente en lo relativo a infraestructura de servicios, tenencia de la tierra, uso actual del suelo, comercialización, agricultura y ganadería, aspectos socioeconómicos, factores institucionales y de organización, almacén de insumos y productos agropecuarios; información que es básica para llevar a cabo la evaluación técnica, social y económica del proyecto.

#### **5.4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.**

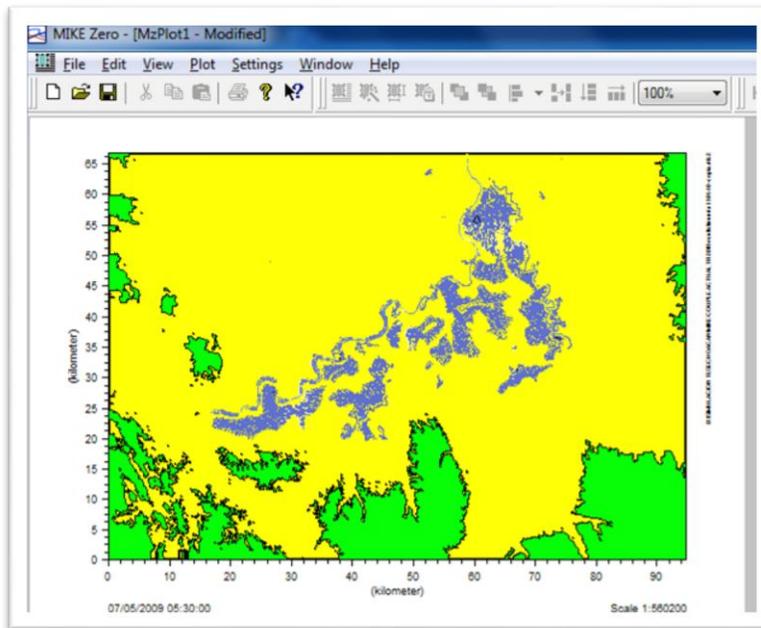
Con base en la información existente y en el inventario de infraestructura productiva, de servicios e hidráulica, se identificaron los problemas y causas en el manejo y uso de las instalaciones y su repercusión en la producción.

#### **5.5. ESTUDIOS BÁSICOS.**

En la presente investigación se realizó el estudio topográfico de la zona extensiva del área de interés, con el objetivo de generar un plano suficientemente preciso a una escala adecuada para proyectar, sobre él, los sistemas de distribución de drenaje y caminos que se construirán o rehabilitarán en el área en estudio.

Con base en la información topo batimétrica, climatológica e hidrográfica, se actualizaron los estudios hidrológicos y se realizó la simulación hidráulica, mediante un modelo matemático confiable (MIKE del Instituto Hidráulico Danés) para detectar las superficies precisas de inundación en el área de estudio y poder así desarrollar la ingeniería de proyecto. El procesamiento de información con el modelo MIKE, para realizar la simulación hidrológica, fue de la siguiente manera:

- Definición del modelo y celdas de dominio.
- Definición de la topografía.
- Definición de ríos y drenes.
- Trazo en planta y secciones transversales de ríos y drenes.
- Hidrograma por periodo de retorno (5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años), para los ríos Papaloapan, Tesechoacán y Obispo.
- Precipitación máxima en 24 horas para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años, de las estaciones climatológicas consideradas como representativas de la zona de estudio.
- Evapotranspiración de referencia promedio.
- Distribución espacial y características de los tipos de vegetación existentes en la zona de estudio.
- Distribución espacial y características físicas de los tipos de suelo existentes en la zona de estudio.



**Figura 10.** Software MIKE de del Instituto Hidráulico Danés (DHI).

### ***5.6. INGENIERÍA DE PROYECTO.***

De acuerdo con los resultados de la simulación hidrológica, se realizó la ingeniería de proyecto, describiendo acciones que son necesarias para atender la problemática detectada (inundaciones). Se plantearon dos opciones de solución, se calcularon los presupuestos y se programaron las acciones requeridas para su implementación. La problemática del área de estudio se analizó, planteando y elaborando proyectos de las obras que permiten un mejor aprovechamiento de los recursos físicos y naturales. Dichas obras incluyen: el sistema de drenaje para eliminar el exceso de agua pluvial y reducir las variaciones del manto freático a niveles que no afecten el desarrollo de las plantas, drenar zonas bajas o empantanadas y desalojar el agua que escurre de cuencas externas a la zona de proyecto y de los arroyos que cruzan dicha zona; una red de caminos que permita sacar las cosechas e introducir los insumos en cualquier época del año; así como las obras de protección contra el desbordamiento de arroyos y ríos. Las alternativas propuestas fueron 2 y se detallan en los resultados. Los costos del proyecto se desglosan de acuerdo con la infraestructura hidráulica requerida de temporal tecnificado y de protección contra inundaciones, incluyendo el drenaje a nivel parcelario, la operación y mantenimiento, la infraestructura de apoyo, y los porcentajes de supervisión, imprevistos e IVA correspondientes.

## 6. RESULTADOS

### *6.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA ZONA DE ESTUDIO.*

#### **6.1.1. Localización.**

Para la Comisión Nacional del Agua (2010), un Distrito de Temporal Tecnificado (también denominado Distrito de Drenaje) es el área geográfica destinada normalmente a las actividades agrícolas que no cuenta con infraestructura de riego, en la cual mediante diversas técnicas y obras se aminoran los daños a la producción por ocurrencia de lluvias fuertes y prolongadas o en condiciones de escasez, se aprovecha con mayor eficiencia la lluvia y la humedad en los terrenos agrícolas.

La zona de estudio se sitúa en el estado de Veracruz; su límite lo conforma un polígono irregular cuyas coordenadas geográficas extremas son: 17° 50' 11" y 18° 31' 23" de latitud norte, y 95° 33' 25" y 96° 04' 22" de longitud oeste. De acuerdo con la descripción y los límites reportados por CNA-ICA (1992), el área de estudio abarca una superficie de 1,178.40 km<sup>2</sup> y comprende los municipios de Tlacotalpan, Amatlán, José Azueta, Chacaltianguis, Tuxtilla, Tlacojalpan, Otatlán, Playa Vicente y Carlos A. Carrillo.

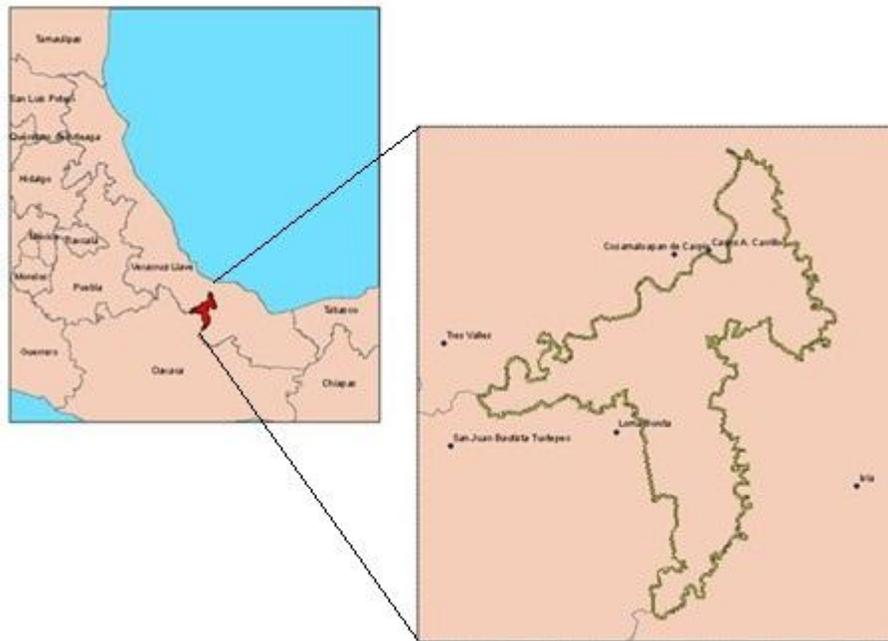
En el Cuadro 4 se reporta la superficie y el porcentaje de los municipios en el área de estudio. Asimismo, los límites descritos indican que al oriente, está limitada por el tramo de la margen izquierda del río Tesechoacán, el límite occidental coincide con la margen derecha del río Papaloapan, al sur limita con la línea divisoria de los estados de Veracruz y Oaxaca.

Esta zona cuenta con uno de los más altos niveles de precipitación en todo el país, con láminas anuales superiores a los 1,700 mm. Sin embargo, esta misma magnitud en la precipitación propicia que los cultivos sean severamente afectados junto con las vías de comunicación (caminos) que son escasas. De la misma manera, el incremento en los niveles de los ríos y arroyos hace que se desborden e inunden áreas contiguas a las riberas de los ríos, dichos daños continuarán frenando el desarrollo de la zona si no se dispone de una infraestructura de drenaje adecuada.

**Cuadro 4.** Municipios y superficie que ocupan en el área de estudio.

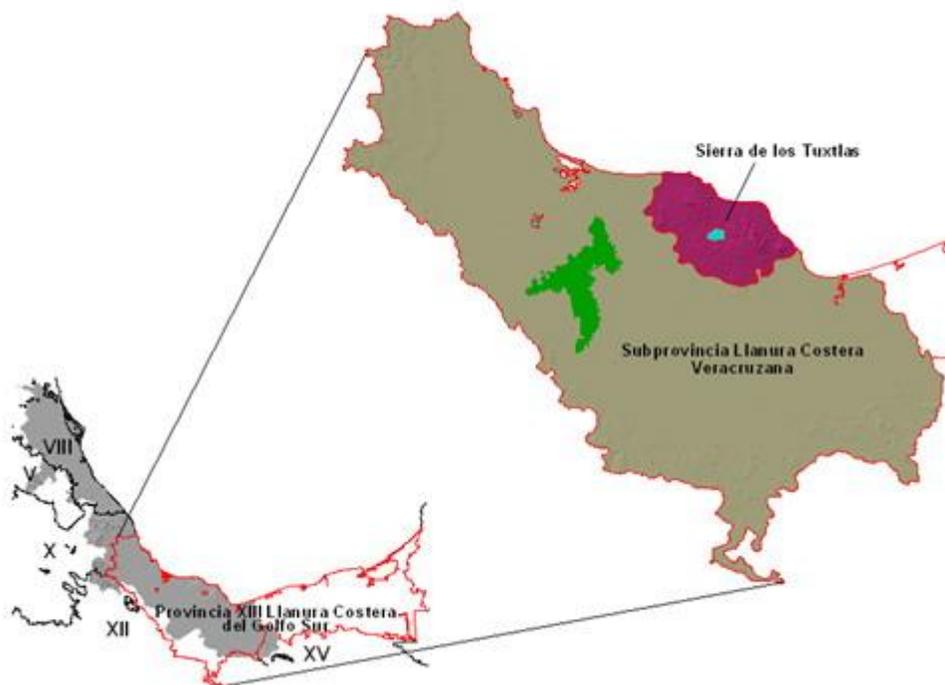
Municipio	Superficie ocupada	
	(ha)	(%)
*José Azueta	35224	29.89
Chacaltianguis	31654	26.86
*Carlos A. Carrillo	14753	12.52
*Amatitlán	10056	8.53
Tlacojalpan	10009	8.49
*Playa Vicente	5388	4.57
Otatitlá	4673	3.97
Tuxtilla	4507	3.82
*Tlacotalpan	1577	1.34
<b>Total</b>	<b>117841</b>	<b>100</b>

\*La superficie total del municipio no pertenece al área de estudio.



**Figura 11.** Localización del área de estudio.

En el Mapa 1 se muestra la poligonal envolvente de la zona del proyecto y en el Mapa 2 se puede observar la división municipal del área de estudio (ver anexo).



**Figura 12.** Provincia y subprovincia fisiográfica del área de estudio.

### 6.1.2. Orografía y geomorfología.

La cuenca del Papaloapan se localiza en la provincia de la Llanura Costera del Golfo Sur, que es una llanura de fuerte aluvionamiento por tener los ríos más caudalosos de México como son el Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta. El área correspondiente a la zona de estudio se encuentra en la subprovincia denominada Llanura Costera Veracruzana, específicamente en la región de la Llanura Costera Aluvial y los Sistemas de Lomeríos del Sur y Sureste.

En la zona de estudio se presentan dos tipos de geomorfología; la primera está integrada por zonas bajas y planas con pendientes escasas y uniformes, con altitudes menores a los 10 m.s.n.m., además presentan depresiones naturales que dan origen a cuerpos de agua permanentes y algunas otras que se empantan en épocas de lluvias. Ésta se localiza desde el municipio de Tlacotalpan y Amatitlán hasta donde confluyen los ríos Papaloapan y Tesechoacán, de ahí se extiende por la margen izquierda del río Tesechoacán hasta Tenejapan. La segunda zona la integran áreas de lomeríos y cerros con altitudes menores a 100 m.s.n.m. y pendientes entre 3 y 20%, esta zona se localiza del centro al sur del área de

estudio, desde la población de Joachín hasta Playa Vicente. En el Mapa 9 se pueden ver los intervalos de elevación para el área estudiada.

#### **6.1.2.1. Geología superficial.**

La geología superficial está cubierta en su mayor parte de sedimentos aluviales, otra parte la integran zonas con depósitos de grava y arcilla, la que se distribuye de la parte central hacia el sur del área de estudio. Las zonas de depósitos de sedimentos aluviales reciben aportaciones de materiales principalmente de las cuencas de los ríos Papaloapan y Tesechoacán, a través de sus afluentes.

Los sedimentos que se depositan en las zonas bajas son materiales producidos por el intemperismo de rocas localizadas en las serranías del estado de Oaxaca y Veracruz, las cuales consisten principalmente de rocas sedimentarias marinas y continentales, como son calizas del cretácico superior y lutitas del terciario.

Las rocas calizas contienen más de 50% de carbonatos, el resto queda formado por limo, arcilla, cuarzo, hierro y otros componentes. Las rocas calizas al intemperizarse originan sedimentos que contienen porcentajes altos de arcillas. Dichos sedimentos son ricos en carbonatos, y al ser transportados y depositados por el agua en las zonas planas y con escasa pendiente originan suelos con pH ligeramente alcalino.

Las rocas lutitas se componen principalmente de arcillas, por lo que los suelos originados a partir de estas rocas son de texturas arcillosas. Por otro lado, los desbordamientos del arroyo Zacatixpan y del río Obispo depositan sedimentos que son producto del intemperismo de rocas ígneas básicas y ácidas, como las andesitas y riolitas, mezcladas con arcillas rojas (tierra colorada).

Las rocas ígneas ácidas como las riolitas y granitos, tienen en promedio 25% de cuarzo, 25% o menos de feldespato ortoclásico (potasio), con cantidades menores de mica (principalmente mica blanca) y pequeñas cantidades de hornblenda. Al intemperizarse estas rocas tienden a dar suelos permeables y friables, generalmente ácidos, con bajos contenidos

de bases. Los suelos derivados de estas rocas suelen ser amarillentos o café amarillentos, debido al bajo contenido de hierro; la mineralogía de las arcillas tiende a ser caolinítica.

En la mayor parte de la zona sureste y suroeste del área de estudio, a partir del río Obispo y Laguna Lagarto hasta Playa Vicente, la geología está integrada por rocas ígneas ácidas y básicas, principalmente riolitas, andesitas, granitos y arcillas rojas. Además predominan rocas cuarzosas, las cuales se encuentran formando estratos gravosos, en ocasiones asociadas a arcillas rojas.

### **6.1.3. Aspectos ecológicos.**

El equilibrio ecológico contempla aspectos tanto de cobertura vegetal como el hábitat de diversas especies de fauna regional, que caracterizan e identifican la región. Las modificaciones que el hombre hace de ese equilibrio determinan los impactos ambientales. Es necesario conocer los recursos naturales de la región para usarlos de una manera racional, procurando o atenuando los impactos ambientales que resulten al alterar el equilibrio ecológico establecido.

Como aspectos ecológicos del área estudiada, se revisan la cubierta vegetal, fauna regional, fauna acuática afectable y áreas erosionables.

#### **6.1.3.1. Flora.**

La cubierta vegetal depende directamente del tipo de suelo, clima, altura sobre el nivel del mar, etc. Se presenta un panorama general de la vegetación representativa de la misma basado en los trabajos realizados por Efraín Hernández X. para la Comisión del Papaloapan en 1977.

Las comunidades vegetales presentes en la cuenca del Papaloapan, pueden agruparse en dos grandes categorías: las comunidades primarias no óptimas y las comunidades antropogénicas. Esta clasificación se encuentra basada en la sucesión promovida por la entrada del hombre dentro de una comunidad silvestre determinada.

Las comunidades primarias no óptimas, además de indicar una mínima perturbación humana, muestran características estructurales y fisonómicas indicadoras de límites en el aprovechamiento de las condiciones climatológicas; dichas limitaciones generalmente se relacionan con características edáficas, tales como la presencia de sales, mal drenaje, etc.

Las comunidades antropogénicas representan el conjunto de características, en términos de vegetación, que son el resultado de la actividad humana.

### ***Comunidades Primarias no Óptimas***

#### **a) Selvas Bajas (cocolobo-peithecelobium-jacquinia)**

Se encuentra sobre los suelos arcillosos y limo arcillosos de la zona inferior de la cuenca, donde la red fluvial está compuesta por la desembocadura de los principales tributarios del río Papaloapan, en zona libre de la influencia de agua salobre, pero con la permanencia de aguas de inundación durante varios meses del año. La selva tiene más de 5 m y menos de 20 m de altura.

#### **b) Bosque Duriperenifolio o Manglar (Rhizophora-laguncluaría)**

El manglar, constituido por árboles con hojas coriáceas perennes ocupa una franja sobre los márgenes de la Laguna de Alvarado y aguas arriba sobre la desembocadura del río Blanco y Papaloapan, en zona libre de la influencia de agua salobre, pero con la permanencia de aguas de inundación durante varios meses del año. La selva tiene más de 5 m y menos de 20 m de altura.

### ***Comunidades antropogénicas***

Achuales: para las poblaciones humanas antiguas y actuales, la presencia de la vegetación leñosa primaria ha representado un estorbo temporal o permanente a sus actividades agrícolas. Bajo estas condiciones, el descubrimiento y refinamiento del sistema agrícola roza-tumba-quema inició un uso más extendido del recurso natural de las regiones cálidas húmedas, por medio de cultivo de especies vegetales anuales y perennes.

En las fases actuales de desenvolvimiento agropecuario de la zona cálida húmeda de la cuenca, muchos de los tipos primarios de vegetación han sufrido rápida transformación hacia fases secundarias vegetales; este problema se ha acentuado por la remoción de la

vegetación secundaria para someter a las tierras a la agricultura mecanizada y por los amplios programas de desmontes.

a) Praderas Inducidas de Tierras Bajas (Paspalum-Axonopus)

En gran parte de la cuenca inferior, sobre tierras planas con suelos deficientes en drenaje o sobre ligeros declives de las mesetas, el uso deficiente y persistente de la roza-tumba-quema y el pastoreo del ganado vacuno ha conducido al establecimiento de pastizales con dominio *Paspalum notatum*, *P. conjugatum* y *Axonopus compressus* asociados con numerosas leguminosas nativas perennes. En estos “Gramales Amargos” se presentan *Sporogolus indicus*, *Andropogon spp* y leguminosas leñosas como constantes invasoras.

b) Praderas Inducidas de Tierras Altas (Axonopus-Paspalum)

Bajo un proceso semejante al descrito arriba de perturbación de la vegetación, entre los 600 a 1,400 m.s.n.m. se forman praderas dominadas fundamentalmente por *Axonopus compressus* y *Paspalum notatum*, también conocidas como gramales.

c) Sabanas (Bysonima-Curatella-Coccoloba)

Se presenta sobre suelos con subsuelo impermeable, en áreas sin una caracterización climatológica definida y con una distribución cuyos límites muestran un cambio abrupto, a veces menor de 10 m, a comunidades selváticas. Resalta la presencia general de un tapiz herbáceo con arbustos dispersos de *Bysonima* (Nanche), *Descuratella* (Tachicón) y de *Coccoloba* (uvero).

### 6.1.3.2. Fauna.

Las diversas especies de animales silvestres se ven afectadas por el uso que el hombre le da a la tierra, sobre todo cuando ese uso se realiza en exceso y de manera irracional. Por este motivo la fauna se ve obligada a cambiar de hábitat o de ampliar su potencial biótico para sobrevivir.

En general, dentro de la fauna silvestre hay especies que se utilizan como alimento, especies que controlan plagas y especies dañinas. En la zona de estudio, la fauna silvestre

es pobre o escasa, debido en parte al uso del suelo encontrándose solo algunos pequeños mamíferos, como el conejo, la liebre y el ratón. Las actividades agropecuarias han afectado a la fauna silvestre desplazándolas a otras zonas, quedando solo algunas especies nocivas.

Los mamíferos más comunes en la zona son los murciélagos y los roedores. Los murciélagos debido a sus hábitos alimenticios (frutales) afectan y propagan ciertas plagas, asimismo el ratón de campo, el conejo y la ardilla. La mayor proporción de animales silvestres corresponde a las aves, debido a que poseen una distribución muy amplia.

El número de familias, género y especies de la fauna regional registrado para la cuenca según Álvarez (1977) es la siguiente:

**Cuadro 5.** Población de fauna regional en el área de estudio.

	<b>Familia</b>	<b>Genero</b>	<b>Especies</b>
a) Anfibios	8	22	90
b) Reptiles	13	55	142
c) Aves	57	231	325
d) Mamíferos	26	79	149

a) Los anfibios están representados por las ranas y sapos que tienen importancia para el control de plagas.

b) Los reptiles más comúnmente encontrados en la zona son los quelonios y los squemata; los primeros se encuentran en los lugares húmedos (en las cercanías a las lagunas, ríos y arroyos); los segundos están representados por la lagartija, la iguana (muy apreciada por su piel y carne), las culebras y las víboras (nauyaca o sorda, ratonera y teterete).

c) Las aves son la mayoría en variedad de familia, género y especies. Las más importantes que se identificaron en la zona se muestra en el Cuadro 6.

d) Los mamíferos silvestres, como ya se indicó, son los que se encuentran en menor número; sin embargo, existen tlacuaches, coyotes, tejón y comadrejas. Dentro de los

carnívoros se encuentran el leoncillo, el tepezcuinte y el armadillo. Entre los animales domésticos se encuentran la vaca, el cerdo, el caballo, etc.

**Cuadro 6.** Nombre científico y común de aves en el área de estudio.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Aguila spp</i>	Aguililla
<i>Anazilia</i>	Chuparroza
<i>Bubulcus ibis</i>	Garza de Potrero
<i>Buteo maghirostrys</i>	Gavilán
<i>Búho virginianus</i>	Tecolote
<i>Catharisthes atratus</i>	Zopilote
<i>Comunbia talpacoti</i>	Paloma Pепенchita
<i>Corvidae</i>	Pijul
<i>Ciariana sp</i>	Pato Doméstico
<i>Chisosyis ferallantí</i>	Loro
<i>Dentoro sigma autumnalis</i>	Yegüita
<i>Dives dives</i>	Picho
<i>Egreta candidísima</i>	Garza Blanca
<i>Gallus gallus</i>	Gallina
<i>Herpeto there cahinanas</i>	Pájaro Vaquero
<i>Melanerphes gallopavo</i>	Guajolote
<i>Melanerphes phermiciorus</i>	Pájaro Carpintero
<i>Nictridromus albicollis</i>	Tapa Camino
<i>Phalcrocorax olovaceus</i>	Pato Buzo
<i>Psittacidae</i>	Perico

Dentro de la fauna silvestre, que contribuye al equilibrio ecológico, están los zopilotes que se alimentan de animales muertos, la “mano metate” que se alimenta de ratones e insectos y la serpiente bejuquillo y ratonera, que también se alimenta de ratones e insectos.

Dentro de la fauna dañina se encuentran la oruga, que ataca los cultivos de chile y maíz, las aves “pepe” y picho que se alimentan a base de maíz y la víbora sorda o nauyaca que ataca al hombre como a los animales domésticos.

### **6.1.3.3. Presión por los Recursos Naturales.**

El aumento de la población y en general el desarrollo de la sociedad con toda la infraestructura que esto conlleva, han propiciado un cambio radical en la estructura de la cadena trófica del área comprendida dentro del proyecto. Sin embargo, esto no es exclusivo del área en cuestión, al contrario es la respuesta innata al desarrollo generalizado del estado a partir de la década de los 60's cuando se ejecutan obras de rescate y colonización de las regiones tropicales del país. Si comparamos para tal efecto la densidad de población de hace 26 años con la actual podemos comprender que la presión por estos recursos naturales, llámense vegetales o animales, es verdaderamente fuerte y que incluso las especies vegetales mencionadas son representadas por individuos dispersos en asociaciones con pastizales y pequeñas áreas compactas que pasan desapercibidas. Todo este paisaje ha sido cambiado por cultivos agrícolas y actividad ganadera. Como respuesta a lo anterior, a la falta de nichos apropiados para su reproducción y crecimiento, así como a la acción devastadora del hombre (caza), la fauna de importancia económica está a punto de extinguirse en la zona; arrinconándose hacia áreas menos accesibles que se localizan en la parte baja del área estudiada, en los límites con el río Papaloapan.

A esta fuerte presión, al momento, sólo han podido escaparse especies como el Tepezcuintle (hacia la zona sur y suroeste del área de estudio), que probablemente pasa parte de su desarrollo en las zonas de difícil acceso para después salir en busca de alimentos a los cultivos de maíz. Otras especies que aun han podido subsistir, aunque prácticamente en confinamiento natural, son las iguanas y conejos silvestres. Estos últimos en función a que sus nichos naturales son los montes bajos que pueden asemejarse a las condiciones que proporcionan algunos cultivos o los deshechos de éstos. Fuera de estos, se encuentra una gran gama de animales nocivos para el hombre como son reptiles, ratas, zorros o tlacuaches entre otros.

### **6.1.4. Infraestructura y servicios.**

#### **6.1.4.1. Vías de comunicación.**

La zona de estudio está comunicada por los ríos navegables Papaloapan y Tesechoacán, y por las carreteras federales 175 y 145, así como por una red interior de caminos vecinales, que al mismo tiempo sirven para el transporte de productos agropecuarios e insumos.

La carretera federal 175 Tuxtepec-Alvarado, desde el cruce en Cd. Alemán con la carretera federal 145 "Tierra Blanca-Cd. Alemán-Loma Bonita-Acayucan", bordea en 104 km por la margen izquierda del río Papaloapan, enlaza a los municipios de Otatitlán, Tlacojalpan, Tuxtilla, Chacaltianguis, Cosamaloapan y Tlacotalpan. También estos municipios tienen comunicación vía fluvial a través del río Papaloapan.

En la margen derecha del río Papaloapan, existe un tramo de bordo que la CNA construyó y acondicionó como carretera asfaltada misma que parte de la carretera federal 145, a la altura del poblado Pueblo Nuevo, Oaxaca, y se interna al estado de Veracruz, recorriendo aproximadamente 50 km, para comunicar también a los municipios de Otatitlán, Tlacojalpan, Tuxtilla, y Chacaltianguis, y a la altura del poblado Carlos A. Carrillo cruza hacia la margen izquierda del río Papaloapan, para entroncar con la carretera federal 175 que va de Tuxtepec, Oaxaca, al Puerto de Alvarado, Ver.

La parte centro sur del área de estudio está comunicada por un camino de terracería que une la porción oriente del municipio de Chacaltianguis, a la altura de Cerro Colorado, con el de Villa Azueta, pasando por los poblados de Paso del Cura y Las Sabanetas, hasta entroncar con la carretera federal 145. Sobre el mismo camino existe una desviación a la altura del cruce con la vía del ferrocarril, que comunica a los poblados de Las Mesas y Cujuliapan al oriente de la zona de estudio, hasta entroncar con el camino que va sobre el bordo de protección del río Tesechoacán. En el mismo municipio de José Azueta, el poblado Lindavista se comunica con la cabecera municipal por un camino asfaltado y transitable todo el año.

En la parte sureste de la zona de estudio, el municipio de Playa Vicente se comunica por carretera asfaltada con Tuxtepec; así mismo por medio de un camino estatal secundario pavimentado con el municipio de Isla. También mediante un camino de terracería transitable todo el año, este municipio se comunica con el de José Azueta. A partir de José Azueta, siguiendo la margen izquierda del río Tesechoacán, se tiene un bordo para protección de inundaciones, mismo que es transitable todo el año, comunica la cabecera

municipal con las localidades de Curazao, Tesechoacán, Cujuliapan, Tinaja de Mata, Tenejapan de Mata, Jobo Grande y Rancho Alegre.

Adicionalmente se tiene en toda la zona de estudio, una red de caminos de terracería, que aun cuando requieren de rectificación para ser transitables en la época de lluvias, posibilitan la comunicación entre los poblados pequeños, permitiendo el transporte de ganado, caña de azúcar, mango y otros productos agropecuarios e insumos en el interior de las zonas productivas. Las vías de comunicación al interior de la zona constan de una red de caminos asfaltados, revestidos y brechas, así como varias decenas de kilómetros de vías férreas.

El río Tesechoacán es navegable y, por lo tanto, también se utiliza como vía de comunicación entre los poblados asentados en sus riberas. Dicho río comunica la cabecera municipal con las localidades de Curazao, Tesechoacán, Cujuliapan, Tinaja de Mata, Tenejapan de Mata, Jobo Grande y Rancho Alegre. En el Mapa 1, donde se muestra la envolvente de la zona del proyecto, también se observan las vías de comunicación descritas.

En la parte centro sur de la zona de estudio y en las cercanías del cruce de las carreteras federales 175 y 145, pasa la vía del Ferrocarril del Golfo, que comunicaba a la zona de estudio por este medio con el resto del país, siendo las estaciones existentes en la zona o cercanas a ésta, Cd. Alemán, Dobladero y Villa Azueta en el estado de Veracruz y Benemérito Juárez y Loma Bonita en Oaxaca.

Aunque existe una red interior de caminos en el área de estudio, ésta es insuficiente y requiere de asfaltarse y/o rehabilitarse para hacerlos transitables durante todo el año, ya que el transporte de caña en la época de zafra deteriora los caminos.

La pista aérea más cercana que permite el descenso de aviones comerciales se encuentran en Cd. Alemán, está asfaltada y tiene una longitud de 1.5 km; asimismo sobre la carretera 145, entre los poblados Tres Valles y la Granja, se localiza una pista de aterrizaje de terracería para avionetas fumigadoras.

#### **6.1.4.2. Medios de comunicación.**

Se cuenta con los servicios de comunicación indirectos como son el correo y el telégrafo en las cabeceras municipales; y las principales comunidades como Los Naranjos, Independencia, Ciudad Alemán, Nopaltepec, Novara y Gabino Barrera solo cuentan con el sistema de apartado postal, las demás comunidades tienen que trasladarse a estas comunidades para el servicio del correo o a las cabeceras municipales para el servicio de telégrafo.

En cuanto a medios de comunicación directa, se tienen líneas y casetas telefónicas para comunicarse a nivel estatal, nacional e internacional, este último principalmente a EE.UU.

#### **6.1.4.3. Medios de transporte.**

Los medios de transporte que se utilizan en la zona de estudio son autobuses de primera clase de las líneas ADO, AU y Cristóbal Colón S.A. de C.V, así como microbuses y autobuses de pasajeros de la línea Cuenca del Papaloapan, con oficinas en Cosamaloapan, también existe el transporte de segunda el cual lo conforman las líneas de AU, LOBOS, TRV, y taxis, automóviles particulares camionetas pick-up, lanchas y ocasionalmente el ferrocarril. Cabe mencionar que estos medios, principalmente los autobuses, son insuficientes para el desplazamiento de la población que vive en las localidades de la margen derecha del río Papaloapan.

Para los servicios de taxis de estas comunidades, las salidas son de Tres Valles, Cd. Alemán, Los Naranjos, La Granja, Santa Cruz y Nopaltepec. En la zona existe terminal de autobuses en Tres Valles y Santa Cruz, éstas con corridas a México, Puebla, Veracruz, Villahermosa, Orizaba, Puebla, Tlacotalpan y la capital del estado de Veracruz, Xalapa.

#### **6.1.4.4. Obras hidráulicas y de conservación del suelo y agua.**

En la zona de estudio se identificaron las siguientes estructuras: 79 alcantarillas, de las cuales 59 son con descarga libre y 20 son con descarga controlada, mediante compuertas cuadradas.

El número de estructuras con que cuenta la zona, resultan ser insuficientes, además de que también dichas estructuras no presentan las dimensiones que se requieren para drenar eficientemente los excedentes de agua generados en la zona.

Por lo que respecta a la red de drenaje, actualmente está conformada por bajos naturales que descargan a los arroyos o ríos. En la zona se requiere de la construcción de una red de drenaje que más que drenes serán desagües para desalojar las aguas excedentes en la época de lluvia que perjudican a los cultivos.

Las inundaciones, que anualmente se presentan en láminas superiores a un metro, se presentan debido a la falta de obras de control y drenaje, provocando pérdidas parciales o totales de los cultivos anuales en las plantaciones de plátano y caña, así como la disminución de los pastizales.

En lo correspondiente a caminos, se tienen varios tipos que van desde las brechas hasta caminos de penetración cuyos anchos de corona varían de los 3.0 m para las brechas, 4.0 m para los del tipo rural y de 6.0 m para los de penetración; todos a nivel de terracerías y algunos con capas de protección de revestimiento a excepción de las brechas.

Gran parte de la red se encuentra construida por caminos a pelo de tierra sin obras de drenaje ni de protección, por lo que muchas veces al productor no le es posible el acceso a las parcelas para la extracción de sus cosechas durante toda la época del año.

En lo referente a obras de conservación de suelos y agua, no existen dentro de la zona de estudio, ni en las zonas bajas con escasa pendiente (0-3%) ni en la zona de lomeríos, donde se presentan pendientes en ocasiones mayores de 15%. Las únicas prácticas de conservación de suelos que se pueden observar son el surcado perpendicular a la pendiente, hecho a criterio del productor, sin trazo con apoyo de planos topográficos, como se requiere para el control de la erosión del suelo y conservación de agua.

La degradación física y química que presentan los suelos de las zonas de influencia de Dobladero, Lindavista y Villa Azueta principalmente, se debe a la explotación intensa que se realiza al cultivar piña, ya que es un cultivo que dura de 2.5 a 3 años, tiempo en el que el suelo permanece desprotegido y con las altas precipitaciones y las pendientes existentes, dan como resultado que al final del ciclo productivo se tengan suelos muy delgados, gravosos, con pH ácidos e infértiles.

Ante esta situación, para controlar la degradación física y química de los suelos de esta zona es necesario implementar prácticas vegetativas y obras de conservación de suelos y agua, de acuerdo a las pendientes del terreno y texturas superficiales de éstos.

#### **6.1.4.5. Infraestructura productiva.**

La infraestructura para la producción existente en la zona de estudio y su área de influencia comprende instalaciones para el procesamiento y almacenamiento de productos agropecuarios, tales como ingenios azucareros, enlatadoras y empacadoras de piña, molinos de arroz, bodegas, rastros y frigoríficos. Para el manejo de la ganadería, existen corrales de engorda, abrevaderos y baños garrapaticidas.

Dentro de la infraestructura de acopio y almacenamiento de productos agropecuarios, se encuentran los locales oficiales y privados siguientes:

#### ***Compañía nacional de subsistencia popular***

Participa en los programas de compra de maíz y frijol, utilizando sus bodegas rurales cerradas, localizada en José Azueta con 750 ton, con capacidad total de 3,477 ton.

En algunas cabeceras municipales, existe infraestructura de almacenamiento adicional, consistente en locales cerrados de casas particulares, que ocasionalmente se utilizan como bodegas y/o centros de acopio, principalmente para algunos granos que se utilizan para autoconsumo, tales como frijol y maíz, aclarándose que otros productos como mango, plátano, cítricos y sandía se comercializan a pie de parcela.

### ***Ingenios Azucareros***

Existen tres ingenios en la zona de influencia del área estudiada, en los cuales se procesa la caña de azúcar que se produce en la región, siendo éste uno de los cultivos principales.

*Ingenio San Cristóbal.* Se localiza en el municipio de Carlos A. Carrillo, tiene una capacidad para procesar 20,000 ton de caña y producir 1,824 ton de azúcar en 24 horas; la fábrica ocupa 247,600 m<sup>2</sup> con una área construida de 10,000 m<sup>2</sup>.

Actualmente en este ingenio lograron una molienda de 2,080,127.61 de toneladas de caña, con 222,067.5 toneladas de azúcar producida. Estos resultados significan un incremento con respecto a la zafra 2004 de 11.26% respecto de la caña molida, y de 17.2% en cuanto a la producción de azúcar. En una de las últimas zafras la número 32, el ingenio San Cristóbal se posicionó en el primer lugar en rendimiento entre los ingenios refinadores, con un rendimiento de fábrica de 16.01% (Gaceta Parlamentaria No. 24, 2005).

*Ingenio San Gabriel.* Está ubicado en Cosamaloapan, Ver., tiene capacidad para procesar 3,000 toneladas de caña y producir 240 toneladas de azúcar en 24 horas; la fábrica se encuentra construida en un terreno de 45,830 m<sup>2</sup> y la materia prima que procesa proviene de zonas cañeras situadas fuera de la zona de estudio.

Este ingenio procesa alrededor de 1,700 ton por día en el periodo de zafra (153 días), ocupándose tan sólo 56.7% de su capacidad instalada original. Para la cosecha, el ingenio cuenta con 2 cosechadoras, 2 cortadoras y 26 alzadoras mecánicas. El 87% de la caña se transporta en carretas jaladas con tractores y el 13% restante, con camiones también propiedad del ingenio.

Cuenta con una bodega equipada con transportadores para almacenar 65,000 sacos de azúcar de 50 kg, así como dos tanques para mieles con capacidades de 300 y 250 toneladas. Cabe mencionar que la infraestructura de este ingenio se encuentra deteriorada, requiriéndose cambios de equipo y mantenimiento más eficiente y oportuno.

*Ingenio Tres Valles.* Se localiza a 4.5 km de la población de Tres Valles, Ver., en el km 68 + 100 de la carretera "Tinaja-Cd. Alemán". Tiene capacidad para procesar 9,000 ton de caña en 24 horas y producir 900 ton de azúcar refinada en el mismo lapso; ocupa una extensión de 62,190 m<sup>2</sup> y tiene una área construida de 56,951 m<sup>2</sup>.

Actualmente se procesan en este ingenio 5,500 ton de caña cada 24 horas en el periodo de zafra (184 días), por lo que existe una utilización de 61.1% de la capacidad instalada original.

Para la cosecha y transporte de la caña se dispone de 60 alzadoras, 258 camiones, 319 carretas y 63 tractores. El ingenio cuenta con una bodega con capacidad para 640,000 sacos de azúcar de 50 kg y tres tanques para mieles.

### ***Molinos de arroz***

La forma en que operan los productores de la industria arrocera es absolutamente diferente al caso de la caña. No existen zonas de abastecimiento definidas para cada planta, ni existen contrataciones de cosecha o convenios de producción que rijan la relación entre industria y agricultores.

A pesar de ello, si se establecen ciertos acuerdos entre ambas partes, los cuales son vigentes para cada ciclo agrícola, las industrias ofrecerían determinados apoyos a los productores (fertilizantes, semillas, pesticidas, costalero, etc.) con el fin de asegurar que la cosecha les sea vendida.

La arrocera Industria Procesadora de Arroz de la Cuenca del Papaloapan (I.P.A.C.PA) se ubica en la zona de Los Naranjos, sobre el kilómetro 51 de la carretera Tierra Blanca-Cd. Alemán, a la altura del poblado La Granja, nombre con el que se le conoce regionalmente a esta beneficiadora. Pertenece a la iniciativa privada y tiene una capacidad de recepción, secado, descascare, pulido y almacenamiento del orden de las 70,000 ton anuales.

La Arrocera el Jarocho sólo tiene bodega y secadora en la zona de estudio, en tanto que la planta beneficiadora, se encuentra en la Ciudad de Córdoba. Sus instalaciones sitúan en la

carretera Tierra Blanca-Cd. Alemán en kilómetro 64, enfrente del ingenio Tres Valles. Es destacable que esta empresa es una de las más grandes y la que más subutiliza su capacidad. En la actualidad, sus principales zonas de abastecimiento son Piedras Negras y Joachín (aledañas al área de estudio). El empleo generado por esta empresa es de 52 plazas, de las cuales 12 son de operación, 35 de maniobras y 7 administrativas, siendo estas últimas las únicas de carácter permanente. Pertenece a la iniciativa privada y tiene una capacidad de recepción, secado, descascare, pulido y almacenamiento en su caso, del orden de las 19,000 ton anuales.

### ***Empacadoras y enlatadoras***

Las principales empacadoras y enlatadoras de piña existentes son la Corporación Agroindustrial de Isla S.A. de C.V., que se ubica en la población de Isla, Ver., y la empacadora ejidal “Loma Bonita” localizada en Loma Bonita, Oax.

Estas empresas privadas, captan parte de la piña que se produce en la zona de estudio, dentro de los municipios de Chacaltianguis y José Azueta, principalmente cuando el precio del producto en fresco se encuentra bajo, tanto en el mercado local como en el nacional.

La piña es el principal producto agrícola que maneja la empacadora y enlatadora Loma Bonita y tiene una capacidad alrededor de 60,000 ton. Actualmente se seleccionan y empacan alrededor de 15,000 toneladas anuales, lo que representa 25% de la capacidad instalada.

La empacadora y enlatadora Isla (COFRINSA) se localiza en el municipio Isla, Ver., y al igual que en la empacadora Loma Bonita, la piña es el principal producto que manejan, tiene una capacidad instalada de 50,000 ton. En esta agroindustria se procesan y enlatan anualmente 3,300 ton de piña, estimándose la utilización de su capacidad instalada en un 6.6%.

### ***Rastros y frigoríficos***

Además de los pequeños rastros que se encuentran en las cabeceras municipales, en donde se sacrifican de 4 a 8 cabezas de ganado que demanda la correspondiente localidad; existen dos frigoríficos, uno ubicado en el km 25.1 de la carretera Federal 145 La Tinaja-Cd.

Alemán, en el municipio de Tierra Blanca, y el otro en Isla, Ver. El primero tiene una capacidad instalada para sacrificar y manejar 600 cabezas de ganado bovino por día en tres turnos y el segundo tiene capacidad para el sacrificio de 750 cabezas por día.

Actualmente en el frigorífico de la Cuenca del Papaloapan, del municipio de Tierra Blanca, se sacrifican y procesan diariamente tan sólo 170 cabezas y en el frigorífico de la Región de Isla, se sacrifican 200 cabezas por día, por lo que sólo se utilizan 28 y 27% de su capacidad instalada respectivamente. Lo anterior, según opinión de las áreas administrativas de los rastros, se debe a la falta de mercado ya que el precio del ganado en pie actualmente es bajo y oscila entre \$18 y \$20 por kg.

La presencia de estos rastros y frigoríficos ha incrementado la rentabilidad de las actividades pecuarias en la región, por varias razones:

El transporte de la carne en canal resulta mucho más económico que el de ganado en pie, por lo que al utilizar los servicios que proporciona el TIF se abaten costos de manera importante, sobre todo si se considera que el principal centro de consumo de este producto es la ciudad de México.

Los ganaderos tienen la posibilidad de comercializar directamente los subproductos cuero, los cuernos, la víscera y la sangre, los cuales también cuentan con un importante mercado. Con la actual política de abasto de la Ciudad de México, que prohíbe la introducción a este mercado de ganado en pie, las posibilidades de vender la carne en canal directamente en esta ciudad se han ampliado.

#### ***Centro de captación y enfriamiento de leche***

Fuera de la zona de estudio, pero con influencia directa en las actividades pecuarias específicamente en la producción de leche, se encuentra un centro de acopio y enfriamiento de leche perteneciente a la compañía Nestlé, que acopia leche de predios ubicados en los municipios de Tierra Blanca, Tres Valles y Cosamaloapan.

### ***Alimentos balanceados***

Existe una planta productora de alimentos balanceados para ganado porcino, principalmente, aunque también los produce para ganado mayor (vacuno y caballar) y para especies menores (aves). Comparte su ubicación con las instalaciones de la arrocera I.P.A.C.PA., pues ambas pertenecen al mismo empresario. Su razón social es Alimentos Balanceados El Fortachón.

### ***Almacenes***

Existen en la región sólo tres bodegas oficiales para recepción de granos, las cuales son operadas por BORUCONSA (Bodegas Rurales Conasupo), siendo, el principal producto que reciben el maíz. Estas bodegas son cerradas y se ubican una en Isla, con capacidad de 500 ton; otra en Playa Vicente, con una capacidad de 1,727 ton y la tercera en Villa Azueta, la cual tiene una capacidad de 750 ton.

Así mismo, en las localidades de la zona, existen locales cerrados particulares que ocasionalmente se utilizan como bodegas y/o centros de acopio, principalmente para algunos granos utilizados para autoconsumo tales como frijol y maíz.

### ***Papel periódico***

Es la única agroindustria no alimentaria de la región. Su materia prima es el bagazo de la caña de azúcar, que es un subproducto de desecho en la producción del dulce. La razón social de la empresa es Mexicana de Papel Periódico (MEXPAPE), situada cerca del Ingenio Tres Valles.

### ***Aceites comestibles***

Otra agroindustria cercana a la zona de estudio es la aceitera La Patrona, ubicada en la ciudad de Córdoba, que si bien en la actualidad no tiene ninguna influencia directa en las actividades agrícolas de la zona de estudio, en un futuro podría tenerla para conseguir el abastecimiento de parte de la materia prima que requiere, ya que ahora lo hace de estados del norte del país o mediante la importación de diferentes oleaginosas. Las materias primas que procesa son soya, cártamo, canola, girasol y maíz, principalmente.

### ***Maquinaria y equipo agrícola***

El uso de maquinaria y equipo agrícola en la zona, es común y determinante para la realización de la mayoría de las actividades del proceso de producción de los cultivos; principalmente en los cultivos que tienen más importancia en cuanto a superficie sembrada, como son: caña de azúcar, piña y plátano, y también para los cultivos anuales como maíz, frijol y chile. En el caso de la caña de azúcar, la maquinaria con que se llevan a cabo, las labores agrícolas que van desde la preparación del terreno para la siembra, el control de malas hierbas y transporte de la caña, es proporcionada por los ingenios de San Cristóbal y Tres Valles.

Para cubrir todas las necesidades de maquinaria y equipo durante el proceso productivo de la caña de azúcar, los ingenios cuentan con los suficientes tractores equipados con arados, cinceles, rastras y surcadoras. Además cuentan con la cantidad adecuada de carretones y camiones para el transporte de la caña hasta los ingenios.

Para los cultivos de piña, plátano, maíz, chile y frijol, la maquinaria es particular, existiendo suficiente para cubrir los requerimientos al respecto. En el caso de los productores que no cuentan con el equipo agrícola, la maquila es una práctica común.

En forma general la maquinaria y equipo agrícola que existe en la zona, satisfacen adecuadamente las necesidades en el desarrollo de los procesos productivos de los cultivos de la región, ya sea que provenga de los ingenios o de los propietarios particulares.

### ***Infraestructura pecuaria***

**Cercos.** Hasta hace algunos años, los cercos divisorios que se tenían en las comunidades eran de postera de madera y de concreto, actualmente han proliferado en el área de estudio las cercas vivas también conocidas como pegadizas con postes de cocuite, palo mulato y roble. Para la instalación de los cercos, se coloca la postera a una distancia de dos metros de separación utilizándose de tres a cuatro hilos de alambre de púas. Para su construcción se colocan los postes de 1.5 a 3.0 m de separación, utilizándose 3 hilos de alambre de púas, colocados el primero a 30 cm del suelo y el superior de 1.00 a 1.10 m sobre el suelo.

*Abrevaderos.* Los abrevaderos que se utilizan para abastecer de agua a los animales son las “ollas” hechizas aprovechando en algunas ocasiones la topografía del terreno y que cuentan con pendiente suficiente para que los animales puedan entrar a beber agua. También son utilizadas afluentes naturales como ríos y lagunas. Otra manera de abastecer el agua es en abrevaderos hechizos de concreto. Se estima una densidad de 0.13 abrevaderos por hectárea de pastizal y de 0.07 para superficies enmontadas. Cabe aclarar que un mismo río puede servir de abrevadero a varios ranchos.

*Galeras.* Las galeras son utilizadas normalmente para la ordeña y están construidas de madera con tejados de palma y el piso es el mismo suelo. Son muy pocos los ranchos que tienen este tipo de infraestructura, generalmente son los productores en grande que se dedican exclusivamente a este tipo de explotación y están asociados a las ganaderas locales.

*Corrales de manejo.* Este tipo de infraestructura se encuentra a orillas de las áreas de pastoreo y consiste en un pequeño corral con manga y adaptado para llevar a cabo el manejo de los animales como las vacunaciones, desparasitaciones, baños, entre otros.

*Baños garrapaticidas.* Los baños garrapaticidas están contruidos de concreto y tienen una capacidad de 15,000 litros de agua con el líquido garrapaticida. En la zona existen algunos baños garrapaticidas que no se usan debido al alto costo de la preparación del mismo. Por otra parte, la baja cantidad de animales por productor y la deficiente organización de los mismos ocasiona la incosteabilidad del uso de este tipo de infraestructura, situación por la cual la mayoría utiliza bombas de aspersion para bañar a sus animales.

#### **6.1.5. Tenencia de la tierra**

Los regímenes de propiedad en el área de estudio son: pequeña propiedad, ejidos, zona urbana y zona federal, aunque existen modalidades de Colonias Agrícolas en menor escala, esto es en el Municipio de Tres Valles y Tierra Blanca. En el Cuadro 7 se resume las áreas que pertenecen a cada régimen de propiedad.

**Cuadro 7.** Distribución del tipo de propiedad en el área de estudio.

<i>Tipo</i>	<i>Área (ha)</i>
Cuerpo de agua	1,906
Ejido	49,905
Pequeñas propiedades	63,440
Zona federal	932
Zona urbana	1,657
<b>Total</b>	<b>117,840</b>

**FUENTE:** Subgerencia Regional de Operación de la Gerencia Regional Golfo Centro, CONAGUA, 2005. Clasificación supervisada de imágenes de satélite Landsat, 2004.

Del cuadro anterior se observa que la mayor superficie de terreno pertenece al régimen de pequeña propiedad (53.84%), seguido por escasa diferencia por las dotaciones ejidales (42.35%). Las zonas urbana y federal ocupan apenas 1.41 y 0.79% del área. En el Mapa 6 se observa la distribución de la propiedad en el área de estudio.

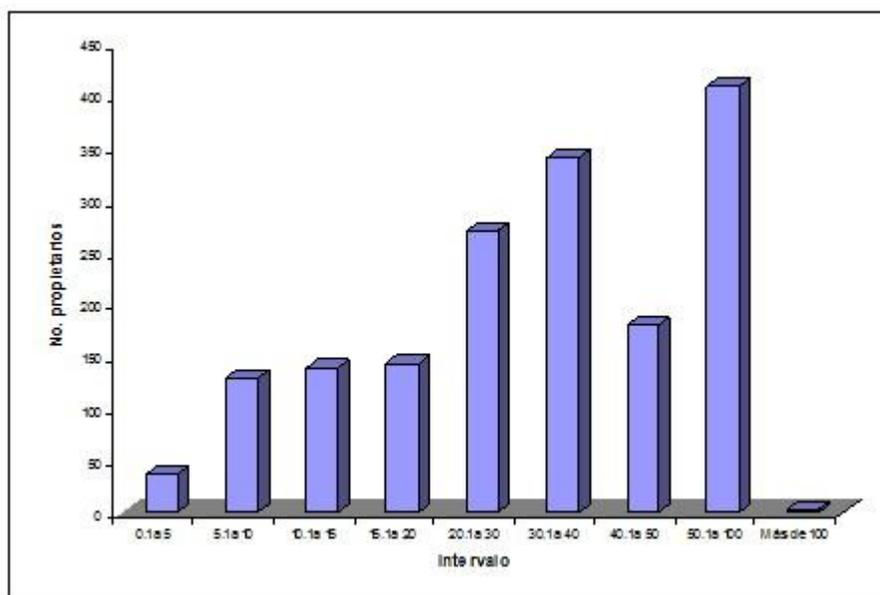
#### **6.1.5.1. Pequeña propiedad.**

El régimen de propiedad privada es preponderante y la estratificación que presenta se muestra en el Cuadro 8 (Estudio de Factibilidad CNA-ICA, 1992).

**Cuadro 8.** Estratificación de los predios en el régimen de pequeña propiedad.

<b>Tamaño de predios (ha)</b>	<b>No. de propietarios</b>	<b>Sup. media per cápita (ha)</b>
0.1a 5.0	37	4.6
5.1a10.0	129	6.9
10. 1 a 15.0	139	13.9
15. 1 a 20.0	143	18.1
20. 1 a 30.0	270	24.7
30.1 a 40.0	340	35.5
40.1a 50.0	180	46.1
50. 1 a 100	409	66.2
Mayor de 100	3	123.0
<b>Total</b>	<b>1,650</b>	<b>36.4</b>

Poco más de la mitad del área de la zona de estudio pertenece a pequeños propietarios. En el estudio de la factibilidad CNA-ICA (1992) se reporta que los predios de los pequeños propietarios van desde menos de 5 ha hasta predios de más de 100 ha, y que el total de pequeños propietarios es de 1,650. El mismo estudio reporta que la mayor parte de los productores con este régimen de propiedad tienen predios que van de 50 a 100 ha con 409 productores, seguido de dotaciones de 30 a 40 ha (con 340 propietarios) y por último 270 productores que tienen predios de 20 a 30 ha (Figura 13).



**Figura 13.** Estratificación de los predios en pequeña propiedad.

En el Cuadro 10 se reporta la superficie promedio per cápita para cada intervalo de predios y del total se calculó 38.98 ha.

En lo referente a la situación legal en el régimen de propiedad privada, la mayoría de los actuales propietarios no cuentan con escrituras actualizadas, pues la mayor parte son sucesores y el cambiar las escrituras a su nombre les representa una fuerte erogación.

#### **6.1.5.2. Ejidos.**

En lo que respecta al régimen ejidal, está integrado por los siguientes ejidos:

**Cuadro 9.** Estratificación de los predios en el régimen ejidal.

<b>Clave</b>	<b>Ejido</b>	<b>Área (ha)</b>
1	Agua fría	794.5
2	Amatepec	447.25
3	Arroyo del Obispo	476.72
4	Arroyo seco	421.42
5	Azueta (Ampliación)	101.49
6	Calatepec	147.44
7	Cerro Torre	116.5
8	Chacaltianguis	2256.31
9	Dos Bocas	1834.02
10	El Café y anexas (Ampliación)	464.06
11	El Café y anexas (Dotación)	452.85
12	El Carrizal	172.29
13	El Ramiel	784.87
14	Estación Dobladero	2186.64
15	Granero	1276.23
16	Joachín y Anexos	454.74
17	José Azueta	5971.76
18	Juan García	1357.47
19	La Candelaria	1265.95
20	La Chorrerra	650.1
21	La Esperanza	592.86
22	La Gallina	43.06
23	La Gloria y Anexas	1172.38
24	La Lagartera	318.15
25	La Victoria	2116.63
26	Loma Bonita	563.3
27	Mata de Caña	1278.47
28	Moyota	386.39
29	Moyota (Ampliación)	513.35
30	Otatitlán	200.3
31	Paso del Cura	411.74
32	Pasoreal	361.65
33	Playa de Vacas	345.97
34	Sabanetas	3193.46

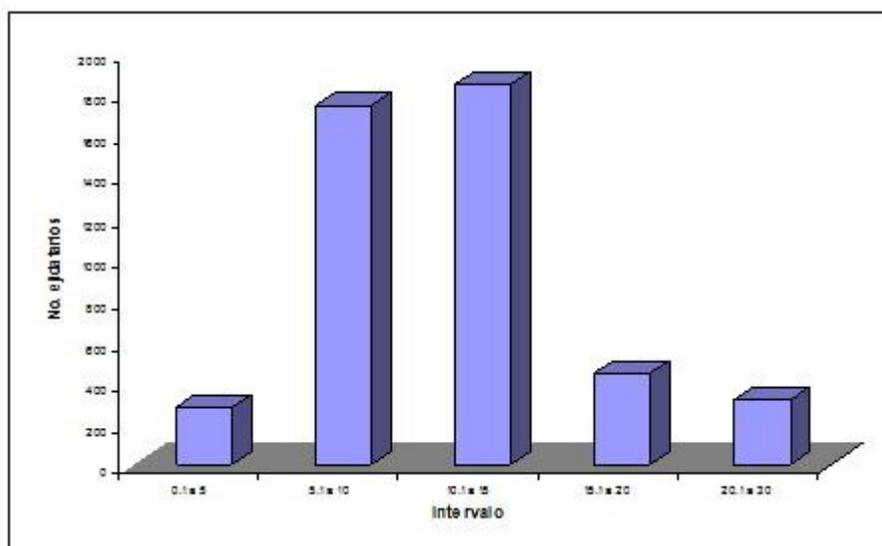
Clave	Ejido	Área (ha)
35	Sabanetas (Ampliación)	252.25
36	San Antonio	883.56
37	San Cristobal	404.68
38	san Jerónimo	501.91
39	san Luis	706.71
40	Santa Elena	803.66
41	Tenejapan	2935.42
42	Tilapan	220.04
43	Tlacojalpan	2169.27
44	Torno Largo	1013.86
45	Tuxtilla	439.85
46	Tuxtilla (Ampliación)	3417.17
47	Ulapeño y Anexas	632.35
48	Viejo Tlacojalpan	68.12
49	Yorga del Paite	1261.82
50	Zacapezco	737.64
51	Zopelican	325.98
	<b>Total</b>	<b>49,905.00</b>

La superficie reportada para cada ejido, fue obtenida por medio de la extensión “Calcula ha” del software ArcView, es importante mencionar que algunos de ellos poseen mayor superficie, pero parte de ésta se encuentra fuera de la zona de estudio. La estratificación existente en el régimen ejidal es la siguiente:

**Cuadro 10.** Estratificación de las dotaciones ejidales en el área de estudio.

Tamaño de parcelas	No. de Ejidos	Sup. media por ejidatario (ha)
0.1 - 5.0	277	3.7
5.1 - 10.0	1,738	7.7
10.1 – 15.0	1,843	11.5
15.1 – 20.0	441	19
20.1 – 30.0	315	23.5
<b>TOTAL</b>	<b>4,614</b>	<b>11.1</b>

En el régimen ejidal, todos los ejidos cuentan con su respectiva “resolución presidencial”, plano de deslinde y acta de posesión definitiva. En todos, la explotación es individual y tienen un parcelamiento económico.



**Figura 14.** Estratificación de las dotaciones ejidales en el área de estudio.

La venta de derechos agrarios es práctica común en el área, situación que está creando una cierta concentración de tierras en algunos habitantes de los mismos ejidos. También la renta de terrenos es una práctica común, ya que los campesinos no tienen capacidad económica para la producción de sus parcelas.

#### **6.1.5.3. Zona urbana.**

La zona urbana está integrada por las poblaciones de Otatitlán, Tuxtilla, Tlacojalpan, Chacaltianguis, Mata de Caña, Tenejapan, Paso del Cura, Dobladero, Las Sabanetas, Lindavista, Villa José Azueta, San Jerónimo, La Victoria, Arroyo Seco, Las Varas y La Candelaria, así como rancherías que en conjunto ocupan una superficie de 1,657 ha.

#### **6.1.5.4. Zona federal.**

Esta zona está comprendida básicamente por cauces viejos de los ríos Papaloapan y Tesechoacán, que han sido concesionados a particulares para su utilización en actividades agropecuarias y ocupa una superficie de 932 ha.

#### **6.1.5.5. Ríos y cuerpos de agua permanente.**

Los principales ríos y cuerpos de agua permanentes, algunos de los cuales también son zonas federales, en el área son el río Obispo, los arroyos Huarache, Paso del Cura, Borrego, Zacapexco, Sescapa, Los Marines, Susana y Nacaxtle, y las lagunas denominadas Cujuliapan, Lagarto, El Burro, Juan García, El Plan, Jolote, San Pablo, Socorro, Pepeaca, Manatí, y Amatepec; así como los meandros del río Papaloapan y Tesechoacán que quedaron aislados cuando se realizó su rectificación y que permanecen con agua todo el año. Por las características climatológicas y del paisaje de la zona se encuentran una cantidad considerable de cuerpos de agua que van desde los ríos de carácter permanente, un número considerable de lagunas, hasta jagüeyes y abrevados para el ganado. Entre las principales lagunas se mencionan: Lagarto, El Burro, Juan García y El Jolote. La superficie cubierta por ríos y cuerpos de agua es de 1,906 ha (INEGI, 2001).

#### **6.1.6. Diagnóstico de la Situación Actual.**

El área de estudio se localiza en la región hidrológica 28, denominada cuenca del río Papaloapan y abarca 9 municipios del estado de Veracruz; Amatlán, Carlos A. Carrillo, Chacaltianguis, José Azueta, Otatitlán, Playa Vicente, Tlacojalpan, Tlacotalpan y Tuxtilla.

La tenencia de la tierra en el área de influencia del proyecto está conformada por tipos de propiedad ejidal, pequeña propiedad, terrenos federales y zonas urbanas.

Los principales cultivos del área de estudio son: caña de azúcar, maíz, frijol, chile, piña, arroz y pastos forrajeros. Los productos agropecuarios para consumo humano que se obtienen son azúcar, maíz, arroz, chile, piña, carne y leche.

##### **6.1.6.1. Problemática.**

Los problemas que han ocasionado un deficiente desarrollo productivo del sector agropecuario en la entidad y específicamente en el área de estudio son: descapitalización gradual, mínimo y en algunos casos nulo financiamiento, falta de asistencia técnica. Además la infraestructura hidroagrícola con la que cuentan los productores es insuficiente y existe descapitalización gradual, deficiente financiamiento, tecnología y asistencia técnica en el campo. Asimismo, la infraestructura con que cuentan los productores es insuficiente y

deficiente lo cual refleja también que dichos productores están requiriendo de apoyos como asistencia para la comercialización del producto principalmente, ya que cuando existe sobreoferta el precio es castigado y no es muy conveniente para los productores.

La problemática en la zona se centra en la infraestructura existente, que se encuentra en mal estado y sin mantenimiento, en la producción, almacenamiento, comercialización y precios de los productos.

#### **6.1.6.2. Diagnóstico.**

##### ***Servicios básicos en el área de estudio***

Los servicios básicos son deficientes en calidad. Se tiene que 94% de las comunidades cuentan con energía eléctrica, pero se carece de agua entubada en la mayoría de las comunidades, en el Cuadro 11 se puede corroborar los diferentes servicios en la zona.

##### ***Infraestructura***

La infraestructura actual, en lo que se refiere al drenaje y caminos, se encuentran en malas condiciones debido al escaso o nulo mantenimiento que se les proporciona. De no tomarse las acciones necesarias para controlar las inundaciones que anualmente se presentan en la parte baja de la zona, la infraestructura actual continuará dañándose considerablemente, provocando cada vez mayores pérdidas en las cosechas y dificultando su transporte a los lugares de consumo.

**Cuadro 11.** Porcentaje de servicios básicos en el área de estudio.

<b>Tipo de servicio</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Agua Potable	26.96
Calles pavimentadas	1.12
Drenaje	0.37
Energía eléctrica	94.00
Escuelas	84.27
Pozos	73.03
Teléfono	38.57
Unidad de salud	34.83

### ***Obras de infraestructura***

En el área de estudio, las pocas obras que se han llevado a cabo no tienen el funcionamiento adecuado ya que están obsoletas o les falta el mantenimiento, como es el caso de algunos drenes que se encuentran contaminados con el lirio acuático y además no funcionan. En el área de estudio las obras de infraestructura que se han realizado son:

#### ***Caminos***

De 108 productores entrevistados (40.45%) comentaron que se han construido caminos; 66.66% creen que las obras de infraestructura fueron realizadas por la Comisión Nacional del Agua, el Municipio, Empresas privadas o la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); y el 33.33% no están enterados de qué dependencia ha realizado los caminos.

El 72.22% de los productores opina que los caminos actualmente están en malas condiciones; 25% en regular estado, 2.78% cree que los caminos están en buenas condiciones de tránsito, 55.66% de los productores saben que ocasionalmente se da arreglo y mantenimiento a los caminos; 21.70% dicen que se han hecho regularmente; pero 22.64% opina que nunca se ha dado el mantenimiento adecuado.

#### ***Drenes colectores***

Sólo 8.24% de los productores saben que se han construido drenes colectores pero no están enterados de que dependencia los haya hecho, además de que nunca se les ha dado el mantenimiento requerido.

#### ***Necesidades de riego***

93.26% de los productores manifestaron la necesidad de introducir el riego en sus tierras, 4.87% dice necesitarlo solo temporalmente por el tipo de productividad que tienen en sus cultivos y 1.87% lo considera necesario ocasionalmente.

#### ***Producción agropecuaria***

Los problemas que han ocasionado un deficiente desarrollo productivo del sector agropecuario en la entidad, y específicamente en el área de estudio, son: descapitalización gradual, mínimo y en algunos casos nulo financiamiento, falta de asistencia técnica; además

la infraestructura hidroagrícola con la que cuentan los productores es insuficiente, existe deficiente financiamiento, tecnología y asistencia técnica en el campo. Asimismo, la infraestructura con que cuentan los productores es insuficiente y deficiente.

Los daños más significativos, ocasionados a los cultivos, generalmente ocurren en los meses de junio a noviembre, periodo en el que se presentan las lluvias. Las pérdidas parciales únicamente reflejan disminución de la producción, en porcentajes variables, acordes con la intensidad y efecto de los meteoros. En tanto que las pérdidas totales, cuando llegan a presentarse, acaban tanto con cultivos y plantaciones como con frutos y productos.

El alto grado de siniestralidad al que están expuestos los cultivos provoca incertidumbre entre los productores de esas áreas. Los productores no disponen de suficientes recursos propios, de créditos de avío y refaccionario, ni de aseguramiento de sus cultivos, y optan por la única alternativa viable que les queda, continuar estableciendo anualmente el mismo patrón de cultivos tradicional. Existe aplicación mínima de insumos y la realización de las labores agrícolas indispensables para abatir costos de producción, lo cual se traduce en la obtención de bajos rendimientos unitarios y baja calidad en los productos. En casos extremos, la falta de recursos económicos obliga a los productores a dejar de sembrar sus parcelas e inducir el desarrollo del monte y pastos nativos, para utilizarlos como agostadero a favor de la explotación pecuaria o abandonarlas completamente.

De continuar concurriendo los factores adversos, tales como las inundaciones frecuentes en las partes bajas de escasa pendiente y la erosión acelerada a que están sujetos los suelos de lomeríos por el mal manejo de los cultivos, se proseguirá frenando la participación de la Banca promotora del crédito de avío y refaccionario, agropecuario y agroindustrial. También se frenará la participación del seguro agropecuario y de vida campesina, la formación y desempeño de bufetes de profesionistas enfocados a la prestación del servicio de asistencia técnica, así como la inhibición de la organización de comités de comercialización para lograr mayores utilidades.

### ***Actividades económicas principales del área de estudio***

La actividad económica más importante del área de estudio es la agricultura, ya que 90.3% de los productores entrevistados se dedica a ella; en segundo término se tiene la actividad ganadera, 38.6% se dedica a la explotación ganadera, principalmente bovinos de carne y doble propósito y, en menor importancia, especies menores como ovinos, porcinos y aves, cuyo sistema de explotación es en general de traspatio. A la actividad pesquera se dedica sólo 2.2% (véase Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Principales actividades económicas de los productores.

<b>Actividad</b>	<b>Porcentaje (%)*</b>
Agricultura	90.3
Ganadería	38.6
Forestal	-
Pesca	2.2
Artesanal	0.7
Industrial	-
Comercio	-
Servicio	0.7
Otra actividad	0.7

\* El porcentaje total es mayor a 100%, ya que existen productores que pueden tener más de una actividad.

## ***6.2. ESTUDIOS BÁSICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO.***

### ***6.2.1. Topografía.***

#### ***6.2.1.1. Desarrollo metodológico.***

Para este estudio se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG) e imágenes de satélite tipo radar, debido a que los planos topográficos generados por CNA-ICA (1999) para el área de estudio de factibilidad no son lo suficientemente legibles. Aunado a esto, dichas cartas están trabajadas a diferentes escalas, esto es 1:20,000, 150,000 y 1:250,000, según se reporta en la memoria correspondiente del estudio realizado.

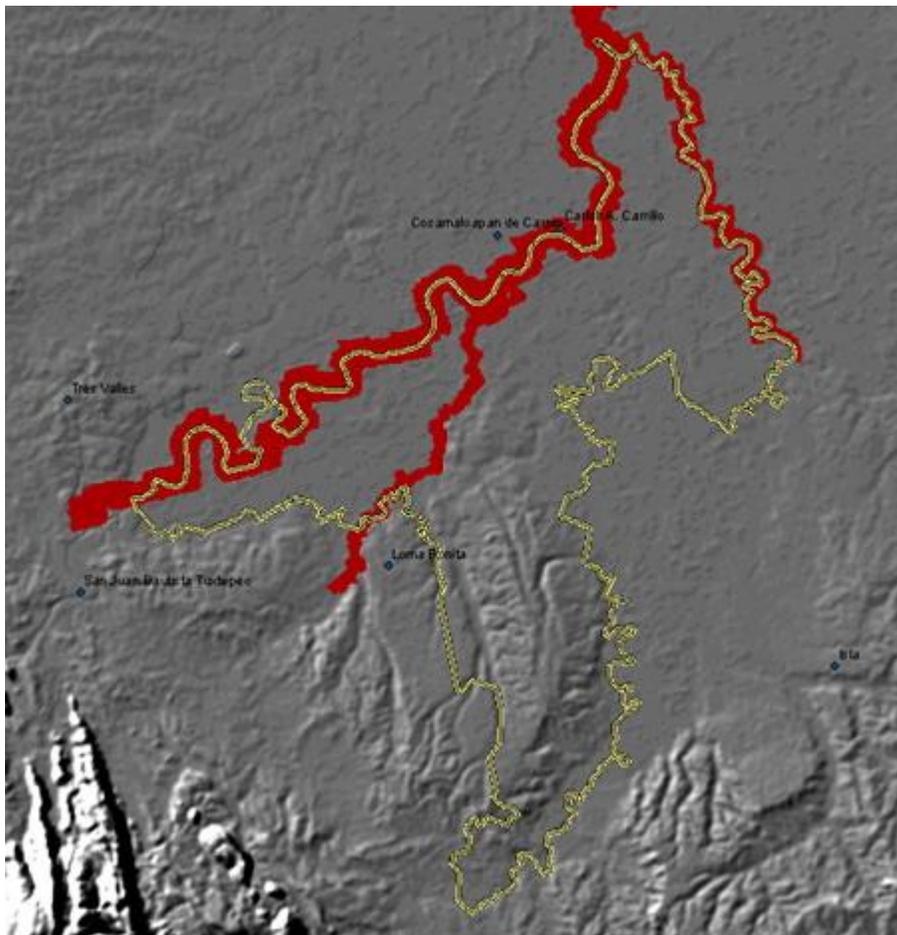
#### ***Generación del mapa topográfico y elevaciones***

La configuración del relieve se obtuvo de la Versión 2 del modelo de elevaciones generado por NASA/JPL, a partir del proyecto Misión Topográfica de Radar (SRTM).

Para la generación del Modelo Digital de Elevaciones del área en estudio, se construyó un mosaico a partir de las imágenes n16w096, n16w097, n17w095, n17w096, n17w097, n17w098, n17w099, n18w095, n18w096, n18w097, n18w098, n18w099, n19w098 y 19w099. Una vez obtenido el modelo digital de elevaciones, con ayuda del software ArcGis, se generaron los contornos de las curvas de nivel del área de trabajo a intervalos de 10 m. Del mismo modelo de elevaciones generado se reclasificaron las alturas, de tal manera que éstas fueran lo mejor representadas en el mapa correspondiente.

### ***Estudios de batimetría***

Con el fin de contar con información a detalle para la representación del relieve y las características de los cauces principales de la zona, se contó con la información batimétrica de dichos cauces y las zonas aledañas a estos. La Figura 15 muestra la superficie ocupada por los estudios de batimetría.



**Figura 15.** Áreas de batimetría para los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán.

Para la definición del escenario base (simulación hidráulica), se obtuvieron los siguientes parámetros: definición de la topografía; definición de canales, caminos y drenes; y secciones transversales y desniveles en drenes.

#### 6.2.1.2. Resultados.

La información topográfica con curvas a nivel cada 10 m de equidistancia se observa en los mapas 8 y 9. Como puede observarse, las elevaciones en la superficie estudiada van de 0 a 12 m en la parte sur, de 12 a 24 m en la parte oeste, la parte centro sur presenta elevaciones de 24 a 36 m, la sureste es la parte más alta con elevaciones que van de 96 a 122 m sobre el nivel medio del mar. Las pendientes del área de estudio se agruparon en intervalos (Cuadro 13), se observa que los intervalos de 0-3% se presentan en más de 70% del área, localizándose del centro hacia el norte de la zona de estudio. Los intervalos de pendientes más pronunciadas van de 11 a 58%, se localizan en la porción sur de la zona y sólo son pequeñas áreas localizadas en los lomeríos (aprox. 2%).

**Cuadro 13.** Intervalos de pendiente en el área de estudio.

Intervalo (%)	Área (ha)	%
0 – 1	42255.39	35.857
1 – 3	41219.70	34.978
3 – 5	16732.60	14.199
5 – 11	13079.40	11.099
11 – 18	2352.74	1.996
18 – 36	294.04	0.250
36 – 58	4.77	0.004
Cuerpos de agua	1905.83	1.617
<b>TOTAL</b>	<b>117844.463</b>	<b>100</b>

**FUENTE:** Datos generados del Modelo de Elevación Digital. CONAGUA-CP, 2006.

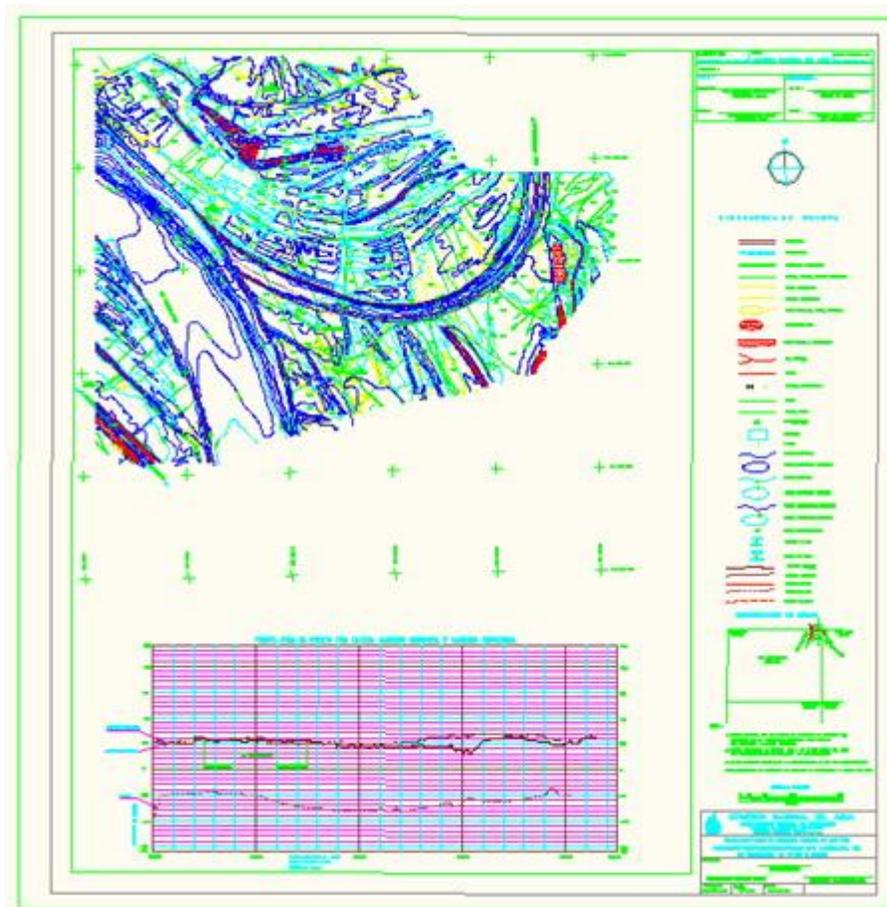
La información de planos de batimetría de los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán ya se tenía disponible (ver Figura 16).

#### 6.2.1.3. Conclusiones y recomendaciones.

Los mapas generados en este estudio representan una herramienta valiosa para caracterizar física y morfométricamente el área de drenaje de la zona de ampliación del Distrito de

Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán, con esta herramienta se tiene la capacidad de generar, calcular y desplegar elevaciones y pendientes con el fin de planear rutas para carreteras y localización de presas, delimitar cuencas y estimar escurrimientos en estudios hidrológicos, integrar la toponimia del área de estudio, entre otros usos más.

Es importante mencionar que para el diseño de obras hidráulicas, tales como bordos de contención, corrección de cauces, diseño de vasos reguladores, entre otros, en el área de estudio, se recomienda la realización de un levantamiento topográfico detallado con el uso de estaciones totales, lo anterior para el dimensionamiento adecuado de la infraestructura a construir.



**Figura 16.** Plano de batimetría del río Tesechoacán km 0+000 al 2+000.  
**FUENTE:** CONAGUA.

## 6.2.2. Agrología.

### 6.2.2.1. Uso del suelo.

El suelo como recurso natural es fundamental para el desarrollo económico de una región agropecuaria, su uso y manejo debe estar basado en el conocimiento de las características y propiedades del mismo, así como de los cultivos que se pretendan explotar. Para lograr este conocimiento es necesario identificar y evaluar las condiciones actuales en las que se encuentra este recurso, con la finalidad de hacer las propuestas que permitan hacer un uso racional y sustentable del suelo.

Actualmente, el suelo del área de estudio ha sido utilizado principalmente para las actividades agrícolas y pecuarias. La introducción de estas actividades se realizó mediante el desmonte de grandes extensiones de vegetación natural de selva alta y mediana perennifolia, comunidades vegetales de las cuales sólo quedan algunos vestigios.

Los usos de suelo que se identificaron en el área de estudio a través de los recorridos de campo e imágenes de satélite se reporta en el Cuadro 14.

**Cuadro 14.** Principales usos del suelo en el área de estudio.

Uso del suelo	Superficie	
	(ha)	(%)
Terrenos Agrícolas	60,488	51.33
Vegetación Natural	957	0.81
Zona Urbana	1,658	1.41
Cuerpos de agua	1,906	1.62
Terrenos con algún grado de inundación	52,831	44.83
<b>Total</b>	<b>117,840</b>	<b>100.00%</b>

Los terrenos de uso agrícola incluyen aquellos empleados tanto para el cultivo como para la ganadería, en el Cuadro 15 se indica la superficie destinada a cada uno de los principales cultivos que se producen en la región. La agricultura de esta zona es eminentemente de temporal, aunque los programas desarrollados por la CONAGUA han establecido algunas unidades de riego que permiten proporcionar agua a aquellos cultivos, generalmente los

más redituables, durante la época de estiaje. Como se puede apreciar del Cuadro 15, la variedad de cultivos que se explota en la zona va desde especies anuales de autoconsumo como el maíz y el frijol hasta especies frutícolas como el plátano y cítricos, además de especies perennes como la caña de azúcar que es el cultivo que abarca la mayor superficie.

Dentro del uso agrícola se incluyen los terrenos de praderas y agostaderos de los cuales se obtiene la alimentación básica para el ganado que se explota en esta región.

La vegetación natural de la zona ha sido completamente devastada, quedando solamente algunos relictos de la misma en comunidades de selva alta y mediana perennifolia y asociaciones de popal-tular, ambas comunidades se desarrollan en las áreas inmediatas a las márgenes de los ríos y se ven afectadas por las inundaciones de la zona (Figura 17).

Por zona urbana se incluye las áreas de asentamientos humanos en donde se incluyen las cabeceras municipales, así como aquellas comunidades que por la concentración de viviendas se pueden distinguir en la imagen de satélite o aparecen en las cartas de INEGI. Ocupan 1.41% del total del área por lo que se deduce que la zona es eminentemente rural y algunas de ellas se encuentran afectadas por los problemas de inundación.

**Cuadro 15.** Superficie ocupada por cultivos principales.

Cultivo	Superficie	
	(ha)	(%)
Caña	11,972	10.2
Chile	1,079	0.9
Cítricos	6,989	5.9
Frijol	4,907	4.2
Maíz	9,371	8.0
Mango	2,888	2.0
Pastos	13,016	11.0
Piña	4,527	3.8
Plátano	6,236	5.3
<b>TOTAL</b>	<b>60,488</b>	<b>51.3</b>



**Figura 17.** Áreas de vegetación natural en las márgenes de río Obispo.

Finalmente, los cuerpos de agua incluyen las áreas ocupadas por los ríos, lagunas y terrenos inundados permanentemente que por su tamaño pueden apreciarse en la imagen de satélite y los cuales en la actualidad llegan a ocupar 44.8% del área total de la zona.

#### **6.2.2.2. Descripción de las grandes categorías o unidades de suelo.**

En cuanto al recurso edáfico en el área de estudio, a una escala de 1:50,000 se identificaron siete unidades de suelo dominantes: Gleysol, Arenosol, Feozem, Luvisol, Vertisol y Acrisol. La descripción de éstas se realizó en dos fases: primero se describen las características de las unidades de suelo existentes en el área y después se hace una descripción de las asociaciones de suelos.

#### ***Gleysol***

El término gleysol deriva del vocablo ruso "gley" que significa masa fangosa, haciendo alusión a su exceso de humedad.

El material original lo constituye un amplio rango de materiales no consolidados, principalmente sedimentos de origen fluvial, marino o lacustre, del Pleistoceno u Holoceno.

La mineralogía puede ser ácida o básica. Se encuentran en áreas deprimidas o zonas bajas del paisaje, con mantos freáticos someros.

El perfil es de tipo ABgCr o HBgCr, si bien el horizonte Bg puede no existir. Es característica la evidencia de procesos de reducción, con o sin segregación de compuestos de hierro dentro de los primeros 50 cm del suelo.

La humedad es la principal limitación de los Gleysoles vírgenes; suelen estar cubiertos con una vegetación natural pantanosa e inútil o se usan para pastizal extensivo. Una vez drenados pueden utilizarse para cultivos, agricultura de subsistencia o huertas. En los trópicos y subtropicos se utilizan ampliamente para el cultivo del arroz.

### ***Arenosol***

El término arenosol deriva del vocablo latino "arena" que significa arena, haciendo alusión a su carácter arenoso.

Los arenosoles se desarrollan sobre materiales no consolidados de textura arenosa que, localmente, pueden ser calcáreos. En pequeñas áreas puede aparecer sobre areniscas o rocas silíceas muy alteradas.

Aparecen sobre dunas recientes, lomas de playas y llanuras arenosas bajo una vegetación herbácea muy clara y, en ocasiones, en mesetas muy viejas bajo un bosque muy claro. El clima puede ser cualquiera, desde árido a perhúmedo y desde muy frío a muy cálido.

El perfil es de tipo AC, con un horizonte E ocasional. En la zona seca solo presenta un horizonte ócrico superficial. En los trópicos perhúmedos tienden a desarrollar un horizonte alábico. En la zona templada húmeda muestran rasgos aluviales de humus, hierro y arcilla.

La mayoría de los arenosoles en la zona seca se usan para pastoreo extensivo, más si se riegan pueden soportar una gran variedad de cultivos. En la zona templada se utilizan para pastos y cultivos, aunque pueden requerir un ligero riego en la época más seca. En los

trópicos perhúmedos son químicamente casi estériles y muy sensibles a la erosión, por lo que deben dejarse sin utilizar.

### ***Feozem***

El término feozem deriva del vocablo griego "phaios" que significa oscuro y del ruso "zemplja" que significa tierra, haciendo alusión al color oscuro de su horizonte superficial, debido al alto contenido en materia orgánica. El material original lo constituye un amplio rango de materiales no consolidados. Destacan los depósitos glaciares con predominio de los de carácter básico.

Se asocian a regiones con un clima suficientemente húmedo para que exista lavado pero con una estación seca. El clima puede ir de cálido a frío y van de la zona templada a las tierras altas tropicales. El relieve es llano o suavemente ondulado y la vegetación de matorral tipo estepa o de bosque.

El perfil es de tipo AhBC y el horizonte superficial suele ser menos oscuro y más delgado que en los Chernozem. El horizonte B puede ser de tipo cámbico o árgico.

Los feozems vírgenes soportan una vegetación de matorral o bosque, si bien son muy pocos. Son suelos fértiles y soportan una gran variedad de cultivos de secano y regadío así como pastizales. Sus principales limitaciones son las inundaciones y la erosión.

### ***Luvisol***

El término luvisol deriva del vocablo latino "luere" que significa lavar, haciendo alusión al lavado de arcilla de los horizontes superiores para acumularse en una zona más profunda. Los luvisoles se desarrollan principalmente sobre una gran variedad de materiales no consolidados como depósitos glaciares, eólicos, aluviales y coluviales. Predominan en zonas llanas o con suaves pendientes de climas templados, fríos o cálidos pero con una estación seca y otra húmeda, como el clima mediterráneo.

El perfil es de tipo ABtC. Sobre el horizonte árgico puede aparecer un albico, en este caso son integrados hacia los albeluvisoles. El amplio rango de materiales originales y condiciones ambientales otorgan una gran diversidad a este grupo.

Cuando el drenaje interno es adecuado, presentan una gran potencialidad para un gran número de cultivos a causa de su moderado estado de alteración y su, generalmente, alto grado de saturación.

### ***Acrisol***

El término acrisol deriva del vocablo latino "acris" que significa muy ácido, haciendo alusión a su carácter ácido y su baja saturación en bases, provocada por su fuerte alteración.

Los acrisoles se desarrollan principalmente sobre productos de alteración de rocas ácidas, con elevados niveles de arcillas muy alteradas, las cuales pueden sufrir posteriores degradaciones.

Predominan en viejas superficies con una topografía ondulada, con un clima tropical húmedo, monzónico, subtropical o muy cálido. Los bosques claros son su principal forma de vegetación natural.

El perfil es de tipo AEBtC. Las variaciones están relacionadas con las condiciones del terreno. Un somero horizonte A oscuro, con materia orgánica poco descompuesta y ácida, suele pasar gradualmente a un E amarillento. El horizonte Bt presenta un color rojizo o amarillento más fuerte que el del E.

La pobreza en nutrientes minerales, la toxicidad por aluminio, la fuerte adsorción de fosfatos y la alta susceptibilidad a la erosión, son las principales restricciones a su uso. Grandes áreas de acrisoles se utilizan para cultivos de subsistencia, con una rotación de cultivos parcial. No son muy productivos salvo para especies de baja demanda y tolerantes a la acidez como la piña, caucho o palma de aceite.

### ***Vertisol***

El término vertisol deriva del vocablo latino "vertere" que significa verter o revolver, haciendo alusión al efecto de batido y mezcla provocado por la presencia de arcillas hinchables.

El material original lo constituyen sedimentos con una elevada proporción de arcillas esmectíticas, o productos de alteración de rocas que las generen. Se encuentran en depresiones de áreas llanas o suavemente onduladas. El clima suele ser tropical, semiárido, subhúmedo o mediterráneo con estaciones contrastadas en cuanto a humedad. La vegetación suele ser de sabana, de praderas naturales o con vegetación leñosa.

El perfil es de tipo ABC. La alternancia entre el hinchamiento y la contracción de las arcillas, genera profundas grietas en la estación seca y la formación de superficies de presión y agregados estructurales en forma de cuña en los horizontes subsuperficiales.

Los vertisoles se vuelven muy duros en la estación seca y muy plásticos en la húmeda. El labrado es muy difícil excepto en los cortos periodos de transición entre ambas estaciones. Con un buen manejo, son suelos muy productivos.

### ***Fluvisol***

El término fluvisol deriva del vocablo latino "fluvius" que significa río, haciendo alusión a que estos suelos están desarrollados sobre depósitos aluviales.

El material original lo constituyen depósitos, predominantemente recientes, de origen fluvial, lacustre o marino.

Se encuentran en áreas periódicamente inundadas, a menos que estén protegidas por diques, de llanuras aluviales, abanicos fluviales y valles pantanosos. Aparecen sobre todos los continentes y cualquier zona climática.

El perfil es de tipo AC con muestras de estratificación que dificultan la diferenciación de los horizontes, aunque el horizonte Ah es muy conspicuo. Los rasgos redoximórficos son frecuentes, sobre todo en la parte baja del perfil.

Los fluvisoles suelen utilizarse para cultivos de consumo, huertas y, frecuentemente, para pastos. Es habitual que requieran un control de las inundaciones, drenajes artificiales y que se utilicen bajo regadío. Cuando se drenan, los fluvisoles tiónicos sufren una fuerte acidificación acompañada de elevados niveles de aluminio.

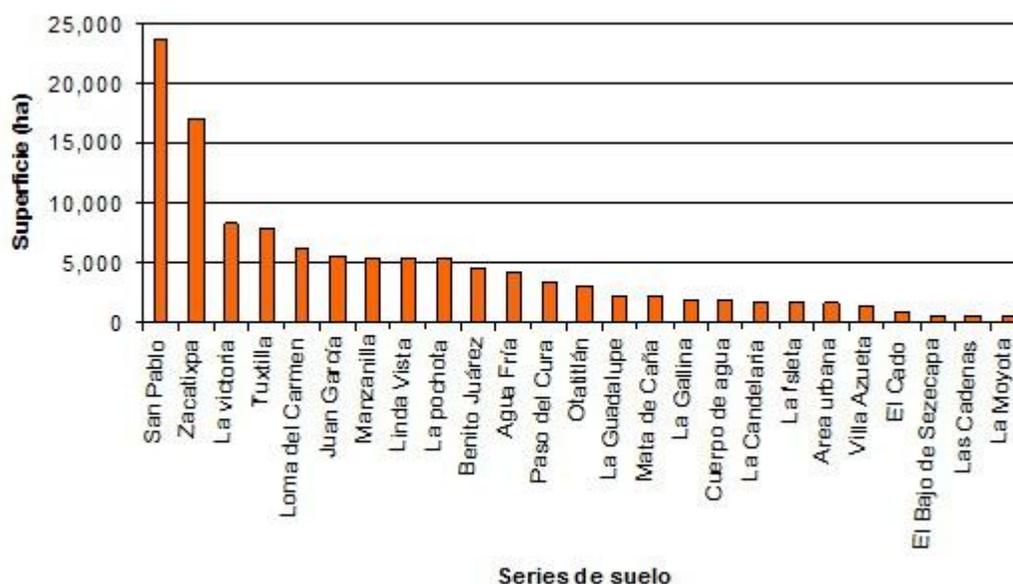
Los mapas elaborados para las series y unidades de suelo se presentan en el anexo.

### 6.2.2.3. Descripción y superficie de series de suelos.

Enseguida se describen las características de las series de suelos identificadas dentro del “Estudio de Factibilidad del Proyecto de Temporal Tecnificado Bajo Papaloapan-Tesechoacán, Estado de Veracruz” (CNA-ICA, 1992), así mismo se presentan las descripciones de los perfiles típicos representativos de cada una de las 23 series identificadas.

Se identificaron 23 series de suelos que ocupan un área de 117,840 ha, sin la presencia de algún tipo de fases dentro de las mismas. Para esto se caracterizó la zona mediante el uso de planos topográficos y fotointerpretación, lo cual posteriormente fue verificado en campo, a través de barrenaciones y pozos pedológicos, con su respectiva descripción general del sitio donde fueron realizados.

En la Figura 18 se resumen las 23 series de suelo identificadas, así como la superficie ocupada en hectáreas.



**Figura 18.** Series de suelo y su superficie.

### ***Serie San Pablo***

Son suelos profundos que soportan generalmente grandes láminas de agua de hasta 2.5 m por arriba de su superficie, durante 3 a 3.5 meses al año. Drenaje superficial e interno muy lento. Pendientes que van de 0 a 2% y sin relieve. Son de color café grisáceo muy oscuro, con presencia de manchas grises en la mayor parte de su perfil. La textura es arcilla limosa. Son suelos que presentan riesgo de inundación, tienen un alto nivel de fertilidad y regularmente son destinados a los agostaderos.

### ***Serie Zacatixpa***

Suelos de origen aluvial en los que el manto freático se encuentra cerca de la superficie del suelo (85 cm de profundidad). Dentro de esta serie se tienen suelos de clase II s1 d4 y las limitantes son la textura y la permeabilidad lenta. Estas condiciones propician una limitada diversidad de cultivos; aunque con un buen manejo del suelo, es posible mejorar las condiciones para el buen desarrollo de los mismos e incrementar su diversidad.

### ***Serie La Victoria***

Suelos de color café grisáceo oscuro, someros y de origen in-situ. Presentan una capa superficial con textura franco-arenosa y en el resto del perfil textura arcillosa mezclada con grava. Están ubicados dentro de la zona de lomerío en pendientes que oscilan del 3 al 6% y con un relieve ondulado. Su drenaje superficial e interno es moderado. La fertilidad del suelo es media cubierta. Estos suelos están cubiertos por pastizal de temporal.

### ***Serie Tuxtilla***

Suelos de color café oscuro, la pendiente que presentan es de 0 a 2% y sin relieve. Los suelos son aluviales profundos, con textura franca en la superficie y arcillosa en las capas inferiores, por lo que el manto freático se mantiene cerca de la superficie en época lluviosa. Estos suelos tienen un nivel bajo de fertilidad. Los suelos son destinados principalmente a la agricultura, con cultivos de plátano tanto de riego como de temporal, plantaciones de caña de azúcar de temporal, y cultivos cíclicos como son el maíz, frijol y chile (véase Figura 19).



**Figura 19.** Panorámica representativa de la serie Tuxtilla.

***Serie Loma del Carmen***

Suelos de color café grisáceo oscuro y se desarrollan bajo la influencia de una topografía con pendientes del 6 al 12% y un relieve ondulado, con textura franco-arenosa y, a mayor profundidad, franco-arcillosa mezclada con mucha cantidad de fragmentos rocosos. La fertilidad del suelo es baja. Son suelos para establecimiento de pastizales de temporal.



**Figura 20.** Panorámica representativa de la serie Juan García.

***Serie Juan García***

Los suelos de origen aluvial, profundos y de color café. Presentan texturas superficiales franco-arenosas. Se encuentran ubicados dentro de una topografía casi plana con pendientes

que oscilan del 0 al 1%. Son suelos sujetos a inundaciones y encharcamientos en época lluviosa. La fertilidad del suelo es muy baja. En estos suelos se establecen pastizales de temporal que son utilizados principalmente para el desarrollo de ganadería de tipo extensiva (Figura 20).

### ***Serie Manzanilla***

Los suelos de esta serie son de color grisáceo oscuro, están localizados en pendientes que oscilan del 12 al 20%, con un relieve muy ondulado y textura franco-arenosa. La fertilidad del suelo es muy baja. Su uso es principalmente para pastizal de temporal y agostadero.

### ***Serie Linda Vista***

Los suelos son de color café y se ubican en pendientes del 1 al 3%, con un relieve ligeramente ondulado, tienen texturas franco arenosas. La fertilidad del suelo es muy baja. El uso de estos suelos es para pastizales de temporal y fruticultura (Figura 21).



**Figura 21.** Panorámica representativa de la serie Linda Vista.

### ***Serie La Pochota***

Los suelos son de color café oscuro ubicados en pendientes casi planas (0 a 2%) sin relieve. Los suelos son aluviales profundos, de textura arcillo-limosa en todo su perfil. Tienen alta capacidad de retención de humedad porque el drenaje superficial es muy lento. La fertilidad del suelo es baja. Son suelos donde el pastizal de temporal, la caña de azúcar y los agostaderos sujetos a inundación ocupan un tercer lugar en base a la superficie, mientras que el cultivo de mango ocupa la menor superficie entre ellos.

### ***Serie Benito Juárez***

Los suelos son de color café con una pendiente que oscila entre 0 y 1%, y sin relieve. Los suelos son aluviales profundos, con textura franca en la superficie y arenosa en las capas inferiores. El drenaje superficial es lento. Tienen baja retención de humedad y su fertilidad es baja. Suelos destinados a la plantación de plátano y caña de azúcar (Figura 22).



**Figura 22.** Panorámica representativa de la serie Benito Juárez.



**Figura 23.** Panorámica representativa de la serie Agua Fría.

### ***Serie Agua Fría***

Suelos de color café grisáceo muy oscuro, aluviales muy profundos y presentan texturas francas en todo su perfil, por lo que su drenaje interno es moderado. Presentan pendientes

que oscilan entre 0 y 1% y sin relieve. Su drenaje superficial es muy ligeramente lento por lo que estas áreas están sujetas a encharcamientos e inundaciones hasta por dos meses en época de lluvias. La fertilidad es baja. Suelos destinados a agostadero sujeto a inundación y algunas superficies que son utilizadas para cultivos anuales como en el caso de sandía y maíz (véase Figura 23).

### ***Serie Paso del Cura***

Los suelos son de color café claro y presentan textura franca. El drenaje interno del suelo es moderadamente rápido. El nivel de fertilidad es muy bajo. Estos suelos son para el establecimiento de pastizal de temporal y para el cultivo de la caña de azúcar de temporal. En las áreas que están cubiertas por pastizal de temporal se explota una ganadería de tipo extensiva.

### ***Serie Otatitlán***

Los suelos son de colore café y profundos, con texturas arcillo-limosas en la superficie y arenosas en los estratos inferiores. Presenta pendientes casi nulas y un relieve moderadamente ondulado. El drenaje va de lento a moderadamente lento. Son suelos que se destinan a la agricultura de temporal y ganadería extensiva, tal como se observa en la Figura 24.



**Figura 24.** Panorámica representativa de la serie Otatitlán.

### ***Serie La Guadalupe***

Suelos de color café grisáceo muy oscuro, poco profundos y tienen texturas superficiales francas. Se ubica en pendientes que oscilan entre el 1 y 3%. Su drenaje superficial es moderado y el interno es lento. El nivel de fertilidad de estos suelos es muy bajo. Se usan para el establecimiento de pastizal y fruticultura de temporal.

### ***Serie Mata de Caña***

Suelos medianamente profundos de color café amarillento oscuro, se ubican en pendientes que oscilan entre el 1 y 3% y por un relieve ligeramente ondulado, lo que origina un drenaje superficial ligeramente lento. El nivel de fertilidad es bajo. El uso de estos suelos es para pastizal y caña de azúcar de temporal, así como algunas plantaciones de piña (Figura 25).



**Figura 25.** Panorámica representativa de la serie Mata de Caña.

### ***Serie La Gallina***

Los suelos de esta serie son de color café oscuro y son medianamente profundos. Tienen una capa superficial de 15 a 20 cm de espesor, con textura franco-arenosa. Se encuentran ubicados en pendientes que oscilan del 0 al 3% y con un relieve ligeramente ondulado. Su drenaje superficial es lento y el drenaje interno moderadamente lento. La fertilidad del suelo es media. El uso de estos suelos es el establecimiento de pastizal de temporal, que sirve, al mismo tiempo, para el desarrollo de ganadería extensiva (véase Figura 26).



**Figura 26.** Panorámica representativa de la serie La Gallina.

### ***Serie La Candelaria***

Son suelos aluviales y profundos, con texturas franco-arcillo-limosas, se ubican en pendientes que oscilan entre el 0 y el 3% y sin relieve. El drenaje superficial e interno es moderado. El nivel de fertilidad es bajo. Son suelos destinados para el establecimiento de pastizales de temporal.

### ***Serie La Isleta***

Suelos de color café grisáceo muy oscuro con pendientes casi nulas y sin relieve. El drenaje es muy lento. De origen aluvial y profundos, con texturas arcillo-limosas en la superficie y arenosa en los estratos inferiores del perfil. Principalmente para el cultivo de caña de azúcar de temporal, aunque también se pueden observar plantaciones de plátano de temporal.

### ***Serie Villa Azueta***

Son suelos de origen in-situ muy someros. Tienen textura franco arenosa. Se presentan pendientes que oscilan entre el 1 y 3% y tienen un relieve ligeramente ondulado. Su drenaje superficial es moderado y el interno es moderadamente rápido. La fertilidad del suelo es baja. Su uso es para pastizal y frutícola.

### ***Serie El Cado***

Son suelos profundos de color café oscuro y de textura franco-arenosa. Las pendientes predominantes oscilan del 0 al 2%, por lo que el drenaje superficial es lento; sin embargo, no se tienen problemas de inundación o encharcamiento debido a la presencia de drenes naturales y al drenaje interno del suelo que es moderadamente rápido. La fertilidad del

suelo es muy baja. Estos suelos se usan como pastizales de temporal el cual al mismo tiempo se usa para el establecimiento de ganadería extensiva.

#### ***Serie El Bajo de Sezecapa***

Los suelos de esta serie son de origen aluvial y poco profundos. Tienen texturas superficiales franco-arenosas. Se ubican en pendientes que oscilan entre el 0 y el 1%, y sin relieve. El drenaje interno es moderadamente rápido y el superficial lento. La fertilidad del suelo es media. Son suelos de agostaderos para ganadería extensiva.

#### ***Serie Las Cadenas***

Estos suelos son de origen aluvial y profundo. Son de color gris cafésáceo claro y de textura arcillo-limosa. Las pendientes oscilan del 0 al 2% y sin relieve. El drenaje superficial e interno es lento. El nivel de fertilidad de estos suelos es muy bajo. Se usan principalmente para agricultura y pastizal de temporal. Sólo unas pequeñas áreas están ocupadas por fruticultura (mango de temporal) y otras por monte.

#### ***Serie La Moyota***

Suelos de café oscuro y profundos, con textura que varía de franca en la superficie a arena francosa en las capas internas del suelo, lo que les atribuye un buen drenaje interno. El nivel de fertilidad que presentan estos suelos es medio. Y son suelos destinados a la agricultura de temporal y a la fruticultura.

En los mapas 10 y 11 se muestran las series de suelos y la distribución espacial de las unidades de suelo dominantes en el área de estudio. En el Cuadro 16 se describen las asociaciones de suelo, incluyendo el área ocupada por cuerpos y corrientes de agua. El Mapa 12 muestra la distribución espacial de las asociaciones de suelos localizadas en el área de estudio.

#### **6.2.2.4. Degradación del suelo causada por el hombre**

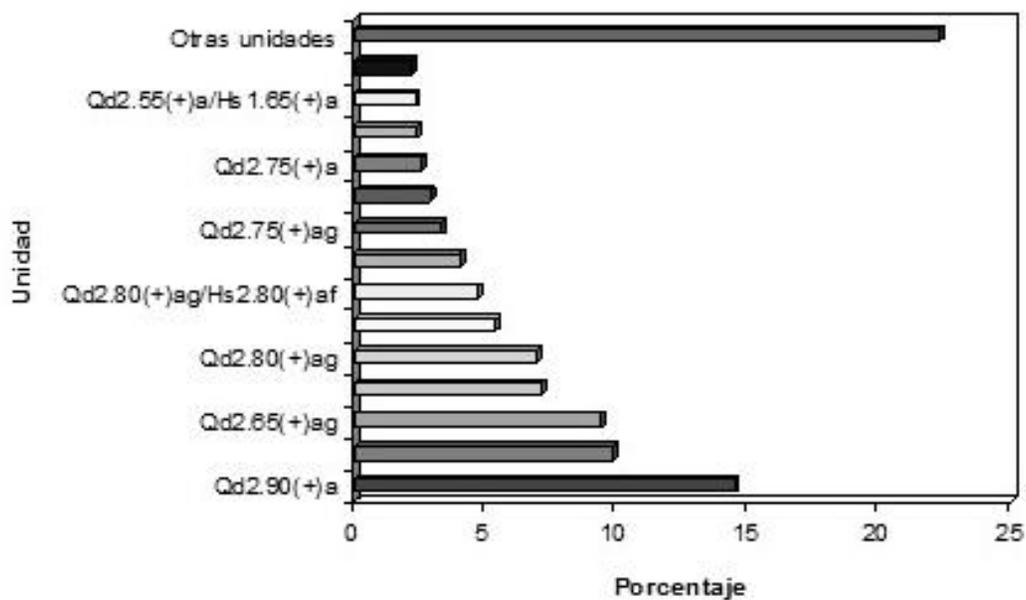
Se evaluó la degradación del suelo causada por el hombre. La degradación se determina con base en observaciones hechas en campo.

### ***Evaluación y cuantificación de la degradación***

Dentro del área de estudio se localizaron áreas completamente alteradas que corresponden a las zonas agrícolas y ganaderas; áreas poco alteradas, que incluyen las selva media. El principal tipo de degradación observado fue del tipo química por declinación de la fertilidad del suelo, causada principalmente por los cultivos de tipo extensivo que se desarrollan en el área, además de las actividades de tipo ganadero. En total se identificaron 38 unidades cartográficas de degradación, las diferencias entre una y otra en algunos casos son mínimas, sin embargo, son importantes por la clasificación que se utiliza para generar cada unidad de degradación. En la Figura 27, se observa el porcentaje que ocupan las principales unidades de degradación.

**Cuadro 16.** Asociaciones de suelos localizadas en el área de estudio.

Clave de asociación	Suelo 1	Subunidad 1	Suelo 2	Subunidad 2	Suelo 3	Subunidad 3	Clase textural	Superficie
								(ha)
Gv+Ge+Vp/3	Gleysol	vértico	Gleysol	éutrico	Vertisol	pélico	Fina	46,020.65
Qc+Hh+Bc/1	Arenosol	cámbico	Feozem	Háplico	Cambisol	crómico	Gruesa	11,415.96
Hh/1	Feozem	háplico					Gruesa	9,374.14
Qc+Hh/1	Arenosol	crómico	Feozem	Háplico			Gruesa	8,586.33
Ge+Vp/3	Gleysol	éutrico	Vertisol	Pélico			Fina	7,633.55
Ah+Hh+Re/3	Acrisol	húmico	Feozem	Háplico	Regosol	éutrico	Fina	7,514.24
Lo+Lk+Vp/3	Luvisol	órtico	Luvisol	Cálcico	Vertisol	pélico	Fina	7,017.82
Lg+Ge+Lp/3	Luvisol	gléyico	Gleysol	Éutrico	Luvisol	plíntico	Fina	6,663.66
Gp+Hh/2	Gleysol	plíntico	Feozem	Háplico			Media	3,900.70
Hl+Vp/3	Feozem	lúvico	Vertisol	Pélico			Fina	1,864.80
Lp+Lc+Hl/2	Luvisol	plíntico	Luvisol	crómico	Feozem	lúvico	Media	1,672.17
Vp+Ge/3	Vertisol	pélico	Gleysol	Éutrico			Fina	830.82
Je/1	Fluvisol	éutrico					Gruesa	771.73
Vp+Hh/3	Vertisol	pélico	Feozem	Háplico			Fina	532.7
Hl+Vp+Ge/3	Feozem	lúvico	Vertisol	Pélico	Gleysol	éutrico	Fina	483.93
Hh+Hh+Vp/2	Feozem	lúvico	Feozem	Háplico	Vertisol	pélico	Media	315.79
H2O	Gleysol	éutrico	Vertisol	crómico			Fina	219.18
Hl/3	Feozem	lúvico					Fina	51.87
Hh+Re/2/G	Feozem	háplico	Regosol	Éutrico			Media	51.54
Hh+Vp+Re/2	Feozem	háplico	Vertisol	Pélico	Regosol	éutrico	Media	27.74
Vp+Hl/3	Vertisol	pélico	Feozem	Lúvico			Fina	4.6
H2O								2,886.08
<b>Total</b>								<b>117,840.00</b>



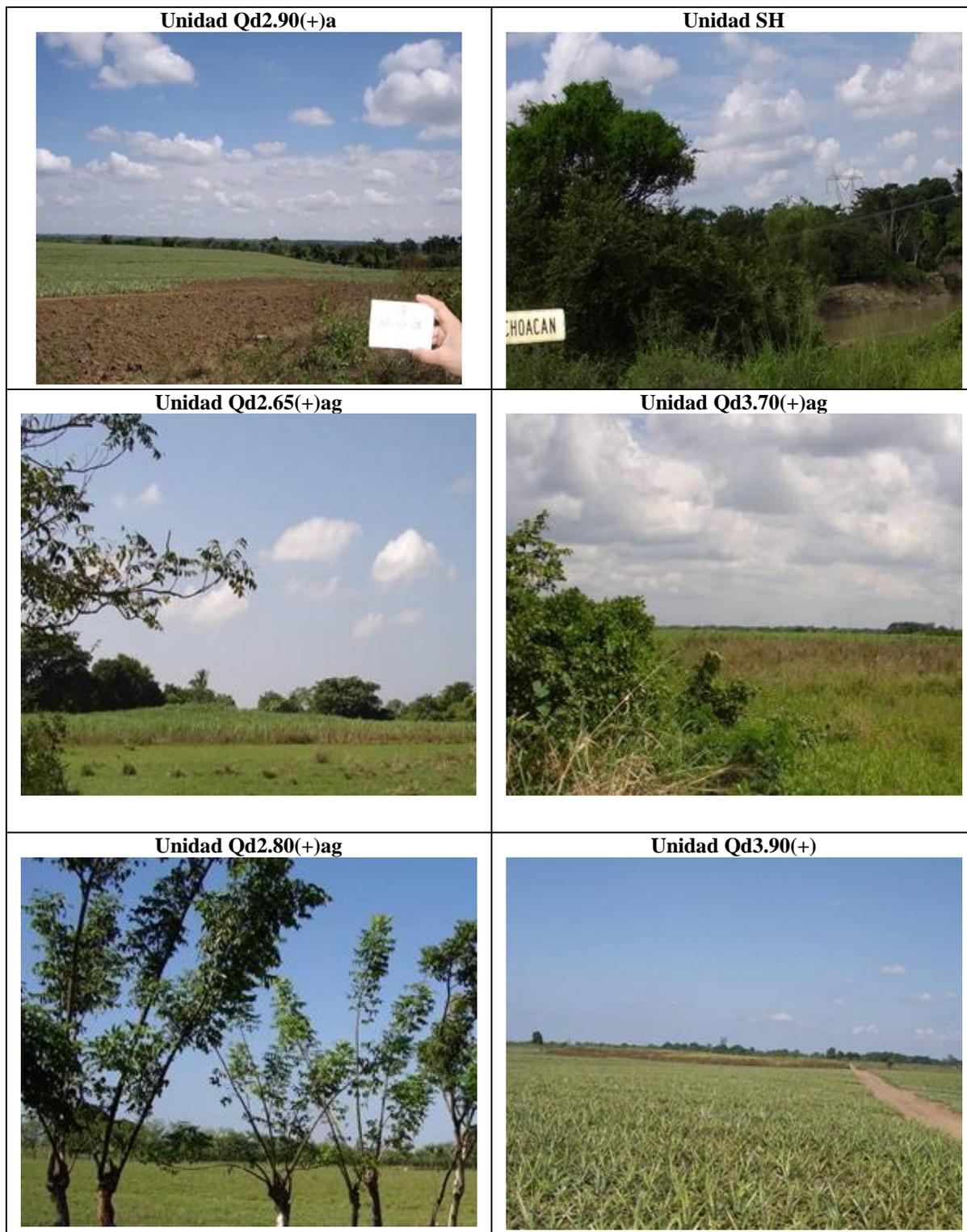
**Figura 27.** Distribución de las unidades de degradación.

***Descripción de las unidades cartográficas de degradación***

En las siguientes figuras se muestra, a través de fotografías, las características de las unidades cartográficas de degradación que ocupan la mayor cantidad de superficie en el área de estudio, definidas a partir de imágenes de satélite e información recopilada en campo.



**Figura 28.** Unidad de degradación Qd2.80(+)/ag/Hs2.80(+)/af.



**Figura 29.** Unidades cartográficas de degradación.



**Figura 30.** Cuerpos de agua y Unidad de degradación Fu3.80(+).u.

#### **6.2.2.5. Conclusiones.**

La serie San Pablo es la que ocupa el mayor porcentaje de la zona de estudio con una superficie de 23,695 ha, lo que representa 20% de la superficie total, en segundo lugar la serie Zacatixpa con el 14% y una superficie de 17,045 ha.

Para las localidades donde se encuentra la serie San Pablo se recomienda contemplar el riego de inundación.

De manera general, dentro de esta área una limitante es la poca pendiente (0 a 3%) con excepción de las series Loma del Carmen y Manzanillo, las que tienen pendientes de 6-12% y 12- 20% respectivamente.

Los porcentajes de pendiente aunado al lento drenaje superficial del suelo en esta zona condicionan a que solo se puedan establecer cultivos en determinadas épocas del año, debido a la época de sequía que se presenta y a los encharcamientos generados en la época de lluvias.

#### **6.2.3. Agroclimatología.**

##### **6.2.3.1. Estaciones climáticas.**

En total se consideraron 24 estaciones climáticas (Cuadro 17), dándoles mayor importancia a las siete estaciones más próximas a la zona de estudio.

**Cuadro 17.** Estaciones seleccionadas para la caracterización climática.

<b>Estación</b>	<b>No. de estación</b>	<b>Latitud <sup>(*)</sup></b>	<b>Longitud <sup>(*)</sup></b>
Bethania, San Juan Bautista	20008	17.967	-96.033
Santa. Maria Jacatepec	20042	17.867	-96.200
San Juan del Río	20113	17.467	-95.817
Tuxtepec, Tuxtepec (Dge)	20294	18.083	-96.133
Villa Azueta, José Azueta	30013	18.083	-95.717
Ciudad Alemán, Cosamaloapan	30025	18.183	-96.083
Col. Grupo O3, Playa Vicente	30029	17.833	-95.567
Cuatotolapan	30035	18.133	-95.300
Independencia	30070	17.817	-95.433
Mata de Limones, Isla	30103	18.133	-95.533
Paraíso Novillero	30117	18.267	-95.950
Otatitlán, Otatitlán	30121	18.183	-96.017
Playa Vicente (SMN)	30131	17.833	-95.817
Juan Rodríguez Clara	30143	18.000	-95.400
San Juanillo, Acayucan	30148	18.317	-95.217
San Miguel, Acula	30150	18.567	-95.733
Garro Ca. Nicolás, Isla	30152	18.250	-95.533
Santa Rosalía Tlacotalpan	30159	18.450	-95.583
Tlacotalpan, Tlacotalpan	30183	18.617	-95.667
Tres Zapotes, Santiago Tuxtla	30189	18.450	-95.450
San Pedro Amatitlan	30202	18.450	-95.750
Cosamaloapan Carpio(DGE)	30205	18.367	-95.817
Carlos A. Carrillo	30314	18.383	-95.750
Zapotal, Tlacotalpan	30328	18.483	-95.567

<sup>(\*)</sup> Grados

La información meteorológica se obtuvo de la base de datos CLICOM; las variables que se obtuvieron fueron: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. De las estaciones de mayor influencia, también se obtuvieron las variables, velocidad del viento, evaporación, nubosidad, días con niebla, granizo y tormenta.

### 6.2.3.2. Precipitación.

En el Cuadro 18 se reportan las precipitaciones medias mensuales de las estaciones José Azueta (30013), Ciudad Alemán (30025), Paraíso Novillero (30117), Otatitlán (30121), Playa Vicente (30131), Tlacotalpan (30183) y Cosamaloapan (30205).

**Cuadro 18.** Precipitación media mensual.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
30013	33.50	29.07	24.35	24.42	66.30	261.60	323.78	252.90	268.64	168.56	76.14	49.84	1579.11
30025	33.38	29.22	25.42	29.33	91.67	356.83	450.53	358.49	370.18	172.55	70.46	50.40	2038.46
30117	29.99	25.21	19.97	19.30	69.68	256.04	327.74	274.70	297.49	158.46	75.15	47.43	1601.14
30121	49.02	43.16	30.60	36.38	93.69	336.66	390.56	321.60	355.37	194.62	90.26	59.01	2000.93
30131	34.46	36.58	25.24	40.96	85.62	370.29	415.65	364.10	346.33	169.47	85.55	60.69	2034.94
30183	41.59	38.46	23.39	22.93	50.28	184.09	313.04	245.83	386.02	287.42	133.50	91.17	1817.73
30205	34.30	27.17	25.89	20.41	63.94	176.03	294.40	202.37	290.93	202.60	84.21	38.89	1461.14

#### *Precipitación media por estación*

Los años de registro son diferentes para cada una de las estaciones. A continuación se describe la información por estación.

#### *Estación José Azueta*

Esta estación tiene 48 años de registro, la máxima precipitación mensual se presentó en el año 2002 siendo de 644.50 mm y la mínima fue en 1983 con 51.00 mm.

#### *Ciudad Alemán*

De la estación Ciudad Alemán se tiene un total de 51 años de registro. De los años completos de registro la precipitación media anual máxima se presentó en 1993, siendo de 1,922.70 mm, y la mínima en 1953 con 1,350.80 mm.

#### *Paraíso Novillero*

Esta estación tiene 50 años de registro. De los años completos de registro, la precipitación media anual máxima se presentó en el año 1981, siendo de 2,442.30 mm, y la mínima durante el año 1969 con 1204.20 mm.

### *Otatitlán*

Para la estación Otatitlán se tiene un registro mensual de lluvia de 62 años. De los años completos de registro, la precipitación media anual máxima se presentó en el año 1942, siendo de 3,888.90 mm, y la mínima fue durante el año 1989 con 1,010.00 mm.

### *Playa Vicente*

Se tiene un registro mensual de lluvia de 41 años. De los años completos de registro, la precipitación media anual máxima se presentó en el año 1981, siendo de 2,880.50 mm, y la mínima fue durante el año 1970 con 1,333.0 mm.

### *Tlacotalpan*

Para la estación Tlacotalpan se tiene un registro mensual de lluvia de 31 años. De los años completos de registro, la precipitación media anual máxima se presentó en el año 1955, siendo de 2,683.90 mm, y la mínima fue durante el año 1964 con 1,260.60 mm.

### *Cosamaloapan*

Se tiene un registro mensual de lluvia de 31 años. De los años completos de registro, la precipitación media anual máxima se presentó en el año 1952, siendo de 2,132.10 mm, y la mínima fue durante el año 1949 con 916.80 mm.

### ***Cálculo de la probabilidad de la Lluvia***

Para calcular la probabilidad de la lluvia se utilizó el método descrito por Sys (1991), para el cual se requiere de al menos un periodo de 10 años de observación. Al analizar los datos históricos de las 7 estaciones antes descritas, se obtuvo que la precipitación media anual presentó el comportamiento de una función normal. En el cálculo de las probabilidades, una probabilidad de 90% indica al menos 9 de cada 10 años existe la posibilidad de que se presente una precipitación de este tipo. A continuación se presentan las probabilidades de precipitación de 90, 80, 75, 70 y 50% para las 7 estaciones descritas (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Probabilidad de precipitación para las estaciones climáticas.**

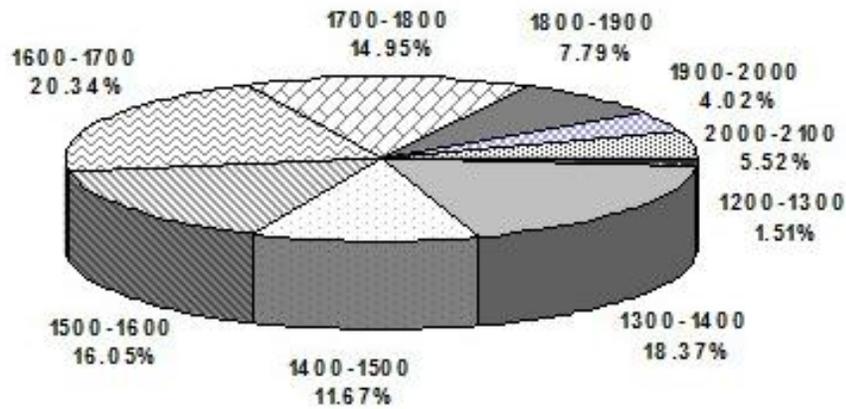
<b>Estación José Azueta (30013)</b>													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	33.50	29.07	24.35	24.42	66.30	261.60	323.78	252.90	268.64	168.56	76.14	49.84	1579.11
0.9	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00	96.87	165.60	86.02	78.35	47.42	16.47	6.85	500.03
0.8	13.51	9.20	6.63	1.74	18.20	154.00	216.51	147.43	142.74	90.31	37.99	21.13	859.39
0.75	17.72	13.14	9.97	6.80	28.19	175.71	235.85	170.76	167.21	106.60	46.17	26.55	1004.65
0.7	21.50	16.67	12.98	11.33	37.16	195.20	253.21	191.70	189.17	121.23	53.52	31.42	1135.08
0.5	34.68	28.98	23.46	27.16	68.46	263.20	313.80	264.79	265.81	172.28	79.14	48.40	1590.15
<b>Estación Ciudad Alemán (30025)</b>													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	33.38	29.22	25.42	29.33	91.67	356.83	450.53	358.49	370.18	172.55	70.46	50.40	2038.46
0.9	0.00	0.00	0.00	0.00	1.97	99.50	257.75	173.94	159.01	48.82	7.10	11.18	759.28
0.8	9.45	9.37	7.35	2.41	33.10	183.74	321.17	239.97	228.56	93.31	30.32	23.04	1181.79
0.75	13.68	13.06	11.11	7.61	44.92	215.74	345.27	265.06	254.99	110.20	39.15	27.54	1348.33
0.7	17.47	16.37	14.48	12.28	55.54	244.48	366.90	287.59	278.72	125.38	47.07	31.58	1497.87
0.5	30.71	27.93	26.25	28.59	92.58	344.74	442.39	366.18	361.51	178.32	74.71	45.69	2019.59
<b>Estación Paraíso Novillero (30117)</b>													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	29.99	25.21	19.97	19.30	69.68	256.04	327.74	274.70	297.49	158.46	75.15	47.43	1601.14
0.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.99	154.10	113.30	143.74	33.61	0.00	0.00	511.75
0.8	4.46	5.65	3.61	0.00	12.53	131.32	212.79	171.49	196.10	78.08	22.80	11.24	850.07
0.75	9.07	9.39	6.89	3.42	23.31	155.76	235.09	193.60	215.99	94.97	33.85	17.67	999.02
0.7	13.20	12.75	9.84	6.93	32.99	177.71	255.11	213.45	233.85	110.14	43.78	23.44	1133.21
0.5	27.63	24.49	20.12	19.18	66.76	254.28	324.97	282.71	296.17	163.07	78.42	43.57	1601.37
<b>Estación Ototitlán (30121)</b>													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	49.02	43.16	30.60	36.38	93.69	336.66	390.56	321.60	355.37	194.62	90.26	59.01	2000.93
0.9	0.00	149.54	0.00	118.11	7.97	728.49	134.77	101.88	123.10	38.12	5.27	0.00	1407.24
0.8	3.63	131.63	5.72	104.44	36.54	662.18	219.20	177.09	200.42	90.42	34.29	13.36	1678.92
0.75	12.65	125.07	10.56	99.42	47.40	637.87	251.27	205.66	229.80	110.29	45.32	21.99	1797.30
0.7	20.75	119.30	14.91	95.02	57.15	616.51	280.07	231.32	256.17	128.14	55.22	29.74	1904.29
0.5	49.02	100.25	30.09	80.47	91.16	545.97	380.55	320.83	348.20	190.39	89.75	56.78	2283.44
<b>Estación Playa Vicente (30131)</b>													
Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	34.46	36.58	25.24	40.96	85.62	370.29	415.65	364.10	346.33	169.47	85.55	60.69	2034.94

0.9	0.00	1.72	0.00	0.00	0.00	113.52	269.82	186.62	177.98	59.93	13.75	0.00	823.33
0.8	11.77	13.69	8.43	6.41	24.12	201.72	319.91	247.58	235.81	97.55	38.41	12.76	1218.18
0.75	16.28	18.24	11.77	13.28	36.35	235.23	338.95	270.74	257.78	111.85	47.78	22.29	1380.53
0.7	20.33	22.32	14.78	19.45	47.32	265.31	356.03	291.54	277.50	124.68	56.19	30.84	1526.31
0.5	34.46	36.58	25.24	40.96	85.62	370.29	415.65	364.10	346.33	169.47	85.55	60.69	2034.92
<b>Estación Tlacotalpan (30183)</b>													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	41.59	38.46	23.39	22.93	50.28	184.09	313.04	245.83	386.02	287.42	133.50	91.17	1817.73
0.9	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	21.22	64.09	33.71	124.71	96.96	8.16	7.49	360.44
0.8	16.98	10.42	6.68	0.00	7.55	77.16	149.60	106.57	214.47	162.38	51.21	36.23	839.26
0.75	21.87	15.99	10.00	2.70	16.04	98.42	182.09	134.25	248.57	187.24	67.57	47.15	1031.90
0.7	26.27	21.00	12.99	7.20	23.67	117.50	211.26	159.11	279.19	209.56	82.26	56.96	1206.95
0.5	41.59	38.46	23.39	22.93	50.28	184.09	313.04	245.83	386.02	287.42	133.50	91.17	1817.71
<b>Estación Cosamaloapan (30205)</b>													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	34.30	27.17	25.89	20.41	63.94	176.03	294.40	202.37	290.93	202.60	84.21	38.89	1461.14
0.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.42	89.51	24.32	69.88	41.79	7.89	0.00	<u>283.81</u>
0.8	10.39	7.09	6.44	0.00	0.00	97.21	163.98	89.87	148.35	98.12	35.53	10.39	<u>667.39</u>
0.75	15.57	11.47	10.66	1.95	9.79	114.98	192.28	114.77	178.17	119.53	46.03	16.87	<u>832.06</u>
0.7	20.21	15.40	14.45	6.64	22.69	130.95	217.68	137.13	204.93	138.75	55.45	22.68	<u>986.96</u>
0.5	36.42	29.11	27.66	23.03	67.67	186.64	306.32	215.15	298.33	205.80	88.34	42.96	<u>1527.43</u>

### ***Mapa de precipitaciones***

Se generó un mapa de precipitación relacionando las características de color asociado con la vegetación existente y las distintas formaciones orográficas para explicar los datos de precipitación reportados por las estaciones meteorológicas, para asociarlos a la presencia de vientos dominantes y el efecto de las formaciones ortográficas en la incidencia de la precipitación.

La precipitación en la zona de estudio varía de 1,200 a 2,100 mm anuales. Al generar intervalos de 100 mm se tiene que los tres más importantes, en cuanto a superficie ocupada, son las isoyetas de 1,600-1,700 mm con 20.34% de la superficie, de 1,300-1,400 mm con 18.37% y 1,500-1,600 mm con 16.05% (Figura 31).



**Figura 31.** Distribución porcentual de las isoyetas.

En el Cuadro 20, se reporta la superficie ocupada por las isoyetas en intervalos de 100 mm, tanto en kilómetros cuadrados como en porcentaje.

A partir de estos datos se generó el mapa de precipitación media anual, el cual permite apreciar la distribución espacial de la precipitación en el área. Se observa que la parte norte es menos húmeda, mientras que en el sur la precipitación se incrementa debido a la fisiografía que existe (Mapa 13).

**Cuadro 20.** Superficie ocupada por Isoyetas.

Intervalos de precipitación anual (mm)	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
1200-1300	17.80	1.51
1300-1400	216.44	18.37
1400-1500	137.56	11.67
1500-1600	189.09	16.05
1600-1700	239.66	20.34
1700-1800	173.61	14.73
1800-1900	91.77	7.79
1900-2000	47.42	4.02
2000-2100	65.01	5.52
	1,178.40	100.00

### 6.2.3.3. Temperatura.

Meteorológicamente se puede hablar de tres tipos de temperaturas: las máximas, mínimas y medias (Cuadro 21), esta última es consecuencia del promedio de las dos anteriores.

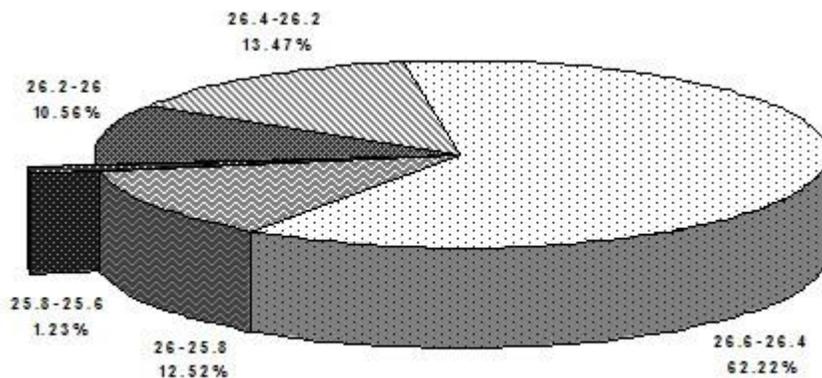
**Cuadro 21.** Temperatura máxima y mínima histórica.

Estación	Máxima mensual histórica	Mínima mensual histórica
Estación José Azueta	40.45 °C	14.56 °C
Ciudad Alemán	39.68 °C	13.79 °C
Paraíso Novillero	38.63 °C	13.98 °C
Otatitlán	40.32 °C	15.27 °C
Playa Vicente	39.39 °C	15.11 °C
Tlacotalpan	35.03 °C	14.85 °C
Cosamaloapan	37.90 °C	14.77 °C

### Isotermas

Las isotermas se generaron a partir de un modelo de regresión lineal simple basados en la temperatura media y la altitud de las estaciones seleccionadas, se generaron isotermas cada 0.2 °C, resultando cuatro isotermas, la de 25.8, 26.0, 26.2 y 26.4 °C. En la Figura 32 se indica la superficie porcentual entre isotermas.

La superficie en kilómetros cuadrados y porcentuales entre isotermas se reporta en el Cuadro 22.



**Figura 32.** Distribución porcentual de isotermas.

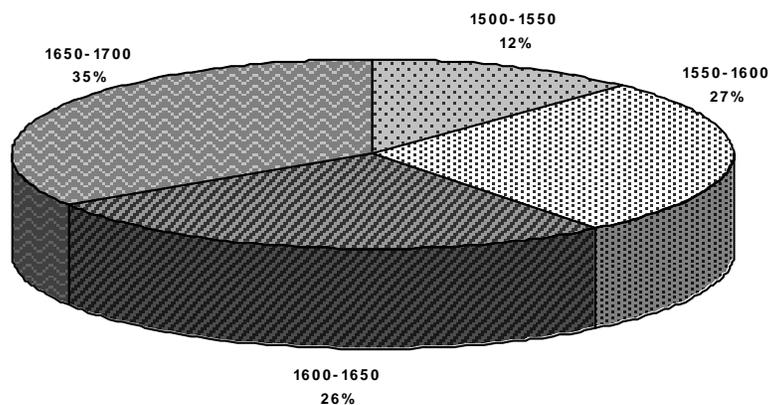
**Cuadro 22.** Superficie entre isotermas.

Rangos de isotermas (°C)	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
25.6-25.8	14.45	1.23
25.8-26.0	147.53	12.52
26.0-26.2	124.45	10.56
26.2-26.4	158.71	13.47
26.4-26.6	733.26	62.22
<b>Total</b>	<b>1,178.40</b>	<b>100.00</b>

En el Mapa 14 se ilustra la distribución de las isotermas de temperaturas medias, la cual disminuye mientras se incrementa la altitud. La zona más cálida de los rangos entre las isotermas ocupa la mayor parte del área de estudio.

#### 6.2.3.4. Evaporación.

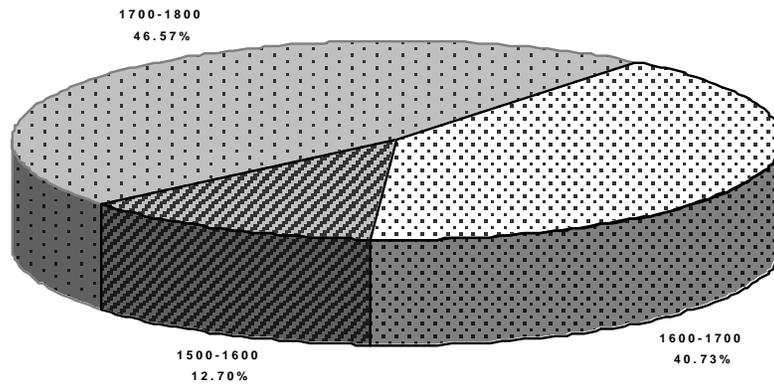
El área de interés se localiza entre las líneas de evaporación 1500-1700 mm anuales, por lo tanto, se generó un escenario cada 50 mm de evaporación resultando las líneas de 1550, 1600, 1650, 1700 mm. En la Figura 33 se muestra la superficie porcentual entre líneas de evaporación donde la 1650-1700 mm ocupa una superficie de 34.18%, seguido por 1550-1600 mm con 27.585%, 1600-1650 mm con 26.35% y por último la 1500-1550 mm con 12.19% (Figura 33).



**Figura 33.** Distribución porcentual de isóneas de evaporación.

El mapa 15 muestra la distribución de las isóneas de evaporación en el área de estudio.

### 6.2.3.5. Evapotranspiración.



**Figura 34.** Distribución porcentual de isolíneas de evapotranspiración de referencia.

Las isolíneas de evapotranspiración de referencia se generaron cada 100 mm, el resultado fueron la de 1600 y 1700 mm, sin embargo para analizar las superficies que influyen se crearon rangos, de 1500 a 1600 mm, 1600 a 1700 mm, y 1700 a 1800 mm. El rango que mayor superficie abarca es el de 1700 a 1800 mm con 46.57%, seguido por el de 1600 a 1700 mm con 40.73% y la última de 1500 a 1600 mm con el 12.70% (Figura 34).

Dentro del rango 1600 a 1700 mm anuales esta Cosamaloapan con 1627.97 mm, Otatitlán con 1641.93 mm y Ciudad Alemán con 1643.54 mm, durante el mes de enero se presenta la evapotranspiración más pequeña del año y en el mes de mayo la más alta debido especialmente a las altas temperaturas (Mapa 16).

Las estaciones Villa Azueta y Playa Vicente se encuentran en el rango de 1700 a 1800 mm, siendo la primera de 1733.47 mm y la otra de 1774.63 mm. Con respecto a la evapotranspiración mensual, durante enero se presentan las más pequeñas y en mayo las más altas.

### 6.2.3.6. Cobertura nubosa.

La nubosidad es la porción del cielo cubierta por nubes, la cual se puede medir de 1 a 3, donde 1 corresponde a días despejados, 2 días medio nublados y 3 días nublados.

### ***Días Despejados.***

El estado del cielo de la zona se tiene en el Cuadro 23, se puede observar el número total de días despejados y en qué mes se presenta el mayor número de días despejados por estación.

**Cuadro 23.** Días despejados en las estaciones climáticas.

<b>Estación</b>	<b>Mes con mayor número de días despejados</b>	<b>Número total de días despejados</b>
30013	Abril y mayo (21 días c/u)	176
30025	Abril y mayo (15 días c/u)	143
30117	Abril y mayo (23 días c/u)	217
30121	Marzo 17 días	145
30131	Mayo 22 días	197
30183	Mayo 22 días	187
30205	Abril 23 días	197

### ***Días Medio Nublados.***

De las estaciones utilizadas, el cielo con mayor número de días medio nublados lo tienen Tlacotalpan con 119 días, seguido por Villa Azueta con 98 días, Otatitlán con 97 días, Ciudad Alemán con 94 días, Cosamaloapan con 90 días, Paraíso Novillero con 82 días y por ultimo Playa Vicente con solo 23 días.

### ***Días Nublados.***

Playa Vicente es la estación que permanece con mayores días nublados con un total de 145, seguidos por Ciudad Alemán con 128, Otatitlán con 123, José Azueta con 91, Cosamaloapan con 79, Paraíso Novillero con 66 y Tlacotalpan con 59.

### **6.2.3.7. Tormenta.**

De las estaciones trabajadas, la estación Playa Vicente tiene el mayor número de días con tormentas; seguida por la estación José Azueta con 39 días, Ciudad Alemán con 29 días, Otatitlán con 25 días, Paraíso Novillero y Cosamaloapan con 16 días y, la estación de menor número de tormentas es Tlacotalpan con solo dos días de tormenta.

#### **6.2.3.8. Granizo.**

Las estaciones José Azueta, Otatitlán, Playa Vicente y Tlacotalpan no presentan mes con granizo. Mientras que Ciudad Alemán y Cosamaloapan tienen alrededor de dos días al año con granizo. Paraíso Novillero tiene uno que se presenta en el mes de mayo.

#### **6.2.3.9. Niebla.**

La estación José Azueta permanece 59 días con niebla, durante diciembre se tiene el mayor número de días con ésta. Paraíso Novillero tiene por lo menos 50 días con niebla, Ciudad Alemán 44 días con niebla y Otatitlán tiene 42; en estas tres estaciones, enero es el mes que cuenta con más días cubiertos. La estación con menor niebla (Playa Vicente) no tiene registrado ningún día con neblina.

#### **6.2.3.10. Velocidad del Viento.**

José Azueta tiene una velocidad del viento anual de  $2.02 \text{ m s}^{-1}$ , marzo es el mes con más velocidad ( $2.14 \text{ m s}^{-1}$ ). Otatitlán tiene velocidad promedio anual de  $1.99 \text{ m s}^{-1}$ . Con velocidades menores de  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  están Ciudad Alemán con  $1.42 \text{ m s}^{-1}$ , Playa Vicente con  $1.12 \text{ m s}^{-1}$  y Paraíso Novillero con  $0.99 \text{ m s}^{-1}$ .

#### **6.2.3.11. Clasificación climática.**

##### ***Climas, según Köppen modificado por Enriqueta García.***

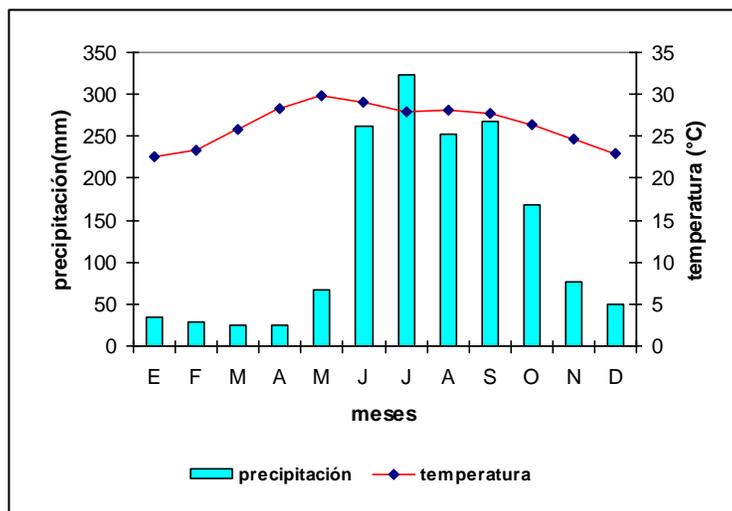
En el área de estudio se definieron 4 subgrupos del grupo de los climas cálidos los que se observan en el Mapa 17. De los cuales el subgrupo cálido, el más húmedo de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano ocupa 70.83%; seguido por el cálido húmedo con 11.63%; el cálido subhúmedo con régimen de lluvias intermedio con 9.34% ; y finalmente el cálido, el normal de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano ocupando 8.2% de la superficie del área (Cuadro 24).

**Cuadro 24.** Superficie de los climas del área de estudio.

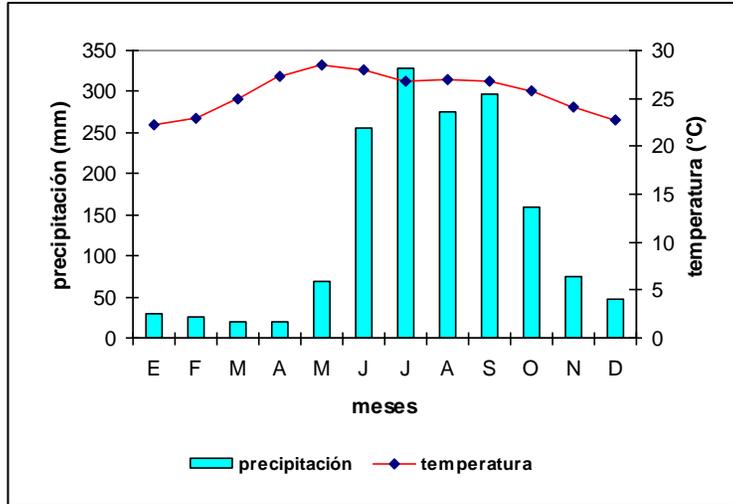
Clima	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Am(w)(i')g	82.18	7.00
Am(w)(e)gw"	55.46	5.00
Aw1(e)gw"	96.60	8.00
Aw2(e)gw"	362.16	31.00
Aw2(i')gw"	272.58	23.00
Aw2(w)(i')gw"	199.99	17.00
Ax'(w1)(e)g	105.84	9.00
<b>Total</b>	<b>1,178.40</b>	<b>100.00</b>

Aw2

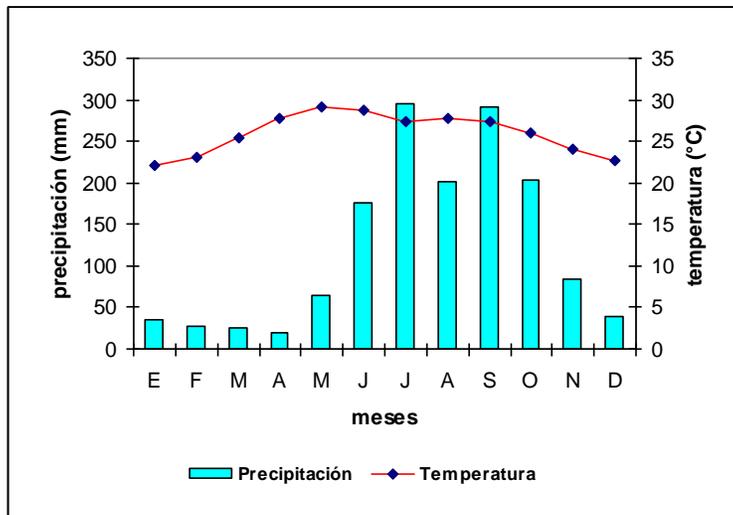
Clima cálido, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2%, con oscilación térmica extremosa, marcha de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula. Para este clima en la zona la precipitación media anual es de 1579.11 mm, con julio como el mes más húmedo y marzo el más seco. La temperatura media anual es de 26.38 °C, con enero como el mes más frío y mayo el más cálido. Se identificaron tres subgrupos: Aw2(e)gw", Aw2(i')gw" y Aw2(w)(i')gw".



**Figura 35.** Diagrama del clima Aw2(e)gw".



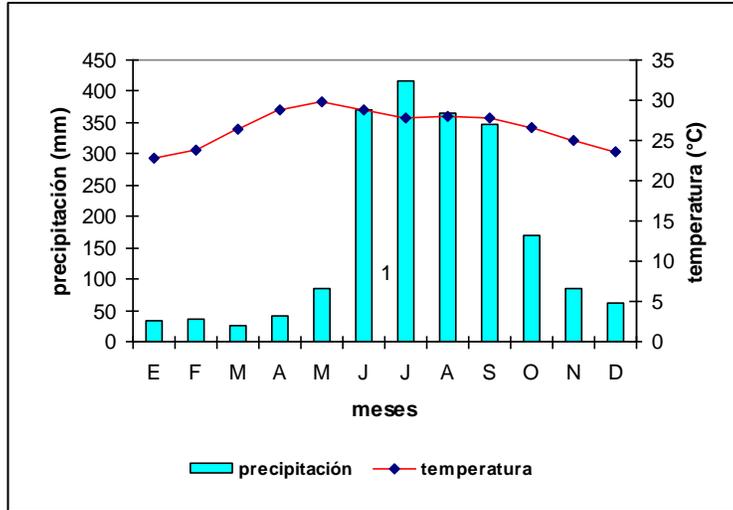
**Figura 36.** Diagrama del clima Aw2(i')gw".



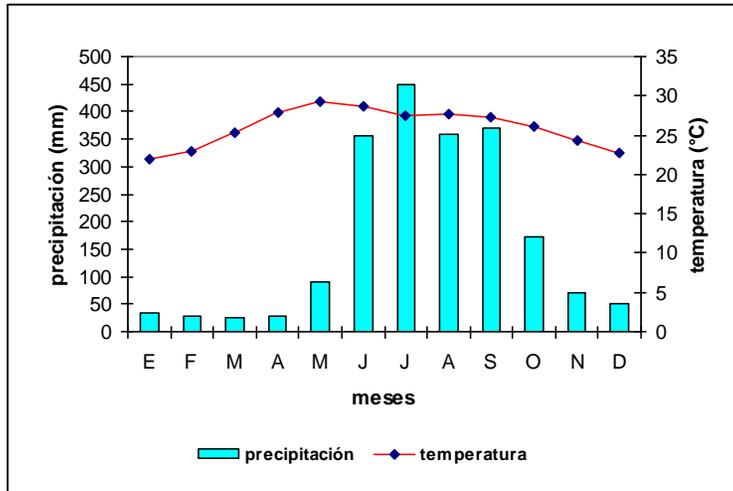
**Figura 37.** Diagrama del clima Aw2(w)(i')gw".

*Am*

Cálido húmedo con régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5%, con poca oscilación térmica y marcha de la temperatura tipo Ganges. Este clima en la zona se caracteriza por tener una temperatura media anual de 26.58 °C, siendo mayo el mes más cálido y enero el más fresco. La precipitación media anual es de 2,034.9 mm, con julio como el mes más húmedo y marzo el más seco. De este clima se identificaron dos subgrupos: Am(w)(i')g y Am(w)(e)gw".



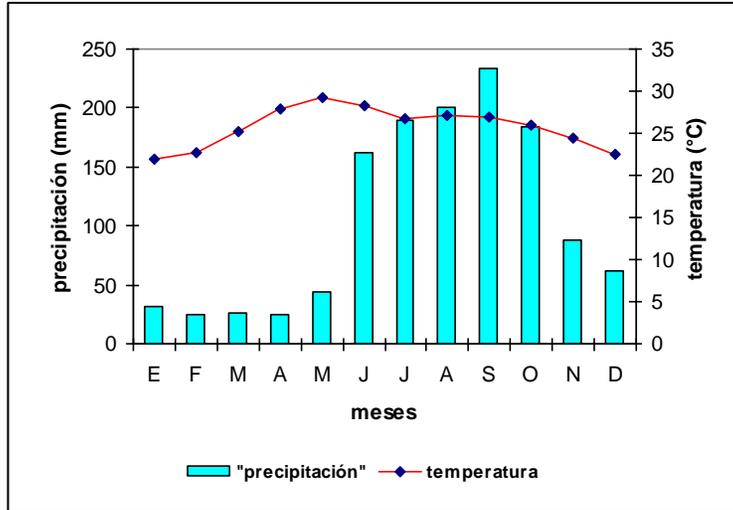
**Figura 38.** Diagrama del clima Am(w)(i)'g.



**Figura 39.** Diagrama del clima Am(w)(e)gw''.

*Ax'*

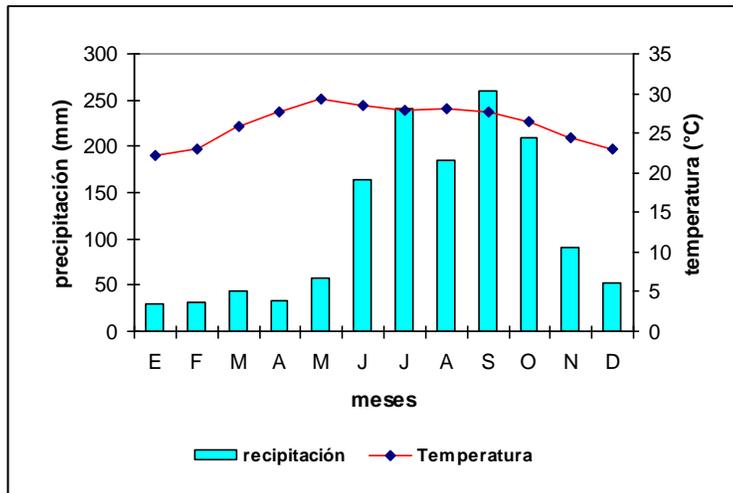
Cálido, el normal de los subhúmedos, con régimen de lluvias intermedio y un porcentaje de precipitación invernal menor de 18%, con oscilación térmica extremosa y marcha de la temperatura tipo Ganges. La precipitación media anual en la zona es de alrededor de 1,269.34 mm, con marzo como el mes más seco y julio el más húmedo. La temperatura media anual es de 25.70 °C, con enero como el mes más frío y mayo el más cálido.



**Figura 40.** Diagrama del clima Ax'(w1)(e)g.

*Aw1*

Cálido, el normal de los subhúmedos con régimen de lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2%, con oscilación térmica extrema, marcha de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula. Este clima se caracteriza en la zona por tener una precipitación media anual de 1,386.06 mm, con julio como el mes más húmedo y marzo el más seco. La temperatura media anual es de alrededor de 26.14 °C, con mayo como el mes más cálido y enero el más fresco. Se identificó el subgrupo climático Aw1(e)gw".



**Figura 41.** Diagrama del clima Aw1(e)gw".

La distribución climática se muestra en el mapa 17.

### *Climas según Thornthwaite*

De acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite, en el área de estudio se distinguen tres grupos climáticos que corresponden a: húmedo (B1), subhúmedo húmedo (C2) y subhúmedo seco (C1). De éstos, el subhúmedo seco es el que abarca mayor proporción con 65.38%, seguido por el subhúmedo húmedo con 29.91% y 4.71% el húmedo. A continuación se describen las características de los subclimas identificados.

**Cuadro 25.** Superficie por subgrupo climático en el área de estudio.

Clima	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
B1w1A'a'	55.45	4.71
C1dA'a'	206.68	17.54
C1s1A'a'	563.77	47.84
C1w2A'a'	199.99	16.97
C2s1A'a'	70.99	6.02
C2w1A'a'	81.57	6.92

#### *Climas húmedos.*

B1: Se definió el subtipo climático B1w1A'a' como el menos húmedo de los subhúmedos con pequeña deficiencia de agua en invierno y baja concentración de calor en verano. Es el menos húmedo de los húmedos. La temporada de lluvias es de 5 meses, con una pequeña cantidad de humedad almacenada de abril a mayo. La precipitación media anual es de 1,817.33 mm. Es importante el déficit de humedad durante la etapa seca. La temperatura media anual es de 25.50 °C y la evapotranspiración es de 1,537.7 mm.

#### *Climas subhúmedos secos o ligeros*

C1: Subhúmedo seco o ligero con nula o muy pequeña demasía de agua y baja concentración de calor en verano. Presenta una estación lluviosa definida de 5 meses, en la cual el déficit de humedad se reduce considerablemente. La precipitación media anual es 1,269.34 mm. La temperatura media anual es de 25.70 °C, la evapotranspiración potencial anual de 1,572.4 mm. De los climas subhúmedos secos, en el área se distinguen tres regímenes de humedad: C1dA'a', C1s1A'a', C1w2A'a'.

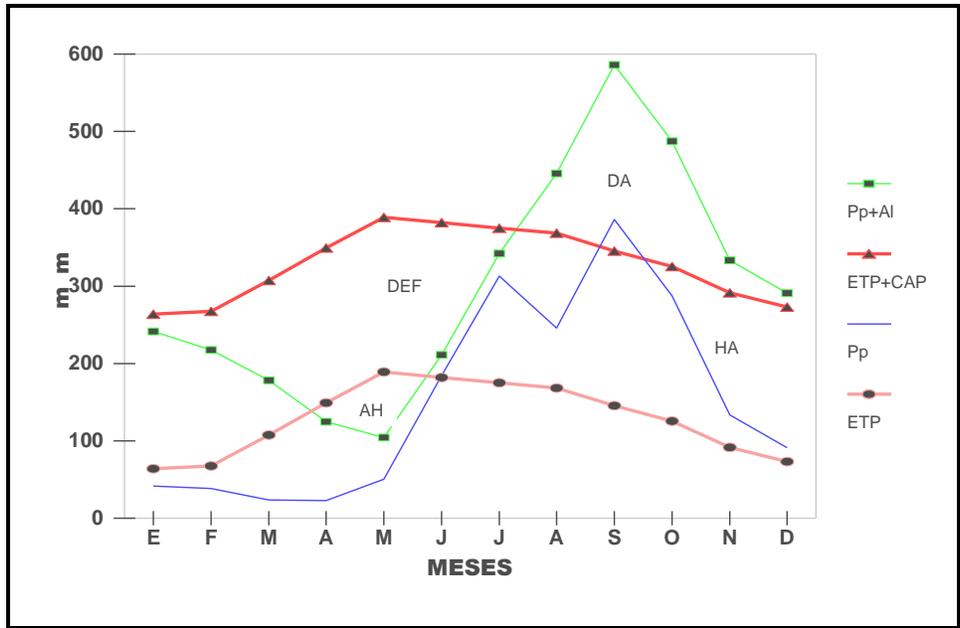


Figura 42. Climograma del clima B1w1A'a'.

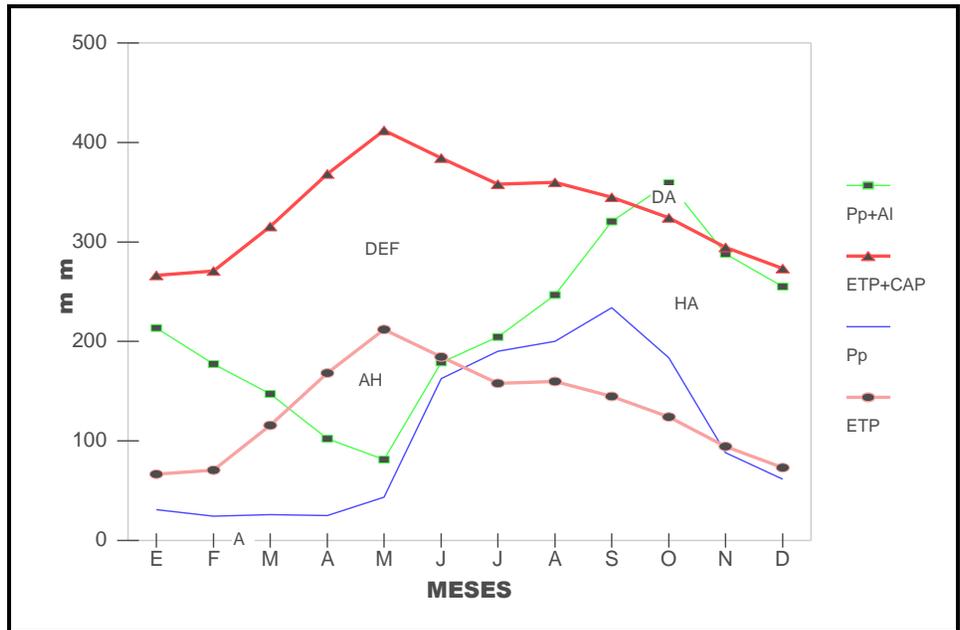


Figura 43. Climograma del clima C1dA'a'.

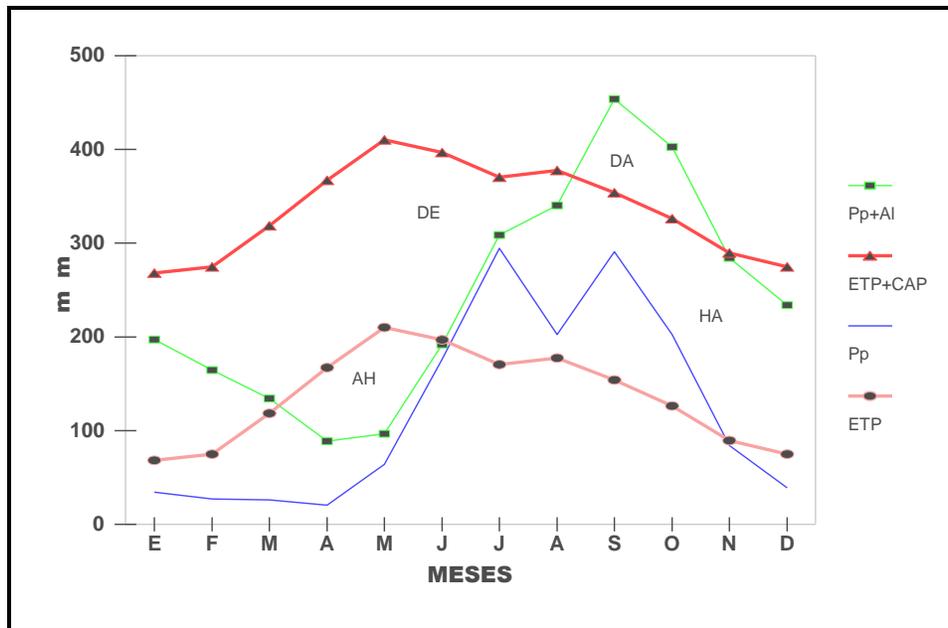


Figura 44. Climograma del clima C1s1A'a'.

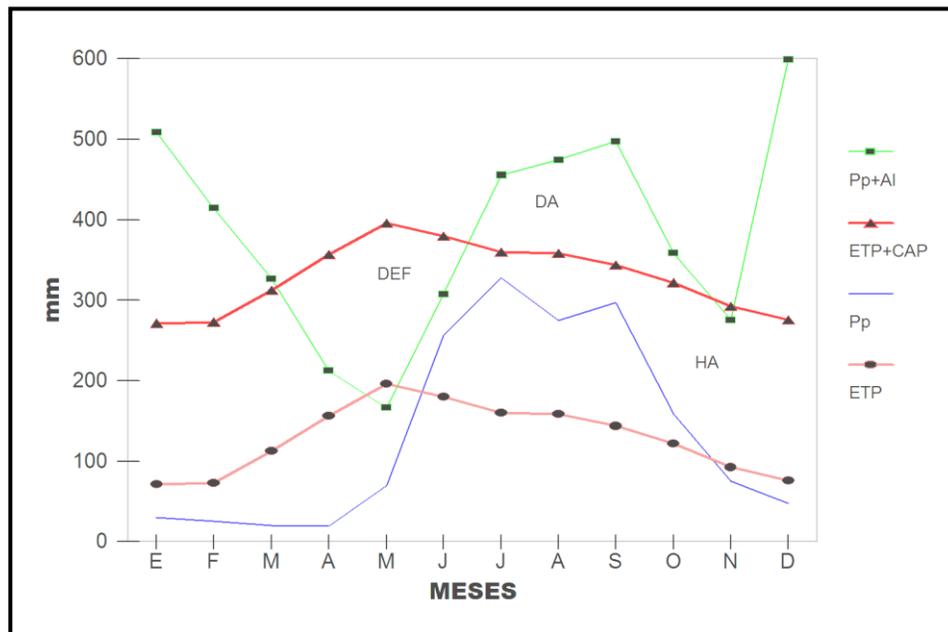
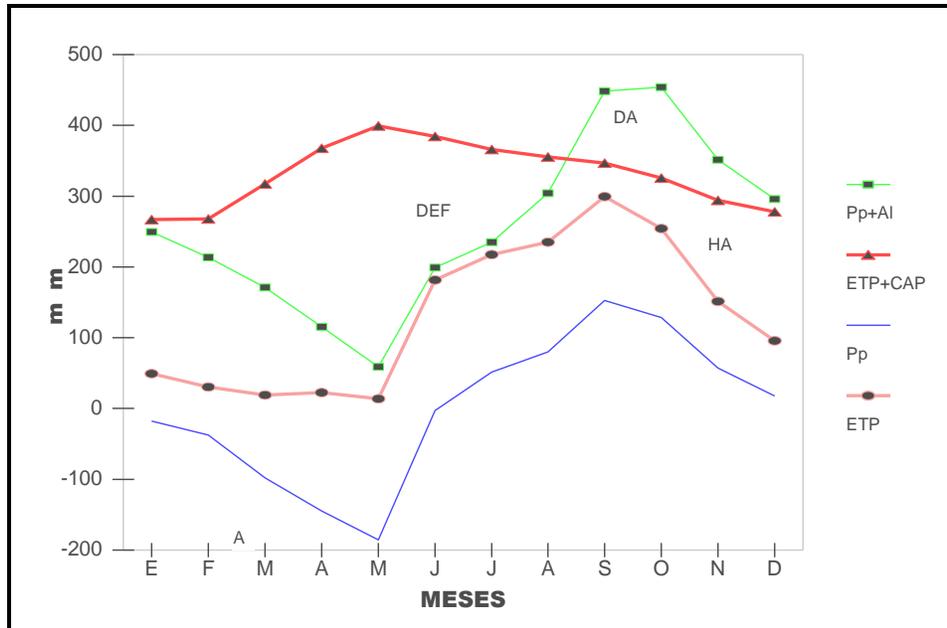


Figura 45. Climograma del clima C1w2A'a'.

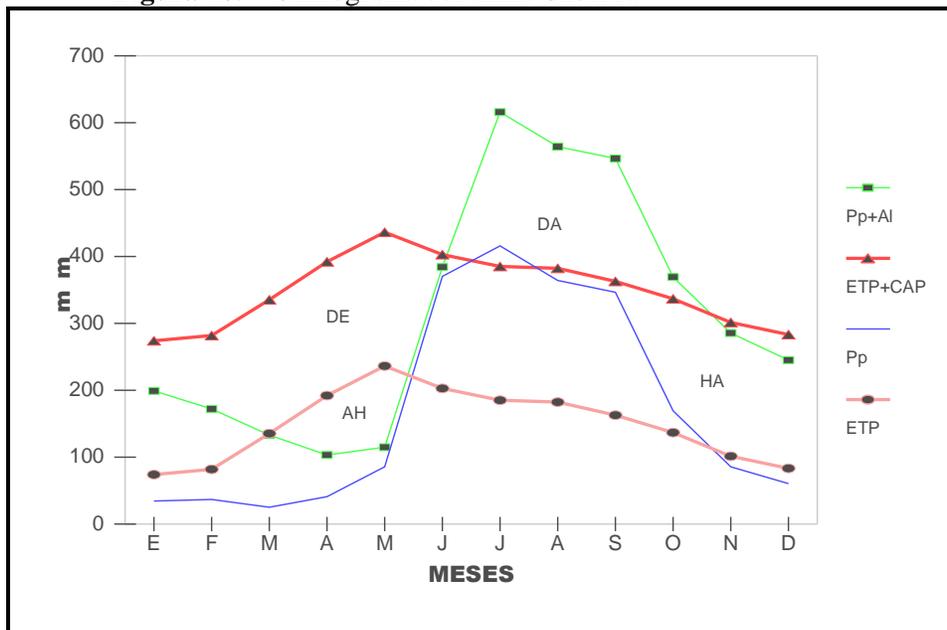
*Clima subhúmedo húmedo o normal*

C2: Subhúmedo húmedo o normal con pequeña deficiencia de agua en verano, mega termal y baja concentración de calor en verano, presenta una temporada lluviosa de 5 meses durante el cual se cubre completamente los requerimientos de agua de las plantas. Durante la época seca es importante el déficit de humedad. La precipitación media anual es de

1,569.91 mm. La temperatura media anual es de 25.70 °C y la evapotranspiración potencial anual de 1,568.7 mm. De los climas subhúmedos húmedos a normal, se distinguen dos diferenciados por el régimen de humedad, los C2s1A'a', C2w1A'a'. En el Mapa 18 se muestra la distribución de los diferentes subgrupos climáticos que se tienen en el área de estudio.



**Figura 46.** Climograma del clima C2s1A'a'.



**Figura 47.** Climograma del clima C2w1A'a'.

### 6.2.3.12. Ciclo de los cultivos.

En el Cuadro 26 se muestran los cultivos principales del área y su ciclo:

**Cuadro 26.** Cultivos principales y su ciclo.

Época de cultivo	Ciclo (días)
<b>Otoño Invierno</b>	
Maíz	150
Frijol	90
Chile	130
Sandia	150
<b>Primavera – Verano</b>	
Maíz	130
Arroz	170
<b>Perennes</b> (caña de azúcar, mango, plátano, cítricos y piña)	360

### 6.2.3.13. Usos Consuntivos y Requerimientos Hídricos.

**Cuadro 27.** Uso consuntivo de los cultivos principales.

Época de cultivo	Villa Azueta	Ciudad Alemán	Paraíso Novillero	Otatitlán	Playa Vicente	Tlacotalpan	Cosamaloapan
<b>Uso consuntivo (cm)</b>							
Otoño Invierno							
Maíz	58.16	57.61	57.29	57.56	58.85	56.65	57.60
Frijol	31.29	31.07	30.93	30.89	31.67	30.85	30.96
Chile	52.15	51.76	51.19	51.76	52.21	51.55	51.67
Sandia	44.55	44.17	44.05	43.99	45.08	43.71	44.12
Primavera – Verano							
Maíz	68.41	67.87	67.01	67.94	68.19	67.56	67.89
Arroz		110.08	108.61	110.17	110.61	109.22	109.98
Caña de azúcar	162.66	161.29	159.71	161.19	163.25	159.46	61.07
Mango	152.49	151.21	149.73	151.12	153.05	149.50	151.00
Plátano	162.66		159.71	161.19	63.25	159.46	161.07
Piña	182.99	181.45	179.68.	181.34	183.66	179.40	181.20
Cítricos	132.16	131.04	129.77	130.97	132.64	129.57	130.87

#### **6.2.3.14. Conclusiones.**

Las estaciones climáticas de mayor influencia son Villa Azueta, Cosamaloapan, Paraíso Novillero, Otatitlán, Playa Vicente, Tlacotalpan y Cosamaloapan Carpio, con los datos de estas estaciones se generó el mapa correspondiente a climas.

El período de lluvias se concentra de junio a octubre, con más de 80% de la precipitación anual, siendo julio el más húmedo y marzo el más seco. Las precipitaciones en el área de estudio fluctúan de 1200 a 2100 mm anuales, las isoyetas de mayor influencia son las de 1600-1700 mm ocupando 20.34% de la superficie total. La parte norte es la menos húmeda debido a que son las partes más bajas de la zona. Para calcular la probabilidad de la lluvia se utilizó el método descrito por Sys (1991), para el cual se requiere de al menos un periodo de 10 años de observación.

Las temperaturas medias anuales disminuyen mientras se incrementa la altitud. Según la clasificación climática de Thornthwaite, el área de interés se localiza entre las líneas de evaporación de 1500-1700 mm anuales. La evapotranspiración se encuentra entre 1600 a 1800 mm anuales.

En promedio el área de interés cuenta con 182 días despejados, 87 medio nublados y 96 nublados, así mismo presenta 24 días con tormentas, 0.71 días con granizo y 32 con niebla.

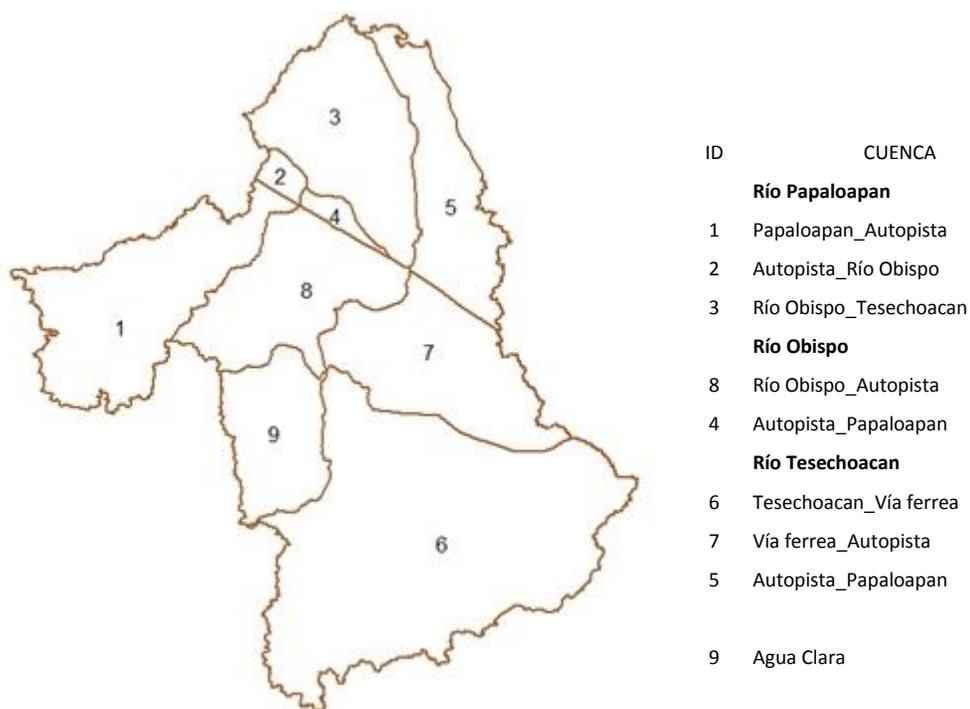
Respecto a los usos consuntivos de los cultivos, se concluye que el maíz de otoño-invierno tiene deficiencia de agua durante la segunda decena del mes de abril, los cultivos de primavera verano presentan deficiencia de agua en la primer decena de mayo y los cultivos perennes presentan estrés hídrico en la segunda decena de enero y la primera del mes de mayo.

## 6.2.4. Hidrología.

### 6.2.4.1. Desarrollo metodológico.

#### *Parámetros asociados al cauce principal y cuencas*

La cuenca del área de estudio se delimitó empleando el Modelo Digital de Elevaciones generado en el Estudio Topográfico. Se consideraron como cauces principales los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán. El modelo proporciona de manera automática algunas de las características físicas de las cuencas, tales como área, elevaciones máximas y mínimas, pendiente media, longitud del cauce principal, entre otras. Dichos parámetros fueron utilizados para el cálculo de los tiempos de concentración de las cuencas. En la Figura 48 se observa la delimitación de las subcuencas.



**Figura 48.** Delimitación de subcuencas en el área de estudio.

#### *Análisis estadísticos de gastos máximos anuales registrados en las estaciones hidrométricas*

Los gastos máximos para la zona de estudio se determinaron a través del análisis de las series históricas de las estaciones hidrométricas monitoreadas por la CONAGUA, las cuales se reportan en el software SIAS que contiene las bases estadísticas de las estaciones hidrométricas a nivel nacional.

Las ecuaciones de distribución de los gastos máximos utilizadas fueron Gumbel, Normal, Log normal, Pearson III y Log pearson III, para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 30, 50 y 100 años. Los resultados se presentan en forma de gráficos para cada una de las estaciones hidrométricas.

***Análisis estadísticos de alturas de precipitación máxima en 24 horas registrada en las estaciones climatológicas***

El análisis estadístico de alturas de precipitación máxima en 24 horas registradas en las estaciones climatológicas sirve para determinar el potencial de precipitación que existe en una zona dada. Este análisis trata de establecer las cantidades máximas de precipitación que se producen en diferentes áreas y para diferentes duraciones, con base en una red de estaciones que registran simultáneamente la precipitación durante una tormenta dada.

El análisis de las alturas de precipitación máximas en 24 horas, para la zona de estudio, se realizó para las estaciones climáticas reportadas en el ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica) y corresponden a: Betania, Santa María, San Juan de D., Tuxtepec, José Azueta, Ciudad Alemán, Colonia Grupo, Cuatotolapan, Independencia Juan, Mata de Limones, Paraíso Novillero, Playa Vicente, Juan Rodríguez, San Juanillo, Nicolás, Tres Zapotes, San Miguel Acula, que son las que tienen influencia en el área de estudio. Las ecuaciones de distribución empleadas para el análisis de ésta variable fueron Gumbel, Normal, Log normal, Pearson III y Log pearson III, para los periodos de retorno de 10, 20, 30, 50 y 100 años.

***Análisis de datos pluviográficos para la obtención de las curvas I-D-Tr (Intensidad-Duración-Periodo de retorno)***

Las estaciones que cuentan con este tipo de información son Villa Azueta y Cd. Alemán. Para la estación Villa Azueta, los datos del año 1948 a 1978 se tomaron del estudio realizado por CNA-ICA (1992). Al igual que para la estación Ciudad Alemán los datos tomados de este estudio fueron para los años 1956 a 1978. Para ambas estaciones se tuvo que generar información a partir del año 1979 a 2002 estos datos se generaron siguiendo el procedimiento que se describe a continuación.

1. Tomar el valor máximo de precipitación en 24 horas para el año a generar.

2. Comparar este valor de precipitación con los años que si cuentan con información (en este caso 1948 a 1978) y elegir el más semejante al valor de interés.
3. Dividir la precipitación máxima en 24 horas del año de interés, entre el valor elegido de los años con información.
4. Por último, el valor obtenido de la división se debe multiplicar por cada uno de los valores de intensidad, para cada una de las duraciones, obteniendo así las intensidades para el año con datos faltantes.

**Cuadro 28.** Estaciones climáticas e hidrométricas del área de estudio.

Clave	• Climática	Años con información	Clave	• Hidrométrica	Años con información
20008	Betania	41	28013	Villa Azueta	52
20042	Santa María	44	28015	Cuatotolapan	49
20113	San Juan D	48	28153	La Ceibilla	17
20294	Tuxtepec, Tuxtepec	12	28025	Lauchapan	48
30013	José Azueta	32	28017	Monte Rosa	18
30025	Ciudad Alemán	37	28143	San José Chilapa	11
30029	Colonia Grupo	34	28136	Garro	20
30035	Cuatotolapan	43	28024	Obispo	15
30070	Independencia Juan	41	28135	Chacaltianguis	21
30103	Mata de Limones	30			
30117	Paraíso Novillero	36			
30131	Playa Vicente	41			
30143	Juan Rodríguez C.	42			
30148	San Juanillo	42			
30152	Nicolás	41			
30189	Tres Zapotes	42			
30150	San Miguel, Acula	17			

Para la estación Cd. Alemán se obtuvo información de la estación automatizada con clave Vr05 del mes de marzo de 2000 al 31 de diciembre de 2004, esta información se reporta cada 10 minutos, por lo que a manera de resumen se muestran los valores máximos de intensidad de la lluvia para 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, así como la máxima intensidad en 24 horas.



Variable	Cd. Alemán	José Azueta
n	42	50
$\sum y$	786.49	882.03
$\sum x_1$	174.58	208.95
$\sum x_2$	630.66	750.78
$\sum x_1y$	346.20	395.50
$\sum x_2y$	1142.20	1272.32
$\sum x_1x_2$	262.14	313.76
$\sum x_{12}$	132.04	160.39
$\sum x_{22}$	1025.62	1220.97

Una vez obtenidos los valores de  $\alpha$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , se empleó la fórmula para calcular la intensidad de lluvia ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Los valores de estas variables son:

Variables	Cd. Alemán	José Azueta
$\alpha$	-0.2094	-0.2074
m	0.8774	0.8991
n	1.0181	0.9384

Para el caso de la ecuación siguiente los valores de  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , corresponden a m y n, respectivamente.

$$i = \frac{kT^m}{d^n}, \quad k = n\alpha$$

Donde:

i = intensidad de lluvia ( $\text{mm h}^{-1}$ )

T= periodo de retorno (años)

d = duración de la lluvia (min)

n = número de años con información

#### **6.2.4.2. Determinación de gastos y volúmenes de escurrimiento.**

Es importante conocer la relación que existe entre la precipitación y escurrimiento, a través de un coeficiente que permita estimar el escurrimiento volumétrico a partir de las características estadísticas y físicas de la lluvia y las propiedades geométricas de la cuenca, de esta forma se tendrá la posibilidad de diseñar las estructuras hidráulicas de control, protección y conducción que se requieren para el manejo eficiente del agua.

Este coeficiente, llamado coeficiente unitario de drenaje, o generalmente conocido como gasto de diseño, se define como el gasto máximo posible que puede producir una lluvia de cierta intensidad en una determinada área. Para estimar correctamente este coeficiente, y dependiendo de la cantidad y la calidad de información disponible, se han desarrollado varios métodos dichos métodos se pueden clasificar en tres grupos:

- Métodos basados únicamente en las principales características físicas promedio de la cuenca.
- Métodos que requieren registros simultáneos de precipitación y escurrimiento.
- Métodos que utilizan, además de los registros simultáneos de lluvia-escurrimiento, las características físicas detalladas de la cuenca.

Para este trabajo se emplearon los métodos de: Ven Te Chow, Criterio de Cuencas Planas, Hidrograma Unitario Lineal y el del Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU.

#### **6.2.4.3. Análisis de la información de las estaciones climáticas e hidrométricas.**

Los datos recolectados para el análisis y desarrollo de la investigación han sido registrados, administrados y concentrados en distintas bases de datos de manera histórica por diversas dependencias públicas en México y se considera que la información contenida es de calidad estadística.

Para el análisis del área de estudio ha sido requerida información climática, hidrométrica, edafológica y de uso de suelo.

En el caso de la información climatológica, la consulta se realizó del Extractor Rápido de Información Climática (ERIC) del IMTA (1996); por su parte, la información hidrométrica se obtuvo del Sistema de Información de Aguas Superficiales (SIAS) de IMTA-CNA (1997) y la información edafológica (de suelo y uso de suelo) se obtuvo del levantamiento agrológico realizado por CNA-ICA en 1994 y del Inventario Nacional Forestal Serie II (SEMARNAT-INEGI, 2000).

Las estaciones hidrométricas consideradas en el análisis espacio temporal han sido elegidas de conformidad al estudio realizado por CNA-ICA en 1994, donde se concluyó que aquellas estaciones con mayor influencia en el área de estudio son: José Azueta, Monte Rosa, San José Chilapa, Garro y Obispo. También se consideran otras estaciones a razón de su ubicación y medición hidrométrica sobre las corrientes dentro del área de estudio; tal es el caso de Cuatotolapan, La Ceibilla, Lauchapan sobre el río San Juan y Chacaltianguis en el Papaloapan. A partir de la información de las estaciones antes mencionadas se realizó el análisis de los gastos y se obtuvieron los diferentes gastos para los periodos de retorno (5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años), empleando las funciones de distribución: Normal, Log normal, Gumbel, Pearson III y Log pearson III.

Respecto a las estaciones climáticas para el análisis de las alturas de la precipitación máxima en 24 horas se empleó información pluviométrica para las estaciones : Betania, Santa María, San Juan D., Tuxtepec, José Azueta, Ciudad Alemán, Colonia Grupo, Cuatotolapan, Independencia Juan, Mata de Limones, Paraíso Novillero, Playa Vicente, Juan Rodríguez, San Juanillo, Acayucan, Nicolás, Tres Zapotes, Santiago Tuxtla y San Miguel, Acula para los mismos periodos de retorno que las estaciones hidrométricas y mismas funciones de distribución.

#### ***Determinación del área de influencia de estaciones seleccionadas***

Para conocer el área de influencia de cada una de las estaciones climáticas se trazaron los polígonos de Thiessen. Las estaciones: Cd. Alemán, Paraíso Novillero, San Miguel Acula, Nicolás, Mata de Limones, Juan Rodríguez, Colonia Grupo, Playa Vicente y José Azueta fueron seleccionadas para el análisis de gastos y volúmenes de escurrimiento por ser las más cercanas a la zona de estudio. Para el análisis de la lluvia máxima en 24 horas se

emplearon 8 estaciones más, siendo estas: San Juan D., Tuxtepec, Betania, Santa María, Tres Zapotes, San Juanillo Acayucan, Cuatotolapan, e Independencia Juan.

Para las primeras nueve estaciones se obtuvo la precipitación calculada mediante la función de distribución de Gumbel, que es la que presenta estadísticamente el menor error estándar al hacer el ajuste con las observaciones, éste valor se empleó para determinar el volumen de escurrimiento y gastos de diseño.

### ***Edafología del área de estudio***

En este apartado se consideró la información contenida en el estudio agrológico.

Con los tipos de suelo ya definidos se procedió a clasificarlos en grupos hidrológicos de acuerdo a su textura y, por lo tanto, a sus características para producir escurrimiento, dicha clasificación se realizó mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos.

Además de la clasificación anterior, se consideró la pendiente del terreno y el tipo de vegetación predominante, esta última para la caracterización hidrológica del área. Al igual que en la información de suelos, la información básica se obtuvo del estudio de factibilidad CNA-ICA (1994) y se complementó con información del Inventario Nacional Forestal Serie II para el área externa al polígono de interés, la clasificación de la vegetación se hace en tres grupos dependiendo de la condición de la cobertura como: buena, regular y mala.

Con la información del tipo de suelo y el tipo de vegetación se procedió a determinar el valor de la curva numérica, valor indispensable para la aplicación del método del Servicio de Conservación de Suelos.

Para definir que curva numérica se emplearía (CNII ó CNIII) se obtuvo la humedad antecedente promedio de los años con información. De las estaciones consideradas, todas excepto San Miguel Acula, se consideraron como CNIII, San Miguel Acula quedo como CNII, en el Cuadro 30 se muestran los valores de la humedad antecedente considerada para definir la CN, misma que será empleada en el área de estudio.

**Cuadro 30.** Valores de la humedad antecedente para definir la CN.

<b>Estación</b>	<b>Humedad Antecedente (mm)</b>
San Miguel, Acula	26.71
Nicolás	40.03
Juan Rodríguez	43.48
Paraíso Novillero	44.65
Colonia Grupo	50.16
Mata de Limones	51.18
Cd. Alemán	60.79
José Azueta	62.02
Playa Vicente	66.78

**6.2.4.4. Cálculo del escurrimiento medio.**

Para el cálculo de escurrimiento medio con el método del Servicio de Conservación de Suelos, se obtuvo el coeficiente de escurrimiento (C). Para su determinación se consideró la pendiente del terreno y la textura del suelo, del Cuadro 31 se obtuvieron los valores de C para cada una de las series de suelo y tipo de vegetación. Sin embargo, para determinar el volumen de escurrimiento se obtuvo un valor ponderado de C y de CN.

**Cuadro 31.** Valores de C para el cálculo de escurrimiento.

<b>Topografía</b>	<b>Textura del suelo</b>		
	<b>Gruesa</b>	<b>Media</b>	<b>Fina</b>
<b>Vegetación</b>			
Bosque			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos cultivados			
Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.72	0.82

**Cuadro 32.** Estaciones con influencia sobre el área de drenaje de cada cuenca.

Cuenca	Estación				
	1	Cd. Alemán	Paraíso Novillero		
2		Paraíso Novillero			
3	Nicolás	Paraíso Novillero	San Miguel, Acula		
4	José Azueta	Nicolás	Paraíso Novillero		
5	Mata de Limones	Nicolás	San Miguel, Acula		
6	Colonia Grupo	José Azueta	Juan Rodríguez	Mata de Limones	Playa Vicente
7	José Azueta	Juan Rodríguez	Mata de Limones	Nicolás	
8	José Azueta	Nicolás	Paraíso Novillero		
9	José Azueta	Paraíso Novillero	Playa Vicente		

**Cuadro 33.** Variables utilizadas para el cálculo de los gastos en cada cuenca.

Cuenca	Estación	Variables		
		Área (ha)	Valor de C Ponderado	Pp media anual (mm)
1	Cd. Alemán	22,465.25	85.33	1,993.87
	Paraíso Novillero	22,861.27	78.17	1,586.56
2	Paraíso Novillero	2,618.29	63.75	1,586.56
3	Nicolás	9,639.17	81.06	1,251.96
	Paraíso Novillero	3,305.23	74.25	1,586.56
	San Miguel, Acula	25,634.76	49.99	1,442.88
4	José Azueta	90.67	90.20	1,601.86
	Nicolás	925.28	90.33	1,251.96
	Paraíso Novillero	1,915.22	77.72	1,586.56
5	Mata de Limones	520.83	90.00	1,129.13
	Nicolás	20,420.93	88.55	1,251.96
	San Miguel, Acula	7,537.03	74.68	1,442.88
6	Colonia Grupo	39,418.68	87.30	1,845.53
	José Azueta	25,452.68	84.11	1,601.86
	Juan Rodríguez	14,902.89	84.26	1,363.87
	Mata de Limones	4,029.81	89.22	1,129.13
	Playa Vicente	33,227.99	78.10	2,029.32
7	José Azueta	17,249.67	86.47	1,601.86
	Juan Rodríguez	437.38	85.78	1,363.87
	Mata de Limones	10,506.92	86.13	1,129.13
	Nicolás	1,974.85	88.74	1,251.96
8	José Azueta	15,103.44	67.84	1,601.86
	Nicolás	1,115.76	93.42	1,251.96
	Paraíso Novillero	17,861.20	69.39	1,586.56
9	José Azueta	20,341.85	76.13	1,601.86
	Paraíso Novillero	75.00	51.00	1,586.56
	Playa Vicente	3,053.35	90.70	2,029.32

Dado que para el cálculo del escurrimiento medio es necesario conocer la precipitación, de este valor también se obtuvo el correspondiente ponderado, considerando la precipitación media anual para cada una de las estaciones. Estos valores al igual que los valores de C, son presentados para cada una de las cuencas.

De la precipitación calculada para los diferentes periodos de retorno, se obtuvo un valor ponderado considerando cada una de las estaciones con influencia dentro de la cuenca y su área de influencia.

Para la determinación de los gastos máximos de diseño en cada una de las cuencas se calcularon los valores de volumen de escurrimiento y gastos máximos, considerando el área de influencia de las estaciones dentro de cada una de ellas. En el Cuadro 32 se muestran las cuencas con las estaciones que tienen influencia sobre ellas.

#### **6.2.4.5. Determinación del Balance Hídrico.**

A partir de los datos meteorológicos disponibles y para las condiciones hidrológicas de cada cuenca se determina el balance hídrico, considerando diferentes hipótesis de capacidad de campo del suelo.

El proceso metodológico de cálculo es el propuesto por Thornthwaite y Matter, con la determinación de los siguientes valores:

- a) Capacidad de almacenamiento de agua de la zona susceptible de evapotranspiración, que dependerá de la profundidad del sistema radical y de la textura del suelo. En el Cuadro 34 se proporcionan sus valores.
- b) Temperaturas medias mensuales (T): obtenidas de mediciones directas.
- c) Evapotranspiración potencial (ETP): determinada por alguno de los métodos existentes (Thornthwaite, Blaney-Criddle, Penman, etc.).
- d) Precipitación media mensual (P): obtenida a partir de registros de la zona.
- e) Pérdidas o adiciones potenciales de la humedad del suelo (P-ETP): los valores positivos corresponden a adiciones potenciales y los negativos a pérdidas potenciales, ambos relativos al contenido de humedad en el suelo. Los meses con valores positivos constituyen el periodo húmedo y aquellos con valores negativos, el periodo seco.

f) Pérdida potencial acumulada (p.p.a): para cada mes se obtiene como una suma de las pérdidas potenciales existentes en dicho mes y los anteriores.

g) Reserva de agua almacenada en el suelo (R): es la cantidad de agua capilar contenida por el suelo, que depende de la capacidad de campo y de las pérdidas potenciales acumuladas. El agua almacenada en el suelo nunca es mayor que la capacidad de campo.

***Para su cálculo se considera:***

$R_s$  para los meses secos (meses en que  $P-ETP < 0$ )

$R_h$  para los meses húmedos (meses en que  $P-ETP \geq 0$ )

El balance hídrico contabiliza las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y la variación del almacenamiento de aguas en el suelo. Conocer el balance hídrico de una localidad permite determinar la duración y la magnitud a nivel macro climático de los periodos con exceso o deficiencia de agua.

$$R_s = C_c \cdot e^{-\frac{p.p.a}{c_c}}$$

$$R_h = R_{h-1} + P_h - ETP_h$$

Su cálculo se realiza por un procedimiento iterativo: se comienza suponiendo que R en el último mes seco de verano es igual a cero.

Variación de la reserva de la humedad acumulada del suelo (AR): se obtiene, para cada mes, por la diferencia entre la humedad que contiene al final del mismo y la de su inmediato anterior.

$$\Delta AR_i = R_i + R_{i-1}$$

Evapotranspiración real (ETR): se obtiene de la siguiente forma:

$$ETR_h = ETP_h \quad \text{En los meses húmedos (P-ETP < 0)}$$

$$ETR_s = ST_{s-1} - ST_s + P_s \quad \text{En los meses secos}$$

Escorrentía de agua (Ea): se considera que la escorrentía de cada mes es igual al 50% de la suma de la aportación mensual más lo que queda de los meses anteriores.

$$Ea_i = \frac{Ea_i + S_i}{2}$$

Escorrentía de nieve (En): para altitud superior a 1,600 m, en el primer mes después de la nevada escurre el 10%, en el segundo el 25% y en los restantes el 50%. En altitudes inferiores, en el primer mes el 10% y en los restantes el 50%.

Escorrentía total (R):

$$E_i = Ea_i + En_i$$

Detención de la humedad (DT): comprende la totalidad del agua existente en el suelo.

$$DT_i = ST_i + S_i + R_{i-1} - R_i$$

Déficit de humedad (D):  $D_i = ETP_i - ETR_i$

Exceso de humedad (S):  $S_i = P_i - (ETP_i - \Delta ST_i)$

Sólo tiene existencia en los meses en que P-ETP sea positivo y además el suelo alcance su capacidad de campo, pues en caso contrario la diferencia pasa a engrosar el contenido en humedad del suelo.

### ***Balance hídrico mediante el Método de CN (SCS)***

El CN es un parámetro entero en el rango de 0-100. Su variación tiene en cuenta varios factores, incluyendo el tipo de suelo (espesor, textura, estructura, humedad, etc.), uso de la tierra y pendiente.

En el método de CN, se propone una fórmula de base empírica, evaluada con mediciones en parcelas experimentales, que permite cuantificar la máxima capacidad que tiene el complejo suelo-vegetación de almacenamiento instantáneo de humedad (S) durante un evento de precipitación dado:

$$S = (25,400/CN) - 254$$

Donde S es una función de CN (USDA-SCS, 1986).

**Cuadro 34.** Capacidad de almacenamiento de agua según suelo y cultivo.

Textura del suelo	Capacidad de retención (Agua utilizable), mm m <sup>-1</sup>	Profundidad radicular, m	Capacidad de retención (agua total utilizable), mm
<b>Cultivos con raíces someras</b>			
Arenoso fino	100	0.50	50
Franco arenoso fino	150	0.50	75
Franco limoso	200	0.62	125
Franco arcilloso	250	0.40	100
Arcilloso	300	0.25	75
<b>Cultivos de raíces de profundidad moderada (cereales)</b>			
Arenoso fino	100	0.75	75
Franco arenoso fino	150	1.00	150
Franco limoso	200	1.00	200
Franco arcilloso	250	0.80	200
Arcilloso	300	0.80	150
<b>Cultivos de raíces de profundidad (praderas, arbustos)</b>			
Arenoso fino	100	1.00	100
Franco arenoso fino	150	1.00	150
Franco limoso	200	1.25	250
Franco arcilloso	250	1.00	250
Arcilloso	300	0.67	200
<b>Árboles frutales</b>			
Arenoso fino	100	1.50	150
Franco arenoso fino	150	1.67	250
Franco limoso	200	1.50	300
Franco arcilloso	250	1.00	250
Arcilloso	300	0.67	200
<b>Bosque cerrado</b>			
Arenoso fino	100	2.50	250
Franco arenoso fino	150	2.00	300
Franco limoso	200	2.00	400
Franco arcilloso	250	1.6	400
Arcilloso	300	1.17	350

Usando la ecuación previa, el escurrimiento (Q) se calcula como sigue:

$$\begin{aligned}
 Q &= 0 && \text{si } P < 0.2S \\
 Q &= (P-0.2S) / (P+0.8S) && \text{si } 0.2S < P < 4.2 S \\
 Q &= P - S && \text{si } P > 4.2 S
 \end{aligned}$$

Donde P es la lluvia acumulada en un evento.

En este caso, el CN es el CNII el cual corresponde a una condición de humedad antecedente media en el suelo. El método contempla otras condiciones antecedentes de humedad (CNI y CNIII). En periodos lluviosos es conveniente evaluar el escurrimiento con CNIII, que es el mayor de los tres valores; en periodos secos, CNI, es el más adecuado, CNIII y CNI se obtienen en función de CNII mediante las siguientes ecuaciones.

$$CN_I = \frac{CN_{II} - (20(100 - CN_{II}))}{100 - CN_{II} + 2.71828^{(2.533 - (0.0636(100 - CN_{II})))}$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 + (0.13 CN_{II})}$$

La aplicación correcta del método de CN requiere una elaboración de la distribución estadística de eventos lluviosos para mejorar la estimación del escurrimiento.

### ***Índice hídrico o de humedad***

El índice hídrico o de humedad (Im) establece una relación entre la humedad disponible por precipitación y la capacidad de compensar la demanda potencial, es una estimación del déficit o superávit de agua; basado en la relación entre la precipitación y el potencial de evapotranspiración.

$$Im = (100 * E - 60 * D) / ETP$$

Los valores de ETP, D y E corresponden a los totales anuales.

### **Términos de Índice de humedad**

<i>Condición de humedad</i>	<i>Rango</i>
Déficit extremo o muy seco	0.0 – 0.2
Déficit ligero o seco	0.2 – 0.5
Adecuada o normal	0.5 – 1.5
Exceso ligero o húmedo	1.5 – 2.5
Exceso moderado o muy húmedo	> 2.5

Para Wikilingue (2010), el índice de humedad total (MI) es usado para clasificar el clima en una escala de humedad que va del seco (MI entre -110 y -66) al muy húmedo (con MI superior a 100).

#### **6.2.4.6. Resultados.**

Para tener un manejo más eficiente de la información, los resultados del estudio hidrológico se reportan en seis apartados correspondientes a los siguientes temas:

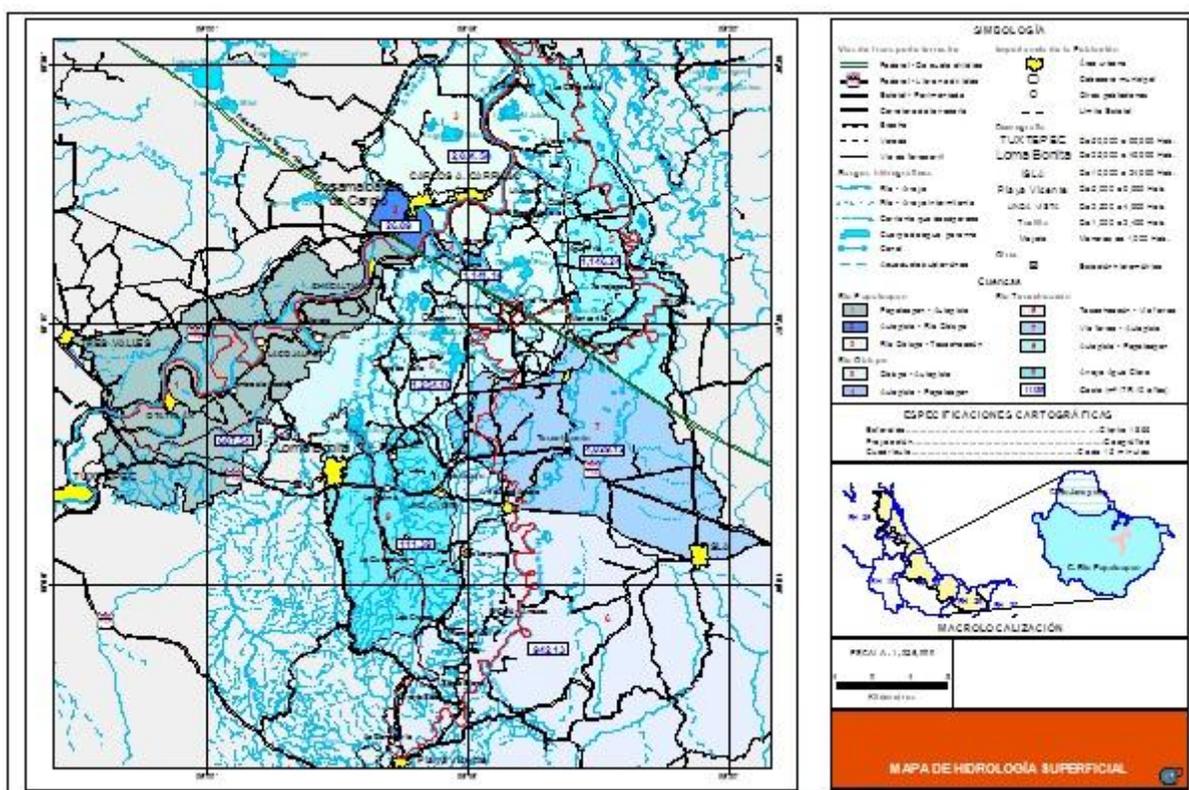
- Cálculo de las pendientes medias del cauce de las corrientes y sus tiempos de concentración.
- Análisis estadísticos de gastos máximos anuales registrados en las estaciones hidrométricas.
- Análisis estadísticos de alturas de precipitación máxima en 24 horas registrada en las estaciones climatológicas.
- Determinación de gastos y volúmenes de escurrimiento, mediante los métodos fisiográficos (relación precipitación-escurrimiento).
- Determinación de balances hídricos.
- Generación de las Curvas de Intensidad - Duración - Periodo de retorno.

#### ***Cálculo de las pendientes medias del cauce de las corrientes y sus tiempos de concentración***

El Cuadro 35 reporta algunos de los parámetros de las cuencas del área de estudio, así como el cálculo de los tiempos de concentración de las cuencas de las corrientes de los ríos Papaloapan, Tesechoacán, Obispo y de las conformadas por la autopista federal La Tinaja-Minatitlán y la vía férrea. La distribución espacial de las cuencas de la zona de estudio se encuentra en la Figura 50.

**Cuadro 35.** Parámetros asociados al Cauce Principal y Cuencas.

Tramo	Long.	Des.	Pend.	Tiempos de Concentración (h)						
				Kirpich	USBR	SCS	Rowe	Temes	Giandotti	Bransby Williams
<b>Río Papaloapan</b>	km	m	%							
Papaloapan-Autopista	55.84	13.00	0.0130	36.73	36.59	47.03	33.37	13.83	36.13	39.16
Autopista_Río Obispo	2.81	4.00	0.0040	1.83	1.82	1.85	1.66	1.83	51.48	1.82
Río Obispo-Tesechoacán	32.90	4.00	0.0040	31.38	31.26	31.84	28.51	11.60	30.84	26.72
Arrollo Agua Clara	18.08	92.00	0.0920	4.70	4.68	8.86	4.27	4.12	3.54	7.31
<b>Río Obispo</b>										
Obispo_Autopista	38.21	8.00	0.0080	28.57	28.46	33.23	25.95	11.40	34.69	28.18
Autopista-Río Papaloapan	3.73	3.00	0.0030	2.84	2.83	2.72	2.58	2.39	4.04	2.70
<b>Río Tesechoacán</b>										
Tesechoacán_Vía férrea	54.35	12.00	0.0120	36.72	36.58	46.28	33.36	13.76	57.38	35.09
Vía férrea_Autopista	32.69	11.00	0.0110	21.11	21.03	26.15	19.17	9.55	43.86	21.70
Autopista-Papaloapan	72.43	17.00	0.0170	44.74	44.57	60.40	40.64	15.99	32.94	53.14



**Figura 50.** Distribución de las cuencas en la zona de estudio.

**Análisis estadístico de gastos máximos anuales registrados en las estaciones hidrométricas**

Las estaciones consideradas para el análisis de esta variable son las que se reportan en el Cuadro 36.

**Cuadro 36.** Gastos máximos anuales ( $m^3 s^{-1}$ ) en las estaciones hidrométricas.

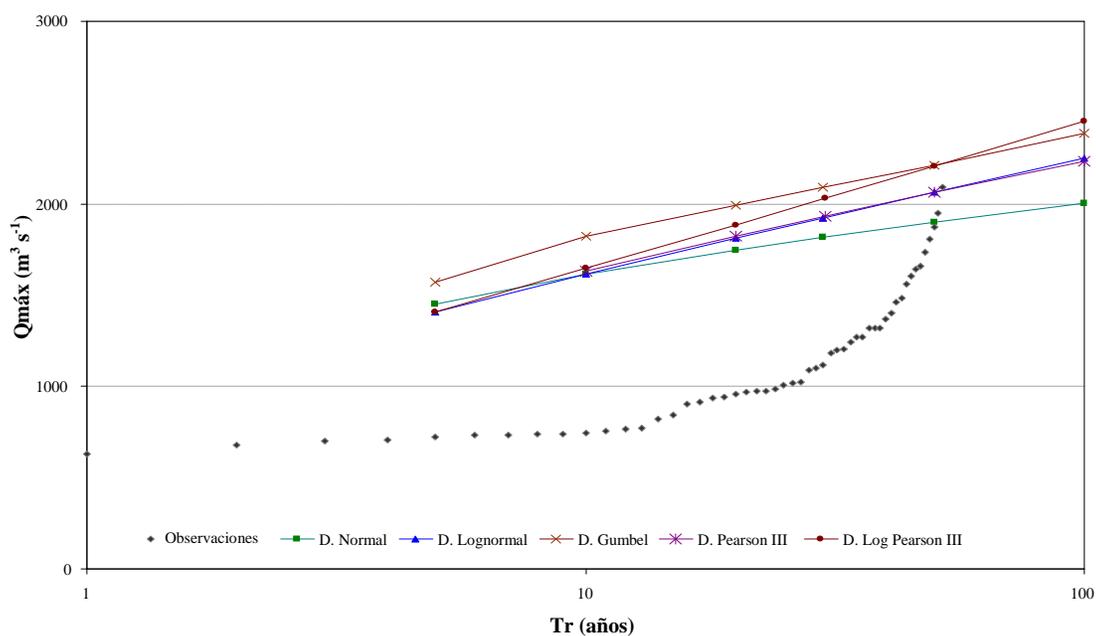
Estación	José Azueta	Cuatotolapan	La Ceibilla	Lauchapan	Monte Rosa	San José Chilapa	Garro	Obispo
Año								
1948	627.90	495.00						
1949	703.00	640.00		452.00				185.20
1950	756.00	641.00		390.00				180.00
1951	974.00	753.00		501.00				180.00
1952	1,320.00	846.00		764.00				125.00
1953	942.00	598.00		491.00				107.86
1954	1,017.00	678.00		343.00				107.98
1955	915.00	984.00		1,192.00				300.00
1956	936.67	732.00		654.00				191.00
1957	705.00	702.00		183.00	494.00			178.60
1958	1,009.20	921.00		492.00	1,276.00			212.00
1959	725.00	602.00		168.00	785.00			101.00
1960	1,270.00	1,188.00		656.00	1,505.00			206.00
1961	975.00	873.00		213.00	1,134.00			310.00
1962	731.08	674.00		205.00				118.00
1963	745.72	1,100.00		429.00	717.00			89.60
1964	741.00	615.00		330.00				
1965	770.00	944.00		364.00	972.00			
1966	822.00	1,059.00		384.00	992.00			
1967	733.00	601.00		610.00	816.00			
1968	1,320.00	1,213.00		394.00	1,130.00			
1969	1,404.00	4,015.00		436.00	2,075.00			
1970	906.00	972.00		173.00	760.00			
1971	960.00	767.00		471.00	795.00			
1972	970.00	772.00		281.00	1,040.00			
1973	1,643.00	2,100.00		422.00	1,945.00			
1974	2,093.00	2,076.00	1,000.00	501.00	2,408.00	2,085.00	1,073.00	

<b>Estación</b>	<b>José Azueta</b>	<b>Cuatotolapan</b>	<b>La Ceibilla</b>	<b>Lauchapan</b>	<b>Monte Rosa</b>	<b>San José Chilapa</b>	<b>Garro</b>	<b>Obispo</b>
1975	1,950.00	1,907.00	920.00	213.00	2,080.00	3,570.00	910.00	
1976	1,459.25	795.00	997.00	272.00	1,019.00	1,563.00	795.00	
1977	740.00	553.00	676.00	72.00		780.00	467.00	
1978	1,560.00	2,184.00	1,600.00	205.00		1,570.00	970.00	
1979	985.60							
1980	1,805.00							
1981	1,738.00							
1982	1,367.00	852.42		203.00		2,526.12	662.37	
1983	1,321.10	1,401.21		140.00		1,532.35	725.86	
1984	1,202.40	1,123.04		334.00		1,628.46	623.53	
1985	1,090.00	816.23		115.00		1,407.87	650.17	
1986	1,197.60	929.52		216.00			648.57	
1987	1,602.08	1,196.15		122.00		2,272.83	737.34	
1988	1,483.39	1,943.63	1,487.97	328.00			626.03	
1989	1,182.89	2,398.31	1,603.90	320.00			663.20	
1990	1,022.63	868.97	855.39	329.00			572.95	
1991	1,657.98	1,460.62	1,728.23	475.00			692.55	
1992	1,871.96	1,931.27	1,589.52	413.00			793.41	
1993	1,098.66	869.30	2,311.50	481.00			576.36	
1994	681.03	600.23	623.39	96.00			436.38	
1995	844.00	1,333.50	1,063.00	111.00			478.00	
1996	1,270.00	1,790.00	965.00	431.00				
1997	1,241.00	2,046.00	1,056.92	393.00				
1998	1,115.48	1,398.86	718.31	312.00				
1999	769.11	1,435.04	1,353.27	643.00		2,531.92	780.38	
<b>Num. datos</b>	<b>52</b>	<b>49</b>	<b>17</b>	<b>48</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>15</b>

A continuación se presentan los resultados numéricos de las ecuaciones de distribución de los gastos máximos y su respectiva gráfica de cada estación hidrométrica.

**Cuadro 37.** Gasto máximo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) de la estación José Azueta.

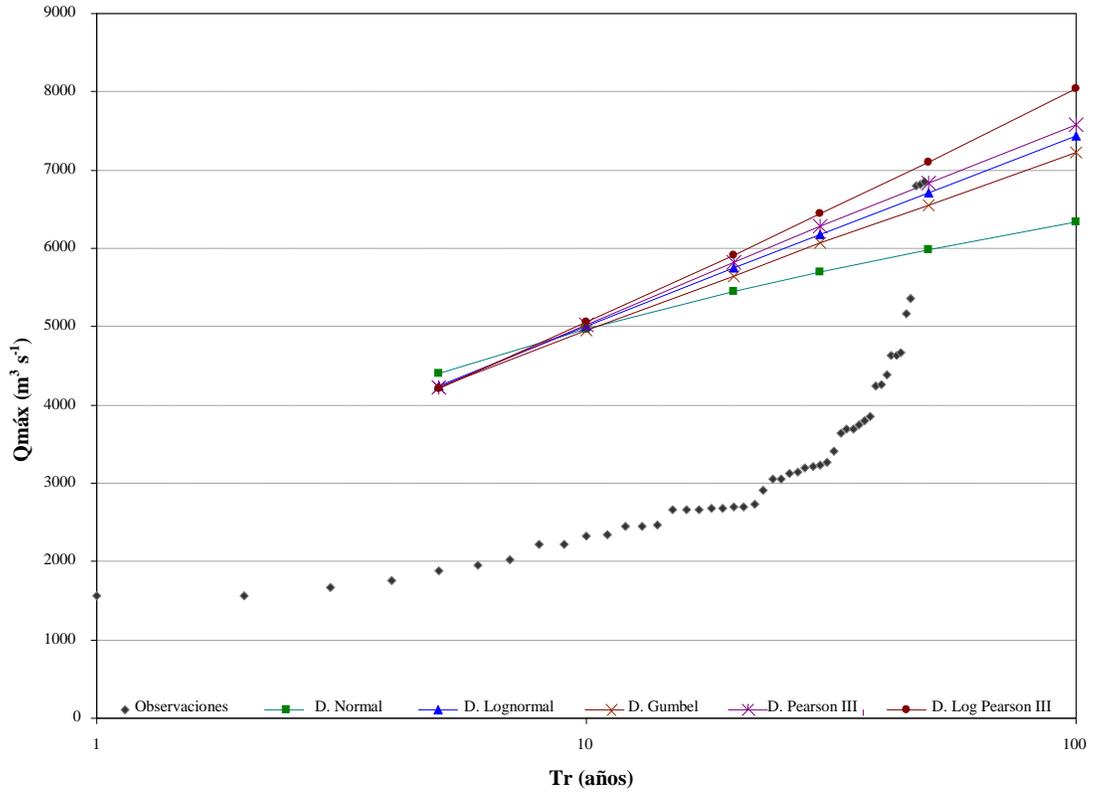
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	1568.86	1448.3	1405.83	1421.52	1409.41
10	1824.72	1613.1	1615.82	1632.67	1648.92
25	2042.52	1784.06	1867.72	1880.20	1957.50
30	2090.77	1819.37	1923.42	1935.05	2029.17
50	2213.65	1901.58	2061.77	2063	2204.62
100	2385.35	2003.59	2247.33	2234.16	2454.02



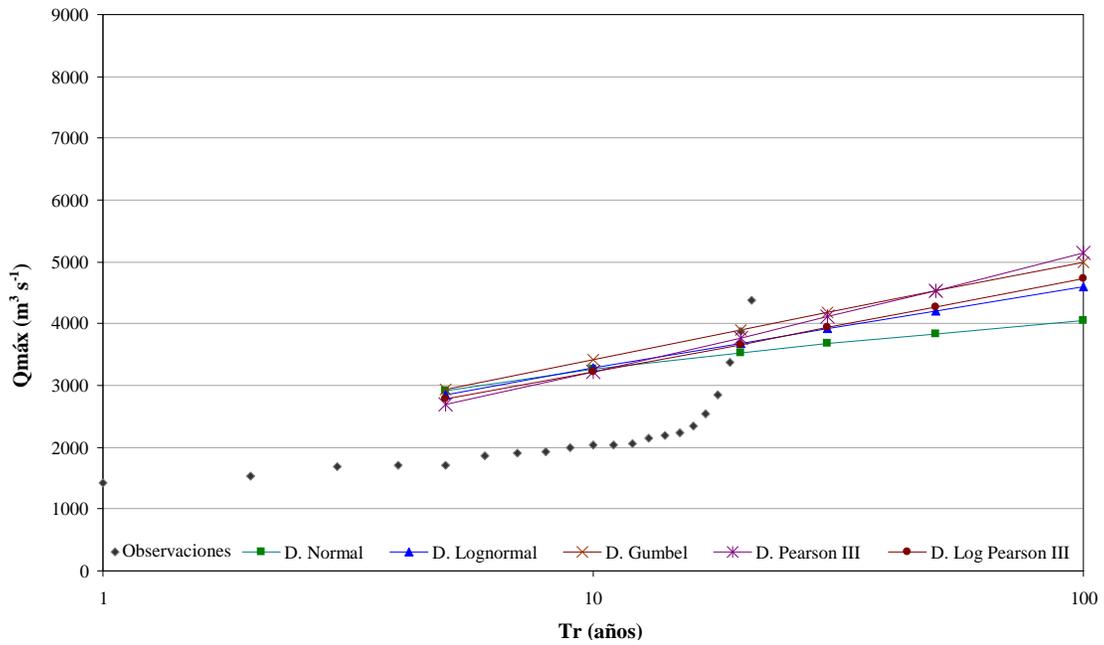
**Figura 51.** Gasto máximo de la estación José Azueta.

**Cuadro 38.** Gasto máximo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) de la estación Papaloapan.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	4230.36	4403.01	4236.7	4216.01	4211.93
10	4956.07	4974.95	5004.96	5031.78	5055.44
25	5857.36	5572.90	5961.52	6045.96	6176.26
30	6062.53	5698.66	6179.87	6276.35	6440.38
50	6553.23	5978.42	6704.71	6825.81	7096.35
100	7228.44	6332.54	7433.45	7579.3	8045.53



**Figura 52.** Gasto máximo de la estación Papaloapan.



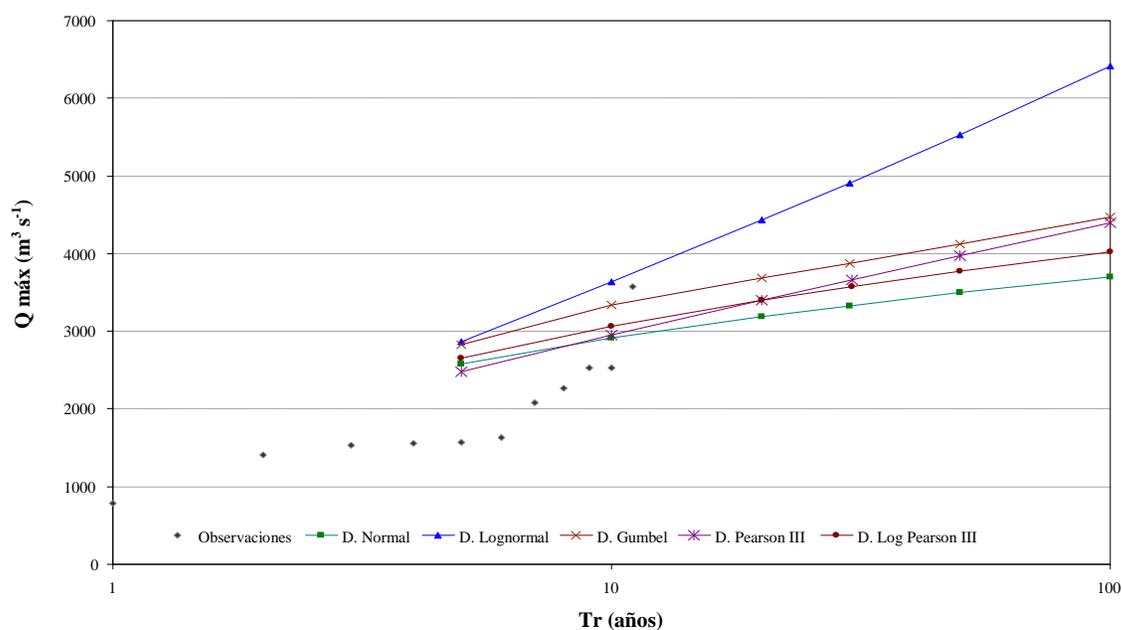
**Figura 53.** Gasto máximo de la estación Chacaltianguis.

**Cuadro 39.** Gasto máximo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) de la estación Chacaltianguis.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	2925.46	2917.17	2839.42	2685.82	2776.04
10	3425.24	3252.48	3277.29	3220.17	3222.66
25	4045.93	3603.05	3809.33	3948.45	3801.51
30	4187.23	3676.78	3929.42	4120.08	3936.37
50	4525.17	3840.79	4214.97	4542.65	4267.58
100	4990.17	4048.41	4606.37	5142.59	4740.44

**Cuadro 40.** Gasto máximo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) de la estación San José Chilapa.

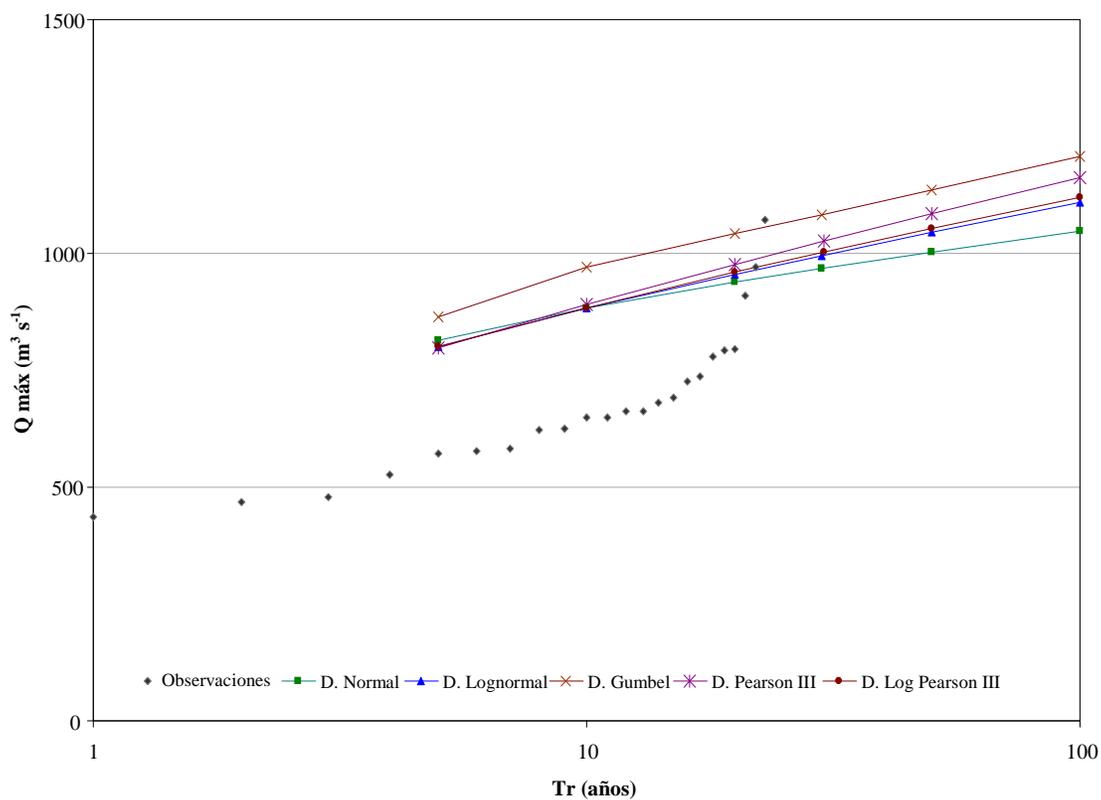
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	2826.4	2583.9	2868.96	2481.11	2654.4
10	2915.41	3641.79	297.83	2949.6	3061.82
25	3259.37	4670.36	337.26	3529.24	3490.02
30	3330.41	4908.88	345.99	3660.66	3579.55
50	3495.81	5529.21	368.23	3973.53	3776.28
100	3701.05	6409.01	399.31	4401.74	4019.88



**Figura 54.** Gasto máximo de la estación Chilapa.

**Cuadro 41.** Gasto máximo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) de la estación Garro.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	864.12	813.46	800.14	798.74	801.1
10	971.65	882.71	881.7	891.02	884.11
25	1063.18	954.56	975.33	1001.44	980.72
30	1083.46	969.4	995.61	1026.12	1002.1
50	1135.1	1003.95	1044.99	1084.15	1051.98
100	1207.26	1046.82	1109.72	1162.47	1118.83



**Figura 55.** Gasto máximo de la estación Garro.

**Cuadro 42.** Gasto máximo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) de la estación Obispo.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	251.52	229.7	220.5	221.61	227.3
10	297.83	259.53	259.84	262.88	275.6
25	337.26	290.47	308.28	313.31	339.18
30	345.99	296.86	319.12	324.68	354.08
50	368.23	311.74	346.36	351.63	390.9
100	399.31	330.21	383.41	388.33	443.78



***Análisis estadístico de alturas de precipitación máxima en 24 horas registradas en las estaciones climatológicas***

El análisis de las alturas de precipitación máximas en 24 horas para la zona de estudio, se realizó para las estaciones climáticas que se presentan en el Cuadro 43. Su distribución espacial se observa en la Figura 57.

**Cuadro 43.** Estaciones climatológicas analizadas.

<b>Clave</b>	<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
20008	Betania	17.96670	-96.03330
20042	Santa María	17.86670	-96.20000
20113	San Juan D	17.46670	-95.81670
20294	Tuxtepec	18.08330	-96.13330
30013	José Azueta	18.08330	-95.71670
30025	Ciudad Alemán	18.18330	-96.08330
30029	Colonia Grupo	17.83330	-95.56670
30035	Cuatotolapan	18.13330	-95.30000
30070	Independencia Juan	17.81670	-95.43330
30103	Mata de Limones	18.13330	-95.53330
30117	Paraíso Novillero	18.26670	-95.95000
30131	Playa Vicente	17.83330	-95.81670
30143	Juan Rodríguez	18.00000	-95.40000
30148	San Juanillo	18.31667	-95.21667
30152	Nicolás	18.25000	-95.53330
30189	Tres Zapotes	18.45000	-95.45000
30150	San Miguel	18.56667	-95.73333

Las alturas máximas se enlistan en el Cuadro 44.

**Cuadro 44.** Altura máximas de precipitación (mm) registradas.

<b>año</b>	<b>Clave de la estación climatológica</b>							
	<b>20113</b>	<b>30150</b>	<b>20294</b>	<b>20008</b>	<b>30029</b>	<b>30103</b>	<b>20042</b>	<b>30143</b>
1948	97.0							
1950	171.0							
1951	100.0							
1952	87.0							
1953	46.0						172.0	
1954	105.0						228.0	
1955	147.0						193.5	
1956	102.0			82.0			161.0	
1957	151.0			136.0			127.0	
1958	170.0			124.0			282.0	
1959	105.0			172.3			233.0	

<b>Clave de la estación climatológica</b>								
<b>año</b>	<b>20113</b>	<b>30150</b>	<b>20294</b>	<b>20008</b>	<b>30029</b>	<b>30103</b>	<b>20042</b>	<b>30143</b>
1960	180.0			100.0			150.3	
1961	170.0	69.0		120.0	20.1	52.7	166.6	81.0
1962	69.0	75.4		120.0	76.4	72.0	235.6	64.0
1963	160.0	86.0		95.3	90.2	192.1	150.1	127.0
1964	115.5	77.0		92.0	89.6	89.0	198.1	201.4
1965	120.0	79.1		104.0	105.2	140.0	189.5	78.5
1966	200.1	147.0		87.4	103.0	80.0	136.1	68.0
1967	120.1	113.5		131.5	97.5	60.5	251.3	113.5
1968	91.0	235.5		84.1	110.5	310.0	197.5	113.5
1969	93.0	90.0		200.0	75.2	82.1	250.0	94.5
1970	69.5	160.3		135.5	90.7	60.2	131.8	87.5
1971	60.0	128.3		129.3	80.5	56.0	163.3	91.6
1972	90.0	109.5		115.5	105.7	80.3	96.6	90.0
1973	129.3			180.3	124.5	80.5	324.5	169.0
1974	158.0	137.1		137.8	126.8	95.0	206.1	163.3
1975	100.3	82.0		131.8	128.7	100.0	148.0	90.0
1976	240.0	120.5		99.0	133.5	60.0	227.5	106.2
1977	120.0	120.5		105.6	116.5	100.0	138.8	79.6
1978	100.0	130.6		160.8	93.1	50.0	174.8	80.0
1979	110.3			88.5	93.0	58.2	176.6	62.0
1980	60.0			221.8	285.8	84.5	194.1	260.8
1981	107.0			178.8	119.6	70.0	216.1	127.0
1982	88.5			112.5	90.2	60.0	213.1	77.2
1983	140.1			136.6	90.5	63.0	221.8	69.5
1984	88.6			95.0	81.0	135.0	173.5	155.0
1985					85.0			201.4
1986					80.0			100.3
1987					29.4			132.0
1988					41.2			100.0
1989					67.9			92.5
1990					78.0			60.0
1991	80.0		64.3	178.3	235.4	122.5	182.6	62.0
1992	53.9		133.2	227.1	105.2	81.5	313.3	201.4
1993	83.6		132.2	106.0	56.5	116.5	238.6	81.0
1994	62.3		136.8	160.0	102.0	99.6	152.9	112.0
1995	40.0		137.0	136.1		86.1	170.0	109.5
1996	100.9		160.6	128.4		138.5	141.3	103.5
1997	40.5		96.0	112.3			152.0	201.4
1998	81.8		184.8	118.9			195.0	75.5
1999	59.5		66.2	168.6			132.7	107.0
2000	90.1		111.7	109.5			207.6	100.0
2001	80.2		118.9	108.2			213.4	115.0
2002	60.3		110.5	91.0			127.0	61.0

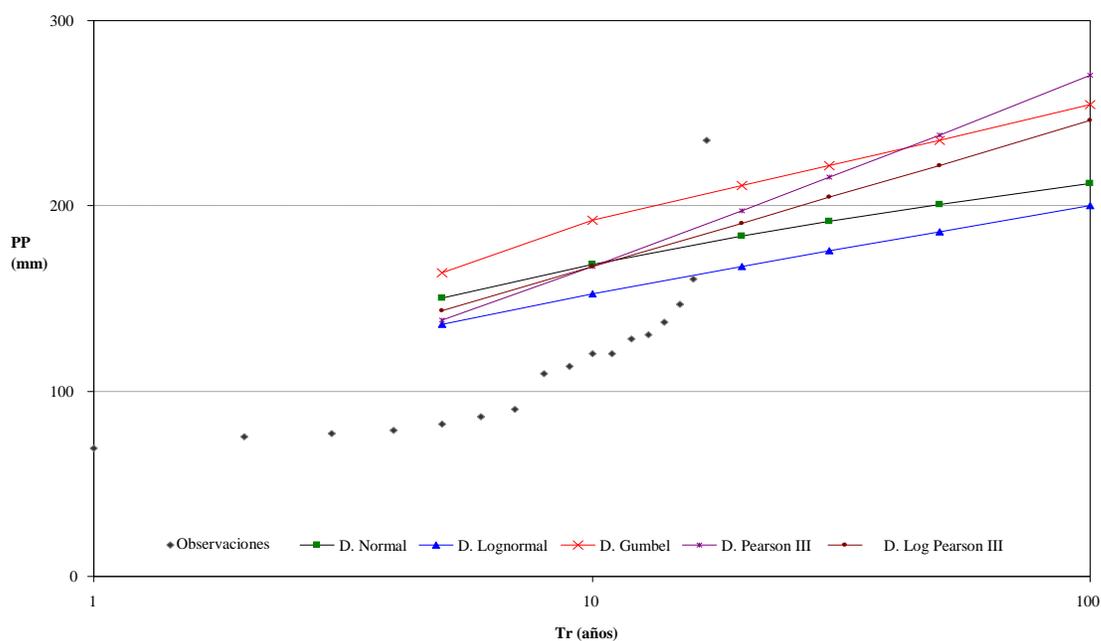
**Cuadro 45.** Altura máximas de precipitación (mm) registradas (continuación).

año	Clave de las estaciones climatológicas								
	30035	30070	30148	30189	30152	20025	30131	20013	30117
1959									
1960	135.0								
1961	85.0	86.0	102.5	135.0	46.5	102.5	133.0	86.0	102.0
1962	120.0	66.7	46.0	160.0	67.5	103.5	92.0	97.9	136.3
1963	106.1	140.0	143.5	340.6	71.5	113.0	118.0	75.6	94.0
1964	83.5	153.0	85.6	196.4	105.0	90.5	128.0	82.0	81.1
1965	98.0	110.0	75.3	120.0	80.0	185.5	114.0	62.7	114.6
1966	82.3	122.0	100.0	285.0	150.0	137.5	88.0	91.0	170.5
1967	101.2	67.3	111.1	310.0	140.0	89.0	114.0	95.5	102.3
1968	73.4	108.5	71.1	367.8	80.5	127.5	117.5	159.8	116.0
1969	77.0	89.7	68.3	120.0	100.0	123.8	172.0	142.0	145.2
1970	94.8	72.2	69.4	228.0	71.0	179.5	76.0	165.8	230.5
1971	94.0	90.5	130.5	264.0	96.5	119.8	105.0	96.5	92.3
1972	52.3	80.4	112.5	207.0	77.4	107.0	109.0	90.5	80.0
1973	139.6	112.0	92.6	287.0	104.0	126.8	206.0	146.5	90.4
1974	214.9	113.0	169.4	340.0	140.0	73.5	186.0	212.8	97.4
1975	56.7	90.0	61.5	390.0	65.0	147.0	98.0	100.5	102.0
1976	52.0	116.0	130.0	148.5	93.5	100.0	110.0	76.8	83.0
1977	320.0	317.0	59.5	117.0	123.0	100.0	128.5	113.0	103.5
1978	63.5	100.5	95.2	243.0	45.0	150.3	150.0	145.1	117.5
1979	74.7	114.0	88.7	267.0	110.0	182.6	137.0	103.3	136.1
1980	199.5	327.5	201.6	200.0	110.0	126.0	180.0	258.0	120.0
1981	90.9	117.5	96.5	110.0	155.5	118.3	174.0	193.1	186.8
1982	52.5	88.5	77.0	240.0	96.0	110.8	174.0	95.1	75.1
1983	81.8	90.3	114.5	115.5	81.5	96.5	96.5	125.0	67.1
1984	91.0	110.7	102.3	131.5	180.0	138.0	181.5	365.6	80.1
1985	47.0	65.2	175.9	204.2	95.0	140.0	97.5		
1986	130.0	118.6	50.2	192.2	75.0		111.0		
1987	72.0	155.8	10.0	170.2	76.0		180.0		
1988	87.2	229.7	146.7	146.0	107.0		183.0		
1989	86.5	92.6	62.2	248.4	48.0		60.0		
1990	56.5	222.5	57.8	125.4			69.5	85.5	
1991	81.5	167.1	143.0	269.1	124.0	169.8		85.0	134.5
1992	54.9	132.9	85.5	167.5	77.0	157.8	180.0	101.0	191.5
1993	58.5	235.1	70.8	132.5	107.0	185.3	127.5	153.3	100.1
1994	66.5	58.2	41.0	178.2	90.5	116.5	175.0	55.0	74.3
1995	88.0	80.6	180.0	101.2	82.0	143.6	126.0	119.6	196.1
1996	135.2	66.8	94.7	104.0	111.7	97.8	136.0	101.5	140.5
1997	85.0	142.2	10.5	96.1	150.5	85.8	110.0	71.0	100.1
1998	59.2	77.0	47.8	139.3	83.3	149.2	70.0		102.1
1999	113.3	126.5	139.1	102.0	110.9	90.7	102.0		103.2
2000	176.5	165.9	117.0	188.2	131.1	126.3	107.0		94.5
2001	73.9	64.0	120.0	177.5	116.0	105.8	95.0		99.0
2002	99.0		70.5	72.9	73.0	113.5	97.0		115.2

Los resultados de las ecuaciones de distribución de alturas de precipitación máximas en 24 horas para el área de estudio, se presentan a continuación en forma gráfica. La distribución Gumbel es la que se usará posteriormente para el cálculo de los gastos y volúmenes de escurrimiento debido a que ésta se ajusta mejor estadísticamente a las observaciones, presentando el mínimo error estándar.

**Cuadro 46.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación San Miguel Acula.

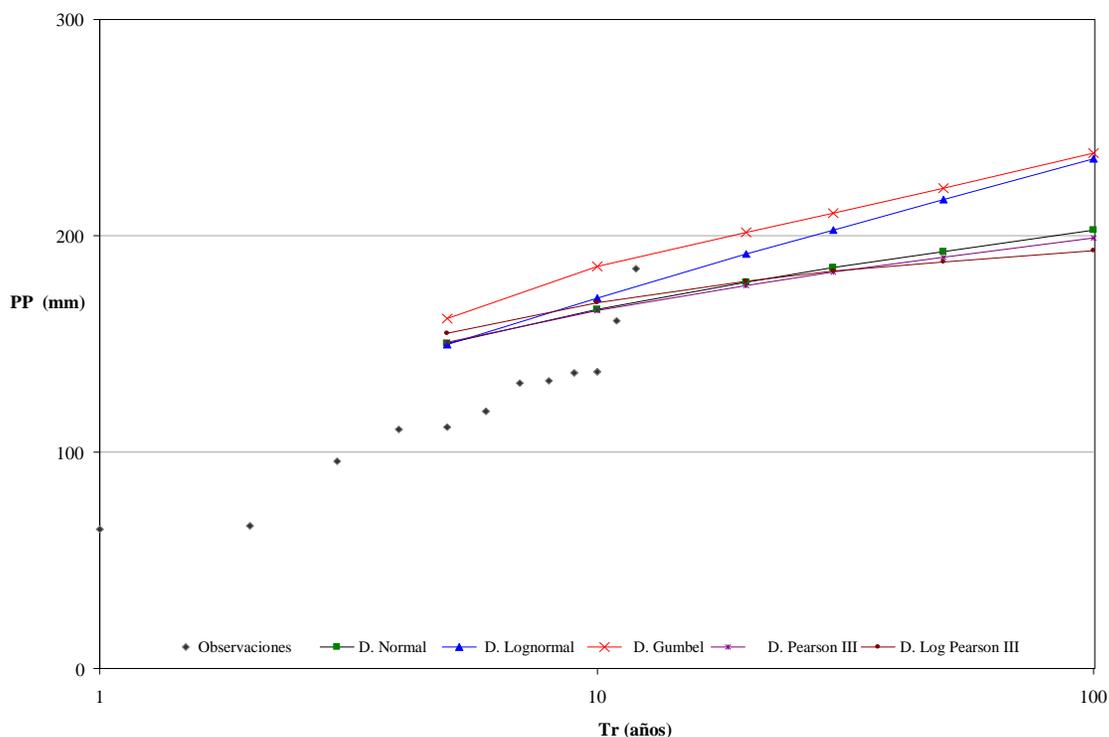
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	163.67	150.28	136.06	138.19	143.3
10	192.09	168.58	152.53	167.17	167.26
25	216.285	187.575	171.765	206.42	197.705
30	221.65	191.5	175.97	215.65	204.73
50	235.3	200.63	186.29	238.32	221.81
100	254.37	211.96	199.94	270.45	245.89



**Figura 58.** Precipitación máxima de la estación San Miguel Acula.

**Cuadro 47.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Tuxtepec.

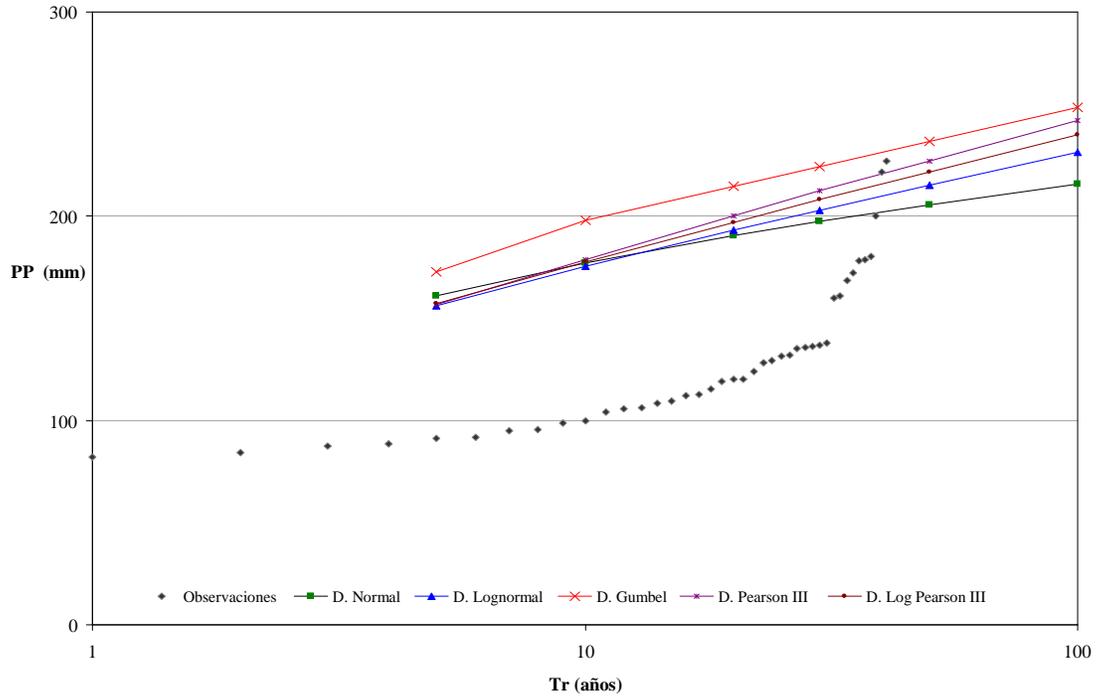
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	185.68	150.44	149.8	150.67	155.19
10	186.57	161.93	164.84	165.3	169.11
25	211.94	181.835	198.675	180.275	181.245
30	217.56	185.95	206.3	183.39	183.54
50	231.87	195.52	225.6	190.25	188.11
100	251.87	207.41	252.07	198.84	193.07



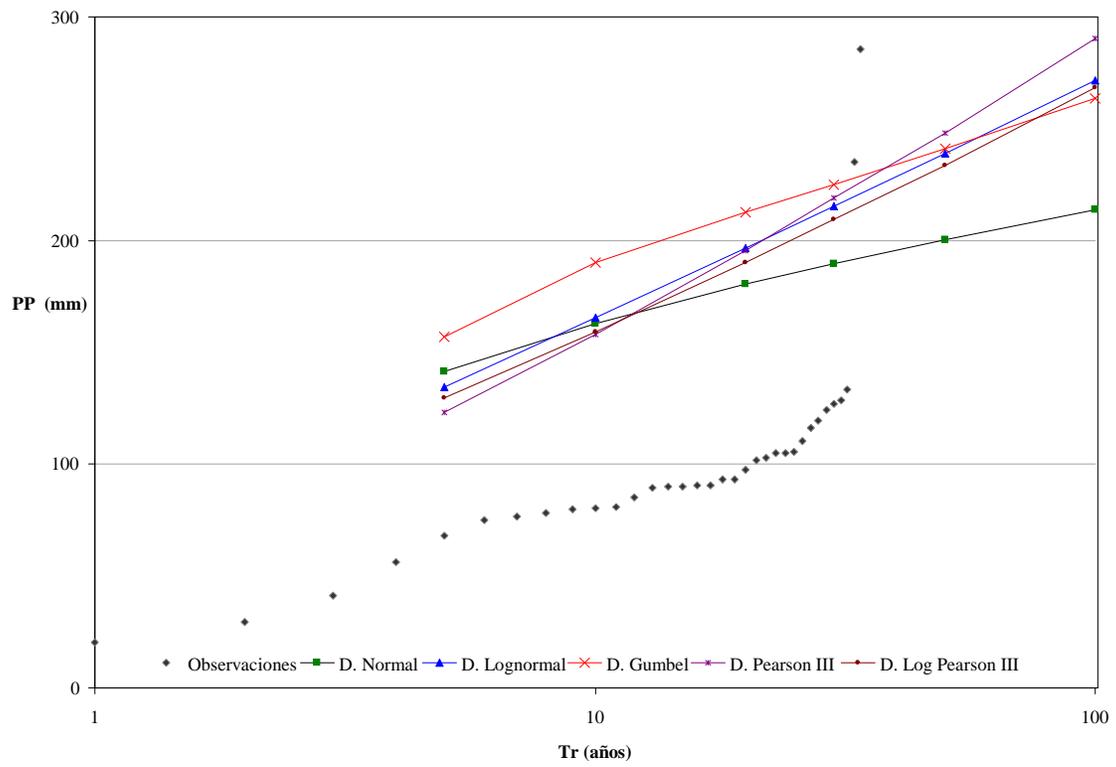
**Figura 59.** Precipitación máxima de la estación Tuxtepec.

**Cuadro 48.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Betania.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	172.74	160.84	156.28	156.59	157.06
10	198.01	177.11	175.55	178.97	177.7
25	219.525	193.995	198.115	206.23	202.58
30	224.29	197.48	203.05	212.37	208.18
50	236.42	205.6	215.17	226.9	221.47
100	253.38	215.68	231.23	246.65	239.63



**Figura 60.** Precipitación máxima de la estación Betania.



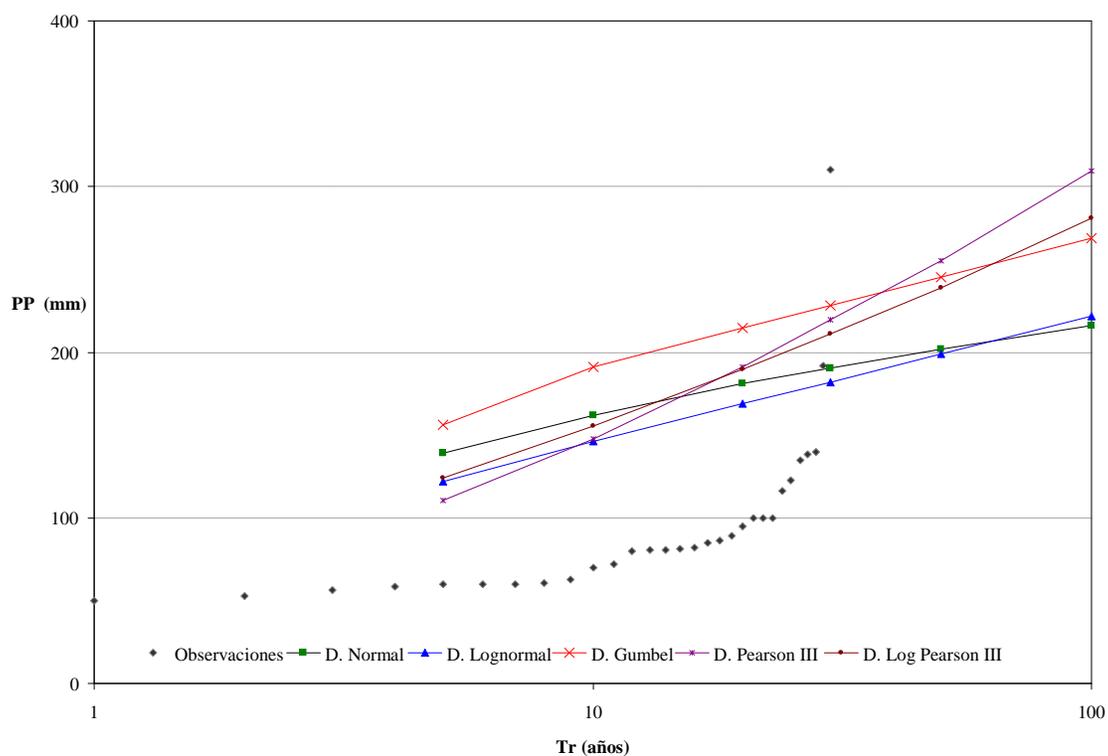
**Figura 61.** Precipitación máxima de la estación Colonia Grupo.

**Cuadro 49.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Colonia Grupo.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	156.94	141.22	134.53	123.09	129.62
10	190.31	162.71	165.72	158.01	159.3
25	218.705	185.005	205.935	207.245	199.62
30	225	189.61	215.13	219	209.22
50	241.02	200.33	238.71	248.26	233.31
100	263.41	213.63	271.59	290.3	268.59

**Cuadro 50.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Mata de Limones.

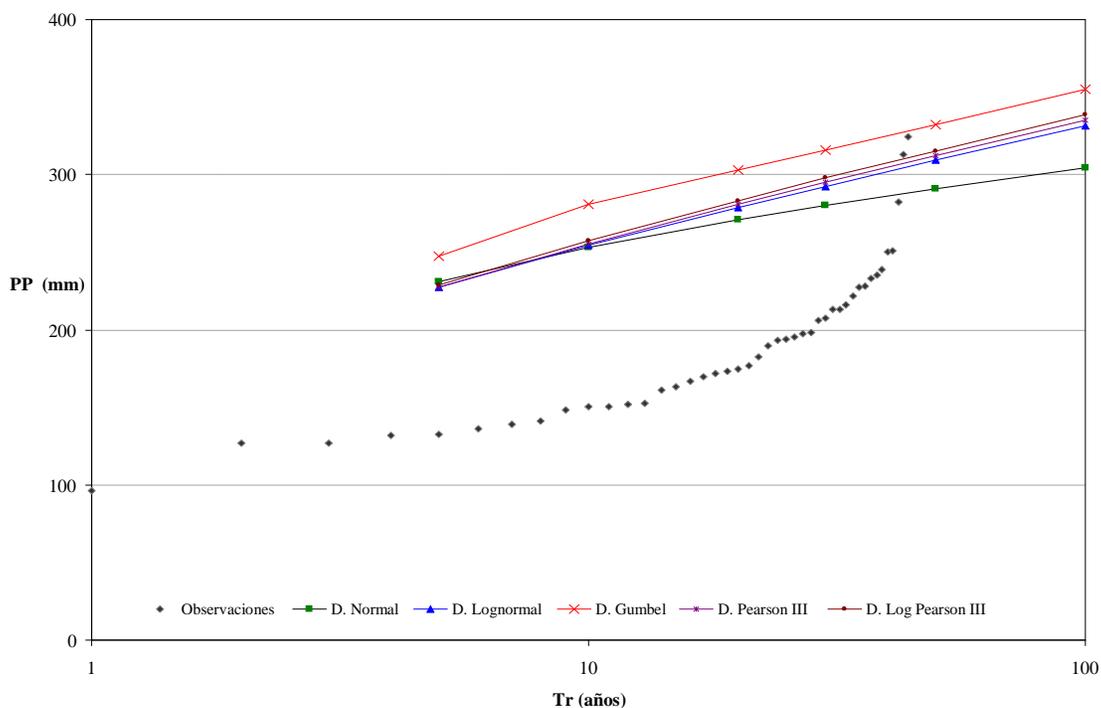
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	155.97	139.3	122.25	110.47	124
10	191.34	162.08	145.89	147.71	155.48
25	221.445	185.715	175.37	205.175	200.19
30	228.12	190.6	182.01	219.35	211.06
50	245.1	201.96	198.78	255.61	238.94
100	268.84	216.06	221.76	309.22	280.92



**Figura 62.** Precipitación máxima de la estación Mata de Limones.

**Cuadro 51.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Santa María.

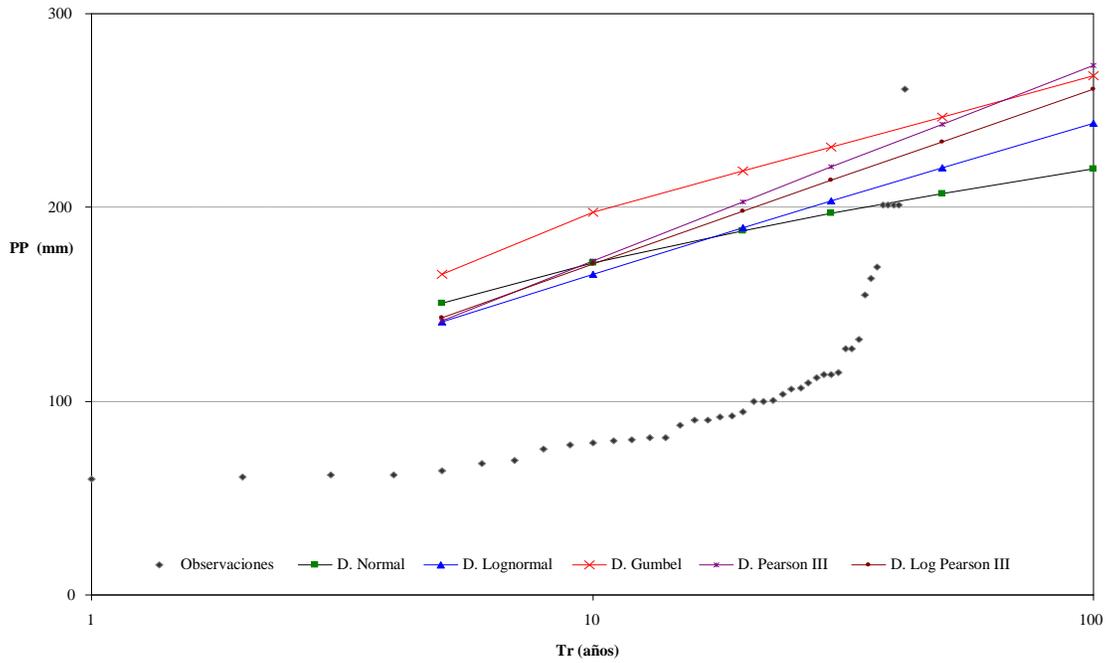
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	247.19	231.3	227.49	227.79	229.2
10	280.92	253.02	254.34	255.6	257.3
25	309.63	275.555	285.63	288.2	290.51
30	315.99	280.21	292.46	295.42	297.91
50	332.19	291.05	309.2	312.26	315.29
100	354.82	304.5	331.3	334.79	338.77



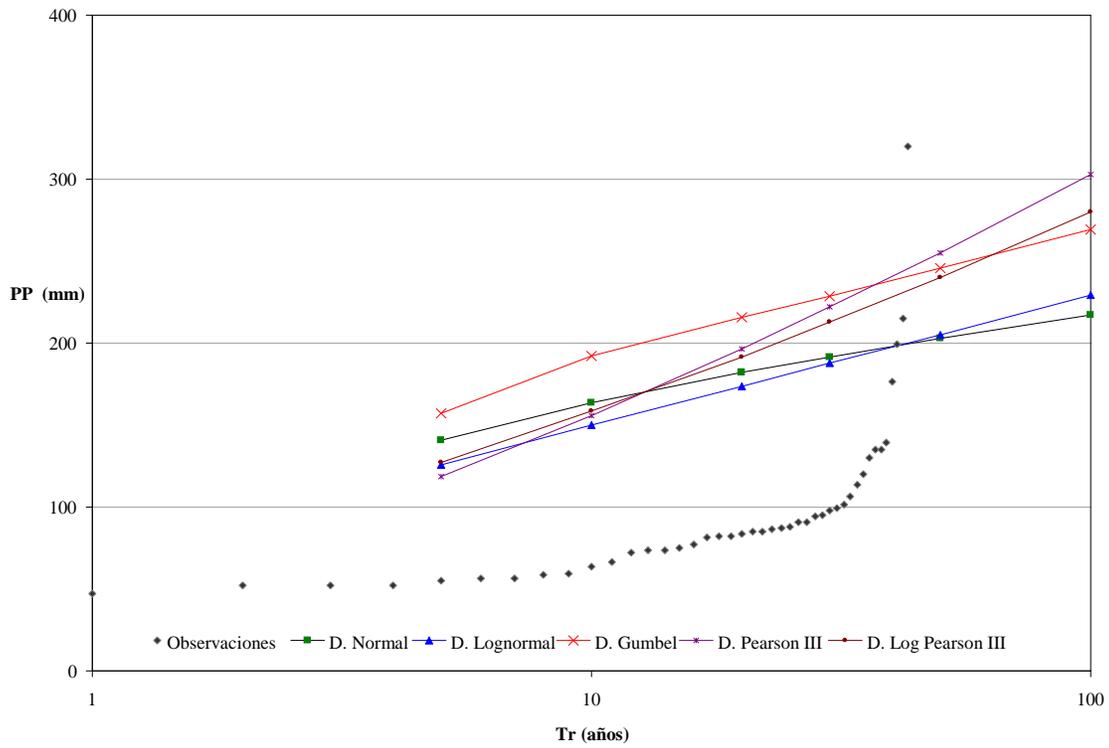
**Figura 63.** Precipitación máxima de la estación Santa María.

**Cuadro 52.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Juan Rodríguez.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	165.59	150.48	140.83	141.51	143.27
10	197.66	171.13	165.7	172.29	171.01
25	224.96	192.56	196.28	211.76	206.13
30	231	196.98	203.12	220.84	214.21
50	246.4	207.29	220.29	242.74	233.78
100	267.92	220.07	243.62	273.13	261.21



**Figura 64.** Precipitación máxima de la estación Juan Rodríguez.



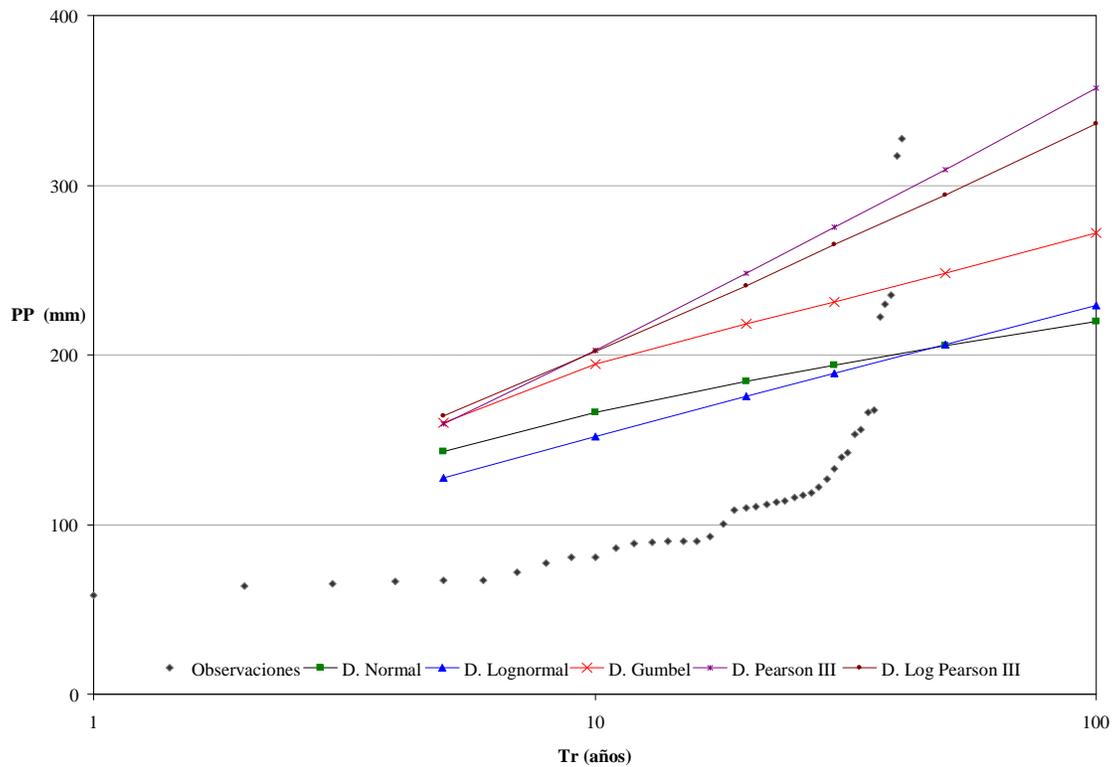
**Figura 65.** Precipitación máxima de la estación Cuatrotolapan.

**Cuadro 53.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Cuatotolapan.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	157.4	140.91	125.44	118.56	126.95
10	192.41	163.46	150.04	155.57	158.31
25	222.21	186.85	180.82	209.41	202.15
30	228.81	191.68	187.76	222.41	212.73
50	245.62	202.93	205.31	255.1	239.65
100	269.11	216.88	229.38	302.54	279.8

**Cuadro 54.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Independencia.

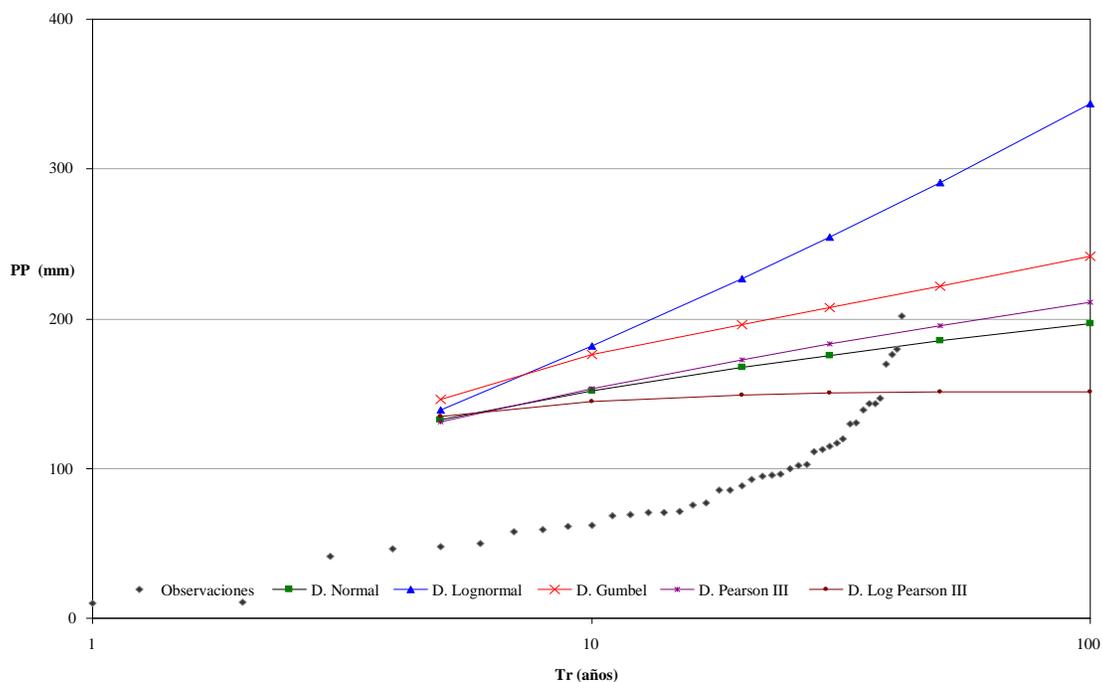
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	159.85	143.33	127.77	159.03	163.89
10	194.91	165.91	152	202.72	202.21
25	224.75	189.34	182.14	261.66	252.89
30	231.36	194.17	188.92	275.49	264.79
50	248.19	205.44	206.02	309.44	294.21
100	271.72	219.41	229.4	357.46	336.49



**Figura 66.** Precipitación máxima de la estación Independencia.

**Cuadro 55.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación San Juanillo, Acayucan.

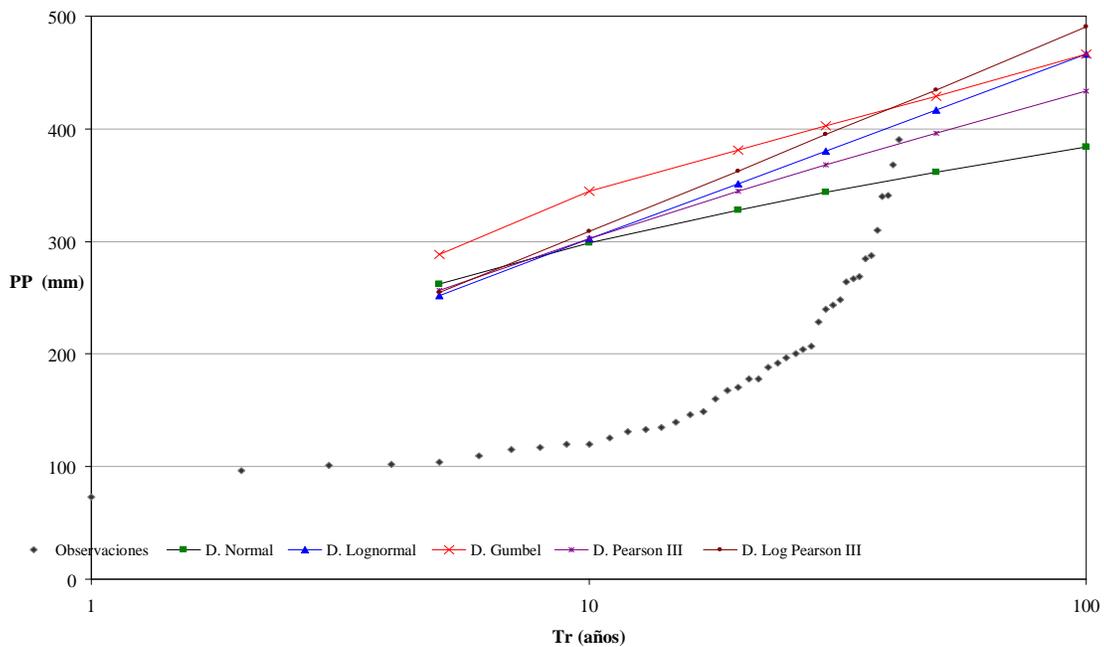
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	146.45	132.43	139.23	131.16	134.94
10	176.2	151.59	182.04	153.21	144.71
25	201.53	171.48	240.80	177.76	149.69
30	207.14	175.58	254.61	183.07	150.31
50	221.43	185.14	291.04	195.22	151.04
100	241.4	197	343.58	211.09	151.33



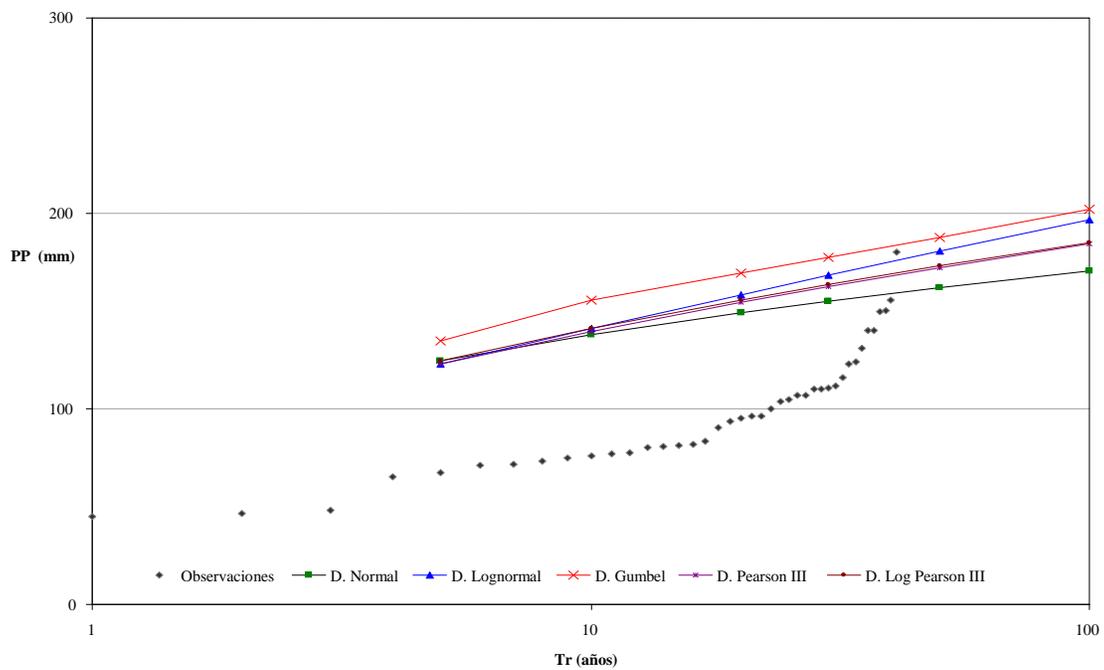
**Figura 67.** Precipitación máxima de la estación San Juanillo, Acayucan.

**Cuadro 56.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Tres Zapotes.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	288.61	262.32	252.06	256.56	255.08
10	344.42	298.26	302.51	302.52	309.12
25	391.93	335.55	365.84	356.33	378.82
30	402.45	343.25	380.13	368.25	394.99
50	429.26	361.18	416.36	396.04	434.5
100	466.71	383.44	466.15	433.19	490.47



**Figura 68.** Precipitación máxima de la estación Tres Zapotes.



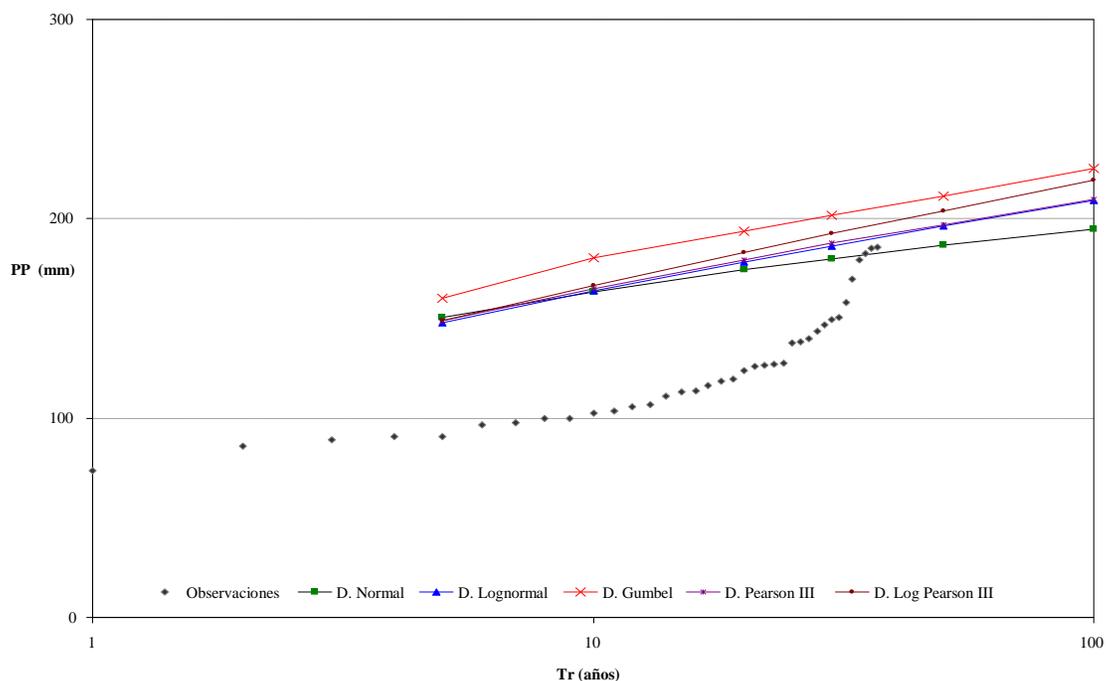
**Figura 69.** Precipitación máxima de la estación Nicolás.

**Cuadro 57.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Nicolás.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	134.58	124.64	122.81	123.2	124.57
10	155.68	138.23	141.27	139.65	141.24
25	173.64	152.33	163.44	158.42	159.83
30	177.62	155.24	168.34	162.52	163.85
50	187.76	162.02	180.53	171.99	173
100	201.92	170.43	196.88	184.51	184.89

**Cuadro 58.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Cd. Alemán.

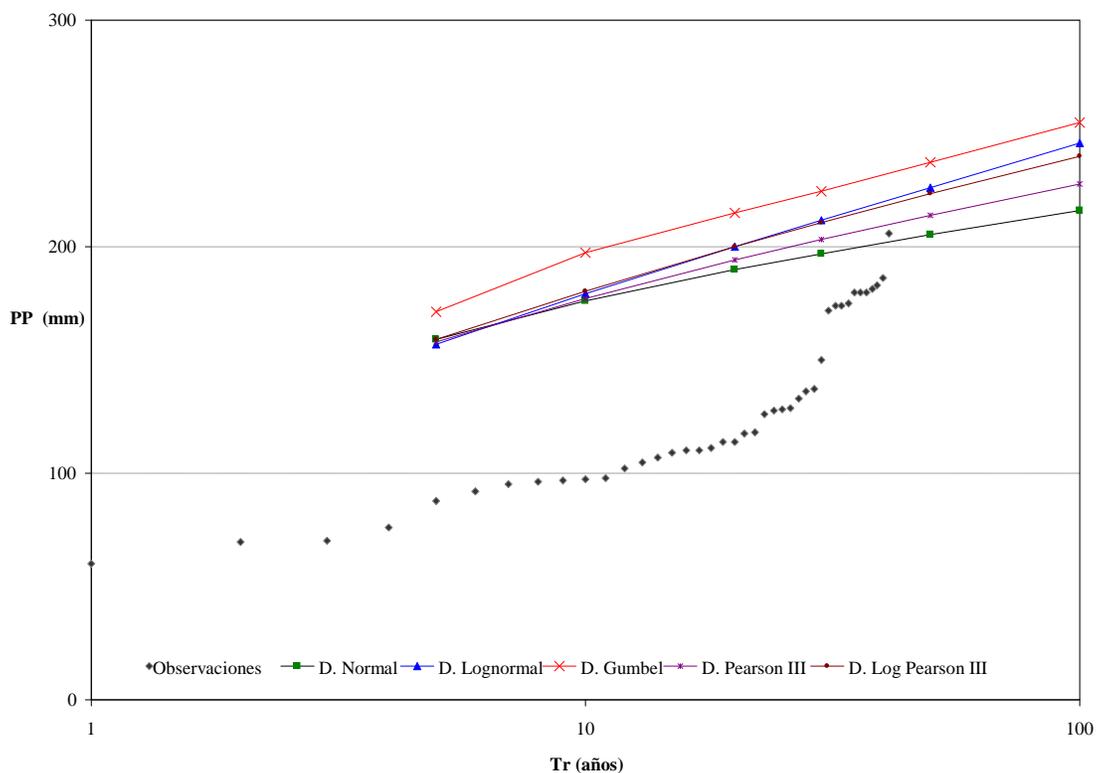
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	159.97	150.32	148.09	148.74	149.05
10	180.46	163.52	164.06	164.97	166.68
25	197.90	26	182.50	27	187.86
30	201.76	180.03	186.5	187.71	192.61
50	211.6	186.61	196.28	197.19	203.89
100	225.35	194.78	209.13	209.75	219.28



**Figura 70.** Precipitación máxima de la estación Ciudad Alemán.

**Cuadro 59.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Playa Vicente.

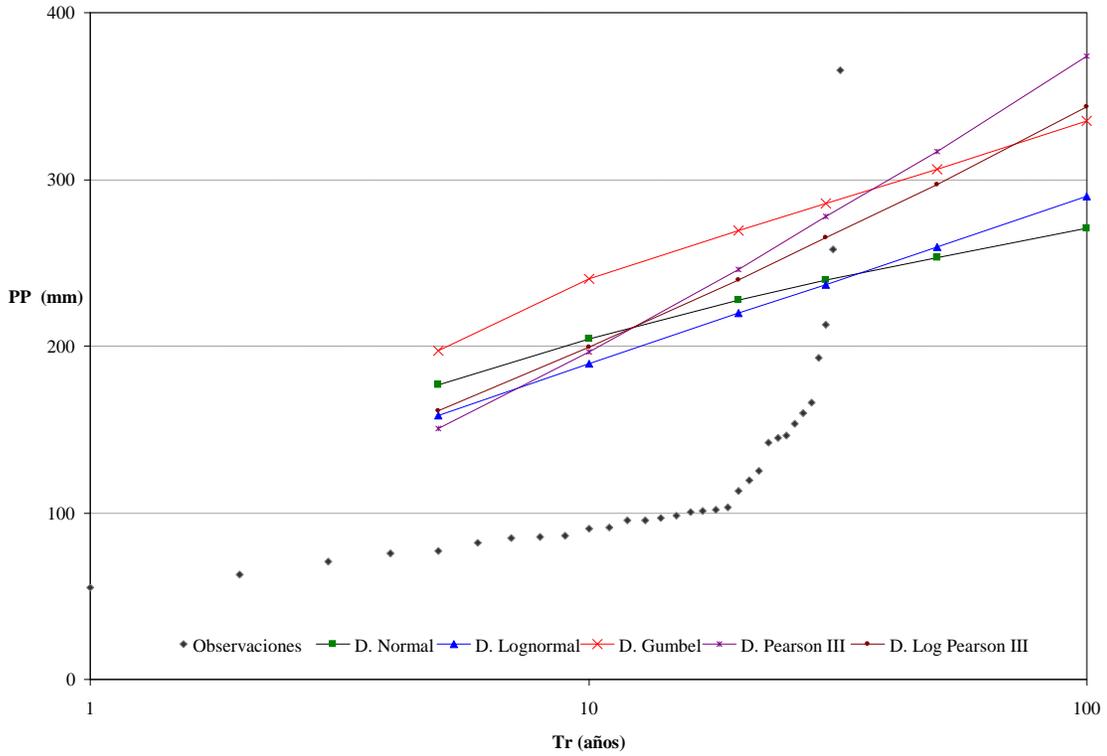
TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	171.45	159.18	156.83	158.08	158.79
10	197.49	175.95	179.19	177.35	180.38
25	219.67	26	205.85	27	205.25
30	224.58	196.95	211.73	203.43	210.71
50	237.09	205.32	226.29	214.03	223.36
100	254.57	215.7	245.75	227.88	240.14



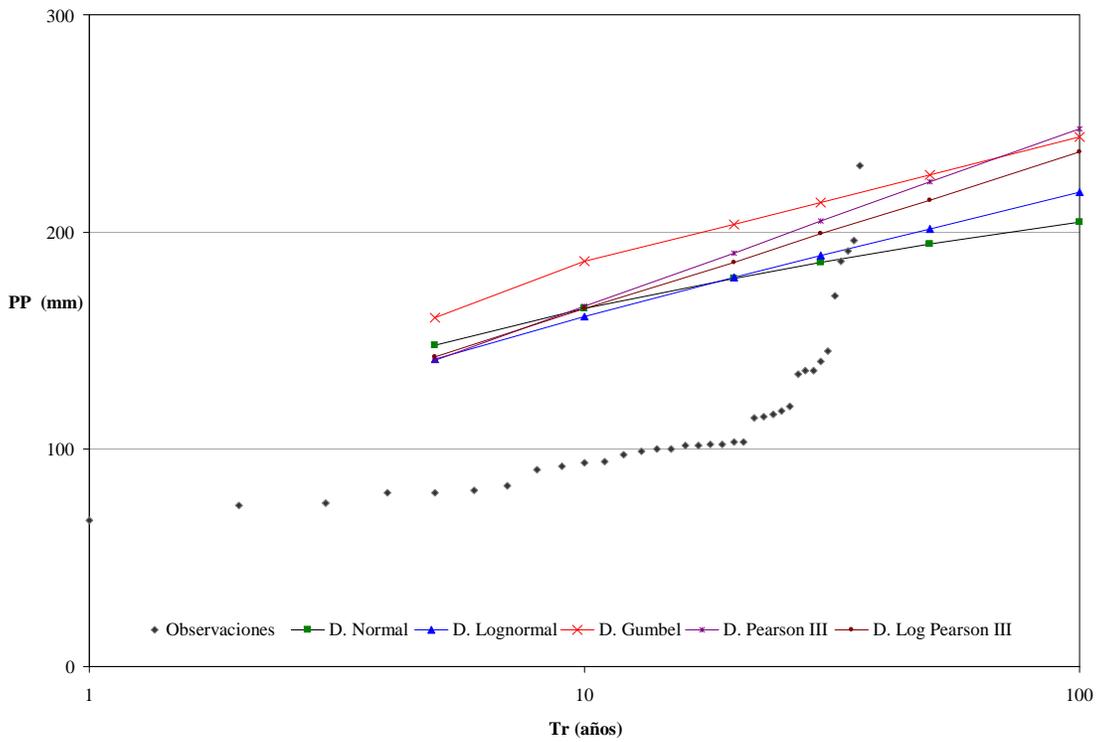
**Figura 71.** Precipitación máxima de la estación Playa Vicente.

**Cuadro 60.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación José Azueta.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	197	176.63	158.37	150.87	160.86
10	240.26	204.48	189.43	196.44	199.42
25	277.08	26	228.28	27	252.26
30	285.24	239.35	237.03	277.52	264.88
50	306.01	253.25	259.18	316.82	296.67
100	335.03	270.5	289.57	373.61	343.45



**Figura 72.** Precipitación máxima de la estación José Azueta.



**Figura 73.** Precipitación máxima de la estación Paraíso Novillero.

**Cuadro 61.** Alturas de precipitación máxima (mm) estación Paraíso Novillero.

TR (años)	D. Gumbel	D. Normal	D. Lognormal	D. Pearson III	D. Log Pearson III
5	160.36	148.05	141.62	140.84	142.35
10	186.48	164.87	161.03	165.86	164.58
25	208.72	26	184.06	27	192.64
30	213.64	185.93	189.13	205.26	199.09
50	226.18	194.32	201.64	223.02	214.73
100	243.71	204.74	218.34	247.65	236.71

***Determinación de gastos y volúmenes de escurrimiento, mediante los métodos fisiográficos (relación precipitación-escurrimiento)***

En este apartado se reportan los gastos y volúmenes de escurrimiento obtenidos para cada una de las cuencas delimitadas (véase Cuadro 62).

**Cuadro 62.** Delimitación de cuencas en el área de estudio.

Identificador	Cuenca
	<b>Río Papaloapan</b>
1	Papaloapan-autopista
2	Autopista_Río Obispo
3	Río Obispo-Tesechoacán
9	Arroyo agua clara
	<b>Río Obispo</b>
8	Obispo_autopista
4	Autopista-Río Papaloapan
	<b>Río Tesechoacán</b>
6	Tesechoacán_vía férrea
7	Vía férrea_autopista
5	Autopista-Río Papaloapan

***Volumen de escurrimiento y gastos máximos para diferentes periodos de retorno representativos para las estaciones hidrométricas seleccionadas en el análisis a nivel de cuenca***

- *Cuenca 1. Datos generales.*

Área (ha): 45,274.54; Valor de CN Ponderado: 80.45; Precipitación Media anual (mm): 1,732.61; y Tiempo de concentración Kirpich (h): 36.73. El Cuadro 64 resume los volúmenes de escurrimiento y los gastos para diferentes periodos de retorno obtenidos para la Cuenca.

**Cuadro 63.** Precipitación por distribución Gumbel para La Cuenca 1.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	160.2
10	183.5
20	199.0
30	207.8
50	219.0
100	234.6

**Cuadro 64.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 1.

Método de estimación	Vars.	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo							
Cuencas Planas							
	Pe	104.27	125.77	144.35	148.49	159.07	173.94
	C	173.5	208.34	238.435	245.14	262.28	286.38
	Q	1,315.78	1,580.01	1,808.21	1,859.03	1,989.05	2,171.78
Método de conservación de suelo							
C = 0.40							
Volumen de escurrimiento (m <sup>3</sup> ): 2,185.75	S	61.74	61.74	61.74	61.74	61.74	61.74
	Q (mm)	104.27	125.77	144.35	148.49	159.07	173.94
	Alfa	0.65	0.69	0.705	0.71	0.73	0.74
	Lamina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	52.13	62.89	72.175	74.24	79.53	86.97
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	4,268.19	5,420.98	6,443.48	6,673.39	7,266.73	8,109.31
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1
	Tiempo de Pico	36.09	36.09	36.09	36.09	36.09	36.09
	Tiempo de retraso	22.04	22.04	22.04	22.04	22.04	22.04
	Tiempo de recesión	144.35	144.35	144.35	144.35	144.35	144.35
	Tiempo de base	180.44	180.44	180.44	180.44	180.44	180.44
	Q <sub>máx</sub>	268.17	323.48	371.25	381.89	409.11	447.37
Ven Te Chow							
Longitud del cauce (m): 55,837.1	Duración efectiva (h)	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1

Método de estimación	Vars.	Periodo de retorno (años)					
		14.63	14.63	14.63	14.63	14.63	14.63
Pendiente del cauce (%): 0.02	Tiempo de Pico	14.63	14.63	14.63	14.63	14.63	14.63
	Tiempo de retraso	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
	Z	48.16	48.16	48.16	48.16	48.16	48.16
	Q <sub>máx</sub>	224.94	271.34	311.415	320.34	343.17	375.25

† Pe = Precipitación efectiva.

C = Coeficiente que depende de la cuenca y la tormenta.

Q= Gasto máximo cuencas planas.

C = Coeficiente de escurrimiento.

S = Almacenamiento instantáneo de humedad.

- *Cuenca 2. Datos generales.*

Área (ha): 2618.29. Valor de CN Ponderado: 63.75. Precipitación Media Anual (mm): 1,586.56. Tiempo de concentración Kirpich (h): 2.84. El Cuadro 66 resume los volúmenes de escurrimiento para duraciones de lluvia en diferentes periodos de retorno.

**Cuadro 65.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 2.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	160.36
10	186.48
20	203.79
30	213.64
50	226.18
100	243.71

**Cuadro 66.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 2.

Método de estimación	Variables	Periodo Retorno (Años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo							
Cuencas Planas							
	Pe	62.64	82.22	99.735	103.68	113.89	128.45
	C	106.07	137.79	166.155	172.55	189.1	212.67
	Q	748.05	971.76	1171.84	1,216.94	1,333.64	1,499.88
Método de conservación de suelo							
C: 0.43	S	144.46	144.46	144.46	144.46	144.46	144.46
Volumen de escurrimiento (m <sup>3</sup> ): 1,613.17	Q (mm)	62.64	82.22	99.735	103.68	113.89	128.45
	Alfa	0.39	0.44	0.48	0.49	0.5	0.53
	Lamina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	31.32	41.11	49.865	51.84	56.95	64.22

Método de estimación	Variables	Periodo Retorno (Años)					
		88.98	131.83	173.35	182.98	208.56	246.18
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )						
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
	Tiempo de Pico	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	Tiempo de retraso	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	Tiempo de recesión	13.59	13.59	13.59	13.59	13.59	13.59
	Tiempo de base	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99
	Q <sub>máx</sub>	98.93	129.85	157.515	163.75	179.88	202.86
Ven Te Chow							
Longitud del cauce (m): 2,806.50	Duración efectiva (h)	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
Pendiente del cauce (%): 0.14	Tiempo de Pico	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81
	Tiempo de retraso	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	Z	28.19	28.2	28.19	28.19	28.19	28.19
	Q <sub>máx</sub>	379.29	497.91	603.89	627.79	689.64	777.75

- *Cuenca 3. Datos generales.*

Área (ha): 38,198.11. Valor de CN Ponderado: 79. Precipitación Media Anual (mm): 1,407.39. Tiempo de concentración Kirpich (h): 31.38. El Cuadro 68 se resume los volúmenes de escurrimiento para duraciones de lluvia en diferentes periodos de retorno.

**Cuadro 67.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 3.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	153.51
10	178.73
20	196.32
30	206.28
50	218.67
100	235.77

**Cuadro 68.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 3.

Método de estimación	Variables	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo Cuencas Planas							
	Pe	19.61	30.36	41.38	43.93	50.56	60.2
	C	36.36	53.78	71.62	75.75	86.5	102.11
	Q	239.32	354	471.41	498.6	569.38	672.12
Método de conservación de suelo							
C : 0.35	S	320.01	320.01	320.01	320.01	320.01	320.01
Volumen de escurrimiento (m <sup>3</sup> ) : 1,789.72	Q (mm)	19.61	30.36	41.38	43.93	50.56	60.2
	Alfa	0.13	0.17	0.205	0.21	0.23	0.25
	Lamina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	9.81	15.18	20.685	21.96	25.28	30.1
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	132.8	273.39	451.25	495.62	619.43	814.24
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43
	Tiempo de Pico	31.04	31.04	31.04	31.04	31.04	31.04
	Tiempo de retraso	18.83	18.83	18.83	18.83	18.83	18.83
	Tiempo de base	155.21	155.21	155.21	155.21	155.21	155.21
	Q <sub>máx</sub>	49.47	76.6	104.375	110.81	127.55	151.86
Ven Te Chow							
Longitud del cauce (m) : 38205.6	Duración efectiva (h)	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43
Pendiente del cauce (%) : 0.02	Tiempo de Pico	12.73	12.73	12.73	12.73	12.73	12.73
	Tiempo de retraso	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
	Z	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28
	Q <sub>máx</sub>	40.3	62.4	85.035	90.28	103.92	123.72

- *Cuenca 4. Datos generales.*

Área (ha): 2,811.05. Valor de CN Ponderado: 82.45. Precipitación Media Anual (mm): 1,482.46. Tiempo de concentración Kirpich (h): 2.84.

**Cuadro 69.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 4.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	149.99
10	173.79
20	190.77
30	200.35
50	212.16
100	228.37

El Cuadro 70, resume los volúmenes de escurrimiento para duraciones de lluvia en diferentes periodos de retorno.

**Cuadro 70.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 4.

Método de estimación	Variables	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo Cuencas Planas							
	Pe	100.46	122.49	142.81	147.31	158.48	173.91
	C	167.34	203.02	235.945	243.23	61.33	286.32
	Q	125.21	151.91	176.55	182	195.54	214.24
Método de conservación de suelo							
C : 0.42	S	54.07	54.07	54.07	54.07	54.07	54.07
Volumen de escurrimiento (m <sup>3</sup> ) : 1,510.49	Q (mm)	100.46	122.49	142.81	147.31	158.48	173.91
	Alfa	0.67	0.7	0.735	0.74	0.75	0.76
	Lamina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	50.23	61.24	71.405	73.65	79.24	86.95
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	262.28	336.82	407.445	423.22	462.75	517.86
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
	Tiempo de Pico	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	Tiempo de retraso	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	Tiempo de recesión	13.59	13.59	13.59	13.59	13.59	13.59
	Tiempo de base	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99
	Qmáx	170.34	207.69	242.15	249.77	68.72	294.88
Ven Te Chow							
Longitud del cauce (m) : 3733.6 Pendiente del cauce (%) : 0.08	Duración efectiva (h)	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
	Tiempo de Pico	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
	Tiempo de retraso	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
	Z	21.51	21.52	21.51	21.51	21.51	21.51
	Qmáx	498.34	607.66	708.42	730.72	786.15	862.68

- *Cuenca 5. Datos generales.*

Área (ha): 28,355.96. Valor de CN Ponderado: 84.11. Precipitación Media Anual (mm): 1,300.14. Tiempo de concentración Kirpich (h): 44.74 (véase Cuadro 72).

**Cuadro 71.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 5.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	135.48
10	155.59
20	171.45
30	180.30
50	190.78
100	204.78

**Cuadro 72.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 5.

Método de estimación	Variables	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo							
Cuencas Planas		5	10	25	30	50	100
	Pe	91.13	109.87	129.035	133.24	143.24	156.66
	C	152.22	182.58	213.625	220.43	236.63	258.38
	Q	781.63	937.54	1096.945	1,131.90	1,215.10	1,326.78
Método de conservación de suelo							
C : 0.39 Volumen de escurrimiento: 1,584.09 m <sup>3</sup> .	S	48	48	48	48	48	48
	Q (mm)	91.13	109.87	129.035	133.24	143.24	156.66
	Alfa	0.67	0.71	0.735	0.74	0.75	0.77
	Lámina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	45.56	54.94	64.52	66.62	71.62	78.33
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	2,414.08	3,055.54	3728.515	3,877.55	4,235.26	4,719.93
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	33.53	33.53	33.53	33.53	33.53	33.53
	Tiempo de Pico	43.61	43.61	43.61	43.61	43.61	43.61
	Tiempo de retraso	26.84	26.84	26.84	26.84	26.84	26.84
	Tiempo de recesión	174.44	174.44	174.44	174.44	174.44	174.44
	Tiempo de base	218.05	218.05	218.05	218.05	218.05	218.05
	Qmáx	121.47	146.45	171.995	177.6	190.93	208.82
Ven Te Chow							
Longitud del cauce 72429.1 m.  Pendiente del cauce 0.02%	Duración efectiva (h)	33.53	33.53	33.53	33.53	33.53	33.53
	Tiempo de Pico	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
	Tiempo de retraso	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
	Z	52.89	52.89	52.89	52.89	52.89	52.89
	Qmáx	113.29	136.6	160.42	165.64	178.08	194.77

- *Cuenca 6. Datos generales.*

Área (ha): 115,327.45. Valor de CN Ponderado: 76.08. Precipitación Media Anual (mm): 1,758.41. Tiempo de concentración Kirpich (h): 36.72 (véase Cuadro 74).

**Cuadro 73.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 6.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	164.32
10	195.88
20	219.31
30	232.70
50	249.33
100	272.21

**Cuadro 74.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 6.

Método de estimación	Variables	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo							
Cuencas Planas		5	10	25	30	50	100
	Pe	96.45	124.61	152.2	158.39	173.88	195.37
	C	160.84	206.47	251.155	261.18	286.28	321.09
	Q	2,658.65	3,412.91	4,151.60	4,317.27	4,732.20	5,307.63
Método de conservación de suelo							
	S	79.84	79.84	79.84	79.84	79.84	79.84
	Q (mm)	96.45	124.61	152.2	158.39	173.88	195.37
	Alfa	0.59	0.64	0.675	0.68	0.7	0.72
C : 0.39 Volumen de escurrimiento: 2,912.10 m <sup>3</sup> .	Lámina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	48.22	62.31	76.1	79.19	86.94	97.68
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	9,067.72	12,698.35	16,419.62	17,267.93	19,423.16	22,460.01
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	28.09	28.09	28.09	28.09	28.09	28.09
	Tiempo de Pico	36.08	36.08	36.08	36.08	36.08	36.08
	Tiempo de retraso	22.03	22.03	22.03	22.03	22.03	22.03
	Tiempo de recesión	144.31	144.31	144.31	144.31	144.31	144.31
	Tiempo de base	180.39	180.39	180.39	180.39	180.39	180.39
	Q <sub>máx</sub>	632.04	816.62	997.39	1,037.93	1,139.47	1,280.28
Ven Te Chow							
	Duración efectiva (h)	28.09	28.09	28.09	28.09	28.09	28.09
	Tiempo de Pico	14.61	14.61	14.41	14.21	14.18	14.16
	Tiempo de retraso	0.56	0.56	0.36	0.16	0.13	0.12
	Z	50.07	50.07	110.545	171.02	212.75	241.94
	Q <sub>máx</sub>	551.17	712.14	1,962.92	3,091.41	4,221.97	5,394.62
Longitud del cauce 54351.3 m. Pendiente del cauce 0.02%							

- *Cuenca 7. Datos generales.*

Área (ha): 37,530.15. Valor de CN Ponderado: 77.55. Precipitación Media Anual (mm): 1,354.85. Tiempo de concentración Kirpich (h): 21.11 (Cuadro 76).

**Cuadro 75.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 7.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	172.97
10	210.89
20	236.29
30	250.76
50	269.10
100	294.67

**Cuadro 76.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 7.

Método de estimación	Variables	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo							
Cuencas Planas		5	10	25	30	50	100
	Pe	108.07	142.71	173.19	179.99	197.36	221.74
	C	179.66	235.78	285.16	296.18	324.31	363.81
	Q	1,165.30	1,529.29	1,849.57	1,921.05	2,103.50	2,359.69
Método de conservación de suelo							
	S	73.52	73.52	73.52	73.52	73.52	73.52
	Q (mm)	108.07	142.71	173.19	179.99	197.36	221.74
	Alfa	0.62	0.68	0.71	0.72	0.73	0.75
	Lámina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	54.03	71.35	86.595	90	98.68	110.87
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	3,519.45	5,033.81	6,420.86	6,734.61	7,544.81	8,697.57
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	17.26	17.26	17.26	17.26	17.26	17.26
	Tiempo de Pico	8.63	8.63	8.63	8.63	8.63	8.63
	Tiempo de retraso	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67
	Tiempo de recesión	34.52	34.52	34.52	34.52	34.52	34.52
	Tiempo de base	43.15	43.15	43.15	43.15	43.15	43.15
	Q <sub>máx</sub>	963.42	1,272.23	1,543.97	1,604.62	1,759.41	1,976.77
Ven Te Chow							
Longitud del cauce 54351.3 m.	Duración efectiva (h)	17.26	17.26	17.26	17.26	17.26	17.26
	Tiempo de Pico	9.05	9.05	9.05	9.05	9.05	9.05
	Tiempo de retraso	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Pendiente del cauce 0.02%	Z	41.22	41.22	41.22	41.22	41.22	41.22
	Q <sub>máx</sub>	269.24	355.55	431.49	448.44	491.7	552.44

- *Cuenca 8. Datos generales.*

Área (ha): 33,810.69; Valor de CN Ponderado: 70.56; Precipitación Media Anual (mm): 1,582.42; Tiempo de concentración Kirpich (h): 28.57 (véase Cuadro 78).

**Cuadro 77.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 8.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	175.41
10	208.80
20	231.05
30	243.70
50	259.77
100	282.20

**Cuadro 78.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 8.

Método de estimación	Variables	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo							
Cuencas Planas		5	10	25	30	50	100
	Pe	91.39	119.87	145.065	150.71	165.18	185.62
	C	152.64	198.79	239.6	248.74	272.19	305.3
	Q	907.58	1,181.95	1424.595	1,478.94	1,618.38	1,815.24
Método de conservación de suelo							
	S	106	106	106	106	106	106
	Q (mm)	91.39	119.87	145.065	150.71	165.18	185.62
	Alfa	0.52	0.57	0.61	0.62	0.64	0.66
	Lám. escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	45.69	59.94	72.53	75.35	82.59	92.81
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	2,235.97	3,231.75	4163.695	4,376.54	4,932.42	5,733.42
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49
	Tiempo de Pico	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39
	Tiempo de retraso	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14
	Tiempo de recesión	113.54	113.54	113.54	113.54	113.54	113.54
	Tiempo de base	141.93	141.93	141.93	141.93	141.93	141.93
	Qmáx	223.16	292.71	354.225	368	403.35	453.26
Ven Te Chow							
	Duración efectiva (h)	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49
	Tiempo de Pico	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76
	Tiempo de retraso	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
	Z	43.52	43.52	43.52	43.52	43.52	43.52
	Qmáx	166.25	218.07	263.885	274.15	300.49	337.66

- *Cuenca 9. Datos generales.*

Área (ha): 23,346.78; Valor de CN Ponderado: 81.57; Precipitación Media Anual (mm): 1,657.36; Tiempo de concentración Kirpich (h): 28.57 (véase Cuadro 80).

**Cuadro 79.** Precipitación por distribución Gumbel para la Cuenca 9.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
5	191.92
10	232.30
20	259.72
30	275.32
50	295.01
100	322.40

**Cuadro 80.** Volúmenes de escurrimiento para la Cuenca 9.

Método de estimación	Variables	Periodo de retorno (años)					
		5	10	25	30	50	100
Gasto Máximo Instantáneo							
Cuencas Planas		5	10	25	30	50	100
	Pe	136.89	175.27	209.16	216.7	235.79	262.47
	C	226.35	288.52	343.43	355.64	386.58	429.79
	Q	988.48	1,259.98	1499.775	1,553.10	1,688.20	1,876.90
Método de conservación de suelo							
C : 0.39 Volumen de escurrimiento: 2,912.10 m <sup>3</sup> .	S	57.4	57.4	57.4	57.4	57.4	57.4
	Q (mm)	136.89	175.27	209.16	216.7	235.79	262.47
	Alfa	0.71	0.75	0.785	0.79	0.8	0.81
	Lámina escurrida (mm h <sup>-1</sup> )	68.44	87.63	104.58	108.35	117.9	131.23
	qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	31.66	42.88	53.025	55.3	61.11	69.29
Hidrograma Unitario Adimensional							
	Duración efectiva	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49
	Tiempo de Pico	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39
	Tiempo de retraso	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14
	Tiempo de recesión	113.54	113.54	113.54	113.54	113.54	113.54
	Tiempo de base	141.93	141.93	141.93	141.93	141.93	141.93
	Q <sub>máx</sub>						
Ven Te Chow							
Longitud del cauce 54351.3 m. Pendiente del cauce 0.02%	Duración efectiva (h)	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49
	Tiempo de Pico	11.39	11.39	11.39	11.39	11.39	11.39
	Tiempo de retraso	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	Z	155.73	155.73	155.73	155.73	155.73	155.73
	Q <sub>máx</sub>	615.29	787.78	940.14	974.02	1,059.85	1,179.74

**Determinación de los balances hídricos de las estaciones con influencia en el área de estudio.**

- *Balance hídrico para la estación José Azueta.*

En el Cuadro 81 se muestran las variables del balance hídrico para la estación José Azueta.

**Cuadro 81.** Valores medios mensuales hidrológicos, estación José Azueta.

Variable	Meses del año												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P	33.5	29.1	24.4	24.4	66.3	261.6	323.8	308.0	268.6	168.6	76.1	49.8	1579.1
ETP	70.3	76.0	127.5	180.3	235.1	209.8	184.5	183.0	161.7	133.4	96.2	75.6	1733.5
P-ETP	-36.8	-46.9	-103.2	-155.9	-168.8	51.8	139.3	69.9	106.9	35.2	-20.1	-25.8	-154.3
R	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.8	64.8	64.8	64.8	64.8	44.7	18.9	402.6
AR	0.0	-28.0	0.0	0.0	0.0	51.8	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8
ETR	0.0	57.1	24.4	24.4	66.3	209.8	184.5	183.0	161.7	133.4	0.0	0.0	1044.5
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.3	117.0	106.9	35.2	0.0	0.0	338.3
D	0.0	-18.9	-103.2	-155.9	-168.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-446.8

**Im= 4.05**

† P = Precipitación (mm), ETP = Evapotranspiración, P-ETP = Pérdidas o adiciones potenciales de la humedad del suelo, R = Reserva, AR = Variación de la reserva, ETR = Evapotranspiración real, E = Excedente o escorrentía, D = Déficit hídrico anual y Im = índice hídrico.

- *Balance hídrico para la estación Paraíso Novillero.*

En el Cuadro 82 se muestran los datos de precipitación es en los meses de mayo a octubre cuando se representa la mayor precipitación, en el mes de junio a octubre se presentan los mayores escurrimiento, la evapotranspiración se incrementa a partir de enero, presentándose su máximo valor.

**Cuadro 82.** Valores medios mensuales hidrológicos, estación Paraíso Novillero.

Variables	Meses del año												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P	30.0	25.2	20.0	19.3	69.7	256.0	327.7	274.7	297.5	158.5	75.2	47.4	1601.1
ETP	71.4	72.9	112.7	156.7	196.0	179.9	160.1	158.5	143.8	122.0	92.4	75.9	1542.3
P-ETP	-41.4	-47.7	-92.7	-137.4	-126.3	76.1	167.6	116.2	153.7	36.5	-17.3	-28.5	58.8
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	47.5	19.0	390.6
AR	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.8
ETR	40.0	25.2	20.0	19.3	69.7	179.9	160.1	158.5	143.8	122.0	0.0	0.0	938.4
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	167.6	116.2	153.7	36.5	0.0	0.0	485.3
D	-31.4	-47.7	-92.7	-137.4	-126.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-435.5

**Im= 14.52**

El Cuadro 82 resume estas variables, así como el resto de las obtenidas para el balance hídrico de la estación Paraíso Novillero.

- *Balance hídrico para la estación Tlacotalpan.*

En la estación Tlacotalpan en los meses de julio a octubre se presenta el periodo de máxima precipitación. De julio a octubre se presentan los mayores escurrimientos. La evapotranspiración presenta su máximo valor en mayo. El Cuadro 83 resume estas variables, así como el resto de las obtenidas para el balance hídrico de la estación Tlacotalpan.

**Cuadro 83.** Valores medios mensuales hidrológicos de la estación Tlacotalpan.

Variables	Meses del año												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P	41.6	38.5	23.4	22.9	50.3	184.1	313.0	245.8	386.0	287.4	133.5	91.2	1817.7
ETP	63.9	67.5	107.5	149.3	189.1	182.0	174.9	168.4	145.5	125.4	91.4	73.0	1537.8
P-ETP	-22.3	-29.0	-84.1	-126.4	-138.8	2.1	138.1	77.4	240.5	162.0	42.1	18.2	279.9
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	10.0	62.1
AR	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	51.6	38.5	23.4	22.9	50.3	182.0	174.9	168.4	145.5	125.4	91.4	73.0	1147.3
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.0	82.0	240.5	162.0	42.1	18.2	670.4
D	-12.3	-29.0	-84.1	-126.4	-138.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-390.6

**Im= 28.36**

- *Balance hídrico para la estación Playa Vicente.*

En la estación Playa Vicente la máxima precipitación se presenta de mayo a septiembre, los mayores escurrimiento son de julio a septiembre, la evapotranspiración presenta su máximo valor en el mes de mayo. El Cuadro 84, resume estas variables, así como el resto de las obtenidas para el balance hídrico de la estación Playa Vicente.

**Cuadro 84.** Valores medios mensuales hidrológicos, estación Playa Vicente.

Variable	Meses del año												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P	34.5	36.6	25.2	41.0	85.6	370.3	415.7	364.1	346.3	169.5	85.6	60.7	2035.0
ETP	73.8	82.1	135.4	191.9	236.5	203.0	185.0	182.2	162.9	137.0	101.6	83.4	1774.8
P-ETP	-39.3	-45.5	-110.2	-150.9	-150.9	167.3	230.7	181.9	183.4	32.5	-16.1	-22.7	260.2
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0	0.0	50.0
AR	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.0	0.0	-10.0
ETR	44.5	36.6	25.2	41.0	85.6	203.0	185.0	182.2	162.9	137.0	95.6	60.7	1259.2
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.3	230.7	181.9	183.4	32.5	0.0	0.0	785.8
D	-29.3	-45.5	-110.2	-150.9	-150.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.1	-22.7	-515.6

**Im= 26.85**

- *Balance hídrico para la estación Cosamaloapan.*

En el Cuadro 85 se observa que los meses de junio a septiembre son los de mayor precipitación. Los máximos escurrimientos se presentan en el mes de septiembre. El valor máximo de evapotranspiración se observa en mayo.

**Cuadro 85.** Valores medios mensuales hidrológicos, estación Cosamaloapan.

Variable	Meses del año												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P	34.3	27.2	25.9	20.4	63.9	176.0	294.4	202.4	290.9	202.6	84.2	38.9	1461.2
ETP	68.2	74.8	118.5	167.1	210.2	196.7	170.5	177.5	154.0	126.3	89.4	74.8	1628.0
P-ETP	-33.9	-47.6	-92.6	-146.7	-146.3	-20.7	123.9	24.9	136.9	76.3	-5.2	-35.9	-166.9
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	4.8	0.0	44.8
AR	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.8	-4.8
ETR	44.3	27.2	25.9	20.4	63.9	176.0	170.5	177.5	154.0	126.3	0.0	43.7	1029.7
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.9	24.9	136.9	76.3	0.0	0.0	352.0
D	-23.9	-47.6	-92.6	-146.7	-146.3	-20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-31.1	-508.9

**Im= 2.87**

- *Balance hídrico para la estación Cd. Alemán.*

En la estación Cd. Alemán los meses de junio a septiembre son los de mayor precipitación, y los escurrimientos superficiales se presentan en los meses de junio a septiembre. La evapotranspiración presenta su máximo valor en el mes de mayo. El Cuadro 86, resume estas variables, así como el resto de las obtenidas para el balance hídrico de la estación Cd. Alemán.

**Cuadro 86.** Valores medios mensuales hidrológicos de la estación Cd. Alemán.

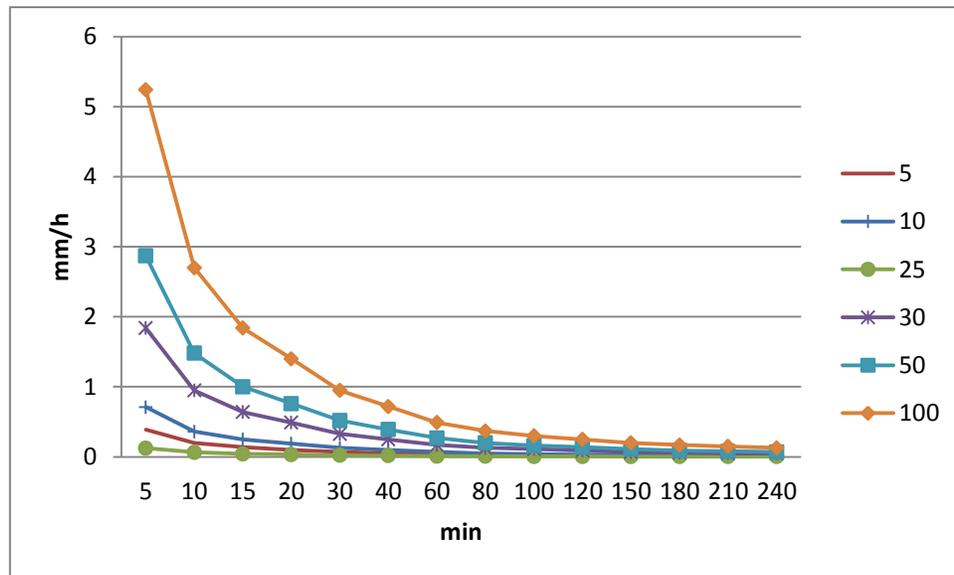
Variables	Meses del año												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P	33.4	29.2	25.4	29.3	91.7	356.8	450.5	419.0	370.2	172.6	70.5	50.4	2038.5
ETP	67.1	72.3	119.3	171.6	218.5	197.5	174.8	173.4	153.9	127.4	94.1	73.7	1643.6
P-ETP	-33.7	-43.1	-93.9	-142.3	-126.8	159.3	275.7	185.1	216.3	45.2	-23.6	-23.3	394.9
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	41.2	17.9	383.1
AR	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.8
ETR	43.4	29.2	25.4	29.3	91.7	197.5	174.8	173.4	153.9	127.4	0.0	0.0	1046.0
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	275.7	237.0	216.3	45.2	0.0	0.0	816.8
D	-23.7	-43.1	-93.9	-142.3	-126.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-429.8

**Im= 34.00**

*Generación de las curvas I-D-Tr para las dos estaciones y para diferentes periodos de retorno.*

**Cuadro 87.** Intensidades máximas de lluvia ( $\text{mm h}^{-1}$ ), estación Ciudad Alemán.

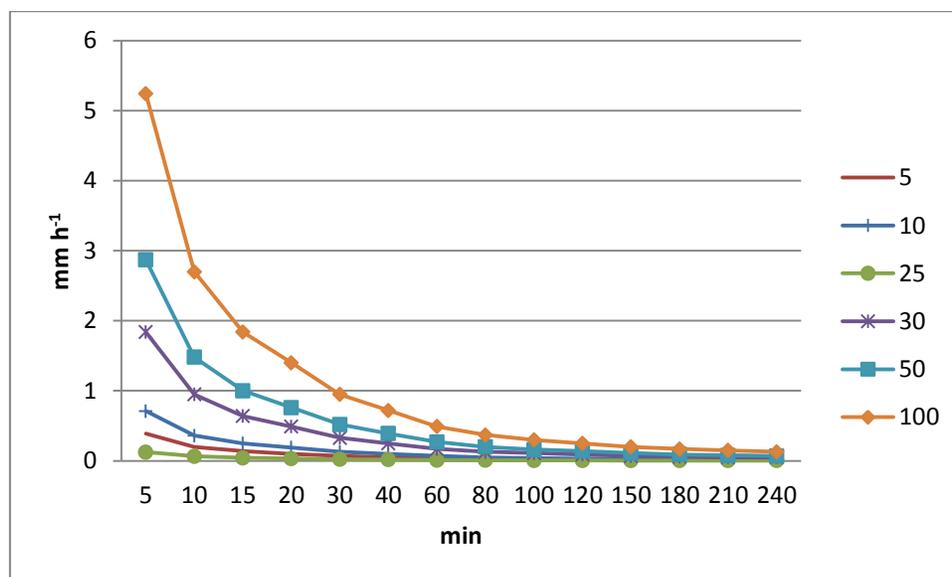
Duración	Periodo de retorno (años)					
	5	10	25	30	50	100
5	0.36	0.66	1.475	1.73	2.71	4.96
10	0.18	0.33	0.73	0.86	1.34	2.45
15	0.12	0.22	0.485	0.57	0.88	1.62
20	0.09	0.16	0.36	0.42	0.66	1.21
30	0.06	0.11	0.24	0.28	0.44	0.8
40	0.04	0.08	0.18	0.21	0.33	0.6
60	0.03	0.05	0.12	0.14	0.22	0.39
80	0.02	0.04	0.085	0.1	0.16	0.29
100	0.02	0.03	0.07	0.08	0.13	0.23
120	0.01	0.03	0.06	0.07	0.11	0.19
150	0.01	0.02	0.045	0.05	0.08	0.16
180	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.13
210	0.01	0.01	0.035	0.04	0.06	0.11
240	0.01	0.01	0.025	0.03	0.05	0.1



**Figura 74.** Curvas intensidad-duración-periodo de retorno, estación Cd. Alemán.

**Cuadro 88.** Intensidades máximas de lluvia ( $\text{mm h}^{-1}$ ), estación Villa Azueta.

Duración	Periodo de retorno (años)					
	5	10	25	30	50	100
5	0.39	0.71	0.1252	1.84	2.87	5.24
10	0.2	0.36	0.0648	0.95	1.48	2.7
15	0.14	0.25	0.0436	0.64	1	1.84
20	0.1	0.19	0.0332	0.49	0.76	1.4
30	0.07	0.13	0.0224	0.33	0.52	0.95
40	0.05	0.1	0.0172	0.25	0.39	0.72
60	0.04	0.07	0.0116	0.17	0.27	0.49
80	0.03	0.05	0.0088	0.13	0.2	0.37
100	0.02	0.04	0.0072	0.11	0.16	0.3
120	0.02	0.03	0.006	0.09	0.14	0.25
150	0.02	0.03	0.0048	0.07	0.11	0.2
180	0.01	0.02	0.004	0.06	0.09	0.17
210	0.01	0.02	0.0036	0.05	0.08	0.15
240	0.01	0.02	0.0032	0.05	0.07	0.13



**Figura 75.** Curvas intensidad-duración-periodo de retorno, estación Villa Azueta.

#### 6.2.4.7. Conclusiones.

Las estaciones hidrométricas que tienen influencia sobre las cuencas dentro del área de estudio son Obispo, Garro, Azueta, Chilapa, Cuatotolapan, La Ceibilla, Chacaltianguis y Papaloapan. Se analizó el coeficiente unitario de drenaje para cada cuenca por el método de

Curva Numérica del SCS, para un periodo de retorno de 10 años, los resultados se muestran en el Cuadro 89. El valor promedio de los gastos anteriores ( $9.61 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) se tomará en cuenta para el análisis de las obras de drenaje, a cada una de las cuales se le delimitó su área de influencia.

**Cuadro 89.** Análisis del Coeficiente Unitario de drenaje por Cuenca.

Cuenca	A (ha)	P (mm)	CN (adim.)	S	Ia	Pe	Q (mm)	td (h)	CUD ( $\text{l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ )
1	45274.54	183.5	80.45	61.72	12.34	171.16	125.79	36	9.71
2	2618.29	186.48	63.75	144.43	28.89	157.59	82.23	36	6.35
3	38198.11	178.73	79.00	67.52	13.50	165.23	117.29	36	9.06
4	2811.05	173.79	82.45	54.07	10.81	162.98	122.38	36	9.45
5	28355.96	155.59	84.11	47.99	9.60	145.99	109.88	36	8.49
6	115327.45	195.88	76.08	79.86	15.97	179.91	124.60	36	9.62
7	37530.15	210.89	77.55	73.53	14.71	196.18	142.70	36	11.02
8	33810.69	208.8	70.56	105.98	21.20	187.60	119.88	36	9.26
9	23346.78	232.3	81.57	57.39	11.48	220.82	175.27	36	13.53

† A es el área de la cuenca; P es la precipitación máxima; CN es el valor de la curva numérica; S es la retención máxima potencial; Ia son las abstracciones iniciales; Pe es la precipitación efectiva; Q es el escurrimiento; td es el tiempo de drenaje; y CUD es el coeficiente unitario de drenaje.

Relacionando la precipitación media anual y los balances hídricos con los requerimientos de los diferentes cultivos a lo largo del año agrícola, se concluye que tanto para los cultivos del ciclo otoño/invierno como para los de primavera/verano se cuenta con la humedad requerida por éstos (véase Cuadro 90).

Al considerar los balances hídricos se concluye que para las estaciones de Villa Azueta, Paraíso Novillero, Tlacotalpan y Cd. Alemán la reserva es en promedio de 50 mm de junio a octubre, mientras que para las estaciones Playa Vicente y Cosamaloapan estas se encuentran por los 10 mm, lo anterior influye al seleccionar el tipo de cultivo a establecer durante el ciclo agrícola.

**Cuadro 90.** Precipitación (mm) en las estaciones para cada ciclo de cultivo.

Estación		suma ciclo	suma anual	Pp media anual
Villa Azueta	O-I	186.15		
	P-V	861.27	1047.42	1579.11
Ciudad Alemán	O-I	184.61		
	P-V	964.23	1148.84	2038.46
Paraíso Novillero	O-I	183.46		
	P-V	774.54	958	1601.14
Otatitlan	O-I	184.2		
	P-V	782.58	966.78	2000.93
Playa Vicente	O-I	187.81		
	P-V	790.99	978.8	2034.94
Tlacotalpan	O-I	182.76		
	P-V	784.73	967.49	1817.73
Cosamaloapan	O-I	184.35		
	P-V	781.88	966.23	1461.14

**Cuadro 91.** Gastos máximos ( $m^3 s^{-1}$ ) para diferentes periodos de retorno.

Río	Estación Hidrométrica	PERIODO DE RETORNO					
		5	10	25	30	50	100
Obispo	Obispo	251.52	297.83	337.255	345.99	368.23	399.31
Papaloapan	Chacaltianguis	2925.46	3425.24	4045.93	4187.23	4525.17	4990.17
Tesechoacán	Garro	852.69	955.33	1023.34	1062.06	1111.35	1180.22

### 6.2.5. Simulación hidráulica del área de influencia de la zona de estudio.

#### 6.2.5.1. Desarrollo Metodológico.

Para realizar la simulación hidráulica, se requirió de la información básica de estudios hidrológicos previos, así como de la batimetría de los ríos Obispo, Papaloapan y Tesechoacán. Dicha información fue depurada y procesada para su integración al modelo de simulación. De los registros históricos de las estaciones hidrométricas disponibles en la zona de estudio, se extrajeron y analizaron probabilísticamente los valores de gasto, obteniéndose así aquellos correspondientes a los periodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años, utilizados en el tránsito de avenidas.

Cabe mencionar, que al no contar con información a detalle del comportamiento y niveles del agua subterránea, en el modelo de simulación se ha considerado únicamente la zona no saturada.

Así, para la definición del escenario en el proceso de simulación se generaron los siguientes parámetros:

- Definición del modelo y celdas de dominio.
- Definición de la topografía.
- Definición de ríos y drenes.
- Trazo en planta y secciones transversales de ríos y drenes.
- Hidrograma por periodo de retorno (5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años) para los ríos Papaloapan, Tesechoacán y Obispo.
- Precipitación máxima en 24 horas para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años, de las estaciones climatológicas consideradas como representativas de la zona de estudio.
- Evapotranspiración de referencia promedio.
- Distribución espacial y características de los tipos de vegetación existentes en la zona de estudio.
- Distribución espacial y características físicas de los tipos de suelo existentes en la zona de estudio.

A continuación se describe la metodología empleada en la obtención de cada uno de los parámetros enlistados.

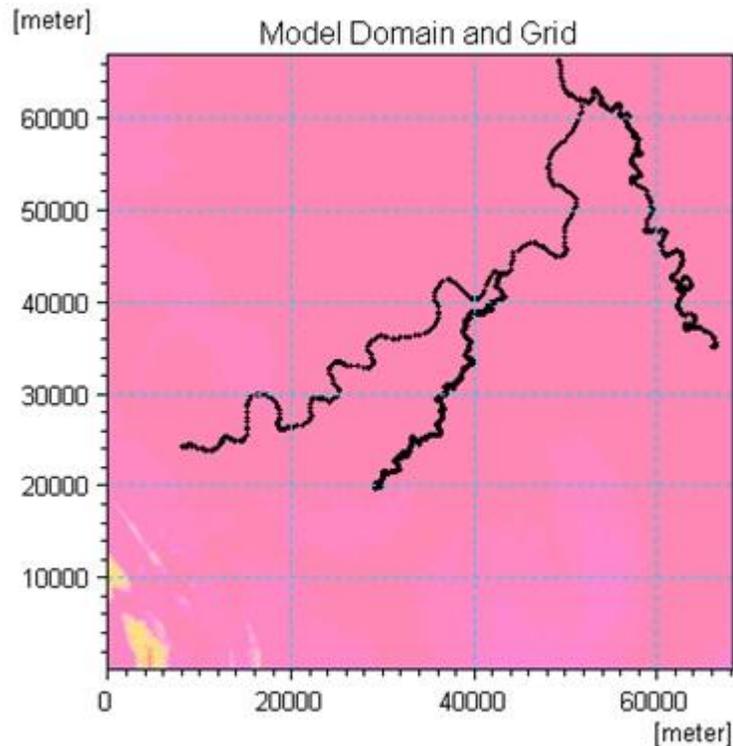
#### ***Definición del modelo y celdas de dominio.***

En la delimitación del modelo de simulación, se consideró el área de aporte o de escurrimiento a los cauces principales, la cual corresponde a 485,640 ha. La Figura 76 muestra las coordenadas del extremo inferior izquierdo en grados decimales, así como el número de celdas en “x” (342) y en “y” (335). El tamaño de celda es de 200 m.

#### ***Definición de la topografía***

El Modelo Digital del Terreno (MDT), se obtuvo a partir de la batimetría de los ríos Tesechoacán, Papaloapan y Obispo, dicha información sirvió como base para la corrección del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la Misión Topográfica de Radar v4 (SRTM). Este último fue interpolado en el software GRASS GIS mediante la rutina *r.surf.rst*., la cual emplea el método de “regularized spline with tension”, esto debido a la flexibilidad en cuanto al establecimiento de los parámetros de tensión y suavizado al realizar la

interpolación; el MDE SRTM, se encuentra disponible a nivel global, con una resolución de alrededor de 90 metros, mediante el GRASS GIS, se con ello se obtuvo un MDE de resolución de 40 m, para la interpolación se aumentó el valor de suavizado con el fin de reducir la influencia de la vegetación sobre la conformación del terreno (principalmente de zonas forestales). La Figura 77 muestra el sombreado del MDE original y el resultado del proceso de interpolación.

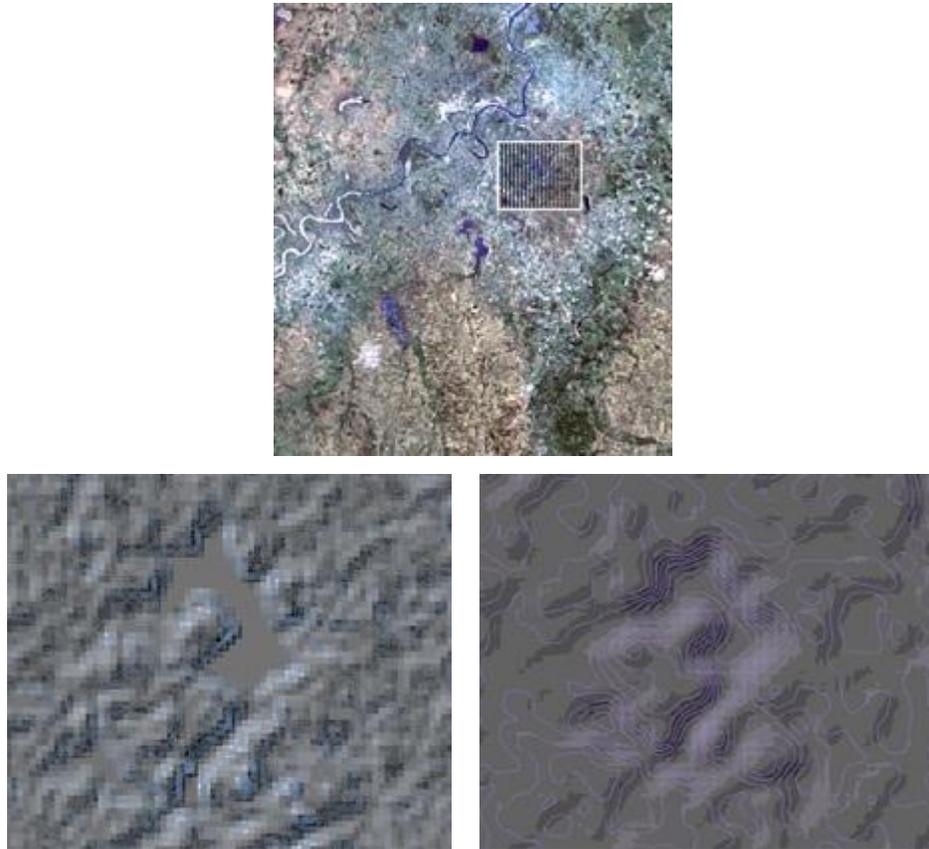


**Figura 76.** Delimitación del área de simulación.

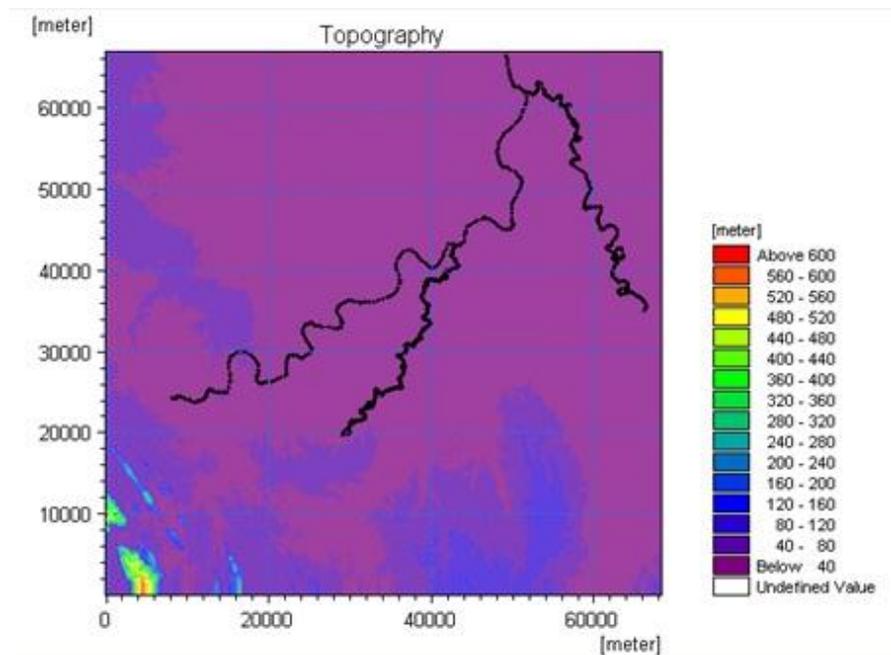
Una vez generado el MDE, y con ayuda del programa ArcView, se extrajeron los puntos XYZ que servirían de base para la generación de la malla topográfica cargada al modelo, a un tamaño de celda de 200 m, ver Figura 78.

#### ***Definición de ríos y drenes.***

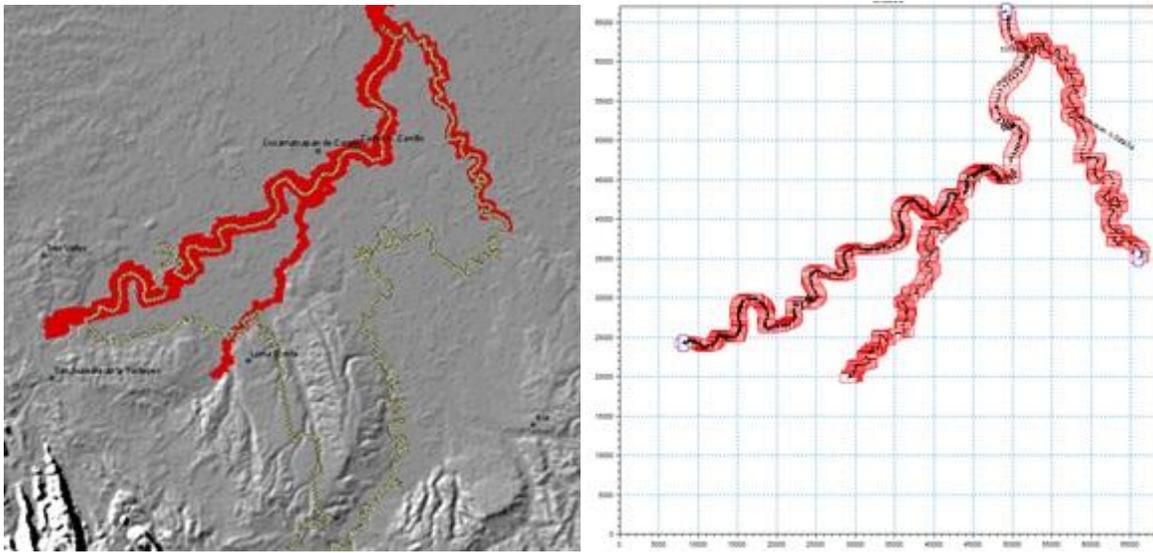
Con el fin de representar de manera adecuada en el modelo de simulación, el relieve y las características de los cauces principales de la zona, se contó con la información batimétrica de los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán, proporcionada por la Comisión Nacional del Agua al Colegio de Postgraduados. La Figura 79 resalta en color rojo la superficie ocupada por los estudios referidos.



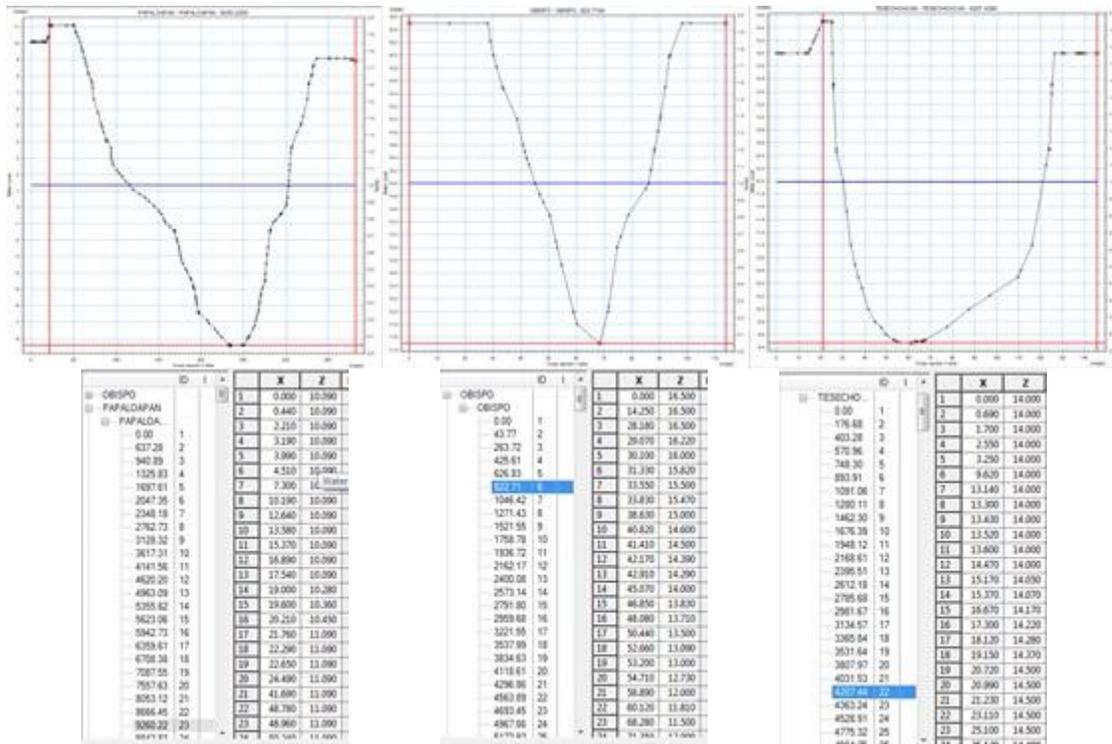
**Figura 77.** Comparación MDE SRTM original (der.) con reinterpolado GRASS GIS (izq.)



**Figura 78.** Malla Topográfica a 200 m, considerada en el proceso de simulación.



**Figura 79.** Áreas de batimetría disponible de los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán.



**Figura 80.** Secciones de los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán.

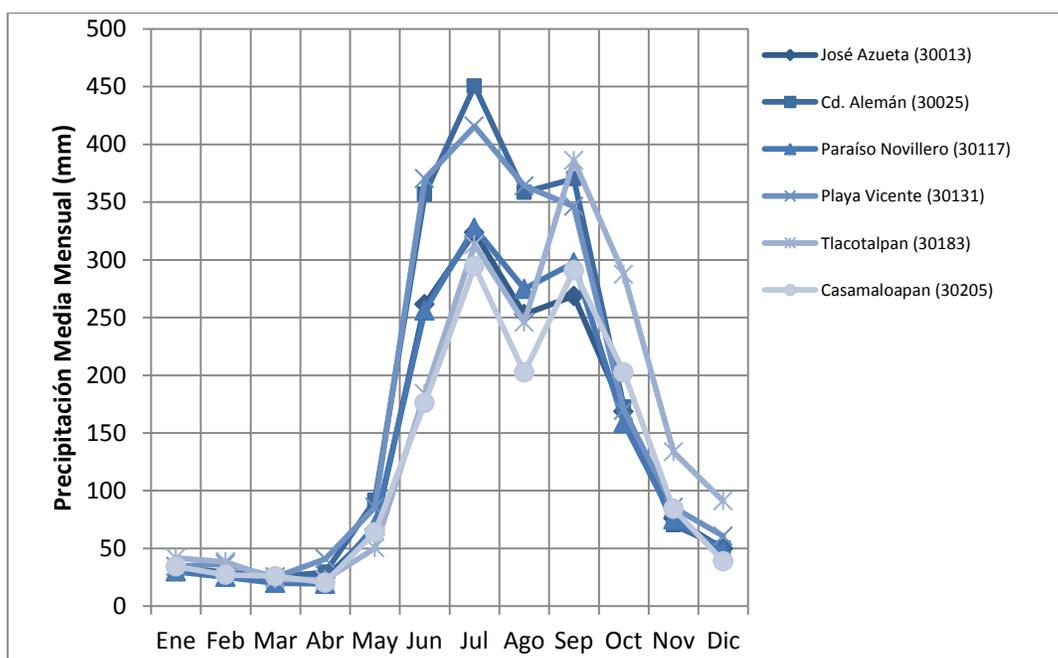
*Hidrograma por periodo de retorno (5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años), para los ríos Papaloapan, Tesechoacán y Obispo.*

Ver Cuadro 91 de valores de gastos máximos ( $m^3 s^{-1}$ ) por periodo de retorno para cada río.

### ***Precipitación máxima en 24 horas***

Para la consideración de la distribución espacial de la precipitación en la zona de estudio, mediante polígonos de Thiessen, se determinó el área de influencia de 3 estaciones consideradas como representativas, las cuales son: José Azueta (EST 30013), Paraíso Novillero (EST 30117) y Nicolás (EST 30152).

Posteriormente, del programa ERIC (Extractor Rápido de Información Climática) se extrajeron los valores promedio de precipitación máxima en 24 horas, por año por día, correspondientes al mes de julio (periodo en el que se presentan los valores más altos de precipitación media mensual en las diferentes estaciones de la región, ver Figura 81).



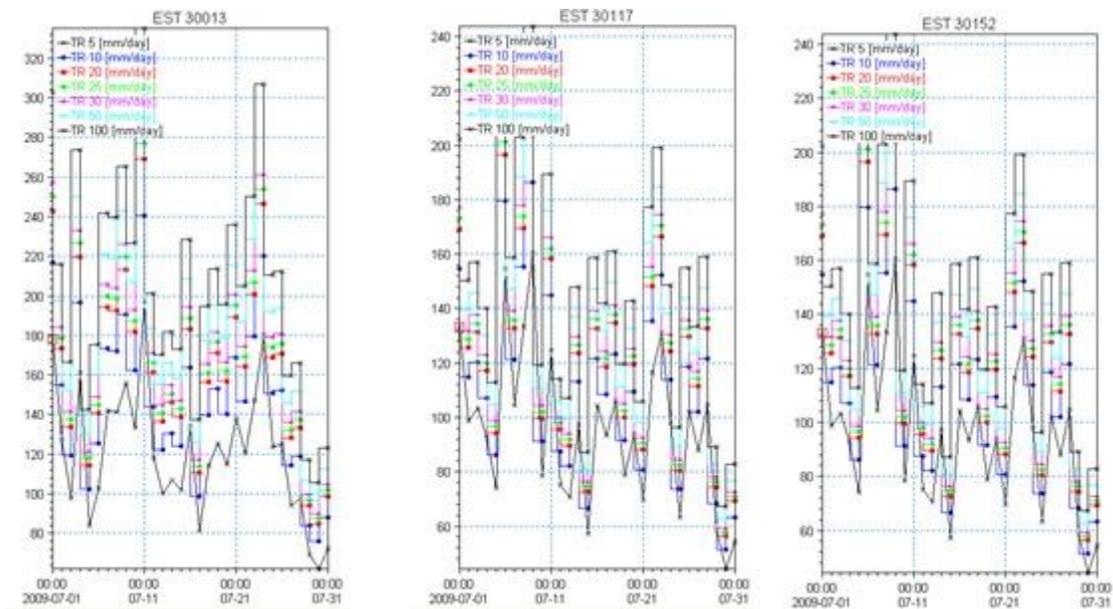
**Figura 81.** Valores de precipitación media mensual para diferentes estaciones.

Dichos valores, junto con los de precipitación máxima en 24 horas para los periodos de retorno de 5, 10, 20 25, 30, 50 y 100 años, determinados por CONAGUA-CP (2006), sirvieron de base en la generación de los hietogramas que por área de influencia fueron considerados en el proceso de simulación, tal y como se muestra en la Figura 82.

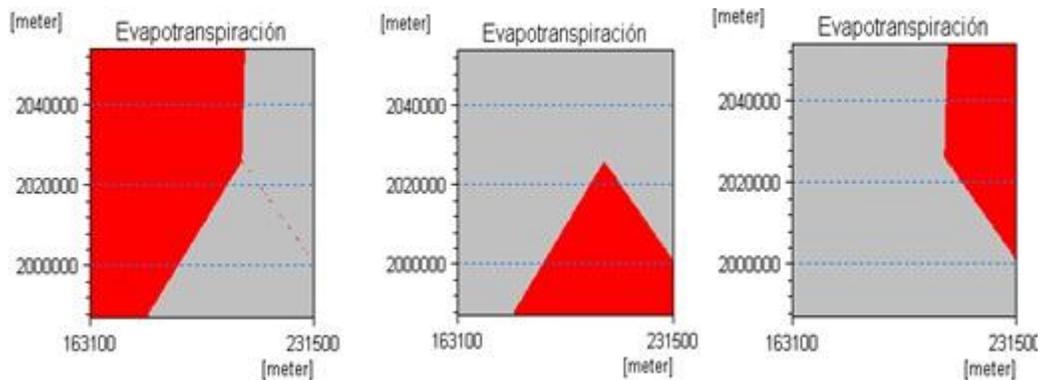
### ***Evapotranspiración de referencia promedio.***

La evapotranspiración de referencia se estimó usando el método del tanque evaporímetro tipo A, corrigiendo el valor de la evaporación del tanque por un coeficiente K. Dicho

coeficiente depende principalmente de las características del viento y humedad relativa de la zona, además de otra serie de factores como la ubicación del tanque respecto a zonas con vegetación o sectores en barbecho. Para condiciones de campo e invernadero puede considerarse valores de K entre 0.6 y 0.8. Con base en los valores de evaporación promedio, por año por día de registro del tanque tipo A, extraídos del programa ERIC para el mes de julio, de las estaciones José Azueta (EST 30013), Paraíso Novillero (EST 30117) y Nicolás (EST 30152), se estimó el valor de evapotranspiración, el cual fue asignado al área de influencia de cada estación, como se observa en la siguiente figura.



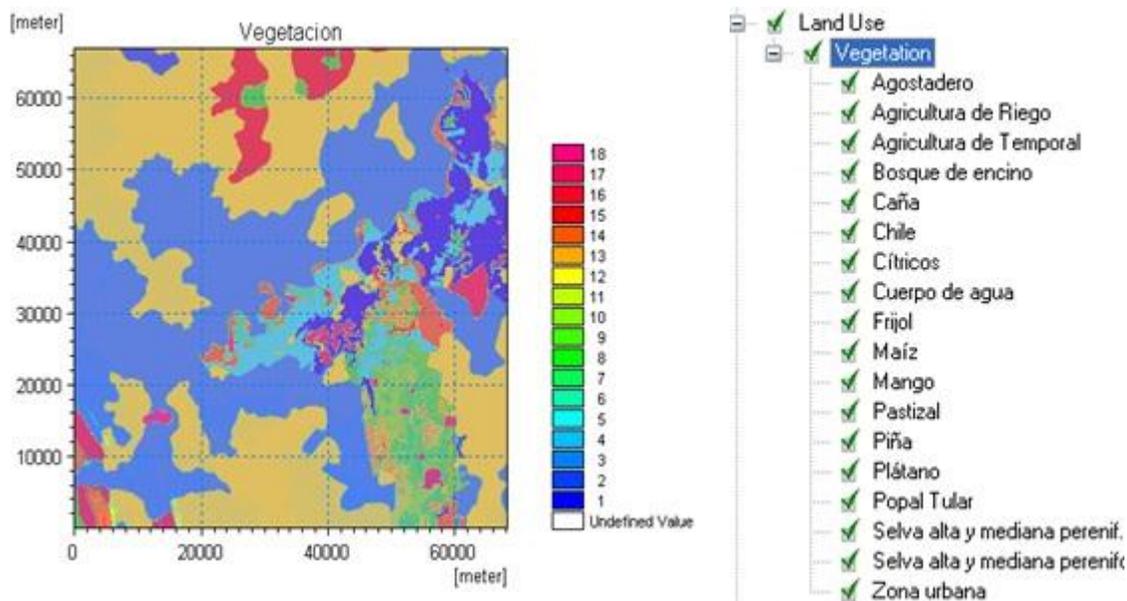
**Figura 82.** Hietogramas por periodo de retorno.



**Figura 83.** Área de influencia de la evapotranspiración de referencia por estación climatológica.

***Distribución espacial y características de los tipos de vegetación existentes en la zona de estudio.***

El tipo de cobertura vegetal se obtuvo en formato digital (tipo shape), de la página de CONABIO (2009), para posteriormente generar la malla que contendría las características de cada tipo de vegetación, asociada a una serie de tiempo, con información relativa a profundidad de raíces e índice de área foliar, entre otros.



**Figura 84.** Distribución espacial de los tipos de vegetación presentes.

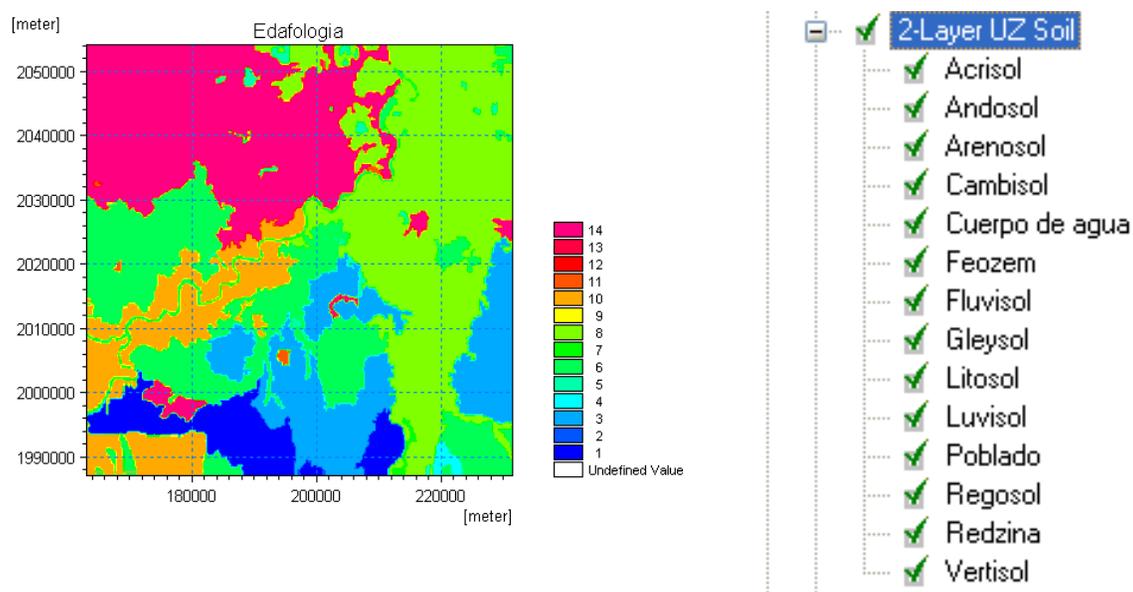
***Distribución espacial y características físicas de los tipos de suelo existentes en la zona de estudio.***

El tipo de suelo, al igual que la vegetación, se obtuvo en formato digital (\*.shp) de la página de CONABIO (2009), para posteriormente generar la malla que contendría las características de cada tipo de suelo, asociada a una serie de tiempo, con información relativa a contenido de humedad a saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y velocidad de infiltración.

**6.2.5.2. Resultados de la condición actual.**

En el Mapa 19 se presentan los resultados obtenidos del procesamiento de la información requerida por el modelo de simulación (señalada en el apartado anterior), considerando la presencia de un evento de lluvia para un periodo de retorno de 5 años, mientras transita la avenida máxima para un periodo de retorno de 100 años sobre los ríos Papaloapan,

Tesechoacán y Obispo. Como se aprecia, los desbordamientos se presentan principalmente en la zona comprendida entre los ríos Tesechoacán y Obispo, cubriendo una superficie aproximada de 94, 671.68 ha. Al igual que para el periodo de 100 años, se simuló el valor de gasto correspondiente a los periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, y un valor de precipitación para Tr de 5 años, generándose un mapa para cada periodo. En el Cuadro 92 se muestra la relación de superficie considerada como inundada (superior a 20 cm de lámina) por periodo de retorno.

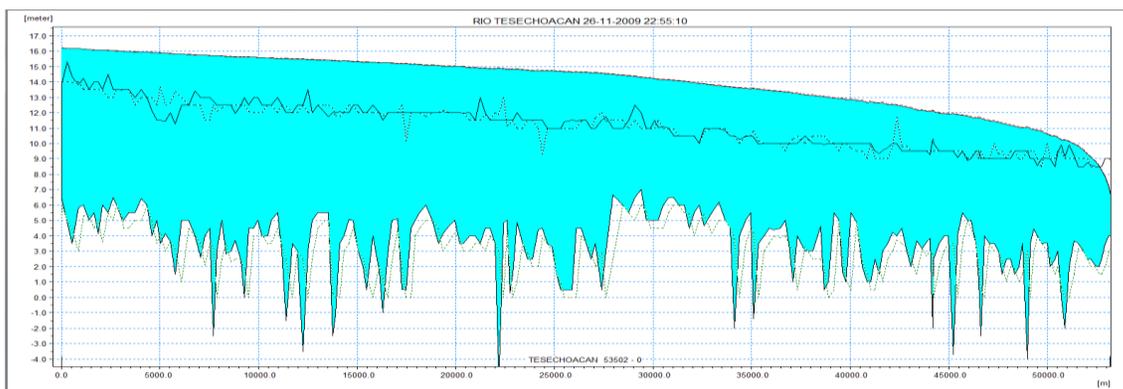
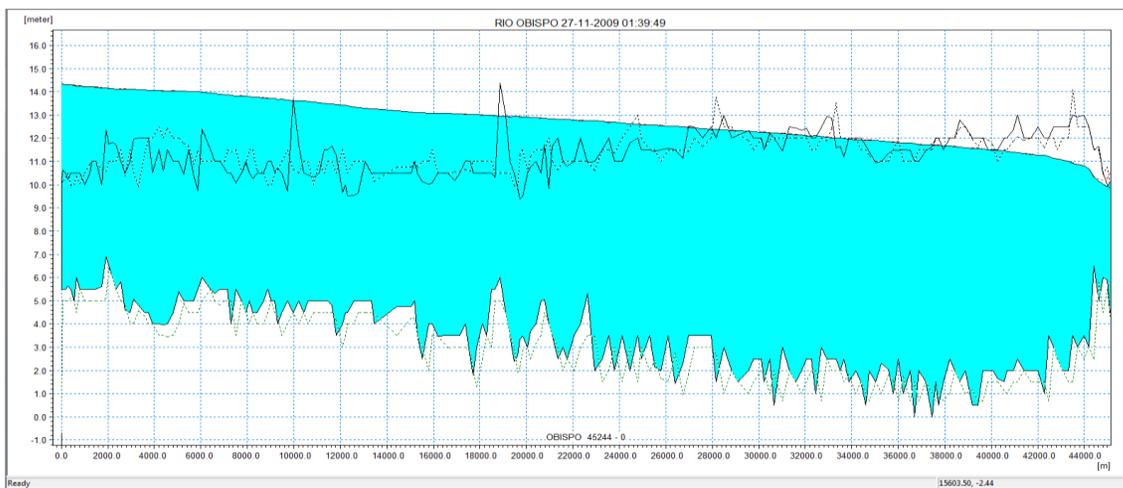
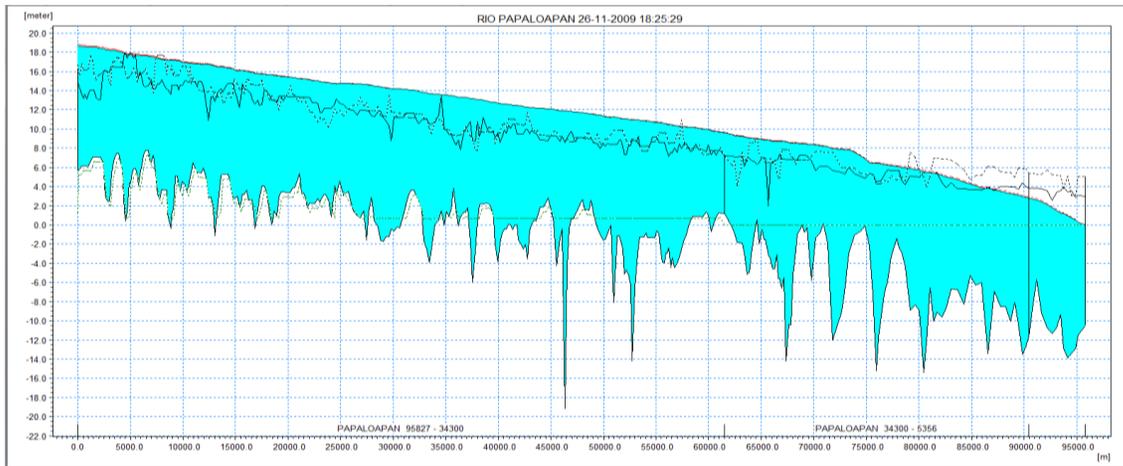


**Figura 85.** Distribución espacial de los tipos de suelo presentes.

En la Figura 86 se muestra el perfil de los ríos, y se observan los niveles del agua que sobrepasan sus bordos en diferentes tramos a lo largo de los ríos Papaloapan, Tesechoacán y Obispo, están en el orden de 1.00 y 4.00 m aproximadamente.

**Cuadro 92.** Superficie inundada para diferentes periodos de retorno.

Tr	Sup. Inundada (ha)
5	34,866.56
10	41,256.46
25	51,175.59
50	66,694.66
100	94,671.68

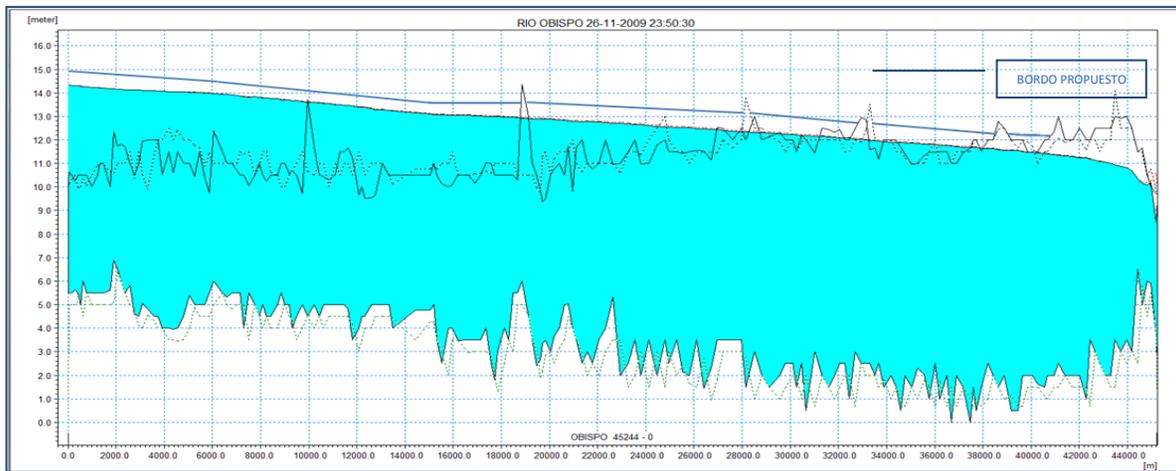
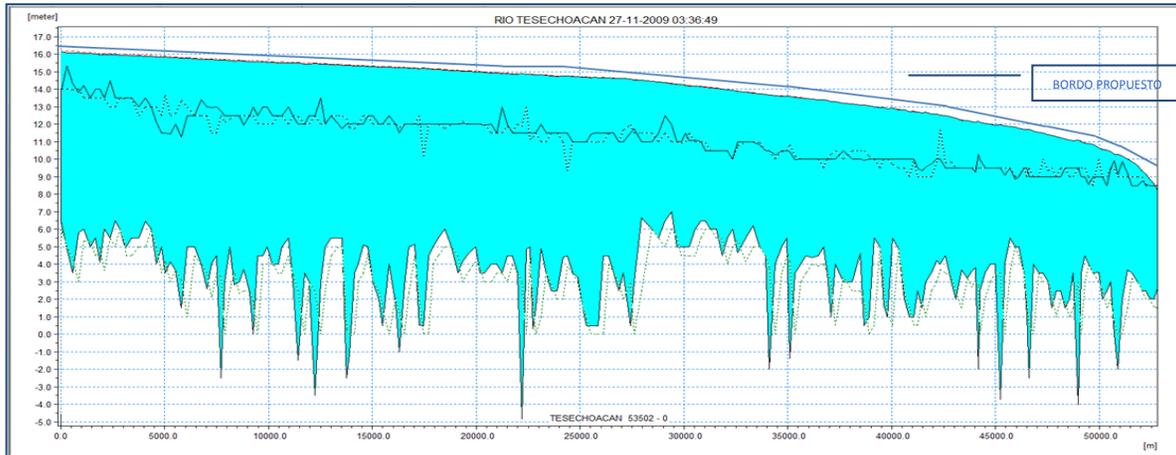


**Figura 86.** Perfil de los ríos Papaloapan, Obispo y Tesechoacán.

***Primer alternativa (construcción de bordos).***

Al contar con resultados obtenidos en el proceso de simulación de la condición actual, se desarrolló un escenario considerando bordos de alturas entre 1.5 m y 4.3 m en el río Obispo

y entre 1.5 m y 4.5 en el río Tesechoacán, para evaluar el efecto sobre el comportamiento de las áreas inundables, el resultado se presenta en el Mapa 24.



**Figura 87.** Perfil de ríos Tesechoacán y Obispo, con bordos propuestos.

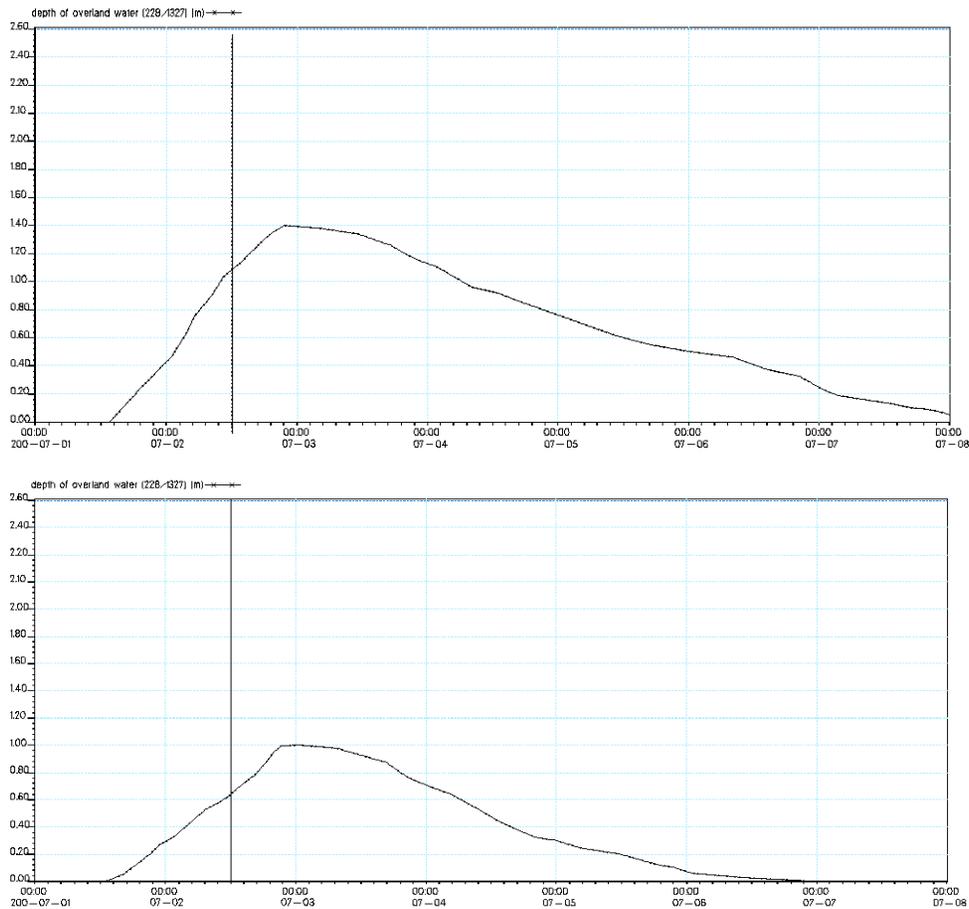
Como se observa en el Mapa 24, la construcción de bordos en los lugares indicados, resolvería en gran medida el problema de inundación presente en la zona, pudiéndose rescatar de esa manera 29, 471.95 ha de las 51,175.59 ha que se inundan en las condiciones actuales. La Figura 87 muestra una vista en perfil de los ríos, considerando los bordos propuestos.

***Segunda alternativa (rectificación de drenes).***

La segunda propuesta consistió en la rectificación de drenes específicos, que confluyen principalmente en los ríos Papaloapan, Tesechoacán y Obispo. En esta simulación se consideró el tránsito de la avenida correspondiente al gasto normal que circula por los ríos

referidos, la cual es de 2276.3, 678.28 y 172.82 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras se presenta el evento de precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 5 años, y un tiempo de simulación de 30 días durante el mes de julio. De dicha simulación se obtuvo que la superficie inundable se reduce en el orden de 12, 402.4 ha respecto a la situación con rectificación de drenes, como se puede observar en el Mapa 25.

Al simular la condición descrita en el párrafo anterior, se obtuvieron de manera puntual las series de tiempo, que describen la evolución de los niveles de inundación en el tiempo correspondientes a sitios de interés específicos, tales como aquellos que caen dentro de la zona considerada como rescatable, ver Figura 88.



**Figura 88.** Láminas de inundación para la situación actual y con rectificación de drenes.

De un total de 15 puntos tomados de referencia en diferentes ubicaciones, se obtuvo que en promedio, el efecto de los drenes en el tiempo de desalojo, a partir de que se alcanza el

nivel de inundación máximo es de 51 horas, a diferencia de las 88 que corresponden a la situación sin drenes. En la Figura 88 se muestran las láminas de inundación tanto para la situación actual (arriba) como con la rectificación de drenes (abajo).

#### **6.2.5.3. Conclusiones del proceso de simulación.**

- La superficie inundable en la zona de estudio, en la condición actual para un periodo de retorno de 25 años es de 51,175.59 ha.
- La alternativa 1 considera bordos de contención a las márgenes de los ríos que permiten rescatar 29,471.95 ha que actualmente se inundan.
- La alternativa que incluye la rectificación de drenes representa un rescate de la superficie inundable del orden de 12,402.4 ha.
- El tiempo de desalojo aproximado de los niveles de inundación para un periodo de retorno de 5 años, considerando la opción de rectificación de drenes dura en promedio 51 horas, en las zonas que se consideran rescatadas, mientras que en la situación actual para la misma zona, pero sin considerar la rehabilitación de drenes, se eleva hasta 88 horas (aproximadamente).

### **6.3. INGENIERÍA DEL PROYECTO.**

#### **6.3.1. Planteamiento de acciones.**

Las acciones planteadas a continuación han tomado en consideración las necesidades que los pobladores y productores de la región consideran prioritarias para continuar, y en la medida de lo posible incrementar, el desarrollo agropecuario de la región. Además de evaluar técnica y económicamente las alternativas, se consideraron los escenarios tanto naturales como sociales y económicos para generar una propuesta integral. En dicha propuesta, además de la infraestructura a construir se incorporan aspectos de organización, asistencia técnica, e incluso la supervisión y seguimiento del proyecto para estimar sus avances y evaluar el impacto que pudiese ocasionar en el área.

Una de las acciones que permite resolver la problemática de drenaje en la zona, radica en el control de los desbordamientos de los ríos Obispo y Tesechoacán, mediante la construcción de bordos en las márgenes de estas corrientes, ya que estas son obras que

permiten recuperar una cantidad considerable de hectáreas para el cultivo. Otra de las acciones consiste en incrementar la eficiencia de la red de drenaje de los terrenos agrícolas, con la finalidad de desalojar los excesos de agua que se presentan generalmente durante la época de lluvias; lo anterior por medio de la rectificación de drenes colectores así como el trazo adecuado de drenes parcelarios. Un aspecto indispensable para mejorar las condiciones de producción de la zona es optimizar el transporte y la comunicación entre las parcelas y los centros urbanos, haciendo más eficiente el transporte de insumos y productos agrícolas a través de rehabilitar y mejorar la red de caminos.

Para que la red de drenaje y la de caminos funcionen eficientemente se requiere establecer una serie de estructuras que permitan la conducción de los excedentes de agua y eviten dañar los caminos durante la época de lluvias. Se deberán colocar estructuras de cruces de caminos con descarga libre y, para el caso de bordos, se contemplan obras con descarga controlada con compuertas y cárcamos de bombeo, para continuar desalojando el agua mientras las compuertas estén cerradas.

### **6.3.2. Descripción de proyecto.**

#### **6.3.2.1. Datos del proyecto.**

Nombre: “Modelación hidrológica y análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto de temporal tecnificado de ampliación del Bajo Papaloapan-Tesechoacán, estado de Veracruz”.

Localización: Estado de Veracruz, Parte baja de la cuenca del Papaloapan entre los ríos Papaloapan y Tesechoacán, incluye los municipios de Tlacotalpan, Amatitlán, José Azueta, Chacaltianguis, Tuxtilla, Tlacojalpan, Otatitlán, Playa Vicente y Carlos A. Carrillo. Coordenadas geográficas extremas: 17° 50' 11" y 18° 31' 23" de latitud norte, y 95° 33' 25" y 96° 04' 22" de longitud oeste.

Región Hidrológica: RH-28 Río Papaloapan.

Datos del sector y tipo de proyecto: Proyecto de Inversión de Infraestructura Económica.

**Alternativa 1:** Se consideran bordos en las márgenes izquierda y derecha de los ríos Obispo y Tesechoacán, estructuras para descargas controladas y unión de drenes, estructuras para cruces de caminos, rectificación de drenes, caminos y construcción de drenes parcelarios, así como indemnizaciones, maquinaria y equipos.

**Alternativa 2:** Se consideran estructuras para unión de drenes, estructuras para cruce de caminos, la rectificación de drenes, construcción de caminos y drenes parcelarios, así como maquinaria y equipos.

Inversión Alternativa 1: 1, 364,921 miles de pesos

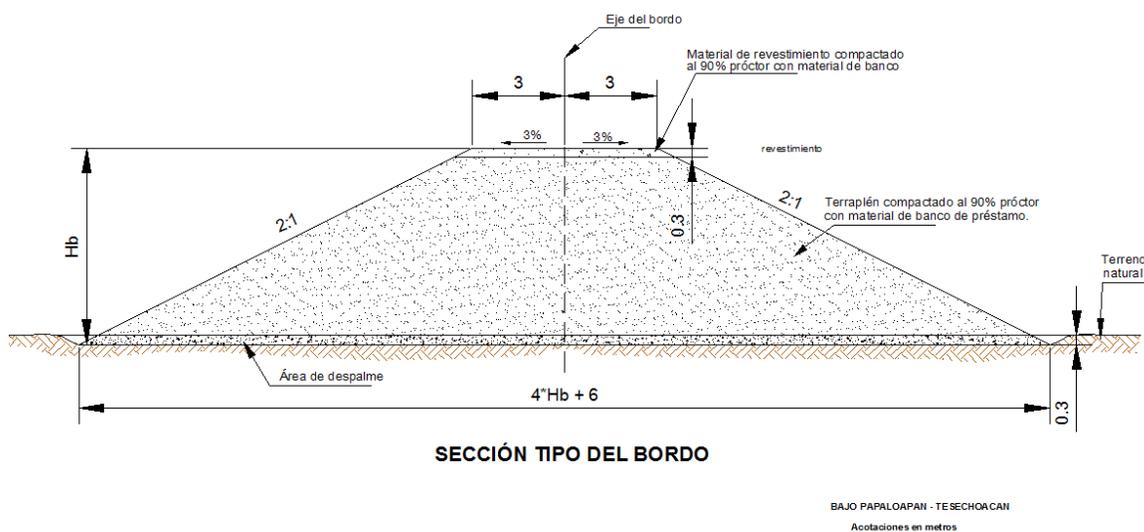
Inversión Alternativa 2: 586,852 miles de pesos

Población Beneficiada: 142,745 personas

### 6.3.2.2. Descripción de las obras.

La ejecución de la presente propuesta se ha organizado en tres actividades, la primera referida a la organización de los productores y beneficiarios potenciales de las obras hidroagrícolas por construir, quienes deberán de agruparse en Asociaciones Civiles para operar y dar mantenimiento y seguimiento a las actividades que establece un Distrito de Temporal Tecnificado. La segunda actividad se refiere básicamente a la construcción o en su caso rectificación de las obras, es decir, la construcción de la infraestructura propuesta. Y la tercera actividad se refiere a la asistencia técnica y seguimiento de la marcha del proyecto, con objeto de involucrar a los productores en un esquema de productividad sustentable y evaluar los logros de la incorporación del área al Distrito de Temporal Tecnificado. Las obras a realizar se ubicaron de acuerdo a la zonificación en las que se dividió el área de estudio (Mapas 27 y 28).

### *Bordos de protección.*



**Figura 89.** Sección tipo de los bordos propuestos.

Para evitar el desbordamiento de los ríos Obispo y Tesechoacán es necesaria la construcción de bordos en las márgenes de éstos, para la cual se propone una sección tipo de bordos variando la altura y, por lo tanto, la longitud de la base de estos. Se consideró una sección trapecial cuya base menor será de 6 metros y servirá también como camino para la operación dentro de la zona, el talud propuesto es 2:1, esto con la intención de evitar deslaves en el talud y por la naturaleza del suelo de la zona; la altura del bordo depende de la altura o nivel al que desbordan los ríos, éstos ya fueron analizados y varía de 1.5 a 4.5 m en las márgenes del río Tesechoacán y de 1.5 a 4.35 m en el río Obispo. En el río Tesechoacán se consideraron bordos del cadenamamiento 0+000 al 95+827 y en el río Obispo se consideraron del cadenamamiento 0+000 al 53.501.

**Red de drenaje.**

Para desalojar los excedentes de las aguas pluviales es necesario habilitar un sistema de drenaje interno a cielo abierto, el cual consiste en habilitar aquellos drenes que existen de forma natural o construir los que se requieran. A partir de los mapas hidrológicos y de infraestructura se determinó que la longitud total de drenes por rehabilitar en el área de estudio es de 292.842 km. Los bordos laterales que servirán para la conservación de los drenes y sus estructuras se formarán con material producto de las excavaciones. En el Cuadro 93 se presenta la red drenaje a rehabilitar.

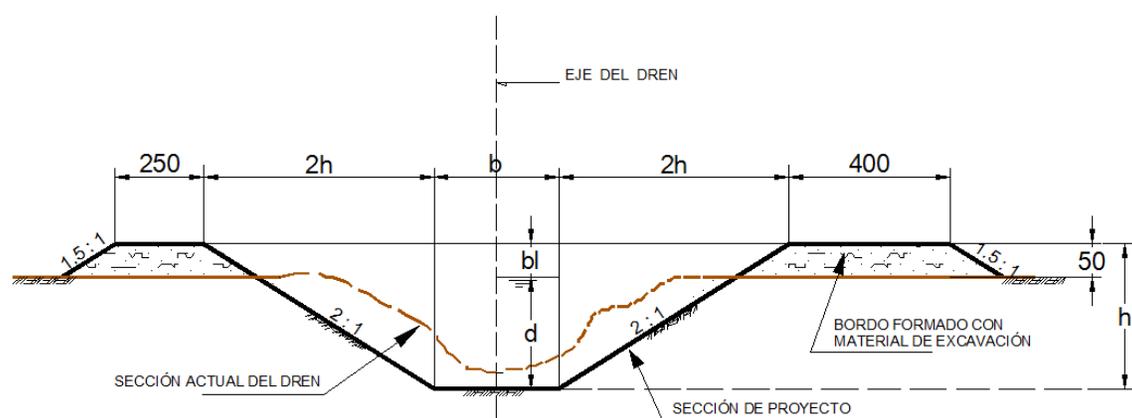
**Cuadro 93. Drenes a rehabilitar.**

<b>Dren</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Zona</b>	<b>Clave</b>
Dren Isleta	3420.900	Tuxtilla	Aa
Dren Pueblo Nuevo	2004.840	Tuxtilla	Ab
Dren San Joaquín	7897.680	Tuxtilla	Ae
Dren Ojichal	5394.565	Tuxtilla	Af
Dren Manatí	9687.597	Tuxtilla	Ak
Dren PEMEX	1784.874	Tuxtilla	Am
Dren Manatí II	8236.480	Tuxtilla	An
Dren Manatí III	1518.074	Tuxtilla	Ao
Dren Manatí V	1114.816	Tuxtilla	Ap
Dren Manatí I	5660.389	Tuxtilla	Aq
Dren Remolino	3663.771	Tuxtilla	Ar
Dren Manatí IV	3954.649	Tuxtilla	As
Dren Tuxtilla	4662.120	Chacaltianguis	Ba

<b>Dren</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Zona</b>	<b>Clave</b>
Dren San Pedro	8615.770	Chacaltianguis	Bb
Dren Taroga	4102.881	Chacaltianguis	Bc
Dren La Cerquilla	2593.096	Chacaltianguis	Bd
Dren Chacaltianguis	3253.210	Chacaltianguis	Be
Dren El Cedral	4420.760	Chacaltianguis	Bf
Dren El Cedral	1933.550	Chacaltianguis	Bg
Dren El Cedral II	484.578	Chacaltianguis	Bh
Dren El Cura	15645.759	Lagartera	Ca
Dren El Huarache	23496.844	Lagartera	Cb
Dren El Borrego	9868.548	Lagartera	Cc
Dren Lagartera	2215.311	Lagartera	Cd
Dren El Huracan	9037.094	Palmichal	Da
Dren Boquita de Susana	6187.890	Palmichal	Db
Dren La Perla	9866.154	Palmichal	Dc
Dren Susana	28535.804	Tenejapan	Ea
Dren Palmitas	2818.660	Tenejapan	Eb
Dren El Chile	4398.460	Tenejapan	Ec
Dren Tencualado	14883.205	Tenejapan	Ef
Dren Tencualado I	8751.957	Tenejapan	Eg
Dren Tencualado II	5107.670	Tenejapan	Eh
Dren Tencualado III	3788.087	Tenejapan	Ei
Dren Los Marines	17201.426	Tenejapan	Ek
Dren Arroyo Chiquito	3754.067	Tenejapan	Eo
Dren Tenates	11749.741	Zacapexco	Fa
Dren Tenates I	3935.892	Zacapexco	Fb
Dren Tanates II	1254.185	Zacapexco	Fc
Dren Zacapezco	13905.495	Zacapexco	Fd
Dren Zacapezco I	5134.496	Zacapexco	Fe
Dren Pavón	6900.764	Zacapexco	Ff
<b>Longitud total (m)</b>	<b>292,842.109</b>		

Esta rectificación tendrá el propósito de desalojar eficientemente y de manera apropiada los excedentes de agua ocasionados por los escurrimientos naturales, ampliando ligeramente la sección actual del cauce, con la eliminación del azolve acumulado en los mismos. Esta ampliación se ha estimado en 30% del área hidráulica del dren, de acuerdo a la experiencia en las obras realizadas de la zona piloto.

El sistema de drenaje se calculó para un periodo de retorno de 10 años, ya que el coeficiente unitario para ese periodo de retorno es el que arroja un sección de dren tal que no sobredimensione los drenes actuales para que la ampliación sea mínima. Para su dimensionamiento, se tomaron los valores de los coeficientes unitarios de drenaje determinados por el método del Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. para cada uno de los drenes a rehabilitar. Se propusieron secciones tipo para los drenes, con taludes de excavación de 2:1, la pendiente considerada es la misma que tienen los drenes, teniendo en cuenta el tipo de terreno donde se alojarán; su ubicación estará de acuerdo al drenaje natural de la zona.



### SECCIÓN TIPO DE DRENES

BAJO PAPALOAPAN - TESECHOACAN  
Acotaciones en centímetros

Figura 90. Sección tipo de los drenes para la zona de estudio.

Cuadro 94. Coeficientes unitarios de drenaje a diferentes periodos de retorno.

Nombre del Dren	Coeficiente Unitario de Drenaje ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ )					
	TR= 5 Años (mm)	TR= 10 Años (mm)	TR= 20 Años (mm)	TR= 30 Años (mm)	TR= 50 Años (mm)	TR= 100 Años (mm)
Dren Isleta	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren Pueblo Nuevo	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren San Joaquín	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren Ojichal	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren Manatí	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren PEMEX	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren Manatí II	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren Manatí III	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43

Nombre del Dren	Coeficiente Unitario de Drenaje ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ )					
	TR= 5 Años (mm)	TR= 10 Años (mm)	TR= 20 Años (mm)	TR= 30 Años (mm)	TR= 50 Años (mm)	TR= 100 Años (mm)
Dren Manatí V	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren Manatí I	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren Remolino	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren Manatí IV	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren Tuxtilla	8.06	9.71	10.83	11.47	12.29	13.43
Dren San Pedro	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren Taroga	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren La Cerquilla	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren Chacaltianguis	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren El Cedral	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren El Cedral	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren El Cedral II	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren El Cura	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren El Huarache	7.06	9.26	10.77	11.64	12.76	14.33
Dren El Borrego	7.74	9.45	9.45	10.69	11.39	12.26
Dren Lagartera	7.74	9.45	9.45	10.69	11.39	12.26
Dren El Huracán	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Boquita de Susana	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren La Perla	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Susana	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Palmitas	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren El Chile	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Tencualado	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10
Dren Tencualado I	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10
Dren Tencualado II	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10
Dren Tencualado III	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10
Dren Los Marines	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10
Dren Arroyo Chiquito	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Tenates	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Tenates I	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Tanates II	7.29	9.06	10.31	11.03	11.92	13.16
Dren Zacapezco	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10
Dren Zacapezco I	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10
Dren Pavón	7.04	8.49	9.64	10.29	11.06	12.10

A continuación se presenta un cuadro con las características principales de la sección de los drenes a rehabilitar.

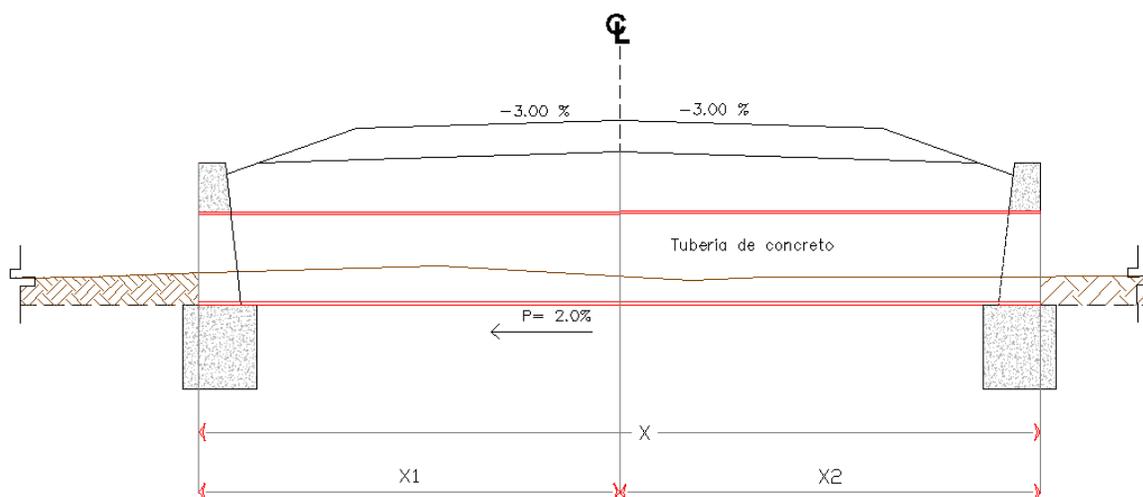
**Cuadro 95.** Características de la sección de drenes.

Nombre	Longitud (m)	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Plantilla (m)	Tirante (m)	Libre bordo (m)	Altura total (m)	Área sección (m <sup>2</sup> )
Dren Isleta	3420.9	7.87	1.20	1.45	0.29	1.74	8.14
Dren Pueblo Nuevo	2004.8	7.36	1.20	1.44	0.29	1.73	8.05
Dren San Joaquín	7897.7	19.91	5.00	2.54	0.51	3.05	33.82
Dren Ojichal	5394.6	14.42	5.00	2.83	0.57	3.40	40.05
Dren Manatí	9687.6	36.63	3.00	2.68	0.54	3.22	30.33
Dren PEMEX	1784.9	4.07	1.50	1.00	0.20	1.20	4.68
Dren Manatí II	8236.5	9.29	2.00	1.57	0.31	1.88	10.87
Dren Manatí III	1518.1	1.87	1.50	0.97	0.19	1.16	4.46
Dren Manatí V	1114.8	1.14	1.50	1.17	0.23	1.40	6.05
Dren Manatí I	5660.4	12.40	2.00	1.73	0.35	2.08	12.77
Dren Remolino	3663.8	8.47	2.00	1.53	0.31	1.84	10.41
Dren Manatí IV	3954.6	9.39	2.00	1.74	0.35	2.09	12.90
Dren Tuxtilla	4662.1	12.22	3.50	2.22	0.44	2.66	23.52
Dren San Pedro	8615.8	10.90	8.00	3.16	0.63	3.79	59.09
Dren Taroga	4102.9	9.82	3.00	2.69	0.54	3.23	30.52
Dren La Cerquilla	2593.1	5.10	2.60	2.05	0.41	2.46	18.50
Dren Chacaltianguis	3253.2	2.94	2.00	1.44	0.29	1.73	9.43
Dren El Cedral	4420.8	4.47	2.40	1.97	0.39	2.36	16.85
Dren El Cedral	1933.6	1.53	1.00	0.67	0.13	0.80	2.10
Dren El Cedral II	484.6	0.28	0.60	0.35	0.07	0.42	0.60
Dren El Cura	15645.8	23.50	4.00	2.48	0.50	2.98	29.62
Dren El Huarache	23496.8	42.27	8.00	3.51	0.70	4.21	69.18
Dren El Borrego	9868.5	24.08	6.00	3.45	0.69	4.14	59.12
Dren Lagartera	2215.3	4.70	1.40	1.26	0.25	1.51	6.69
Dren El Huracan	9037.1	19.71	8.00	2.84	0.57	3.41	50.49
Dren Boquita de Susana	6187.9	7.99	3.00	2.45	0.49	2.94	26.11
Dren La Perla	9866.2	28.32	4.00	2.46	0.49	2.95	29.24
Dren Susana	28535.8	43.56	10.00	5.84	1.17	7.01	168.30
Dren Palmitas	2818.7	6.33	8.00	2.36	0.47	2.83	38.70
Dren El Chile	4398.5	5.83	2.40	1.90	0.38	2.28	15.87
Dren Tencualado	14883.2	43.84	4.00	2.95	0.59	3.54	39.22
Dren Tencualado I	8752.0	18.84	3.00	2.13	0.43	2.56	20.73
Dren Tencualado II	5107.7	9.67	1.80	1.76	0.35	2.11	12.72
Dren Tencualado III	3788.1	5.39	1.80	1.35	0.27	1.62	8.16
Dren Los Marines	17201.4	31.57	3.50	2.62	0.52	3.14	30.77

Nombre	Longitud (m)	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Plantilla (m)	Tirante (m)	Libre bordo (m)	Altura total (m)	Área sección (m <sup>2</sup> )
Dren Arroyo Chiquito	3754.1	6.44	2.40	2.32	0.46	2.78	22.18
Dren Tenates	11749.7	33.63	4.00	2.61	0.52	3.13	32.15
Dren Tenates I	3935.9	9.84	2.00	1.74	0.35	2.09	12.90
Dren Tanates II	1254.2	2.78	1.50	1.75	0.35	2.10	11.97
Dren Zacapezco	13905.5	18.20	3.00	2.10	0.42	2.52	20.26
Dren Zacapezco I	5134.5	5.46	1.60	1.39	0.28	1.67	8.23
Dren Pavón	6900.8	7.28	2.00	1.51	0.30	1.81	10.19

Las estructuras que se han considerado para la red de drenaje, son estructuras con descarga libre en los cruces con caminos, estructuras con descarga controlada en los cruces con bordos de protección y unión de drenes.

Las estructuras para los cruces (Figura 91) con caminos presentan las siguientes características, cambiando las dimensiones dependiendo del dren a cruzar.



ESTRUCTURA DE CRUCES DE CAMINOS

**Figura 91.** Estructura tipo para cruce de camino.

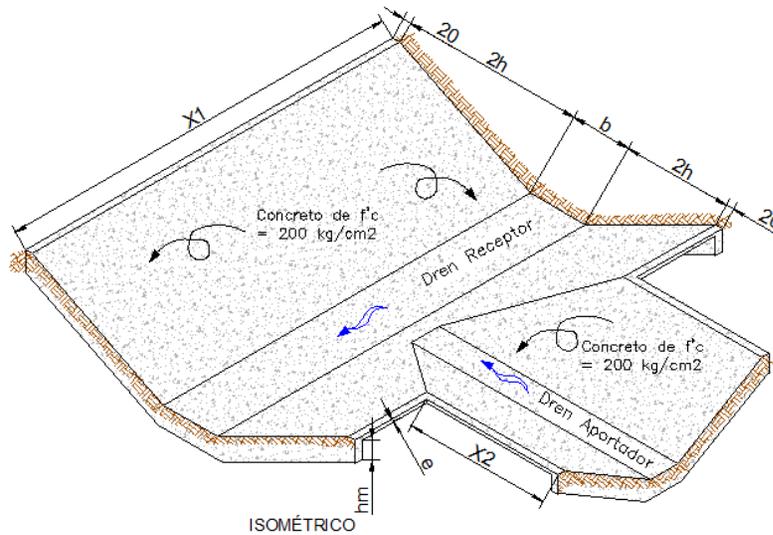
Las estructuras que se plantea construir sobre los drenes suman en total 54. A continuación se presentan las cantidades por dren y la zona en la que se encuentran.

**Cuadro 96.** Estructuras de cruce de drenes.

<b>DREN A CRUZAR</b>	<b>N° DE CRUCES</b>	<b>ZONA</b>
Dren San Joaquín	2	Tuxtilla
Dren Ojichal	1	Tuxtilla
Dren Manatí IV	2	Tuxtilla
Dren Manatí II	2	Tuxtilla
Dren Manatí	1	Tuxtilla
Dren Tuxtilla	1	Chacaltianguis
Dren Taroga	1	Chacaltianguis
Dren San Pedro	1	Chacaltianguis
Dren la Cerquilla	1	Chacaltianguis
Dren el Cedral	2	Chacaltianguis
Dren el huarache	1	Lagartera
Dren el Huracán	2	Palmichal
Dren Tencualado I	1	Tenejapan
Dren Tencualado III	1	Tenejapan
Dren Palmitas	1	Tenejapan
Dren el Chile	1	Tenejapan
Dren Tenates	2	Zacapexco
Dren Tenates II	1	Zacapexco
Dren Zacapezco	2	Zacapexco
Dren Zacapezco I	1	Zacapexco
Dren Mecaya	2	Necaste
Dren Santa Rita	1	Necaste
Dren Santa Rita I	1	Necaste
Dren Santa Rita II	1	Necaste
Dren loma Bonita	1	Lindavista
Dren Coapan II	1	Lindavista
Dren Sesecapa IV	1	Lindavista
Dren Coapan	1	Lindavista
Dren Coapan	1	Gallina
Dren las Varas	1	Gallina
Dren el Huasteco	1	Gallina
Dren Cimarrón	2	Gallina
Dren San Luis I	1	Gallina
Dren el tigre	1	Gallina
Dren el Cado	1	Gallina
Dren Santa Elena	1	Gallina
Dren San Felipe	1	Gallina
Dren la Victoria	1	El Mirador
Dren la Victoria I	1	El Mirador

DREN A CRUZAR	Nº DE CRUCES	ZONA
Dren la Panga	1	El Mirador
Dren los Robles	3	El Mirador
Dren tecomate	2	El Mirador

Las estructuras tipo para la unión de drenes permitirán el desalojo eficiente del agua evitando el derrumbe del suelo que se encuentre en las márgenes de estos drenes, ya que ahí es donde se presentan la mayor cantidad de azolves. La estructura tipo de unión de drenes es la que se presenta en la Figura 92.



### ESTRUCTURA TIPO DE UNIÓN DE DRENES

BAJO PAPALOAPAN - TESECHOACAN  
Acotaciones en centímetros

**Figura 92.** Estructura tipo para unión de drenes.

Se consideran estructuras en los drenes que se pretenden rehabilitar de acuerdo a la dimensión del dren que aporta y del dren que recibe, las características de cada una de ellas son las siguientes.

Para el caso de construir bordos en las márgenes de los ríos Obispo y Tesechoacán se contempla construir descargas controladas con compuertas deslizantes rectangulares y circulares tipo Miller con mecanismos manuales. Considerando que al colocar bordos los drenes no podrán descargar de forma natural, por el nivel del agua en los ríos mientras se presente el evento máximo, las compuertas estarán cerradas. Para ello se pretende desalojar

cierto caudal con cárcamos de bombeo, tomando en cuenta que el gasto en los drenes es mayor a  $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Las plantas de bombeo solo desalojarán una parte del gasto, logrando con ello una menor zona de inundación mientras bajen los niveles para abrir las compuertas y descarguen de forma natural.

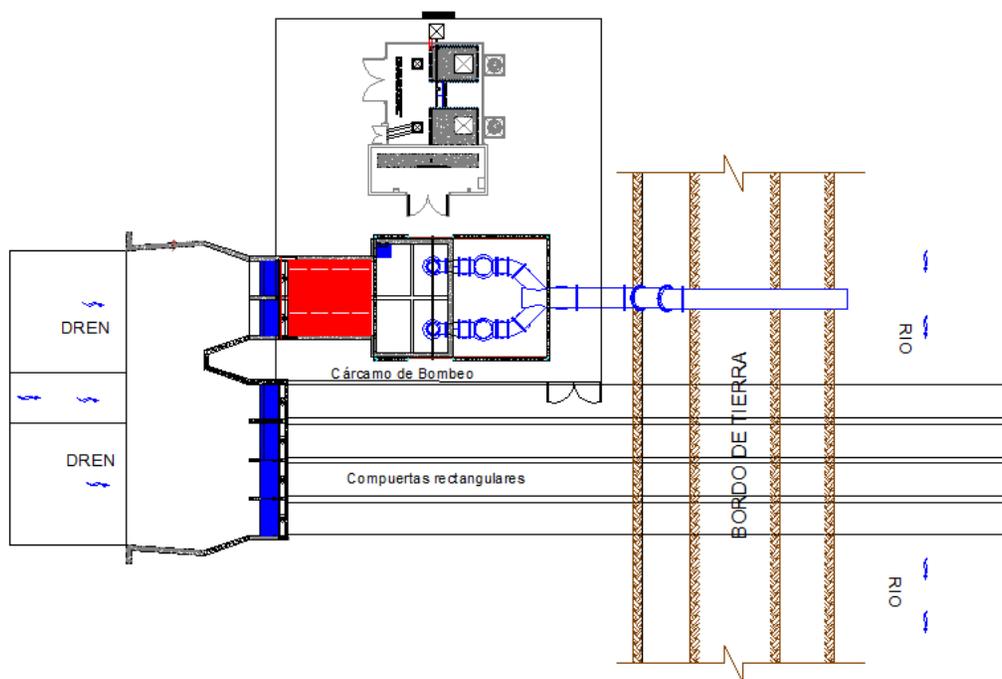
**Cuadro 97.** Características de las estructuras de unión de drenes.

Dren Aportador	b (m)	d (m)	lb (m)	h (m)	e (m)	hm (m)	X2 (m)	Dren Receptor	b (m)	d (m)	lb (m)	h (m)	e (m)	hm (m)	X1 (m)
Dren Manatí III	1.5	1.0	0.2	1.2	0.10	0.3	4.2	Dren Manatí II	2.0	1.6	0.3	1.9	0.1	0.57	9.4
Dren Manatí IV	2.0	1.7	0.3	2.1	0.12	0.6	6.6	Dren Manatí II	2.0	1.6	0.3	1.9	0.1	0.57	13.6
Dren Manatí II	2.0	1.6	0.3	1.9	0.10	0.6	6.2	Dren Manatí	3.0	2.7	0.5	3.2	0.12	0.96	14.8
Dren Manatí V	1.5	1.2	0.2	1.4	0.10	0.4	4.7	Dren Manatí	3.0	2.7	0.5	3.2	0.12	0.96	12.3
Dren PEMEX	1.5	1.0	0.2	1.2	0.10	0.4	4.3	Dren Manatí	3.0	2.7	0.5	3.2	0.12	0.96	11.5
Dren Manatí I	2.0	1.7	0.3	2.1	0.12	0.6	6.6	Dren Manatí	3.0	2.7	0.5	3.2	0.12	0.96	15.5
Dren Taroga	3.0	2.7	0.5	3.2	0.12	1.0	9.9	Dren San Pedro	8.0	3.2	0.6	3.8	0.12	1.14	22.0
Dren Lagartera	1.4	1.3	0.3	1.5	0.10	0.5	4.8	Dren Susana	10.0	5.8	1.2	7.0	0.12	2.10	18.4
Dren Boquita de Susana	3.0	2.5	0.5	2.9	0.12	0.9	9.3	Dren Susana	10.0	5.8	1.2	7.0	0.12	2.10	25.7
Dren Palmitas	8.0	2.4	0.5	2.8	0.12	0.8	14.1	Dren Susana	10.0	5.8	1.2	7.0	0.12	2.10	30.2
Dren El Chile	2.4	1.9	0.4	2.3	0.12	0.7	7.4	Dren Susana	10.0	5.8	1.2	7.0	0.12	2.10	22.4
Dren Tenates I	2.0	1.7	0.3	2.1	0.12	0.6	6.6	Dren Tenates	4.0	2.6	0.5	3.1	0.12	0.94	15.5
Dren Zacapezco	3.0	2.1	0.4	2.5	0.12	0.8	8.4	Dren Zacapezco	3.0	2.1	0.4	2.5	0.12	0.76	17.3
Dren Tencualado III	1.8	1.4	0.3	1.6	0.10	0.5	5.4	Dren Tencualado	4.0	3.0	0.6	3.5	0.12	1.06	14.0
Dren Tencualado II	1.8	1.8	0.4	2.1	0.12	0.6	6.4	Dren Tencualado I	3.0	2.1	0.4	2.6	0.12	0.77	14.5

En la Figura 93 se presenta un plano tipo de la obra en conjunto.

Las descargas controladas están consideradas en los drenes que descargan en los ríos Obispo y Tesechoacán, sus dimensiones, número de compuertas y tamaño del equipo de bombeo depende del caudal que desaloja cada dren.

El tiempo considerado para el desalojo de los volúmenes de agua dentro de la zona se estimó en 36 horas. Para lograr esto será necesario abrir las compuertas de las descargas de los drenes, una vez que hayan bajado los niveles en los ríos colectores.



ESTRUCTURA CON DESCARGA CONTROLADA

**Figura 93.** Estructura tipo para descarga controlada.

Para ubicar correctamente las estructuras es necesario tomar en cuenta las condiciones naturales del cruce. Se deberá tomar en cuenta que no en todos los escurrimientos se colocará una obra, sino que algunos de ellos (los de menor importancia), se canalizarán a los de caudal más grande.

**Cuadro 98.** Drenes con descarga controlada.

NOMBRE	ZONA	CLAVE
Dren El Cedral	Chacaltianguis	Bg
Dren El Cura	Lagartera	Ca
Dren Chacaltianguis	Chacaltianguis	Be
Dren La Cerquilla	Chacaltianguis	Bd
Dren San Pedro	Chacaltianguis	Bb
Dren Manatí	Tuxtilla	Ak
Dren Susana	Tenejapan	Ea
Dren El Cedral	Chacaltianguis	Bf
Dren Los Marines	Tenejapan	Ek

La primera consideración en el diseño de una estructura, y una de las más importantes, es la determinación de la capacidad requerida. En general, el volumen estimado de agua que se

llevará por estructura de descarga se basa en la salida máxima probable que se esperará en el sitio. Para un buen funcionamiento de los drenes es importante contar con un monitoreo de los niveles que presentan cada estructura, principalmente la de descarga controlada, para implementar un plan de manejo que permita controlar los niveles en cada una de las estructuras.

### ***Drenaje parcelario***

El propósito de la construcción de drenaje parcelario en el área de estudio se debe a la necesidad de desalojar lo más rápido posible los volúmenes de agua provenientes de las precipitaciones pluviales, que se acumulan dentro de las parcelas, para descargarlos al dren más próximo de la red de drenaje. Para desalojar de manera rápida y efectiva el agua de las parcelas, es necesario que la red de drenes colectores a la cual se pretende descargar los excedentes de los drenes parcelarios se encuentre en buenas condiciones; ya que si esto no sucede, el desalojo de los excedentes de agua se verá entorpecido por los azolves que se encuentren en estos, pudiéndose propiciar inundaciones en las áreas aledañas a éstos.

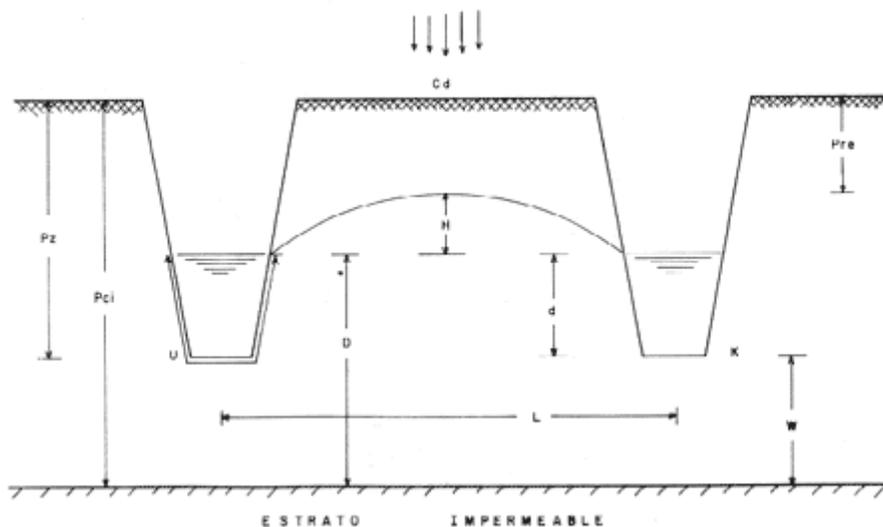
Se consideraron drenes a cielo abierto ya que presentan las ventajas de una mayor eficiencia de desalojo y bajo costo de implantación. Las desventajas son el alto costo de mantenimiento, que se pierde una cierta área útil para el cultivo y que pueden presentar desmoronamientos laterales.

El análisis se realizó para un periodo de retorno  $Tr = 5$  años. Se dimensionaron los drenes parcelarios de acuerdo a la profundidad radical efectiva de los cultivos del proyecto, es decir, de acuerdo a la profundidad que debe mantenerse el nivel freático para un buen desarrollo del cultivo. Los valores del Coeficiente Unitario de Drenaje (CUD) por cada cultivo se obtuvieron dependiendo de la cuenca en la que se desarrolla cada uno de ellos, considerando que los cultivos más resistentes a la inundación se encuentren en las zonas más inundables o que tardan más tiempo en drenar los excesos de agua. Estos valores se presentan en el Cuadro 99.

**Cuadro 99.** Coeficiente unitario de drenaje por cultivo.

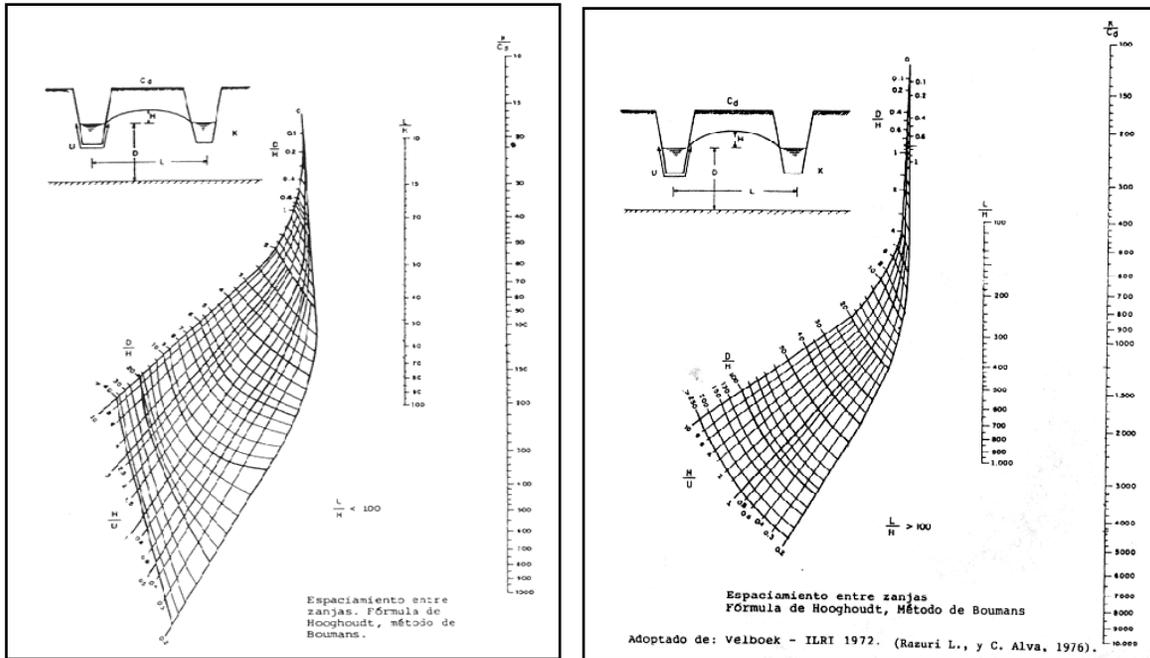
Cultivo	Superficie proyecto (ha)	Profundidad de raíces (cm)	Profundidad radical efectiva Pre (m)	Coefficiente de drenaje Cd ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ )
Chile verde	221	0.4	0.4	7.29
Frijol	1007	0.7	0.6	7.29
Maíz de grano	1921	0.7	0.6	8.06
Caña de azúcar	2455	0.7	0.6	7.04
Piña	928	0.6	0.5	7.04
Plátano	1279	0.75	0.65	8.06
Pastos	2669	0.7	0.6	7.06
Mango	489	2.5	0.8	8.06
Cítricos	1433	1.5	0.8	7.06

La metodología para diseñar los drenes parcelarios es la desarrollada por Hooghoudt, método de Boumans, el cual desarrolla un nomograma para determinar el espaciamiento entre drenes de acuerdo con ciertas características del suelo, del cultivo y de las dimensiones de la zanja propuesta. Los parámetros necesarios son los siguientes:



**Figura 94.** Partes que componen el espaciamiento entre drenes.

Para determinar el valor de espaciamiento entre drenes (L), se entra en los nomogramas de espaciamiento fórmula de Hooghoudt, Método de Boumans, con la relación  $k/Cd$ ,  $H/u$  y  $D/H$ .



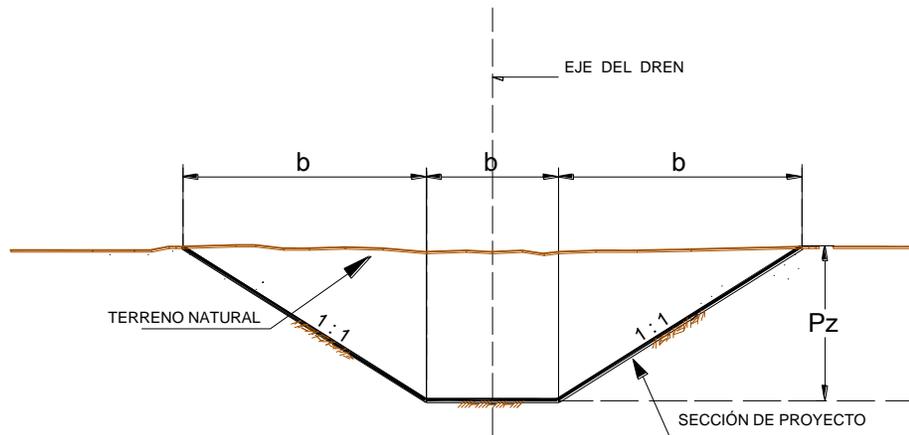
**Figura 95.** Nomogramas de espaciamiento entre drenes.

Como resultado de la metodología mencionada, se consideraron drenes a cielo abierto de sección trapecial con talud 1:1 y con las características del cuadro siguiente:

**Cuadro 100.** Características de sección de drenes parcelarios.

Cultivo	Profundidad de la zanja Pz (m)	Ancho de plantilla (b)	Espaciamiento (L)
Chile verde	0.8	0.5	67
Frijol	1.2	0.5	102
Maíz de grano	1.2	0.5	102
Caña de azúcar	1.2	0.5	102
Piña	0.9	0.5	113
Plátano	1.4	0.5	147
Pastos	1.2	0.5	122
Mango	1.4	0.5	147
Cítricos	1.4	0.5	147

En las zonas de riego de México es muy utilizado el sistema de drenaje superficial denominado “de zanjas paralelas”. El sistema de drenaje subterráneo no ha tomado suficiente fuerza actualmente por causas de tipo económico.

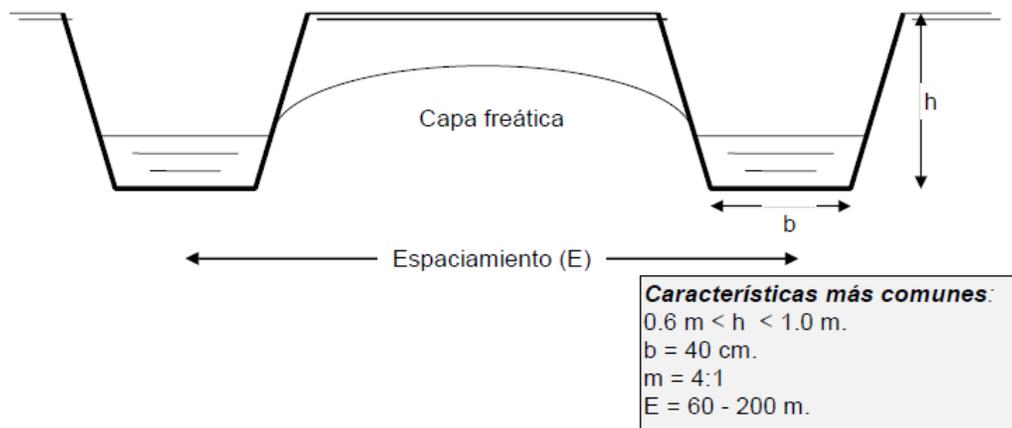


**SECCIÓN TIPO DE DRENES PARCELARIOS**

**BAJO PAPALOAPAN - TESECHOACAN**  
 Acotaciones en centímetros

**Figura 96.** Sección tipo de drenaje parcelario.

En la Figura 97 se observan las características más comunes de drenes utilizados en nuestro país. Tomando en cuenta dichas características, se trató de diseñar los drenes de la zona de proyecto.



**Figura 97.** Características comunes de drenes parcelarios en México.

Para la zona del proyecto, los volúmenes de obra calculados en el drenaje parcelario fueron secciones tipo con geometría trapezoidal con ancho de plantilla de 50 cm, y profundidad que varía de 80 a 140 cm, la separación entre drenes va desde 47 a 147 m. Los volúmenes estimados de obra se presentan en el Cuadro 101.

**Cuadro 101.** Volúmenes de excavación en drenaje parcelario.

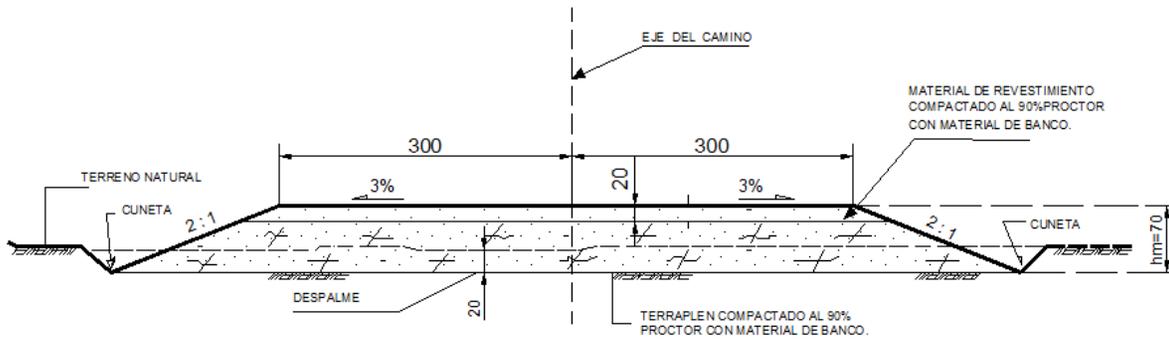
Cultivo	Superficie proyecto (ha)	Longitud dren (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vol. Excavación (m <sup>3</sup> )
Chile verde	221	27625.19	1.04	28730.20
Frijol	1007	82603.84	2.04	168511.84
Maíz de grano	1921	157651.19	2.04	321608.43
Caña de azúcar	2455	201437.44	2.04	410932.37
Piña	928	68849.57	1.26	86750.46
Plátano	1279	73174.05	2.66	194642.97
Pastos	2669	184291.30	2.04	375954.26
Mango	489	27999.54	2.66	74478.77
Cítricos	1433	81978.03	2.66	218061.55

La longitud total de drenes parcelarios es de 905.61 km, lo que arroja un volumen total de excavación de 1, 879,670.85 m<sup>3</sup>.

#### ***Red de caminos.***

Con el propósito de agilizar los movimientos de los productos agropecuarios e insumos dentro de la zona de estudio, la red de caminos estará enlazada a los bordos de protección, que también se utilizarán como caminos principales y éstos, a su vez, se conectarán con las carreteras asfaltadas existentes.

Desde la evaluación del proyecto de factibilidad CNA-IMTA (1994) a la fecha se ha mejorado la red de caminos, ya sea asfaltando algunos preexistentes o mejorando a través de revestimientos aquellos que eran considerados como brechas. Sin embargo los trabajos de mantenimiento que se realizan en éstos son muy escasos, por lo que la mayoría de los caminos que comunican esta zona se encuentran en malas condiciones. Por tal motivo, más que abrir caminos es rehabilitar y mejorar los ya existentes para proporcionar un funcionamiento adecuado del sistema. De manera general esta red tendrá una longitud de 292.307 km; las dimensiones para su establecimiento son: el ancho de corona de 6.0 m para los principales y de 4.0 m para los secundarios; el material para su formación será de bancos de préstamo, taludes de los bordos de 2:1 y pendiente transversal de 3%. Para proteger los taludes de los caminos se construirán cunetas longitudinales en ambos lados, las secciones tipo se presentan a continuación.

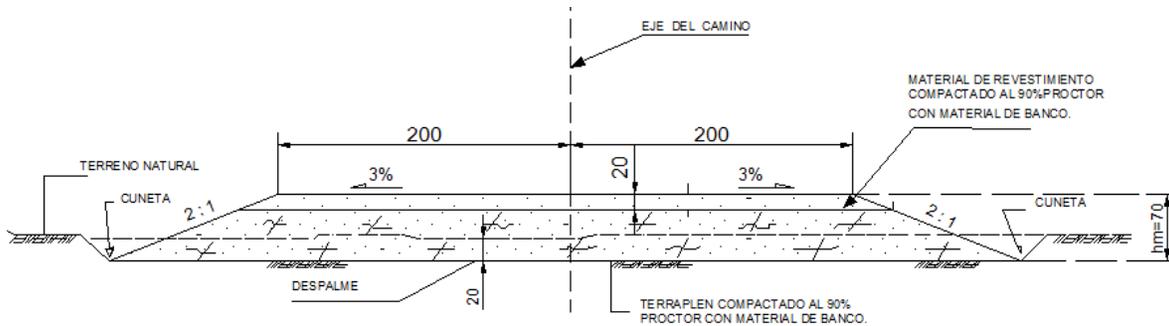


### SECCIÓN TIPO DEL CAMINO ( PRINCIPAL )

BAJO PAPALOAPAN - TESECHOACAN

Acotaciones en centímetros

**Figura 98.** Sección tipo de camino principal.



### SECCIÓN TIPO DEL CAMINO ( SECUNDARIO )

BAJO PAPALOAPAN - TESECHOACAN

Acotaciones en centímetros

**Figura 99.** Sección tipo de camino secundario.

La red de caminos propuesta estará integrada por caminos secundarios y caminos principales, cubriendo toda la superficie que conforma la zona de estudio. Las alternativas incluyen la rectificación de la red de caminos, alojados éstos sobre brechas existentes, en una longitud total de 292.30 km, los cuales estarán enlazados a caminos que se encuentran en buenas condiciones. La red de caminos propuesta se presenta en el Cuadro 102.

**Cuadro 102.** Longitudes de caminos por rehabilitar por zona.

CAMINO	LONGITUD (km)	TIPO
<b>A.- ZONA TUXTILLA (18,765 ha).</b>		
A1 OTATITLÁN - AMBROSIO ALCALDE	4.20	Comunicación
A2 A. ALCALDE- ENTR. ESTACIÓN OBISPO	7.62	Sacacosechas
A3 AMBROSIO ALCALDE- LA PALMERA	6.46	Sacacosechas
A4 TLACOJALPAN- EL REMOLINO	4.85	Comunicación
A5 TUXTILLA- ESTACIÓN OBISPO	8.70	Sacacosechas
A6 ENTRE. EST. OBISPO - ENTRE. TUXTILLA	0.50	Sacacosechas
A7 TUXTILLA - ENTRE. CAMINO PEMEX	5.40	Sacacosechas
	<b>37.73</b>	
<b>B. ZONA CHACALTIANGUIS (7,333 ha).</b>		
B1 CHACALTIANGUIS - ENTR. BORDO OBISPO	2.40	Sacacosechas
B2. CARR. FEDERAL - M.I. RIO OBISPO	1.60	Comunicación
B3 CHACALTIANGUIS - LA CERQUILLA	5.40	Comunicación
B4. CARR. FEDERAL - LAGUNA TANOYA	3.11	Sacacosechas
B5. TORNO LARGO- PEPEAPA	1.91	Sacacosechas
	<b>14.42</b>	
<b>C. ZONA LAGARTERA (7,701 ha).</b>		
C1 ENTRE CAMPO NUEVO - LA BARRANCA	2.90	Sacacosechas
C2 CAMPO NUEVO - LAGARTERA - TILAPA	6.00	Comunicación
C3 ARROYO EL OBISPO- ENTR. PALMICHAL	6.24	Comunicación
C4. ETR. ARR. OBISPO- ENTR. PALMICHAL	3.20	Comunicación
	<b>18.34</b>	
<b>D. ZONA PALMICHAL (A=7,676 ha).</b>		
D1 LA BARRANCA - PLAYA MEDINA	7.80	Sacacosechas
D2 LA BARRANCA - ENTR. C.A. CARRILLO	2.05	Comunicación
D3 RANCHO POTRERO- ENTR. JUAN GARCIA	6.32	Comunicación
D4 ENTR. PERLA- ENTR. RANCHO POTRERO	4.84	Sacacosechas
D5 CASA BLANCA.- LA PERLA	7.34	Sacacosechas
D6 LAS CARRETAS- LA HERRADURA	4.90	Comunicación
	<b>33.25</b>	
<b>E. ZONA TENEJAPAN (A= 15,215 ha).</b>		
E1 EL RODEO - ENTRONQUE ULUAPEÑO	3.88	Comunicación
E2 ULUAPEÑO- GUASMAL	3.8	Sacacosechas
E3 GUASMAL- ENTRONQUE BUENAVISTA	2.38	Comunicación
E4 JOBO CHICO- ENTRONQUE BUENA VISTA	0.68	Sacacosechas
E5 JUAN GARCÍA- AGUA FRÍA	5.72	Comunicación
E6 TINAJA DE MATA- ENTR. TENEJAPAN	4.6	Sacacosechas
E7 JUAN GARCÍA ENTRONQUE TENEJPANA	5.29	Sacacosechas
E8 JUAN GARCÍA- ENTR. TINAJA DE MATA	4.26	Comunicación

CAMINO	LONGITUD (km)	TIPO
E9 ENTR. TINAJA MATA - ENTR. TENEJAPAN	2	Sacacosechas
	<b>32.61</b>	
<b>G. ZONA NECASTE (A= 18,446 ha).</b>		
G1 PASO DEL CURA - JOACHIN	4.16	Comunicación
G2 PALMICHAL- SAN ANTONIO	6.6	Comunicación
G3 SAN ANTONIO - ENTRONQUE PALO ALTO	4.29	Sacacosechas
G4 LOMA BONITA - PASO CARETAS	11	Sacacosechas
G5 SAN AURELIO - PALO ALTO	8.04	Sacacosechas
G6 DOBLADERO - SANTA RITA (ULUAPAN)	4.59	Comunicación
G7 LAS SABANETAS - ENTR. DOBLADERO	4.7	Sacacosechas
	<b>43.38</b>	
<b>H.- ZONA LINDA VISTA (A= 11,776ha).</b>		
H1 LINDAVISTA - ENTR. LAS SABANETAS	6.46	Sacacosechas
H2 LINDAVISTA - ENTRONQUE BUENA VISTA	5.82	Comunicación
H3 FLORIDA SUR - ENTRONQUE LINDAVISTA	5.8	Sacacosechas
H4 LA GUADALUPE - ENTR. VILLA AZUETA	9.28	Sacacosechas
H5 LA PALMA - FLORIDA SUR	5.69	Sacacosechas
H6 BUENA VISTA - LA GLORIA	5.56	Sacacosechas
	<b>38.61</b>	
<b>I. ZONA GALLINA (A= 17,889 ha)</b>		
I1 LA GUADALUPE - LIMITE ESTATAL	2.42	Sacacosechas
I2 EL HUASTECO - LÍMITE ESTATAL	9.42	Sacacosechas
I3 LA GALLINA - EL CARRIZAL - LA VICTORIA	6.5	Comunicación
I4 EL CAFÉ- SAN GERÓNIMO. ENTR. S. LUIS	11.2	Sacacosechas
I5 SAN LUIS - ENTRONQUE LA JIMBA	5	Sacacosechas
I6 LA JIMBA- ENTR. EL CAFÉ Y EL CADO	2.29	Comunicación
I7 POZO GERONIMO UNO - EL CADO	2.2	Sacacosechas
	<b>39.03</b>	
<b>J. ZONA EL MIRADOR (4,541 ha).</b>		
J1 L. ROBLES - ENTR. S. FELIPE - CANDELARIA	4.09	Comunicación
J2 SAN FELIPE - LA CANDELARIA	9.18	Comunicación
J3 SAN FELIPE - ENTR. LA CANDELARIA	7.6	Sacacosechas
J4.- RANCHO GRANDE - ENTR. SAN FELIPE	2.8	comunicación
J5 ENTR. LA VICTORIA - ENTR. SAN FELIPE	1.39	Sacacosechas
J6 LA CANDELARIA - ENTR. LA VICTORIA	8.18	comunicación
J7 LA CANDELARIA - JOBAL VIEJO	1.7	Sacacosechas
	<b>34.94</b>	

### **6.3.3. Análisis de alternativas.**

Una vez caracterizada la zona en estudios técnicos que identifican las condiciones y requerimientos de ésta, y habiendo recabado las opiniones de los pobladores de la región, se plantean las posibles alternativas que harán posible incorporar el área al esquema de desarrollo diseñado a través de los Distritos de Temporal Tecnificado.

#### **6.3.3.1. Planteamiento de alternativas.**

El estudio realizado en 1992 señala que la infraestructura hidráulica en el área de estudio, era prácticamente inexistente y las pocas obras construidas se encontraban muy deterioradas. Si se proyectaba incorporar terrenos al cultivo o mejorar las condiciones de aquellos afectados por inundaciones, se hace necesario rehabilitar y ampliar la red de drenaje y de caminos, así como controlar los desbordamientos de los ríos Obispo y Tesechoacán.

Los problemas de inundación son provocados por los desbordamientos de los ríos Obispo y Tesechoacán, debido a la escasa pendiente de sus cauces y áreas hidráulicas insuficientes. Esto, aunado a los altos niveles que se presentan en el río Papaloapan, obstaculiza en gran medida las descargas de estos afluentes.

Para resolver la problemática de drenaje en la zona, se plantea el control de los desbordamientos de los ríos Obispo y Tesechoacán, mediante la construcción de bordos a las márgenes de estas corrientes; así como el desalojo de los volúmenes excedentes de agua superficial provenientes de la lluvia, mediante un sistema eficiente de drenaje, ya sea libre o controlado según el caso, en sus descargas al drenaje principal. Estas alternativas consideran también la construcción de las estructuras de la red de drenaje, que garanticen un correcto funcionamiento hidráulico del sistema, y la rectificación y complementación del sistema de caminos de acceso a las áreas productivas para que sean transitables todo el año.

### 6.3.3.2. Volúmenes de obra considerados en las propuestas.

#### ***Bordos de protección.***

Se consideró la opción de formar bordos en las márgenes izquierda y derecha de los ríos Obispo y Tesechoacán. Como resultado del análisis hidrológico se conocieron los niveles al que desbordan estos ríos, y con esto se determinó la altura que necesitan los bordos. En algunos tramos, donde no desbordan los ríos, se consideró una altura de bordo de 1.5 metros con la finalidad de que, al provocar un remanso con los bordos propuestos, éstos no desborden por ninguna de las márgenes. Las alturas de bordos y volúmenes de obra se presentan en el Cuadro 103. Estos volúmenes fueron calculados por cadenamamiento dependiendo de la altura del bordo que se propuso en cada cadenamamiento, las dimensiones del bordo se presentaron anteriormente.

**Cuadro 103.** Volúmenes de obra en bordos.

Río	Obispo		Tesechoacán		
	Margen	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha
Altura promedio del bordo (m)		2.13	2.22	2.91	2.86
Despalme (m <sup>3</sup> )		210557.55	183850.67	314322.56	266720.01
Revestimiento (m <sup>3</sup> )		89582.17	76009.11	105933.52	89882.99
Terraplén (m <sup>3</sup> )		1131982.10	878204.26	2274908.01	1630487.81
Acarreo de terraplén (m <sup>3</sup> - km)		26721312.00	11804011.09	58817.56	40913.03
Acarreo de Revestimiento (m <sup>3</sup> - km)		4210361.97	2736328.09	4237340.98	3595319.62

#### ***Red de Drenaje.***

Los drenes considerados a rehabilitar fueron aquellos que se encuentran en las zonas inundables, estos drenes requieren de rectificación y para ello se calculó el área de la sección que requiere rectificación (véase Cuadro 104).

**Cuadro 104.** Volúmenes de obra en drenes a rehabilitar.

Nombre	Área sección (m <sup>2</sup> )	Volumen excavación (m <sup>2</sup> )	Volumen terraplén (m <sup>3</sup> )
Dren Isleta	8.14	11142.83	7311.49
Dren Pueblo Nuevo	8.05	6452.03	4251.93
Dren San Joaquín	33.82	106841.74	32192.46
Dren Ojichal	40.05	86411.51	25031.15
Dren Manatí	30.33	117542.76	42101.21
Dren PEMEX	4.68	3341.28	2534.52
Dren Manatí II	10.87	35802.04	19246.91
Dren Manatí III	4.46	2705.69	2085.69

<b>Nombre</b>	<b>Área sección (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen excavación (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen terraplén (m<sup>3</sup>)</b>
Dren Manatí V	6.05	2697.16	1878.76
Dren Manatí I	12.77	28916.78	14763.13
Dren Remolino	10.41	15261.50	8316.42
Dren Manatí IV	12.90	20398.85	10382.19
Dren Tuxtilla	23.52	43857.11	16212.09
Dren San Pedro	59.09	203657.94	45717.62
Dren Taroga	30.52	50094.48	17910.44
Dren La Cerquilla	18.50	19188.08	8218.30
Dren Chacaltianguis	9.43	12268.46	6899.51
Dren El Cedral	16.85	29796.97	13380.35
Dren El Cedral	2.10	1621.73	1788.28
Dren El Cedral II	0.60	117.23	227.61
Dren El Cura	29.62	185353.13	61989.25
Dren El Huarache	69.18	650184.82	141954.12
Dren El Borrego	59.12	233368.27	58355.68
Dren Lagartera	6.69	5927.36	4050.72
Dren El Huracan	50.49	182523.73	42111.70
Dren Boquita de Susana	26.11	64619.39	24165.57
Dren La Perla	29.24	115381.15	38716.68
Dren Susana	168.30	1921077.44	333431.51
Dren Palmitas	38.70	43628.85	10531.51
Dren El Chile	15.87	27919.31	12769.61
Dren Tencualado	39.22	233506.77	72619.62
Dren Tencualado I	20.73	72586.18	28998.98
Dren Tencualado II	12.72	25993.32	13584.93
Dren Tencualado III	8.16	12371.59	7476.55
Dren Los Marines	30.77	211739.04	72757.35
Dren Arroyo Chiquito	22.18	33310.46	13746.97
Dren Tenates	32.15	151086.86	49471.72
Dren Tenates I	12.90	20302.10	10332.94
Dren Tanates II	11.97	6005.04	3314.18
Dren Zacapezco	20.26	112694.58	45320.79
Dren Zacapezco I	8.23	16909.43	10468.48
Dren Pavón	10.19	28129.41	15434.33

El volumen total de excavación es de 5,152,734.41 m<sup>3</sup>. El volumen de terraplén es de 1,352,053.26 m<sup>3</sup>, este terraplén que se considera colocar en las márgenes es con la finalidad de evitar que desborde el agua de los drenes y para los casos que en las márgenes de estos

no exista vegetación puedan servir como caminos para la operación dentro de la zona de estudio.

***Cruce de drenes.***

Las estructuras consideradas como cruces de drenes con alcantarillas con descarga libre permitirán la comunicación entre poblaciones y las facilidades de operación de maquinaria y transporte de cosechas, sin necesidad de obstruir el paso del agua de los drenes recolectores (véanse Cuadro 105 y Cuadro 106).

**Cuadro 105.** Volúmenes de obra en estructuras de cruce de drenes.

CANTIDADES ESTIMADAS							
DREN	Excav.	Relleno	Conc.	Acero	TUBERÍAS DE CONCRETO (metros)		
No.	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	kg	D=61cm	D=76cm	D=91cm
Aa	154	114	37.6	2822			17.5
Ae	264	191	43.1	3230			
	174	101	34.6	2594			
Af	174	101	34.6	2594			
Ag	139	99	25.9	1943			17.5
Ak	380	307	83	6223			
An	261	205	47.6	3571			
	261	205	47.6	3571			
As	268	212	73.4	5503			
	308	290	80.2	6014	26.25		
Ba	261	205	47.6	3571			
	150	132	25.8	1938	26.25		
Bb	267	195	69.7	5227			
Bc	97	79	16.7	1255	17.5		
Bd	97	79	16.7	1255	17.5		
Be	116	98	27.3	2048	17.5		
Bf	170	130	39.3	2949			17.5
Cb	553	440	140.4	10533			
Cc	264	191	43.1	3230			
Cd	439	366	73	5478			
Da	586	513	123.2	9239			
	380	307	96.2	7216			
Dc	316	260	66.7	4999			
Eb	134	106	21.9	1644		26.25	
Ec	97	79	16.7	1255	17.5		
Eg	166	124	50.8	3813			

CANTIDADES ESTIMADAS							
DREN	Excav.	Relleno	Conc.	Acero	TUBERÍAS DE CONCRETO (metros)		
No.	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	kg	D=61cm	D=76cm	D=91cm
	128	107	39.3	2945		15	
El	103	85	17.3	1300	17.5		
Ep	183	155	36.4	2729		26.25	
Ga	241	185	24.9	1869			
Gf	483	370	50.9	3820			
Gk	172	144	19	1427		17.5	
Gl	116	98	15.6	1171	17.5		
Gm	97	79	14.5	1089	8.75		
Gq	747	626	141.6	10617			
	776	611	100.4	7533			
	591	426	45.2	3389			
Gr	332	259	29.1	2185			
Gt	278	205	26.8	2007			
He	202	146	21.2	1593			
Hf	239	185	26.2	1962			
Hn	187	147	21	1579			17.5
	97	79	14.5	1089	8.75		
Ib	200	172	21.7	1624		26.25	
Id	172	144	19	1427		17.5	
Ij	148	127	19	1427		15	
II	332	259	29.1	2185			
Im	187	147	20.4	1534			17.5
In	97	79	14.5	1089	8.75		
Iq	241	185	24.3	1824			
Ir	332	259	29.1	2185			
Iu	241	185	24.9	1869			
Ja	241	185	24.3	1824			
	202	146	21.8	1638			
Jb	332	259	29.1	2185			
	285	231	29.1	2185			
	207	166	24.3	1824			
	187	147	20.4	1534			17.5
Je	116	98	15.6	1171	17.5		
Jf	220	180	23.3	1748			26.25
	189	159	23.3	1748	22.5		
Jg	100	86	15.6	1171	15		

**Cuadro 106.** Volúmenes de obra en estructuras de cruce de drenes  
(continuación).

CANTIDADES ESTIMADAS							
DREN	Excav.	Relleno	Concr.	Acero	TUBERÍAS DE CONCRETO (metros)		
NUM.	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	kg	D=30cm	D=45cm	D=61cm
Aa	31	25	2.3	137		12.5	
Ae	36	29	2.3	137		12.5	
	31	27	1.7	99	15		
	41	34	2.3	137		15	
	27	23	1.7	99	12.5		
Af	27	23	1.7	99	12.5		
	36	29	2.3	137		12.5	
	31	27	1.7	99	15		
Ak	47	37	2.6	156			12.5
	51	42	2.7	165		22.5	
Bb	36	29	2.3	137		12.5	
Ca	36	29	2.3	137		12.5	
	51	42	2.7	165		22.5	
Da	31	27	1.7	99	15		
	44	35	2.7	165		18.75	
	60	46	3.2	193			18.75
Dc	41	34	2.3	137		15	
	36	29	2.3	137		12.5	
	36	29	2.3	137		12.5	
	68	55	3.2	193			22.5
	44	35	2.7	165		18.75	
Eb	36	29	2.3	137		12.5	
	51	42	2.7	165		22.5	
Ef	44	35	2.7	165		18.5	
	87	66	4.6	274			30
	53	42	3.2	192		25	
Eg	60	46	3.2	193			18.75
	51	42	2.7	165		22.5	
Ek	47	37	2.6	156			12.5
	60	46	3.2	193			18.75

Estos volúmenes hacen un total de 16,807 m<sup>3</sup> de excavación; 13,321 m<sup>3</sup> de terraplén compactado con material producto de la excavación; 2,531.60 m<sup>3</sup> de concreto de f'c = 200 kg cm<sup>-2</sup>; 188,781 kg de acero con esfuerzo de fluencia fy=4200 kg cm<sup>-2</sup>; 70 metros de tubo de concreto de 12" de diámetro; 301 m de tubo de 18"; 372 m de tubo de 24"; 143.75 m de tubo de 30"; y 131.25 m de tubo de concreto de 36" de diámetro.

***Unión de drenes.***

Las estructuras de unión entre drenes permitirá una mayor eficiencia en el desalojo del agua de las zonas de cultivo, para ello al proponer las obras se consideraron los gastos máximos que conducirán los drenes. Las cantidades de obra estimadas con las dimensiones mencionadas anteriormente se presentan en el Cuadro 107.

**Cuadro 107.** Volúmenes de obra en estructuras de unión de drenes.

<b>Dren Aportador</b>	<b>Concreto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Acero (kg)</b>	<b>Dren Receptor</b>	<b>Concreto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Acero (kg)</b>
Dren Manatí III	4.65	13.19	Dren Manatí II	128.69	200.45
Dren Manatí IV	9.09	15.96	Dren Manatí II	211.26	200.45
Dren Manatí II	6.53	35.39	Dren Manatí	164.78	472.57
Dren Manatí V	2.21	28.74	Dren Manatí	79.40	472.57
Dren PEMEX	2.83	29.24	Dren Manatí	85.25	472.57
Dren Manatí I	7.84	37.10	Dren Manatí	193.39	472.57
Dren Taroga	23.34	74.23	Dren San Pedro	420.00	764.45
Dren Lagartera	19.95	152.99	Dren Susana	359.55	2060.74
Dren Boquita de Susana	10.21	143.31	Dren Susana	236.65	2060.74
Dren Palmitas	28.03	182.64	Dren Susana	489.35	2060.74
Dren El Chile	17.59	153.19	Dren Susana	337.33	2060.74
Dren Tenates I	24.43	49.07	Dren Tenates	424.56	480.51
Dren Zacapezco	11.60	30.42	Dren Zacapezco	240.50	328.60
Dren Tencualado III	13.08	47.77	Dren Tencualado	255.02	577.55
Dren Tencualado II	13.08	30.50	Dren Tencualado I	255.02	335.41

### ***Descargas controladas.***

Las obras consideradas para descargas controladas son estructuras con compuertas deslizantes rectangulares y compuertas circulares tipo Miller, para estas obras se analizó el gasto máximo que escurre en los drenes. Estas obras están consideradas para el caso de construir bordos en las márgenes de los ríos, aquí también se consideran cárcamos de bombeo, con la finalidad de ayudar a desalojar el agua mientras las compuertas de descarga se encuentren cerradas.

Los volúmenes de obra calculados para estas estructuras se muestran en el Cuadro 108.

**Cuadro 108.** Volúmenes de obra en estructuras de descarga controlada.

<b>Obras de descarga con Compuertas rectangulares y Miller</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Despalme	146.58	m <sup>3</sup>
Excavación	3,748.19	m <sup>3</sup>
Relleno y compactación con material producto de excavación.	3,354.66	m <sup>3</sup>
Acarreo con camión de material producto de excavación	393.54	m <sup>3</sup>
Sobrecarreo con camión de material producto de excavación	787.08	m <sup>3</sup>
Concreto ( $f'c= 200 \text{ kg cm}^{-2}$ )	156.40	m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg cm}^{-2}$	13,721.42	kg
Tubo PRFV 1800mm	122.00	m
Tubo PRFV 1500mm	44.00	m
Tubo PRFV 1200mm	44.00	m
Tubo PRFV 800mm	99.00	m
Rejilla tipo "A" de fe con dimensiones 150x210 cm	23.00	pza
Barandal fabricado de tubo de fierro fundido de 2.5" de diámetro	8.00	pza
Compuerta rectangular de 180x180cm	12.00	pza
Compuerta rectangular de 150x150cm	2.00	pza
Compuerta rectangular de 120x120cm	2.00	pza
Compuerta Miller de 800mm de diámetro	7.00	pza

### ***Drenaje parcelario.***

Los volúmenes de obra calculadas en el drenaje parcelario fueron secciones tipo con geometría trapecial con ancho de plantilla de 60 cm, talud 1:1, y profundidad de 60 cm; la separación entre drenes es de 300 m. La longitud total de excavación es de 2,069.6 km, lo que arroja un volumen total de excavación de 1,490,112 m<sup>3</sup>.

**Cuadro 109.** Volúmenes de obra en Cárcamos de bombeo.

Obras de descarga con cárcamos de Bombeo	Cantidad	Unidad
Motor eléctrico vertical flecha hueca, incluye pedestal fabricado en placa de acero, columna bridada de 24", cuerpo de tazones y colador tipo cebolla.	80.00	pza
<i>Tren de descarga</i>		
Reducción excéntrica bridada de acero, carrete de acero, yee de acero, tubo y codo de 45° de acero bridado y válvula check de acero.	120.00	pza
<i>Obra Civil</i>		
Movimiento de tierras incluye despalme, excavación, acarreo y sobre acarreo.	31,392.64	m <sup>3</sup>
Cerca de malla ciclónica	1,008.00	m
Concreto para construcción de estructuras f'c= 200 y 150 kg cm <sup>-2</sup>	707.60	m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo con un esfuerzo de fluencia fy=4200 kg cm <sup>-2</sup>	50,080.00	kg
Mampostería de piedra braza con mortero	95.76	m <sup>3</sup>
Muro de tabique con mortero	1,550.56	m <sup>2</sup>
Accesorios y complementos para cárcamo de bombeo incluye: Escalera marina, perfil IR de acero, puerta corrediza de acero, puerta louver, puerta de malla ciclónica, rejillas, barandal, lámina galvanizada, perfil estructural rectangular, birlos y compuertas deslizantes.	864.00	pza
<i>Obra Eléctrica</i>		
Subestación eléctrica	8.00	lote
Centro de control de motores	8.00	lote
banco de capacitores	8.00	lote
Iluminación	8.00	lote
Contactos	8.00	lote
Tablero	8.00	lote
Tubería	8.00	lote
Cableado	8.00	lote
Sistema de tierras	8.00	lote
Acometida eléctrica en media tensión	8.00	lote

***Red de caminos.***

Los volúmenes estimados de obra para la red de caminos se obtuvieron con las secciones de camino mostradas en la Figura 98 y Figura 99.

**Cuadro 110. Volúmenes de obra en la red de Caminos.**

CAMINO	AN_	LON	VOL.	VOL.	B	DIS	B	DIS	VOL.	ACARR	VOL.
	CHO										
	CORON		PLEN	REV.	N		N		EN	MAT.	
	A				C		C			REV.	
	(m)	(km)	(m <sup>3</sup> )*1000	(m <sup>3</sup> )*1000		(km)		(km)	(m <sup>3</sup> -km)	(m <sup>3</sup> -km)	(m <sup>3</sup> )*1000
<b>A.- ZONA TUXTILLA (18,765 ha).</b>											
A1 OTATITLÁN - AMBROSIO ALCALDE	6	4.2	14.7	5.38	A C	40.3	V A	47.4	592,410	254,822	5.38
A2 A. ALCALDE- ENTR. ESTACIÓN OBISPO	6	7.62	26.67	9.75	A C	33.6	V A	40.7	896,112	396,972	9.75
A3 AMBROSIO ALCALDE- LA PALMERA	6	6.46	22.61	8.27	A C	39.1	V A	46.2	884,051	382,019	8.27
A4 TLACOJALPAN- EL REMOLINO	6	4.85	16.975	6.21	A C	23	V A	30.1	390,425	186,861	6.21
A5 TUXTILLA- ESTACIÓN OBISPO	6	8.7	30.45	11.14	A C	29.1	V A	36.2	886,095	403,123	11.14
A6 ENTRE. EST. OBISPO - ENTRE. TUXTILLA	6	0.497	1.7395	0.64	A C	26.6	V A	33.7	46,271	21,439	0.64
A7 TUXTILLA - ENTRE. CAMINO PEMEX	6	5.4	18.9	6.91	A C	31.2	V A	38.3	589,680	264,730	6.91
<b>B. ZONA CHACALTIANGUIS (7,333 ha).</b>											
B1 CHACALTIANGUIS - ENTR. BORDO OBISPO	6	2.4	8.4	3.07	A C	16.5	V A	23.6	138,600	72,499	3.07
B2. CARR. FEDERAL - M.I. RIO OBISPO	6	1.6	5.6	2.05	A C	21.1	V A	28.2	118,160	57,754	2.05
B3 CHACALTIANGUIS - LA CERQUILLA	6	5.4	18.9	6.91	A C	14.4	V A	21.5	272,160	148,608	6.91
B4. CARR. FEDERAL - LAGUNA TANOYA	6	3.11	10.885	3.98	A C	14.8	V A	21.9	161,098	87,180	3.98
B5. TORNO LARGO- PEPEAPA	6	1.91	6.685	2.44	A C	17.2	V A	24.3	114,982	59,409	2.44
<b>C. ZONA LAGARTERA (7,701 ha).</b>											
C1 ENTRE CAMPO NUEVO - LA BARRANCA	6	2.9	10.15	3.71	A C	35.8	V A	42.9	363,370	159,245	3.71
C2 CAMPO NUEVO - LAGARTERA - TILAPA	6	6	21	7.68	A C	36.2	V A	43.3	760,200	332,544	7.68
C3 ARROYO EL OBISPO- ENTR. PALMICHAL	6	6.24	21.84	7.99	A C	24	V A	31.1	524,160	248,402	7.99
C4. ETR. ARR. OBISPO- ENTR. PALMICHAL	6	3.2	11.2	4.10	A C	28.6	V A	35.7	320,320	146,227	4.10
<b>D. ZONA PALMICHAL (A=7,676 ha).</b>											
D1 LA BARRANCA - PLAYA MEDINA	6	7.8	27.3	9.98	A C	23.6	V A	49.5	644,280	494,208	9.98
D2 LA BARRANCA - ENTR. C.A. CARRILLO	6	2.05	7.175	2.62	A C	24.5	V A	49.7	175,788	130,413	2.62
D3 RANCHO POTRERO- ENTR. JUAN GARCIA	6	6.32	22.12	8.09	A C	30	V A	51.6	663,600	417,423	8.09
D4 ENTR. PERLA- ENTR. RANCHO POTRERO	6	4.84	16.94	6.20	A C	26.7	V A	48.1	452,298	297,989	6.20
D5 CASA BLANCA.- LA PERLA	6	7.34	25.69	9.40	A C	22.9	V A	44.6	588,301	419,026	9.40
D6 LAS CARRETAS- LA HERRADURA	6	4.9	17.15	6.27	A C	24	V A	45.6	411,600	286,003	6.27
<b>E. ZONA TENEJAPAN (A= 15,215 ha).</b>											
E1 EL RODEO - ENTRONQUE ULUAPEÑO	6	3.88	13.58	4.97	A C	35	V A	57	475,300	283,085	4.97
E2 ULUAPEÑO- GUASMAL	6	3.8	13.3	4.86	A C	36.9	V A	58.7	490,770	285,517	4.86

CAMINO	AN_	LON	VOL.	VOL.	B	DIS	B	DIS	VOL.	ACARR	VOL.
	CHO										
	CORON		PLEN	REV.	N		A		EN	MAT.	
	A	(km)	(m <sup>3</sup> )*1000	(m <sup>3</sup> )*1000	C	(km)	N	(km)	(m <sup>3</sup> -km)	(m <sup>3</sup> -km)	(m <sup>3</sup> )*1000
E3 GUASMAL- ENTRONQUE BUENAVISTA	6	2.38	8.33	3.05	A	35.8	V	57.6	298,214	175,473	3.05
E4 JOBO CHICO- ENTRONQUE BUENA VISTA	6	0.68	2.38	0.87	A	38.6	V	60.4	91,868	52,572	0.87
E5 JUAN GARCÍA- AGUA FRÍA	6	5.72	20.02	7.32	A	28	V	50.1	560,560	366,812	7.32
E6 TINAJA DE MATA- ENTR. TENEJAPAN	6	4.6	16.1	5.89	A	30	V	52.1	483,000	306,765	5.89
E7 JUAN GARCÍA ENTRONQUE TENEJAPAN	6	5.29	18.515	6.77	A	27.1	V	49.4	501,757	334,497	6.77
E8 JUAN GARCÍA- ENTR. TINAJA DE MATA	6	4.26	14.91	5.45	A	27	V	49.6	402,570	270,459	5.45
E9 ENTR. TINAJA MATA - ENTR. TENEJAPAN	6	2	7	2.56	A	31.1	V	53.1	217,700	135,936	2.56
<b>F. ZONA NECASTE (A= 18,446 ha).</b>											
F1 PASO DEL CURA - JOACHIN	6	4.16	14.56	5.32	A	7.1	V	37	103,376	197,018	5.32
F2 PALMICHAL- SAN ANTONIO	6	6.6	23.1	8.45	A	7.8	V	34.8	180,180	293,990	8.45
F3 SAN ANTONIO - ENTRONQUE PALO ALTO	6	4.29	15.015	5.49	A	1.2	V	28.4	18,018	155,950	5.49
F4 LOMA BONITA - PASO CARETAS	6	11	38.5	14.08	A	8.5	V	32.4	327,250	456,192	14.08
F5 SAN AURELIO - PALO ALTO	6	8.04	28.14	10.29	A	8	V	22.5	225,120	231,037	10.29
F6 DOBLADERO - SANTA RITA (ULUAPAN)	6	4.59	16.065	5.88	A	10.9	V	19.8	175,109	116,329	5.88
F7 LAS SABANETAS - ENTR. DOBLADERO	6	4.7	16.45	6.02	A	12	V	22.3	197,400	134,157	6.02
<b>G.- ZONA LINDA VISTA (A= 11,776ha).</b>											
G1 LINDAVISTA - ENTR. LAS SABANETAS	4	6.46	16.15	5.68	A	15.1	V	17.1	243,865	97,210	5.68
G2 LINDAVISTA - ENTRONQUE BUENA VISTA	6	5.82	20.37	7.45	S	8	V	14.9	162,960	110,999	7.45
G3 FLORIDA SUR - ENTRONQUE LINDAVISTA	4	5.8	14.5	5.10	S	11.4	V	17.5	165,300	89,320	5.10
G4 LA GUADALUPE - ENTR. VILLA AZUETA	6	9.28	32.48	11.88	S	9	V	15.6	292,320	185,303	11.88
G5 LA PALMA - FLORIDA SUR	6	5.69	19.915	7.28	S	14.1	V	20.2	280,802	147,121	7.28
G6 BUENA VISTA - LA GLORIA	4	5.56	13.9	4.89	S	6.8	V	6.5	94,520	31,803	4.89
<b>H. ZONA GALLINA (A= 17,889 ha)</b>											
H1 LA GUADALUPE - LIMITE ESTATAL	4	2.42	6.05	2.13	S	11.2	V	18.9	67,760	40,249	2.13
H2 EL HUASTECO - LIMITE ESTATAL	6	9.42	32.97	12.06	S	6	V	16.5	197,820	198,950	12.06
H3 LA GALLINA - EL CARRIZAL - LA VICTORIA	6	6.5	22.75	8.32	S	13	V	20.5	295,750	170,560	8.32
H4 EL CAFÉ- SAN GERÓNIMO. ENTR. S. LUIS	6	11.2	39.2	14.34	S	7	V	14	274,400	200,704	14.34
H5 SAN LUIS - ENTRONQUE LA JIMBA	4	5	12.5	4.40	S	3	V	8.7	37,500	38,280	4.40
H6 LA JIMBA- ENTR. EL CAFÉ Y EL CADO	6	2.29	8.015	2.93	S	3.9	V	12.6	31,259	36,933	2.93
H7 POZO GERONIMO UNO - EL	4	2.2	5.5	1.94	S	5.5	V	14.5	30,250	28,072	1.94

CAMINO	AN_	LON	VOL.	VOL.	B	DIS	B	DIS	VOL.	ACARR	VOL.
	CHO										
	CORON		PLEN	REV.	N	T.	N		EN	MAT.	
	A				C		C			REV.	
					O		O				
	(m)	(km)	(m <sup>3</sup> )*1000	(m <sup>3</sup> )*1000		(km)		(km)	(m <sup>3</sup> -km)	(m <sup>3</sup> -km)	(m <sup>3</sup> )*1000
CADO					A		A				
<b>I. ZONA EL MIRADOR (4,541 ha).</b>											
II L. ROBLES - ENTR. S. FELIPE - CANDELARIA	6	4.09	14.315	5.24	S	14.8	V	28.5	211,862	149,203	5.24
12 SAN FELIPE - LA CANDELARIA	6	9.18	32.13	11.75	S	16.9	V	30.5	542,997	358,387	11.75
13 SAN FELIPE - ENTR. LA CANDELARIA	4	7.6	19	6.69	S	14.9	V	28.2	283,100	188,602	6.69
14.- RANCHO GRANDE - ENTR. SAN FELIPE	4	2.8	7	2.46	S	18.1	V	31.4	126,700	77,370	2.46
15 ENTR. LA VICTORIA - ENTR. SAN FELIPE	4	1.39	3.475	1.22	S	16	V	27	55,600	33,026	1.22
16 LA CANDELARIA - ENTR. LA VICTORIA	6	8.18	28.63	10.47	S	21	V	29.2	601,230	305,736	10.47
17 LA CANDELARIA - JOBAL VIEJO	6	1.7	5.95	2.18	S	22.5	V	34.4	133,875	74,854	2.18

El volumen total de despalme estimado es de 358,460.96 m<sup>3</sup>; el volumen de terraplén es de 983,844.50 m<sup>3</sup>; el volumen de material de revestimiento es de 358,460.96 m<sup>3</sup>; el volumen de acarreo de material para terraplén hacen un total de 18,872,020.20 m<sup>3</sup> km<sup>-1</sup>; y el volumen de acarreo de material para revestimiento es de 11, 625,365.79 m<sup>3</sup> km<sup>-1</sup>.

### 6.3.3.3. Costo económico de alternativas.

En la selección de la alternativa más viable para lograr los objetivos de incrementar el nivel de vida de los pobladores de la región así como de beneficiar el ambiente, es importante realizar una evaluación económica de los recursos necesarios para implementar cada una de las alternativas técnicamente factibles a desarrollar.

Para realizar este análisis se actualizó un catálogo de precios de cada uno de los conceptos que se requieren para desarrollar las alternativas planteadas (Cuadro 111 y Cuadro 112).

**Cuadro 111.** Catálogo de conceptos y cantidades de obra. Alternativa 1.

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
			(\$)	(\$)
<b>BORDOS DE PROTECCIÓN</b>				
Bordo Margen Izquierda Río Obispo				
Despalme	210,557.55	m <sup>3</sup>	14.77	3,109,935.02
Terraplén compactado	1,131,982.10	m <sup>3</sup>	48.34	54,720,014.82
Material de revestimiento	89,582.17	m <sup>3</sup>	48.34	4,330,402.08
Acarreos de material para terraplén	26,721,312.00	m <sup>3</sup> · km	4.96	132,537,707.50
Acarreo de material de revestimiento	4,210,361.97	m <sup>3</sup> · km	4.96	20,883,395.38
			Subtotal	215,581,454.79
Bordo Margen Derecha Río Obispo				
Despalme	183,850.67	m <sup>3</sup>	14.77	2,715,474.36
Terraplén compactado	878,204.26	m <sup>3</sup>	48.34	42,452,393.99
Material de revestimiento	76,009.11	m <sup>3</sup>	48.34	3,674,280.55
Acarreo de material para terraplén	11,804,011.09	m <sup>3</sup> · km	4.96	58,547,895.00
Acarreo de material de revestimiento	2,736,328.09	m <sup>3</sup> · km	4.96	13,572,187.32
			Subtotal	120,962,231.23
Bordo Margen Izquierda Río Tesechoacán				
Despalme	314,322.56	m <sup>3</sup>	14.77	4,642,544.27
Terraplén compactado	2,274,908.01	m <sup>3</sup>	48.34	109,969,053.09
Material de revestimiento	105,933.52	m <sup>3</sup>	48.34	5,120,826.57
Acarreos de material para terraplén	58,817.56	m <sup>3</sup> · km	4.96	291,735.11
Acarreo de material de revestimiento	4,237,340.98	m <sup>3</sup> · km	4.96	21,017,211.24
			Subtotal	141,041,370.29
Bordo Margen Derecha Río Tesechoacán				
Despalme	266,720.01	m <sup>3</sup>	14.77	3,939,454.50
Terraplén compactado	1,630,487.81	m <sup>3</sup>	48.34	78,817,780.83
Material de revestimiento	89,882.99	m <sup>3</sup>	48.34	4,344,943.76
Acarreos de material para terraplén	40,913.03	m <sup>3</sup> · km	4.96	202,928.65
Acarreo de material de revestimiento	3,595,319.62	m <sup>3</sup> · km	4.96	17,832,785.30
			Subtotal	105,137,893.04
<b>RED DE DRENAJE</b>				
Excavación en cubeta	5,152,734.41	m <sup>3</sup>	22.25	114,648,340.60
Terraplén compactado con c/material de excavación	1,352,053.26	m <sup>3</sup>	48.34	65,358,254.76
			Subtotal	180,006,595.36
<b>ESTRUCTURAS DE LA RED DE DRENAJE</b>				
Unión de Drenes				
Concreto de f=150 kg cm <sup>-2</sup>	1,218.20	m <sup>3</sup>	1584.54	1,930,293.97

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
			(\$)	(\$)
Acero de refuerzo de $f_y=4200 \text{ kg cm}^{-2}$ de 1/2" de diámetro	16,901.42	kg	19.86	335,662.20
			Subtotal	2,265,956.17
<b>CRUCES DE DRENES</b>				
Excavación	16,807.00	$\text{m}^3$	26.76	449,755.32
Terraplén compactado c/material de excavación	13,321.00	$\text{m}^3$	48.78	649,798.38
Concreto de $f_c=200 \text{ kg cm}^{-2}$	2,531.60	$\text{m}^3$	1711.01	4,331,592.92
Acero de refuerzo de $f_y=4200 \text{ kg cm}^{-2}$	188,781.00	kg	19.86	3,749,190.66
Tubo concreto de 30 cm (12") de diámetro	70.00	m	153.26	10,728.20
Tubo concreto de 45 cm (18") de diámetro	301.00	m	263.38	79,277.38
Tubo concreto de 61 cm (24") de diámetro	372.00	m	947.42	352,440.24
Tubo concreto de 76 cm (30") de diámetro	143.75	m	1268.22	182,306.63
Tubo concreto de 91 cm (36") de diámetro	131.25	m	1855.93	243,590.81
			Subtotal	10,048,680.53
<b>OBRAS DE DESCARGA CON COMPUERTAS RECTANGULARES Y MILLER</b>				
Despalme	146.58	$\text{m}^3$	8.37	1,226.83
Excavación	3,748.19	$\text{m}^3$	12.51	46,889.91
Relleno y compactación con material producto de excavación.	3,354.66	$\text{m}^3$	50.98	171,020.32
Acarreo con camión de material producto de excavación	393.54	$\text{m}^3$	10.5	4,132.16
Sobrecarreo con camión de material producto de excavación	787.08	$\text{m}^3$	3.68	2,896.45
Concreto ( $f_c= 200 \text{ kg cm}^{-2}$ )	156.40	$\text{m}^3$	1711.01	267,609.49
Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg cm}^{-2}$	13,721.42	kg	19.86	272,507.32
Tubo PRFV 1800mm	122.00	m	10102.125	1,232,459.25
Tubo PRFV 1500mm	44.00	m	7242.125	318,653.50
Tubo PRFV 1200mm	44.00	m	4856	213,664.00
Tubo PRFV 800mm	99.00	m	2961.62	293,200.38
Rejilla tipo "A" de fe con dimensiones 150x210 cm	23.00	pza	8181.07	188,164.61
Barandal fabricado de tubo de fierro fundido de 2.5" de diámetro	8.00	pza	2837.64	22,701.12
Compuerta rectangular de 180x180cm	12.00	pza	113940.55	1,367,286.60
Compuerta rectangular de 150x150cm	2.00	pza	70715.17	141,430.34
Compuerta rectangular de 120x120cm	2.00	pza	46536.64	93,073.28
Compuerta Miller de 800mm de diámetro	7.00	pza	9025.99	63,181.93

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
			(\$)	(\$)
			Subtotal	4,700,097.49
<b>OBRAS DE DESCARGA CON CÁRCAMOS DE BOMBEO</b>				
Motor eléctrico vertical flecha hueca, incluye pedestal fabricado en placa de acero, columna bridada de 24", cuerpo de tazones y colador tipo cebolla.	8.00	Lote	148,980.00	11,918,400.00
<i>Tren de descarga</i>				
Reducción excéntrica bridada de acero, carrete de acero, yee de acero, tubo y codo de 45° de acero bridado y válvula check de acero.	120.00	pza	30164.59	3,619,751.28
<i>Obra Civil</i>				
Movimiento de tierras incluye despalme, excavación, acarreo y sobre acarreo.	31,392.64	m <sup>3</sup>	7.60	238,722.47
Cerca de malla ciclónica	1,008.00	m	406.85	410,104.80
Concreto para construcción de estructuras (f'c= 200 y 150 kg cm <sup>2</sup> )	707.60	m <sup>3</sup>	1703.63	1,205,489.53
Acero de refuerzo con un esfuerzo de fluencia fy=4200 kg cm <sup>-2</sup>	50,080.00	kg	19.86	994,588.80
Mampostería de piedra braza con mortero	95.76	m <sup>3</sup>	185.40	17,753.90
Muro de tabique con mortero	1,550.56	m <sup>2</sup>	250.00	387,640.00
Accesorios y complementos para cárcamo de bombeo incluye: Escalera marina, perfil IR de acero, puerta corrediza de acero, puerta louver, puerta de malla ciclónica, rejillas, barandal, lámina galvanizada, perfil estructural rectangular, birlos y compuertas deslizantes.	864.00	pza	3303.51	2,854,229.68
<i>Obra Eléctrica</i>				
Subestación eléctrica	8.00	lote	953,676.36	7,629,410.88
Centro de control de motores	8.00	lote	2,742,012.00	21,936,096.00
banco de capacitores	8.00	lote	163,302.10	1,306,416.80
Iluminación	8.00	lote	11,900.00	95,200.00
Contactos	8.00	lote	270.00	2,160.00
Tablero	8.00	lote	3,920.00	31,360.00
Tubería	8.00	lote	23,870.00	190,960.00
Cableado	8.00	lote	235,360.00	1,882,880.00
Sistema de tierras	8.00	lote	66,204.80	529,638.40
Acometida eléctrica en media tensión	8.00	lote	175,000.00	1,400,000.00
			Subtotal	56,650,802.54

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
			(\$)	(\$)
<b>RED DE CAMINOS</b>				
Despalme	358,460.96	m <sup>3</sup>	14.77	5,294,468.38
Terraplén compactado	983,844.50	m <sup>3</sup>	48.34	47,559,043.13
Material de revestimiento	358,460.96	m <sup>3</sup>	48.34	17,328,002.81
Acarreos de material para terraplén	18,872,020.20	m <sup>3</sup> - km	4.96	93,605,220.19
Acarreo de material de revestimiento	11,625,365.79	m <sup>3</sup> - km	4.96	57,661,814.33
			Subtotal	221,448,548.84
<b>DRENAJE PARCELARIO</b>				
Excavación	408,168.00	m <sup>3</sup>	26.76	10,922,575.68
				10,922,575.68
<b>INDEMNIZACIONES</b>				
Zona de bordos Río Obispo	150.4	ha	10,000.00	1,504,000.00
Zona de bordos Río Tesechoacán	89	ha	10,000.00	890,000.00
			Subtotal	2,394,000.00
<b>OTROS COSTOS</b>				
Maquinaria y equipo para conservación	1	lote	12,110,482.04	12,110,482.04
			Subtotal	12,110,482.04
		<b>TOTAL</b>		<b>1,083,270,688.00</b>

Los costos de cada una de las alternativas se resumen en el Cuadro 113 y Cuadro 114.

Las inversiones que implican la implementación de cada una de las Alternativas se resumen en el Cuadro 115 y Cuadro 116.

**Cuadro 112.** Catálogo de conceptos y cantidades de obra. Alternativa 2.

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
			(\$)	(\$)
<b>RED DE DRENAJE</b>				
Excavación en cubeta	5,152,734.41	m <sup>3</sup>	22.25	114,648,340.60
Terraplén compactado con c/material de excavación	1,352,053.26	m <sup>3</sup>	48.34	65,358,254.76
			Subtotal	180,006,595.36
<b>ESTRUCTURAS DE LA RED DE DRENAJE</b>				
Unión de Drenes				
Concreto de f=150 kg cm <sup>-2</sup>	1,218.20	m <sup>3</sup>	1584.54	1,930,293.97
Acero de refuerzo de fy=4200 kg cm <sup>-2</sup> de 1/2" de diámetro	16,901.42	kg	19.86	335,662.20
			Subtotal	2,265,956.17
<b>CRUCES DE DRENES</b>				
Excavación	16,807.00	m <sup>3</sup>	26.76	449,755.32
Terraplén compactado c/material de excavación	13,321.00	m <sup>3</sup>	48.78	649,798.38
Concreto de f <sub>c</sub> =200 kg cm <sup>-2</sup>	2,531.60	m <sup>3</sup>	1711.01	4,331,592.92
Acero de refuerzo de fy=4200 kg cm <sup>-2</sup>	188,781.00	kg	19.86	3,749,190.66
Tubo concreto de 30 cm (12") de diámetro	70.00	m	153.26	10,728.20
Tubo concreto de 45 cm (18") de diámetro	301.00	m	263.38	79,277.38
Tubo concreto de 61 cm (24") de diámetro	372.00	m	947.42	352,440.24
Tubo concreto de 76 cm (30") de diámetro	143.75	m	1268.22	182,306.63
Tubo concreto de 91 cm (36") de diámetro	131.25	m	1855.93	243,590.81
			Subtotal	10,048,680.53
<b>RED DE CAMINOS</b>				
Despalme	358,460.96	m <sup>3</sup>	14.77	5,294,468.38
Terraplén compactado	983,844.50	m <sup>3</sup>	48.34	47,559,043.13
Material de revestimiento	358,460.96	m <sup>3</sup>	48.34	17,328,002.81
Acarreos de material para terraplén	18,872,020.20	m <sup>3</sup> · km	4.96	93,605,220.19
Acarreo de material de revestimiento	11,625,365.79	m <sup>3</sup> · km	4.96	57,661,814.33
			Subtotal	221,448,548.84
<b>DRENAJE PARCELARIO</b>				
Excavación	1,490,112.00	m <sup>3</sup>	26.76	39,875,397.12
				39,875,397.12
<b>OTROS COSTOS</b>				
Maquinaria y equipo para conservación	1	lote	12,110,482.04	12,110,482.04
			Subtotal	12,110,482.04
		<b>TOTAL</b>	<b>465,755,660.06</b>	

**Cuadro 113.** Costos de inversión para la Alternativa 1 (millones de pesos).

CONCEPTO	CONSTRUCCIÓN	ADQUISICIONES	SUMA CONSTRUCCIÓN ADQUISICIONES	TOTAL
<b>OBRAS BÁSICAS</b>				
Bordo M.I. Río Obispo	215.58		215.58	215.58
Bordo M.D. Río Obispo	120.96		120.96	120.96
Bordo M.I. Río Tesechoacán	141.04		141.04	141.04
Bordo M.D. Río Tesechoacán	105.14		105.14	105.14
Red de drenaje	180.01		180.01	180.01
Estructuras de la red de drenaje	73.67		73.67	73.67
Red de caminos	221.45		221.45	221.45
<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>				
Drenaje parcelario	10.92		10.92	10.92
<b>INDEMNIZACIONES</b>				
Zona de bordos río Obispo		1.50	1.50	1.50
Zona de bordos río Tesechoacán		0.89	0.89	0.89
<b>OTROS COSTOS</b>				
Maquinaria pesada		12.11	12.11	12.11
<b>SUBTOTAL</b>				<b>1,083.27</b>
INGENIERÍA, ADMINISTRACIÓN Y SUPERVISIÓN (5%)				54,164
IMPREVISTOS (5%)				54,164
IVA (16%)				173.32
<b>TOTAL</b>				<b>1,364.921</b>

\* Precios de 2010

#### 6.3.3.4. Selección de la mejor alternativa.

De manera general las acciones propuestas contemplan la construcción y rectificación de las siguientes obras de infraestructura:

a) *Alternativa 1*: 198 km de bordos de protección, 292.30 km de caminos, 292.84 km de drenes colectores, 566.90 km de drenes parcelarios, las obras de descarga con compuertas y cárcamos de bombeo; la adquisición de un lote de maquinaria pesada para realizar y dar mantenimiento a las obras antes mencionadas.

b) *Alternativa 2*: 292.30 km de caminos, 292.84 km de drenes colectores, 2,069.6 km de drenes parcelarios, las estructuras de la red de drenaje y la adquisición de un lote de maquinaria pesada para realizar y dar mantenimiento a las obras antes mencionadas.

**Cuadro 114.** Costos de inversión para la Alternativa 2 (millones de pesos).

CONCEPTO	CONSTRUCCIÓN	ADQUISICIONES	SUMA CONSTRUCCIÓN ADQUISICIONES	TOTAL
<b>OBRAS BÁSICAS</b>				
Red de drenaje	180.01		180.01	180.01
Estructuras de la red de drenaje	73.67		73.67	12.31
Red de caminos	221.45		221.45	221.45
<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>				
Drenaje parcelario	39.875		39.875	39.875
<b>OTROS COSTOS</b>				
Maquinaria pesada		12.11	12.11	12.11
<b>SUBTOTAL</b>				<b>465.76</b>
INGENIERÍA, ADMINISTRACIÓN Y SUPERVISIÓN (5%)				23.29
IMPREVISTOS (5%)				23.29
IVA (16%)				74.52
<b>TOTAL</b>				<b>586.862</b>

\* Precios de 2010

**Cuadro 115.** Programa de Inversiones para la Alternativa 1.

Concepto	Monto Total	Programa de ejecución (miles \$)				
	(miles \$)	2010	2011	2012	2013	2014
Construcción de bordos de protección	585,117	109,084	123,629	123,629	116,357	112,418.58
Rectificación en la red de drenaje	180,007	50,002	40,001	30,001	30,001	30,001.10
Rectificación en caminos	221,449	73,816	36,908	36,908	36,908	36,908.09
Drenaje parcelario	10,923	3,641	1,820	1,820	1,820	1,820.43
Estructuras de la red de drenaje	73,666	14,166	16,055	15,111	14,166	14,166.45
Maquinaria y equipo para conservación	12,110	3,028	2,624	2,422	2,018	2,018.41
Subtotal de Inversiones	1,083,271	253,737	221,038	209,891	201,271	197,333
Ingeniería, Administración y Supervisión (5%)	54,164	12,687	11,052	10,495	10,064	9,867
Imprevistos (5%)	54,164	12,687	11,052	10,495	10,064	9,867
IVA (16%)	173,323	40,598	35,366	33,583	32,203	31,573
<b>Total</b>	<b>1,364,921</b>	<b>319,709</b>	<b>278,508</b>	<b>264,463</b>	<b>253,601</b>	<b>248,640</b>

\* Precios Privados de 2010.

**Cuadro 116.** Programa de Inversiones para la Alternativa 2.

Concepto	Monto Total	Programa de ejecución (miles \$)				
	(miles \$)	2010	2011	2012	2013	2014
Rectificación de la red de drenaje	180,007	50,002	40,001	30,001	30,001	30,001
Construcción de caminos	221,449	73,816	36,908	36,908	36,908	36,908
Drenaje parcelario	39,875	13,292	6,646	6,646	6,646	6,646
Estructuras de la red de drenaje	12,315	2,368	2,684	2,526	2,368	2,368
Maquinaria y equipo para conservación	12,110	3,028	2,624	2,422	2,018	2,018
Subtotal de Inversiones	465,756	142,506	88,863	78,503	77,942	77,942
Ingeniería, Administración y Supervisión (5%)	23,288	7,125	4,443	3,925	3,897	3,897
Imprevistos (5%)	23,288	7,125	4,443	3,925	3,897	3,897
IVA (16%)	74,521	22,801	14,218	12,561	12,471	12,471
<b>Total</b>	<b>586,852</b>	<b>179,557</b>	<b>111,968</b>	<b>98,914</b>	<b>98,207</b>	<b>98,207</b>

\* Precios Privados de 2010.

Las alternativas que se plantean difieren básicamente en la construcción de los bordos de protección y para contar con un panorama técnico sobre el que descansa la toma de decisiones se plantearon dos escenarios en cuanto a los envolventes de inundación. Para el primer escenario se recupera, de problemas de inundación, una superficie de 29,472 ha. Mientras que al implementar la segunda alternativa, en la cual se descartan los bordos, se logra la recuperación de 12,402 ha.

Considerando los indicadores económicos, en el Cuadro 117 se presenta la comparación entre ambas alternativas.

**Cuadro 117.** Comparación de alternativas.

Indicador	Abreviatura	Alternativa 1	Alternativa 2
Monto de Inversión (precios sociales)	MI ( miles \$)	1,115,156	479,465
Valor de la Producción (precios sociales)	VP (miles \$)	2,619,432	2,102,193
Utilidad	U (miles \$)	703,038	549,427
Valor Presente de los Beneficios Sociales	VPBS (miles \$)	1,578,469	808,962
Valor Presente de los Costos Sociales	VPCS (miles \$)	1,023,094	464,051
Valor Presente Neto Social	VPNS (miles \$)	555,375	344,911
Relación Beneficio Costo (B/C)	RBC (adim.)	1.54	1.74
Tasa Interna de Retorno (TIR)	TIR (%)	17.89%	19.91%

Después de haber recorrido la zona de estudio y contactar tanto a productores como pobladores, así como a técnicos de diferentes dependencias con incidencia en los procesos productivos del área, se propone la **Alternativa 2** para incorporar el área de estudio al

programa de Distritos de Temporal Tecnificado. Esta alternativa presenta una relación beneficio/costo mayor a que la alternativa 1, además el valor presente neto resulta positivo.

Se considera la condición actual como situación sin proyecto y la alternativa seleccionada como la situación con proyecto. La ejecución de las inversiones se plantea en un periodo de cinco años (2010-2014). Los indicadores obtenidos son un VPN de \$344,911 miles, una TIR de 19.91% y una relación B/C de 1.74. De acuerdo a la evaluación económica, se considera viable su ejecución.

La infraestructura propuesta permitirá recuperar áreas con alto riesgo de inundación, para incorporarlas a la producción intensiva, y minimizar los altos índices de siniestralidad ocasionados en los cultivos.

La rectificación de la red de caminos facilitará el transporte de insumos y cosechas, así como el acceso de las áreas productivas a los servicios básicos y de apoyo a la producción agropecuaria, también se tendrá un manejo interno de las explotaciones y la comercialización de los productos del campo. Se propone aprovechar al máximo las brechas existentes, con el propósito de disminuir los costos de las obras.

Al contar con bancos de materiales en la zona del proyecto, se garantiza el abasto del material para la rectificación de los caminos y drenes.

La rectificación de la red de drenes permite rescatar las superficies que se inundan en los periodos de lluvia, eliminación de azolve acumulado, desalojar los volúmenes de agua que se generen por la precipitación pluvial, y capacidad suficiente y apropiada a los escurrimientos naturales para su desalojo.

Al contar con alcantarillas de descarga controlada se regulan los volúmenes excedentes de agua. Y para facilitar las descargas de los lotes hacia los drenes receptores, se considera un drenaje parcelario.

La superficie rescatada para ésta alternativa es más baja respecto a la alternativa 1, pero se justifica con factibilidad técnico - económica del proyecto.

#### **6.3.4.5. Presupuestos.**

El resumen de los costos para las obras consideradas en la alternativa seleccionada para el proyecto se indica en el Cuadro 114 y en el Cuadro 116, donde se incluyen además los costos de obras complementarias, como es el drenaje parcelario y otros costos relacionados con la maquinaria y equipo para conservación de las obras. El proyecto presenta un costo total incluyendo IVA de \$ 586,852 miles.

Con el objetivo de apoyar al sector productivo rural, superar rezagos y elevar las condiciones de vida de la población, las acciones del proyecto están encaminadas al crecimiento y desarrollo de la productividad agropecuaria del área de influencia.

Con la puesta en marcha de las acciones se pretende aumentar la productividad, y competitividad de las actividades económicas más importantes que llevan a cabo los usuarios mediante el impulso de su capitalización y modernización tecnológica.

#### ***Inversión de las obras por componente.***

El proyecto presenta un costo total incluyendo IVA de \$586,852 miles. El desglose de la inversión total del proyecto, se resume en el Cuadro 118.

**Cuadro 118.** Costos de inversión de la infraestructura.

<b>Concepto</b>	<b>P. Privados (miles \$)</b>	<b>P. Sociales (miles \$)</b>
Rectificación en la red de drenaje	180,007	168,459
Rectificación en caminos	221,449	207,242
Drenaje parcelario	39,875	37,317
Estructuras de la red de drenaje	12,315	11,525
Maquinaria y equipo para conservación	12,110	11,334
<b>Subtotal de Inversiones</b>	<b>465,756</b>	<b>435,877</b>
Ingeniería, Administración y Supervisión (5%)	23,288	21,794
Imprevistos (5%)	23,288	21,794
IVA (16%)	74,521	0
<b>Total</b>	<b>586,852</b>	<b>479,465</b>

### ***Gasto de operación y mantenimiento.***

Los costos de operación y mantenimiento de las principales obras son las que se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 119.** Costos de operación y mantenimiento.

<b>Concepto</b>	<b>Costos privados (miles \$)</b>	<b>Costos sociales (miles \$)</b>
Rectificación en la red de drenaje	18,001	16,426
Rectificación en caminos	22,145	20,208
Drenaje parcelario	3,988	3,639
Estructuras de la red de drenaje	1,231	1,124
Maquinaria y equipo para conservación	1,211	1,105
<b>Total</b>	<b>46,576</b>	<b>42,502</b>

### **6.3.4. Estructuras de apoyo.**

Las principales estructuras de apoyo para este proyecto son:

- Carreteras federales: Carretera 175 y 145.
- Pistas aéreas.
- Infraestructura de producción tales como ingenios azucareros (San Cristóbal, San Gabriel, Ingenio Tres valles).
- Enlatadoras Isla y COFRINSA.
- Empacadoras (Loma Bonita, COFRINSA).
- Molineras La Granja y El Jarocho.
- Bodegas BUROCONSA (Bodegas Rurales CONASUPO).
- Rastros.
- Frigoríficos.
- Infraestructura pecuaria: cercos, corrales de engorda, corrales de manejo, abrevaderos, galeras, baños garrapaticidas.
- Agroindustrias de caña de azúcar, ANFRUTE, Maquiladora de Frutales, S. A. de C. V., Productos del Campo, S. A. de C. V., Agroloma, S. A. de C. V., Agroindustrias, S. A. de C. V, Integradora, S. A. de C. V.
- Servicios financieros y promocionales, Bufetes de Asesoría.

### **6.3.5. Protección al medio ambiente.**

La alternativa de rectificar los drenes que así lo requieran es la que presenta los menores impactos al medio ambiente. Ésta consistirá en la remoción de los azolves que se encuentran principalmente en el fondo de los cauces, de esta manera no habrá motivos por los cuales la vegetación que se encuentra presente en los márgenes de dichos cauces sea dañada o inclusive removida. Sin embargo, es probable que la vegetación existente dentro de la zona de acumulación de azolves (fondo del dren principalmente) sea dañada. Si dicha vegetación sufre graves daños o es eliminada se deberá reponer, para que se recuperen las condiciones naturales que se tenían antes de ello.

La disminución de las zonas inundables por medio de la rectificación de drenes no presenta graves problemas para las comunidades faunísticas (principalmente aves) que habitan temporal o permanentemente en estos parajes. El agua se mantendrá dentro de la zona de inundación al ser captada, almacenada y conducida por la red de drenaje que se distribuye por toda el área, así también se mantendrá una humedad residual durante la época de estiaje. Por lo que la vegetación natural, que depende de esta condición para su desarrollo, no se verá afectada.

La rectificación de los drenes ayudará de manera natural en el rápido desalojo del agua que generan las inundaciones y no habrá cambios en el patrón de drenaje dentro de la zona. Es decir, no se tendrá la aparición de nuevos cuerpos de agua y/o drenes o inclusive riesgos de posibles inundaciones en otras zonas. Estos son drenes que han sido creados de manera natural por la topografía del área y existen desde hace muchos años, pero debido a su constante uso han ido perdiendo su capacidad original de transporte de agua.

Se debe realizar mantenimiento a los drenes para evitar la acumulación de azolves en los mismos. Dicho mantenimiento consiste en limpiar mecánicamente la sección del dren para conservar las características hidráulicas que permitan su buen funcionamiento, evitando en lo posible dañar la vegetación y fauna.

### **6.3.6. Servicios de apoyo a la producción y capacitación.**

Es necesario que se busque el procedimiento más adecuado para la producción, con el objetivo de que a los productores de la zona de estudio se les haga llegar la asistencia y capacitación técnica que requieren para el desarrollo de sus actividades de importancia económica. Actualmente la producción se logra basándose en las experiencias propias o en las recomendaciones de otros productores, sin contar con un conocimiento pleno y sustentado técnicamente. La organización de los productores juega un papel muy importante en la búsqueda del precio más conveniente tanto en la compra de los insumos como en la venta de los productos agropecuarios. Mediante la organización estarán en posibilidad de integrarse a otras cadenas productivas, en las cuales se puede adicionar valor a los productos de la zona.

El otorgamiento de crédito es otra necesidad en el área de estudio. Con esto, muchos productores podrán lograr el crecimiento y el desarrollo de sus actividades.

Algunos problemas de carácter técnico en la zona de estudio son la aplicación de fertilizantes, pesticidas y uso de semillas. Actualmente los fertilizantes se emplean en dosis que considera el productor, sin contar con recomendaciones que se basen en paquetes tecnológicos generados para esa región; ocasionando que el gasto por este concepto sea excesivo, además de propiciar problemas de degradación química en el suelo al incrementar la salinidad y pH. Una situación similar se presenta con la aplicación de pesticidas como los organoclorados y organofosforados, los cuales son dañinos al medio ambiente por ser residuales y cuyo uso es común en la zona de estudio. La mayoría de los productores utiliza semillas criollas, siendo pocos los que utilizan las semillas mejoradas.

En las actividades pecuarias se presenta una situación similar, en cuanto a la asesoría técnica. Por ejemplo, los productores de bajos recursos cuyo sistema de producción bovina es de doble propósito se ven obligados a poner a la venta los becerros a la edad del destete (aproximadamente 7 meses), debido a que no cuentan con los recursos económicos suficientes. Los animales son vendidos a compradores del municipio de Playa Vicente o a personas que vienen de otras partes de la región.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de factibilidad técnica, presentado en esta investigación, describe la problemática del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán.

El estudio de agrología muestra que las limitantes actuales de la zona de estudio son la poca pendiente y el lento drenaje superficial del suelo.

A partir de la simulación hidrológica con el modelo MIKE del Instituto Hidráulico Danés, se obtuvieron las superficies inundables precisas y georreferenciadas en la zona de estudio. La superficie inundable en la condición actual para un periodo de retorno de 25 años es de 51,175.59 ha. Estos datos son difíciles de obtener si no se usa un modelo de simulación preciso y confiable.

Es factible incorporar superficie con potencial agrícola a la zona piloto del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán. La modelación hidrológica permitió el análisis de diferentes estrategias de control de inundaciones.

Las propuestas de infraestructura (de protección y drenaje) para incorporar áreas con potencial agrícola a la zona piloto del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán se obtuvieron a través la modelación hidrológica y el análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto de ampliación del Bajo Papaloapan-Tesechoacán. Se proponen 2 alternativas de solución para aumentar de la producción de alimentos en la zona. La alternativa 1, que considera construir bordos en las márgenes izquierda y derecha de los ríos Obispo y Tesechoacán, permite rescatar 29,471.95 ha que actualmente se inundan. La alternativa 2, que sólo incluye la rectificación de drenes, caminos y drenes parcelarios, representa un rescate de la superficie inundable del orden de 12,402.4 ha.

Como resultado del trabajo de investigación, se propone la Alternativa 2 para incorporar el área de estudio al programa de Distritos de Temporal Tecnificado. Planteando un periodo de 5 años para las inversiones, los indicadores económicos que se obtienen son un VPN de

\$344,911 miles de pesos, una TIR de 19.91% y una R B/C de 1.74; por lo que se considera viable la ejecución del proyecto.

El drenaje parcelario facilitará las descargas de los lotes hacia los drenes receptores. La rectificación de la red de drenes permitirá rescatar las superficies que se inundan en los periodos de lluvia, eliminar el azolve acumulado, desalojar los volúmenes de agua que se generen por la precipitación pluvial, y tener capacidad suficiente y apropiada a los escurrimientos naturales para su desalojo. Por otro lado, la rectificación de la red de caminos facilitará el transporte de insumos y cosechas, así como el acceso de las áreas productivas a los servicios básicos y de apoyo a la producción agropecuaria. Las rectificaciones y construcciones deben hacerse con la supervisión técnica correspondiente para garantizar su correcto funcionamiento.

El tiempo de desalojo aproximado de los niveles de inundación para un periodo de retorno de 5 años, considerando la opción de rectificación de drenes dura en promedio 51 horas en las zonas que se consideran rescatadas, mientras que en la situación actual para la misma zona, pero sin considerar la rehabilitación de drenes, se eleva hasta 88 horas.

Las condiciones de producción del Distrito de Temporal Tecnificado 003 Tesechoacán serán cada vez más desfavorables si no se lleva a cabo el proyecto de ampliación, puesto que las inundaciones continuarán mermando la producción actual.

Se recomienda hacer un estudio de impacto ambiental completo de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Un proyecto de beneficio/costo detallado para la ampliación del Bajo Papaloapan-Tesechoacán permitirá que el presente proyecto sea aprobado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y se autorice la inversión necesaria.

## 8. LITERATURA CITADA

- Arrighi, P. and P. Soille. 1999. From scanned topographic maps to digital elevation models. Image Analysis and Control Group, Silsoe Research Institute. Bedfordshire, U.K. <http://web.ukonline.co.uk/soille/arrighi-soille99.pdf> (consultado marzo de 2009)
- Avelar, S. 1994. The problem of contour in the generation of digital topographic maps. Remote Sensing Center. Federal University of Minas Gerais. Belo Horizonte, Brazil.
- Benavides S., J. D. 1998. Calibración y validación del modelo hidrológico SWRRB en la cuenca forestal El Carrizal, Tapalpa, Jalisco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 261 p.
- Burrough, P. A. 1987. Principles of geographical information systems for land resources assessment. *In: Monographs on Soil and Resources Survey No. 12.* Oxford University Press, New York. 193 p.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada DOF 07-12-2005.
- Canada Centre for Remote Sensing. 2009. Fundamentals of Remote Sensing. [http://pcmas1.ccrs.nrcan.gc.ca/fundam/chapter1/chapter1\\_1\\_e.htm](http://pcmas1.ccrs.nrcan.gc.ca/fundam/chapter1/chapter1_1_e.htm) (consultado septiembre de 2009)
- Childs, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI Education Services. <http://www.esri.com/> (consultado septiembre de 2009)
- Chow V., T. 1994. Hidrología aplicada. Editorial Mc.Graw Hill Inc. EE.UU.
- Colegio de Postgraduados. 2006. Actualización del estudio de factibilidad del proyecto Bajo Papaloapan-Tesechoacán. Texcoco, Estado de México.
- Comisión Nacional del Agua. 1990. Normas y Especificaciones de la Obra Pública. Libro 2 Normas de Servicios Técnicos de la CONAGUA. México, D.F.
- Comisión Nacional del Agua. 2010a. Sistema Nacional de Información del Agua. Estadísticas del Agua en México. <http://www.cna.gob.mx/> (consultado mayo de 2010)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Biodiversidad Mexicana. <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/geoinformacion.html> (consultado marzo de 2010)

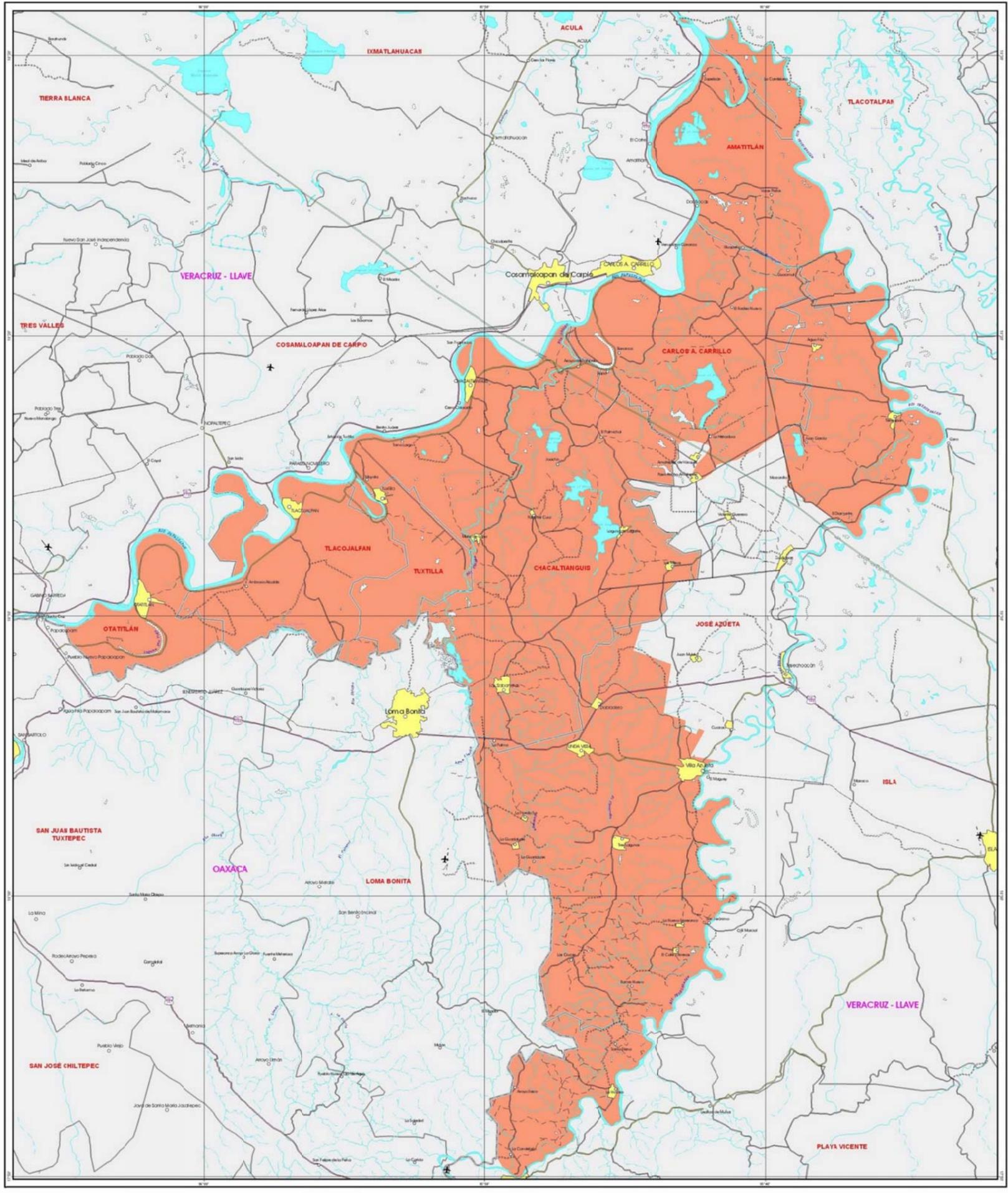
- Cruz R., L. 2003. Reconocimiento, interpretación y visualización espacial de superficies terrestres en base a fotografías estereoscópicas. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. México, D. F.
- DHI Water & Environment. 2005. MIKE SHE - Basic Exercises. Denmark Hydrologic Institute. Denmark. 162p.
- Dutta, D. and K. Nakayama. 2008. Effects of spatial grid resolution on river flow and surface inundation simulation by physically based distributed modelling approach. *Hydrol. Processes* 23 (4): 534-545. <http://www3.interscience.wiley.com/journal/121538858/abstract>
- Franco R., J. 2000. Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad de Extremadura, España. 83p.
- Gala P., F. 2006. Guía metodológica general de preparación y presentación de estudios de proyectos de inversión pública. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. CEPEP. México. 44p.
- García De M., E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 5ª. Edición. México, D. F. 252p.
- Her, Y. and C. Heatwole. 2008. Assessment of interpolation methods for refining SRTM and DEM. *In: 2008 ASABE Annual International Meeting*. Rhode Island Convention Center Providence, Rhode Island.
- Holguín J.; C. Vélez; A. Galvis; C. Ramírez y A. Duque. Implementación de un modelo dinámico para el estudio de la calidad del agua en el río Cauca. Universidad del Valle. Colombia. [http://www.cvc.gov.co/web\\_cvc/Mosaic/dpdf1/volumen8/7-modelacioncarcv8f1.pdf](http://www.cvc.gov.co/web_cvc/Mosaic/dpdf1/volumen8/7-modelacioncarcv8f1.pdf) (consultado junio de 2010)
- IMTA. 1996. Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) v.1.0. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Juitepec, Morelos.
- IMTA. 2009a. Curso en línea de Homologación de Criterios y Lineamientos Técnicos utilizados en la Revisión de Proyectos Ejecutivos de Infraestructura Hidroagrícola. <http://seaweb/imta.mx/sequias/login/index.php> (consultado octubre de 2009)
- Institution of Civil Engineering Surveyors (ICES). 2009. Photogrammetry and Remote Sensing. Dominion House, Sibson Road, Sale, Cheshire M33 7PP
- Llamas J. 1993. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 635p.
- Mark D., M. and D. Smith. 2001. A science of topography: bridging the qualitative-quantitative divide. University at Buffalo. USA.

- Maza A., J. A. y V. Franco. 1990. Obras de protección para control de inundaciones. In: Manual de Ingeniería de Ríos. Capítulo 15. Universidad Nacional Autónoma de México, México. D.F. pp: 85-89
- MicroImages Inc. 2006. Introduction to Remote Sensing Of Environment (RSE). <http://www.microimages.com> (consultado septiembre de 2009)
- Ordnance Survey. 2009. OS Mastermap Topography Layer User Guide. National Mapping Agency of Great Britain.
- Peralta F. 2004. Estudio hidrológico - hidráulico para delimitar las zonas inundables del río Arga. Pamplona, España. <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/.../44253/FunesPeraltaAnexo.doc> (consultado mayo de 2010)
- Quevedo N., A. 2009. Notas de la clase de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- ScienceDirect. 2008. Remote sensing image registration via active contour model. <http://www.sciencedirect.com/> (consultado septiembre de 2009)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. Guía para la presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental, Cambio de Uso de Suelo o Proyectos Agropecuarios. Modalidad: particular. Primera edición, México D.F. 113p.
- SEMARNAT-INEGI. 2000. Inventario Nacional Forestal. Serie II.
- SIGSA. Modelación integrada de inundaciones de ríos con MIKE FLOOD. [http://www.sigsa.info/index.php?option=com\\_content&task=view&id=102&Itemid=115](http://www.sigsa.info/index.php?option=com_content&task=view&id=102&Itemid=115) (consultado junio de 2010)
- Sulzer, W. 2006. Mt. Aconcagua - Multisensoral Remote Sensing Data for mapping purposes. Institute of Geography and Regional Science. University of Graz, Austria.
- Sys, C. 1991. Land Evaluation Part I. Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation. Brussels, Belgium.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Recursos Hídricos. <http://www.dwaf.gov.za/hydrology/> (consultado junio de 2010)
- United States Geological Survey (USGS). <http://www.usgs.gov/> (consultado marzo de 2009)
- US Army Corps of Engineers. 2009. HEC-GeoRAS GIS Tools for support of the HEC-RAS using ArcGIS. User's manual. Version 4.2. September 2009. Hydrologic Engineering Center. USA.

- Vázquez R., F.; Feyen J. y Berlamont J. 2004. Análisis de sensibilidad usando MIKE SHE variando topografía y Et. *Rev. Ing. Agua* 11 (3): 315-316
- Verwey A. 1995. Introducción a los modelos. *In: Curso Nacional de Drenaje Agrícola y Control de Inundaciones al nivel de Postgrado*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Waters, K. 2009. Coastal applications using remotely sensed topography. NOAA Coastal Services Center. USA. pp: 12-16
- Wikilingue. Clasificación del clima de Thornthwaite. [http://es.wikilingue.com/pt/Clasificaci%C3%B3n\\_del\\_clima\\_de\\_Thornthwaite](http://es.wikilingue.com/pt/Clasificaci%C3%B3n_del_clima_de_Thornthwaite) (consultado junio de 2010)
- Wittman, T. 2006. Mathematical techniques for image interpolation. Department of Mathematics, University of Minnesota, USA.
- Yan, J. and J. Zhang. 2000. Evaluation of the MIKE SHE modeling system. North Carolina State University. USA.

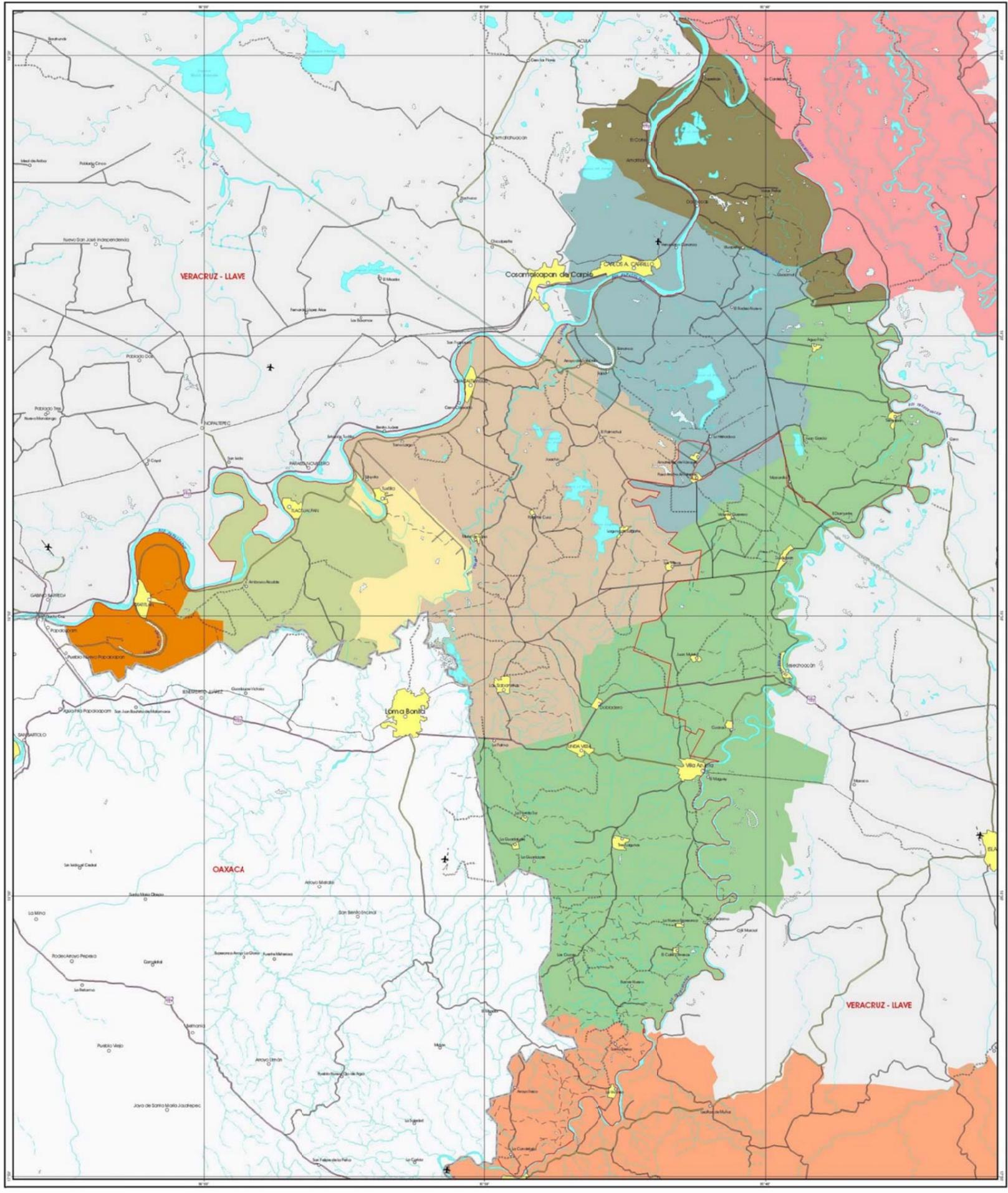
## 9. ANEXO

- Mapa 1. Poligonal envolvente de la zona del proyecto.
- Mapa 2. Linderos y división municipal del área de estudio.
- Mapa 3. Hidrología superficial.
- Mapa 4. Infraestructura.
- Mapa 5. Degradación del suelo causada por el hombre.
- Mapa 6. Tenencia de la tierra.
- Mapa 7. Usos del suelo.
- Mapa 8. Topografía.
- Mapa 9. Intervalos de elevación.
- Mapa 10. Distribución espacial de la series de suelo.
- Mapa 11. Distribución espacial de las unidades de suelo.
- Mapa 12. Distribución espacial de las asociaciones de suelo.
- Mapa 13. Precipitación media anual (mm) en el área de estudio.
- Mapa 14. Distribución de isoterma.
- Mapa 15. Isolíneas de evaporación media anual (mm).
- Mapa 16. Isolíneas de evapotranspiración media anual (mm).
- Mapa 17. Distribución de los climas según Köppen.
- Mapa 18. Distribución de los climas según Thornthwaite.
- Mapa 19. Superficie inundable en la zona de estudio,  $Tr = 100$  años.
- Mapa 20. Superficie inundable en la zona de estudio,  $Tr = 5$  años.
- Mapa 21. Superficie inundable en la zona de estudio,  $Tr = 10$  años.
- Mapa 22. Superficie inundable en la zona de estudio,  $Tr = 25$  años.
- Mapa 23. Superficie inundable en la zona de estudio,  $Tr = 50$  años.
- Mapa 24. Superficie inundable, con construcción de bordos,  $Tr = 25$  años.
- Mapa 25. Superficie inundable, con drenes,  $Tr = 5$  años.
- Mapa 26. Superficie rescatable, considerando la rectificación de drenes.
- Mapa 27. Infraestructura para el desarrollo del proyecto, alternativa 1.
- Mapa 28. Infraestructura para el desarrollo del proyecto, alternativa 2.
- Mapa 29. Subcuencas por dren.



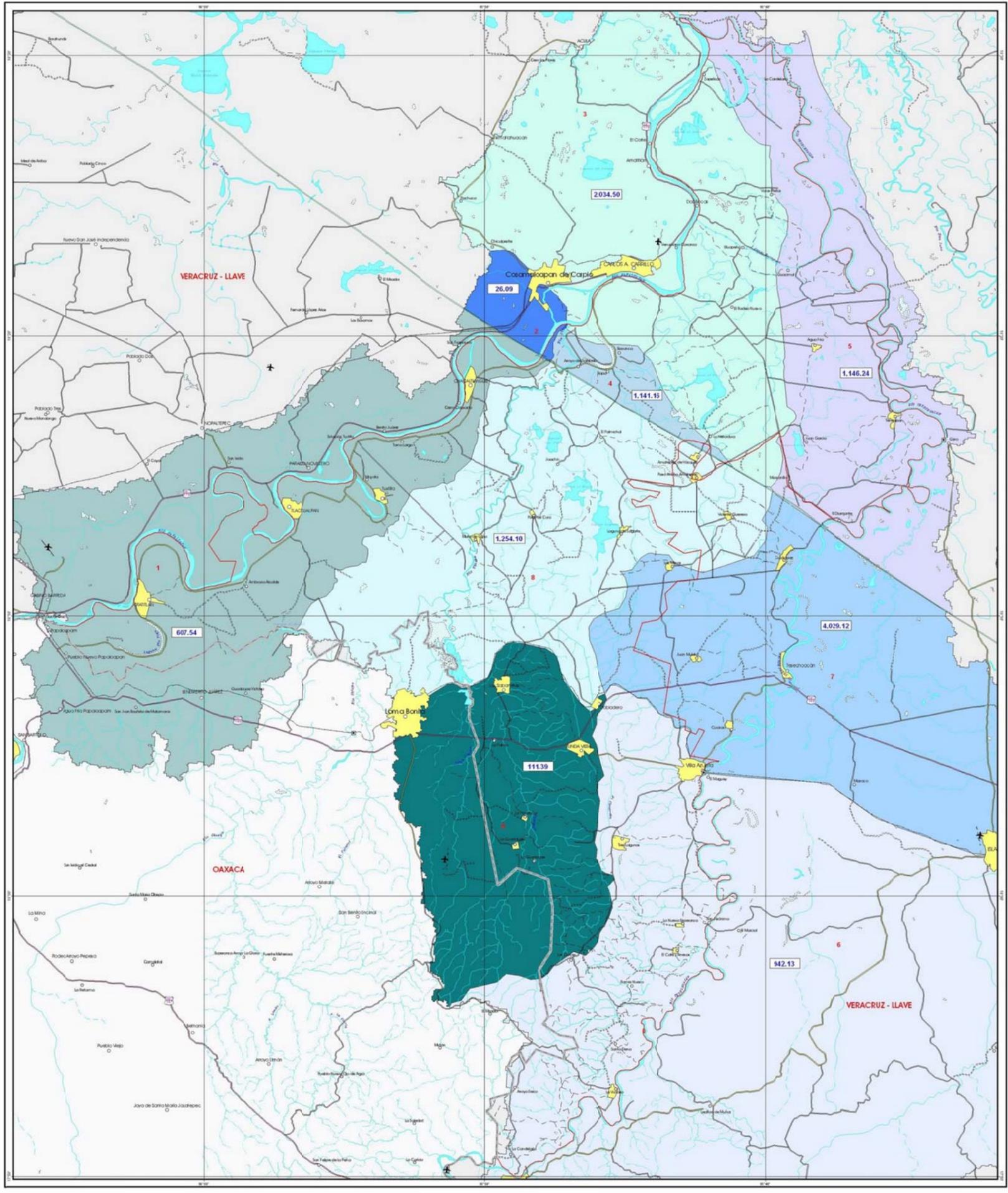
<p><b>Vías de transporte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Federal - De doble vía</li> <li> Federal - Libre tránsito</li> <li> Estatal - pavimentado</li> <li> Estatal - no pavimentado</li> <li> Carretera de terracería</li> <li> Balsa</li> <li> Puente</li> <li> Vía de ferrocarril</li> <li> Aeropuerto</li> <li> Pista pavimentada</li> <li> Pista de tierra</li> </ul>	<p><b>SÍMBOLOS CONVENCIONALES</b></p> <p><b>Rancho Hidrológico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Río - Ancho</li> <li> Río - Ancho intermitente</li> <li> Cauce de agua corriente</li> <li> Cauce de agua estancada</li> <li> Canal</li> <li> Afluente subterráneo</li> </ul> <p><b>Importancia de la Población</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Ayuntamiento</li> <li> Cabecera municipal</li> <li> Otras poblaciones</li> <li> Límite estatal</li> </ul>	<p><b>Demografía</b></p> <p><b>TUXTEPEC</b> De 50,000 a 99,999 hab.</p> <p><b>Loma Bonita</b> De 25,000 a 49,999 hab.</p> <p><b>ESLA</b> De 10,000 a 24,999 hab.</p> <p><b>Playa Vicente</b> De 5,000 a 9,999 hab.</p> <p><b>UNDA VISTA</b> De 2,500 a 4,999 hab.</p> <p><b>Tuxtilla</b> De 1,000 a 2,499 hab.</p> <p><b>Maya</b> Menores de 1,000 hab.</p> <p><b>Ciudad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Límite D.F.</li> <li> Límite Municipal</li> <li> Municipio</li> <li> Estado</li> </ul>	<p><b>MACROLOCALIZACIÓN</b></p> <p>ESCALA: 1:100,000</p> <p>0 500 1000 2000 Mts</p> <p><b>ESPECIFICACIONES GEOGRÁFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Elevación: Contorno 1000</li> <li> Proyección: Geográfico</li> <li> Coordenadas: UTM 16N</li> </ul>	<p><b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO</p> <p><b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PALCOPAN-TESEOHUACA, ESTADO DE VERACRUZ</b></p> <p><b>MAPA DE LOCALIZACIÓN</b></p>
---	---	---	--	--

Mapa 1. Poligonal envolvente de la zona del proyecto.



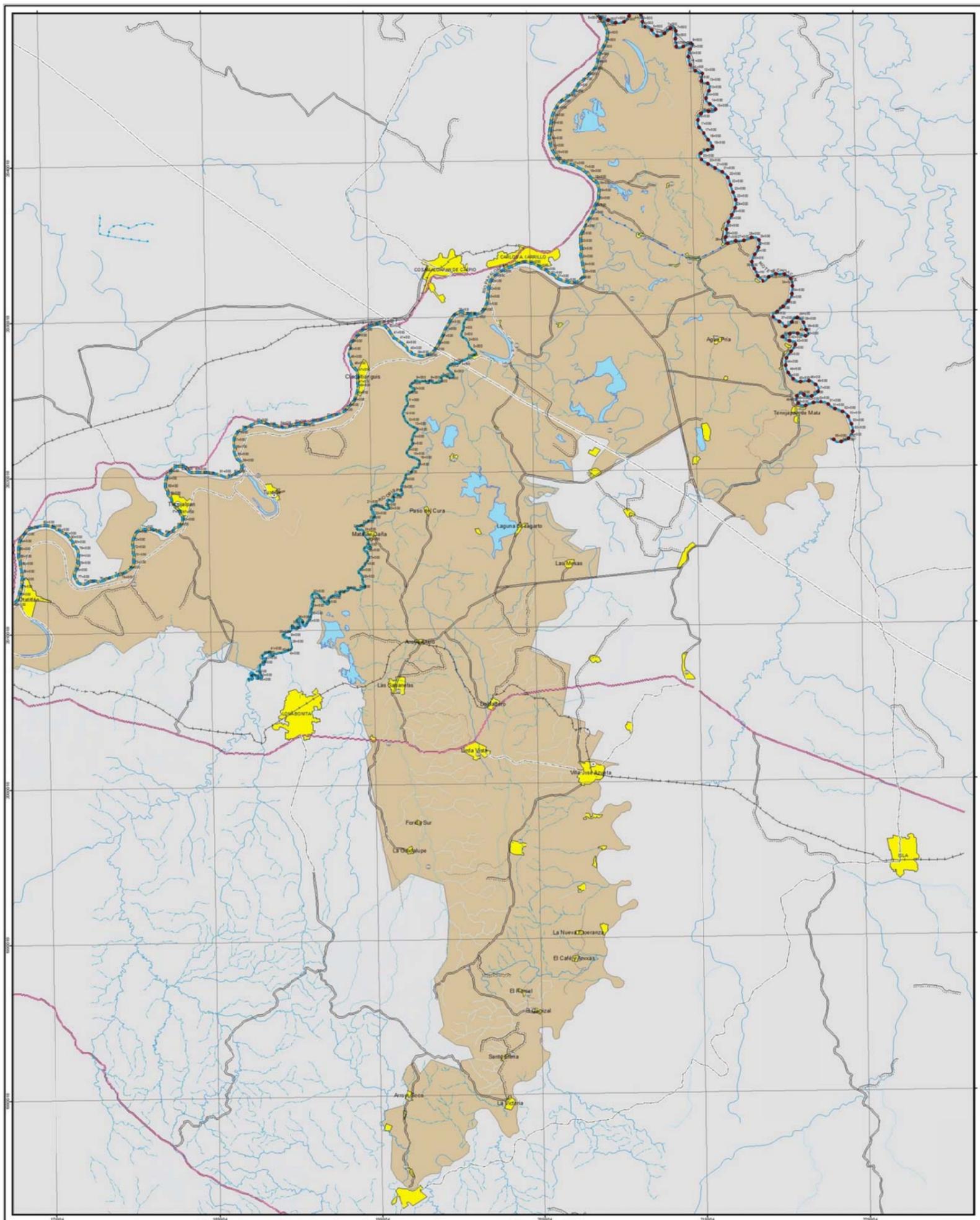
<b>SEÑALES CONVENCIONALES</b> Vías de transporte: Federal - Línea doble Estatal - Planimetrado Carretera de desarrollo Brachi Vereda Puente Vía de ferrocarril Aeropuerto Ruta pavimentada Pto. de barco		<b>Redes Hidrográficas</b> Río - Arroyo Arroyo - Arroyo intermitente Cauce de agua corriente Cauce de agua intermitente Canal Acueducto subterráneo Importancia de la Población: Asesoria Cabecera municipal Otra población Línea límite	<b>Demografía</b> <b>TUXTEPEC</b> <b>Loma Bonita</b> SLA Población DENSIDAD VIDA Muestra OTRAS Línea DT	<b>Municipios</b> Amatlán Cosamaloapan Chaviltepec San Bartolomé Orizaba	<b>ESPECIFICACIONES CAROGRÁFICAS</b> Escala: 1:100,000 Estación: Cotite 1000 Proyección: Geocéntrica Datum: Oaxaca 10 metros	<b>MACROLOCALIZACIÓN</b> 	<p><b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b>          INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS AGRARIOS</p> <p><b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PAPALOAPAN - TERRONACÁN, ESTADO DE VERACRUZ</b></p> <p><b>MAPA DE MUNICIPIOS</b></p>
---	--	---	---	---	--	------------------------------	---

Mapa 2. Linderos y división municipal del área de estudio.



<p><b>Vías de transporte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Federal - De doble carril</li> <li> Estatal - Libero tránsito</li> <li> Carretera de desarrollo</li> <li> Aéreo</li> <li> Vías de navegación</li> <li> Aeropuerto</li> <li> Puerto</li> <li> Ferrocarril</li> <li> Otro</li> </ul>	<p><b>Riegos Hidrográficos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Río - Arroyo</li> <li> Río - Arroyo intermitente</li> <li> Cuerpo de agua permanente</li> <li> Cuerpo de agua intermitente</li> <li> Canal</li> <li> Acueducto subterráneo</li> <li> Impedimento de la Población</li> <li> Asociación</li> <li> Cabecera municipal</li> <li> Otra población</li> <li> Límite básica</li> </ul>	<p><b>Demografía</b></p> <p><b>TUXTEPEC</b> De 50,000 a 99,999 hab.</p> <p><b>Loma Bonita</b> De 30,000 a 49,999 hab.</p> <p><b>ELA</b> De 10,000 a 29,999 hab.</p> <p><b>RIOJO VICENTE</b> De 1,000 a 9,999 hab.</p> <p><b>UNDA VIEJA</b> De 1,000 a 9,999 hab.</p> <p><b>Muñito</b> Menos de 1,000 hab.</p> <p><b>OTROS</b> Sin datos estadísticos</p> <p><b>Límite DT</b></p>	<p><b>Cuencas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Río Papaloapan - Adajón</li> <li> Adajón - Río Chico</li> <li> Río Chico - Tepehuacán</li> <li> Río Chico - Adajón</li> <li> Adajón - Papaloapan</li> <li> Río Tepehuacán</li> <li> Volcánica - Adajón</li> <li> Adajón - Papaloapan</li> <li> Aguila Agua Clara</li> <li> Gato por Tierra</li> </ul>	<p><b>ESCALA: 1:100,000</b></p> <p>0 1000 2000 4000 Metros</p> <p><b>ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS</b></p> <p>Estación: _____ Contorno: 1000</p> <p>Proyección: _____ Geográfico</p> <p>Coordenadas: _____ Cero 10 minutos</p>	<p><b>MACROLOCALIZACIÓN</b></p>	<p><b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS DE POSGRADO Y ESTUDIOS AVANZADOS</p> <p><b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PÁLFOPÁN, TESEOHACÁN, ESTADO DE VERACRUZ</b></p> <p><b>MAPA DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL</b></p>
---	---	--	---	---	---------------------------------	--

Mapa 3. Hidrología superficial.



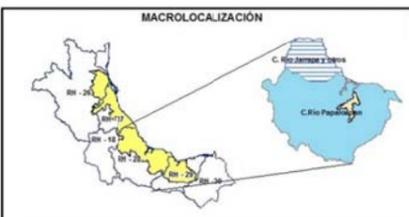
**SIMBOLOGÍA**

<b>Importancia de la población</b>	<b>Infraestructura hidráulica</b>
○ Cabezas municipales	○ Cruce de caminos
○ Otras poblaciones	○ Desagüe controlada
■ Localidades urbanas	○ Unión de drenes
■ Zonas de infraestructura	○ Borde de protección
	○ Camino por rehabilitar
	○ Dren natural
<b>Rasgos hidrográficos</b>	○ Dren por rehabilitar
■ Cuerpos de agua	→ Estado de agua para drenes
— Canal	
— Arroyo	<b>Vías de comunicación</b>
— Río - Arroyo	— Estatal: Pavimentada
— Río - Arroyo intermitente	— Federal - De cuota dividida
— Río - Arroyo ocasionalmente que desaparece	— Federal - Libre no dividida
— Río - Arroyo que desaparece	— Ferrocarril
	— Terrestre
	— Aérea
	— Vereda



**ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS**

Esférico: WGS 1984  
 Proyección: UTM Zona 15  
 Cuadrícula: Carta 1:500,000



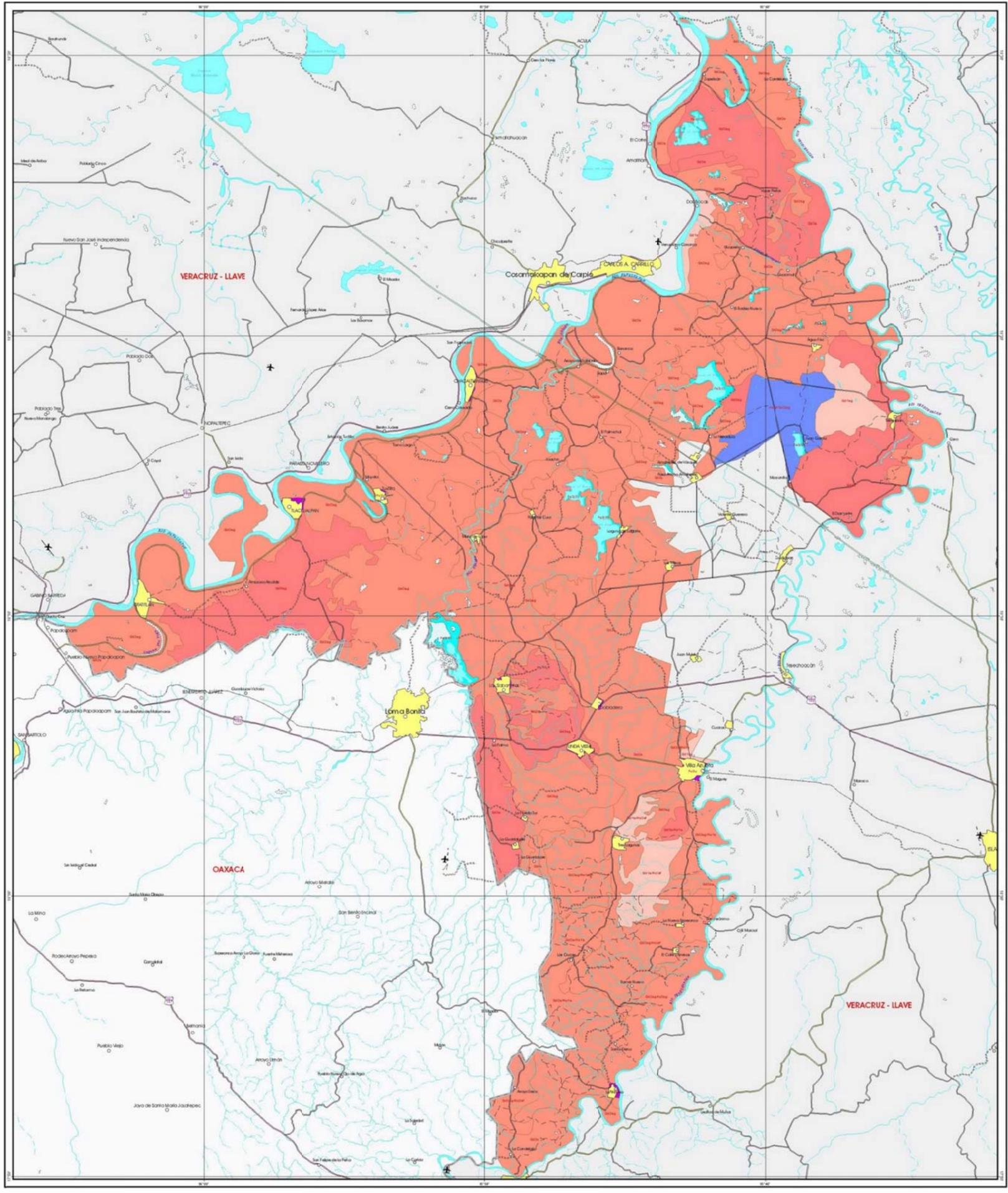
**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
 INSTITUTO DE ENGENIERÍA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO DE TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PAPALOAPAN TESIHOACÁN, ESTADO DE VERACRUZ**

**MAPA DE CADENAMIENTOS EN LOS RÍOS**

ESTACIONES A CADA 500 METROS

Mapa 4. Infraestructura.



**SIEMPRE CONVENIALES**

**Vías de transporte**

- Federal - De doble carril
- Federal - Línea de doble
- Estatal - Pavimentado
- Carrilera de terracería
- Acristal
- Vías de ferrocarril
- Aeropuerto
- Parque acuático
- Nota de barco

**Riegos Hidráulicos**

- Irrigación
- Canal
- Acueducto subterráneo

**Demografía**

**TUXTEPEC**  
De 55,000 a 99,999 hab.

**Loma Bonita**  
De 35,000 a 49,999 hab.

**ELA**  
De 15,000 a 24,999 hab.

**Playa Vicente**  
De 5,000 a 14,999 hab.

**JUQUILA VERDE**  
De 1,000 a 4,999 hab.

**Tuxtlá**  
De 1,000 a 2,999 hab.

**Muyú**  
Menos de 1,000 hab.

**Degradación del suelo**

Clase	Color
Alta	Rojo
Mediana	Naranja
Baja	Amarillo

**MACROLOCALIZACIÓN**

**ESCALA 1:100,000**

**ESPECIFICACIONES CARTOGRAFICAS**

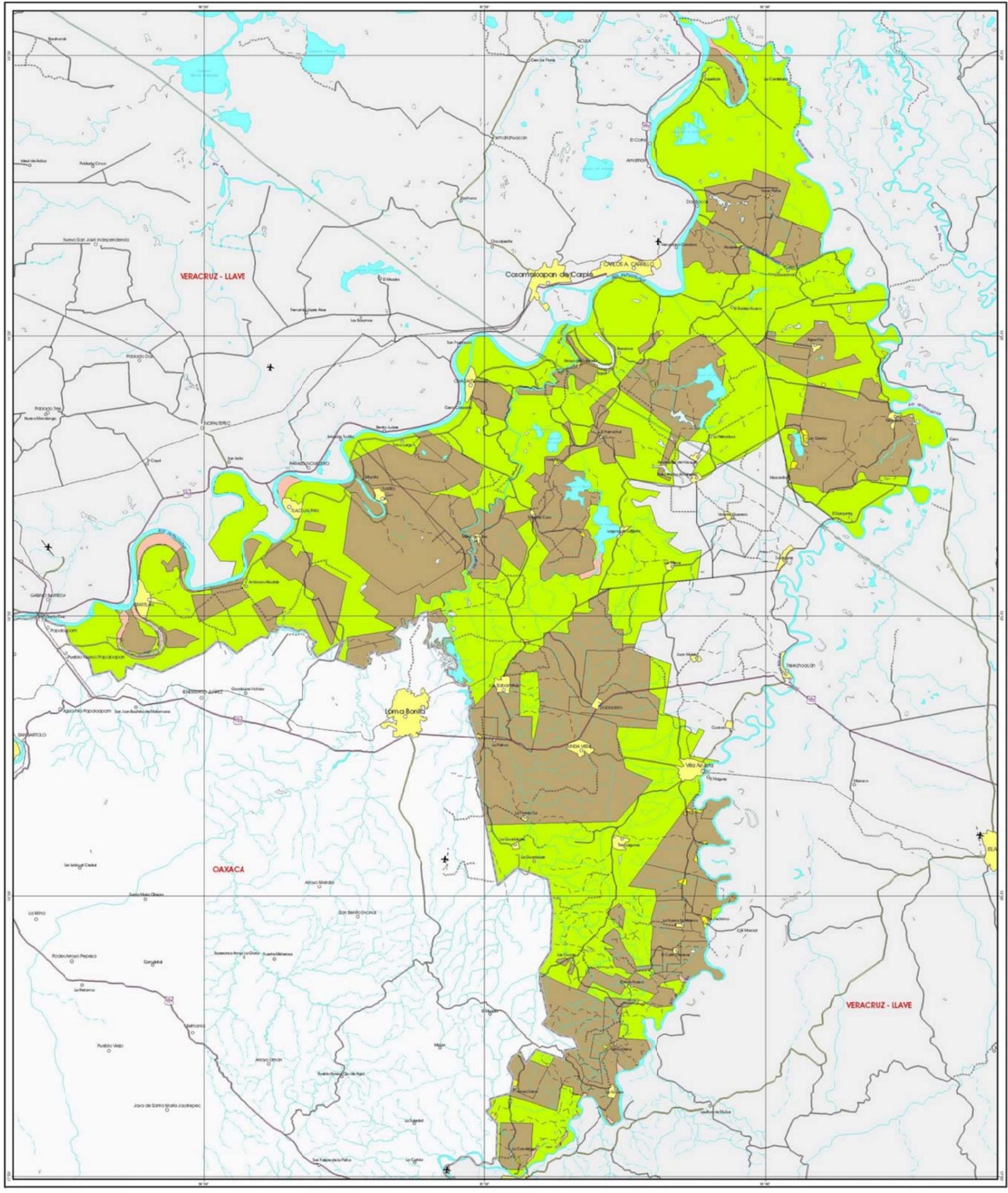
Edición: \_\_\_\_\_  
 Proyección: UTM  
 Coordenada: \_\_\_\_\_

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS DE EDUCACIÓN DE NUESTRA AMÉRICA

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJAZ PALAPAPAN-TERREROCAN, ESTADO DE VERACRUZ**

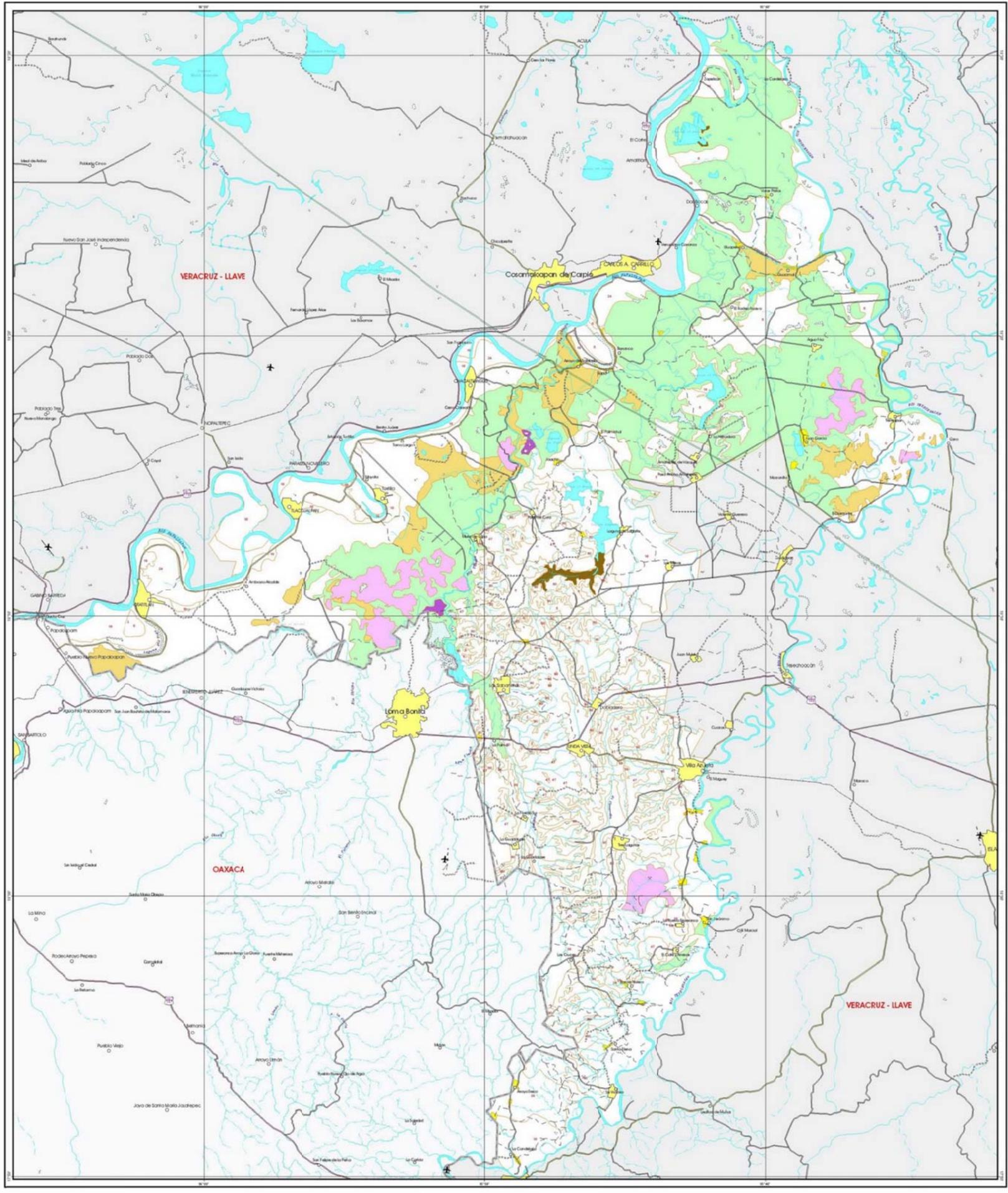
**MAPEA DE DEGRADACIÓN DE SUELO CAUSADA POR EL HOMBRE**

Mapa 5. Degradación del suelo causada por el hombre.



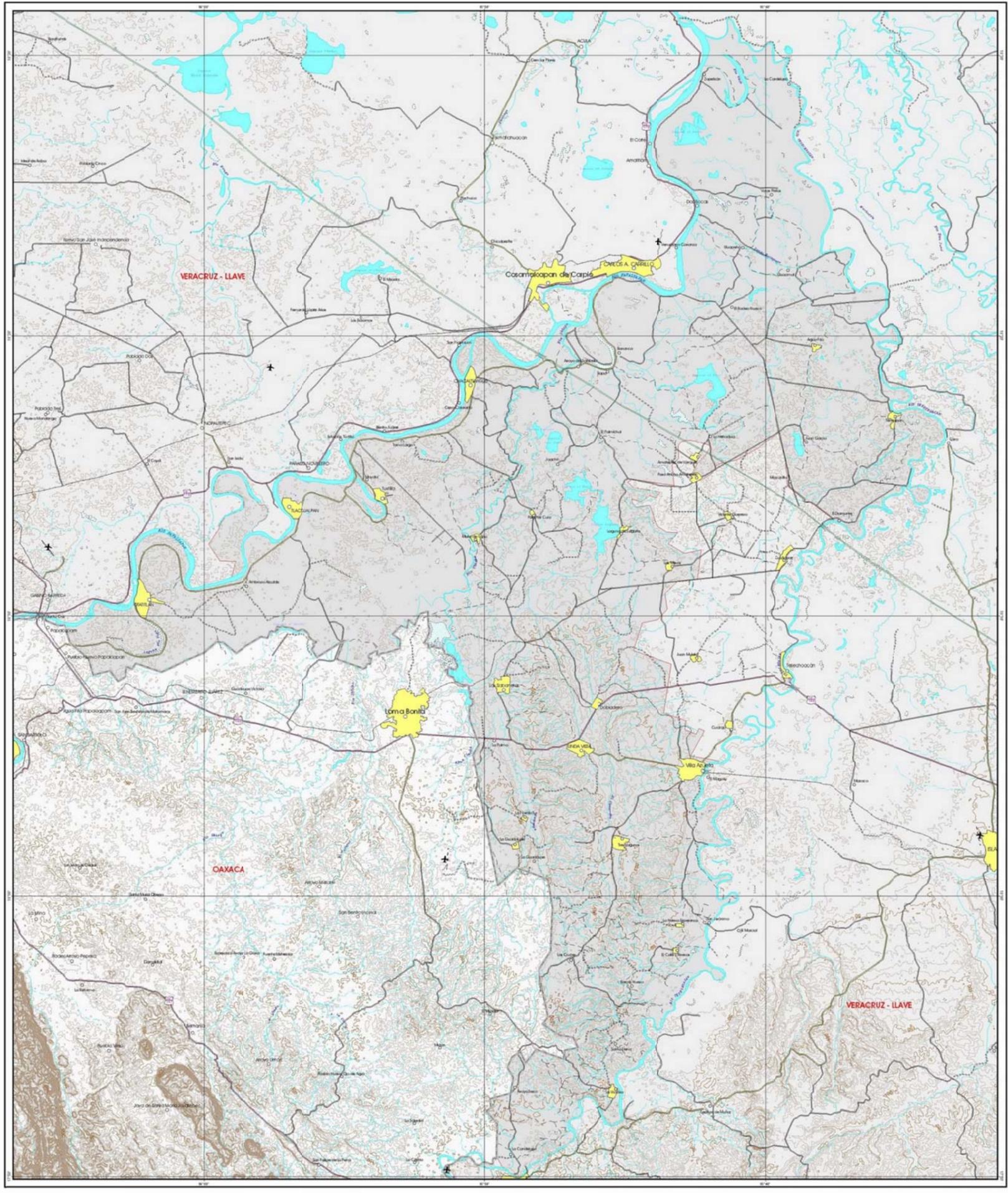
<b>VIAS DE TRANSPORTE</b> Federal - De alto tránsito Federal - Libre tránsito Estatal - Pavedimentado Camarero de terracería Bordo Avenida Puente Vía de ferrocarril Aeropuerto Pista pavimentada Pista de tierra		<b>SÍMBOLOS CONVENCIONALES</b> Línea Hidrográfica Río - Arroyo Río - Arroyo Intermitente Cauce de agua corriente Cauce de agua estancada Canal Acueducto subterráneo Impugnación de la Población Asentamiento Cabecera municipal Otra población Límite Estatal		<b>DEMOGRÁFICO</b> <b>TUXTEPEC</b> De 5,000 a 99,999 hab. <b>Loma Bonita</b> De 5,000 a 99,999 hab. <b>ELA</b> De 5,000 a 24,999 hab. <b>Puerto Viejo</b> De 1,000 a 4,999 hab. <b>UNIDAD VIDA</b> De 1,000 a 4,999 hab. Tuxtla De 1,000 a 4,999 hab. Muxtlán Menor de 1,000 hab.		<b>TENENCIA</b> Estatal Propiedad Privada Zona Federal Zona Urbana		<b>MACROLOCALIZACIÓN</b> ESCALA: 1:100,000 0 1000 2000 3000 4000 Kilómetros <b>ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS</b> Edición: _____ Carta 1:500,000 Proyección: _____ Geográfico Coordenadas: _____ Cero 10 minutos		<b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIAS AGRICOLAS <b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE APLICACIÓN DEL BAJO PÁLAGUAS - TESIQUILAN, ESTADO DE VERACRUZ</b> C. Ríos Palaguanes <b>MAPA DE TENENCIA DE LA TIERRA</b>	
--	--	--	--	---	--	--	--	---	--	---	--

Mapa 6. Tenencia de la tierra.



<b>SÍMBOLOS CONVENCIONALES</b> Vías de transporte: Federal - De doble sentido, Federal - Libre tránsito, Estatal - Pavimentado, Camarón de tránsito, Bordo, Vaseo, Puente, Vía de ferrocarril, Aeropuerto, Polígono militar, Pista de tierra. Rangos Hidrológicos: Río - Arroyo, Río - Arroyo intermitente, Cuenca de agua corriente, Cuenca de agua intermitente, Canal, Afluente subterráneo. Impartación de la Población: Asentamiento, Cabecera municipal, Otra población, Línea de vida.		<b>Demográfico</b> <b>TUXTEPEC</b> <b>Loma Bonita</b> <b>SLA</b> Población: De 5,000 a 99,999 hab., De 25,000 a 49,999 hab., De 15,000 a 24,999 hab., De 1,000 a 9,999 hab., De 1,000 a 4,999 hab., De 1,000 a 9,999 hab., Mayor de 1,000 hab.	<b>Uso del suelo y vegetación</b> Agricultura, Pasto, Forestal - Total, Sabor alto y mediano perennifolio con magnificos y cacaotales, Agricultura (MAB, 2 FRIEL, 8 COPA de ALTO, 24 CHA, 28 MAB, 47 FRIEL y 2 CHA), Sabor de mediana.	<b>ESCALA: 1:100,000</b> 0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 metros <b>ESPECIFICACIONES CARTOGRAFICAS</b> Edición: Octubre 1995 Proyección: Geográfica Coordenadas: Carta 15N UTM	<b>MACROLOCALIZACIÓN</b> 	 <b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS AGRICOLAS <b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO DE TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PARALCAPAN - TERECHAGÁN, ESTADO DE VERACRUZ</b> <b>MAPA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN</b>
--	--	--	---	---	------------------------------	--

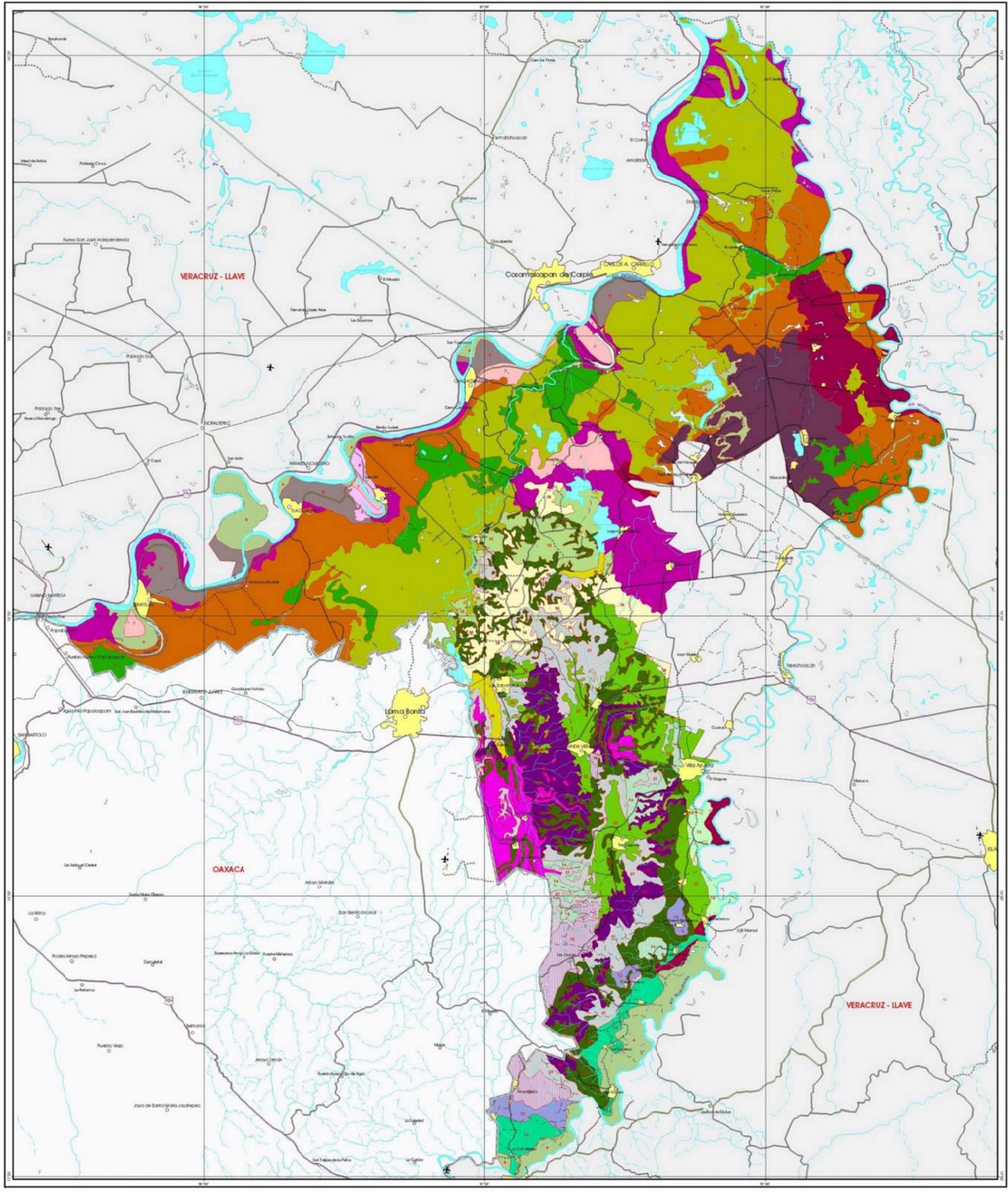
Mapa 7. Usos del suelo.



<p><b>Vías de transporte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Federal - De doble sentido</li> <li> Federal - Libre tránsito</li> <li> Estatal - Asfaltado</li> <li> Carretera de terracería</li> <li> Ancho</li> <li> Venado</li> <li> Puente</li> <li> Vía de ferrocarril</li> <li> Aeropuerto</li> <li> Pista pavimentada</li> <li> Pista de tierra</li> </ul>	<p><b>SÍMBOLOS CONVENCIONALES</b></p> <p><b>Redes hidrográficas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Río - Ancho</li> <li> Río - Ancho intermitente</li> <li> Cauce de agua corriente</li> <li> Canal</li> <li> Alameda subterránea</li> </ul> <p><b>Importancia de la población</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Alcaldía</li> <li> Cabecera municipal</li> <li> Otra población</li> <li> Límite estatal</li> <li> Límite D.F.</li> </ul>	<p><b>Demografía</b></p> <p><b>TUXTEPEC</b></p> <p><b>Loma Bonita</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>De 50,000 a 99,999 hab.</li> <li>De 25,000 a 49,999 hab.</li> <li>De 10,000 a 24,999 hab.</li> <li>Rango Vecinal</li> <li>URDA UDA</li> <li>De 5,000 a 4,999 hab.</li> <li>De 1,000 a 2,499 hab.</li> <li>Muyto</li> <li>Menos de 1,000 hab.</li> </ul> <p><b>Clas.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Cota de nivel marítimo</li> <li> Cota de nivel ordinario</li> </ul> <p>Espaciamiento entre curvas de nivel 10 m</p>	<p><b>ESPECIFICACIONES CAROGRÁFICAS</b></p> <p>ESCALA: 1:100,000</p> <p>0 1000 2000 4000 Metros</p> <p>Estrecho: Cotejo 1:500 Población: Carrográfico Quilómetros: Cotejo 10 minutos</p>	<p><b>MACROLOCALIZACIÓN</b></p>	<p><b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b></p> <p>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS Y ASESORIA AGRICOLA</p> <p><b>MODELACIÓN MORFOLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJOVALLO DE LA TERRAZA, ESTADO DE VERACRUZ</b></p> <p>C. R. Rodríguez</p> <p><b>MAPA DE TOPOGRAFÍA</b></p>
---	--	--	--	---------------------------------	---

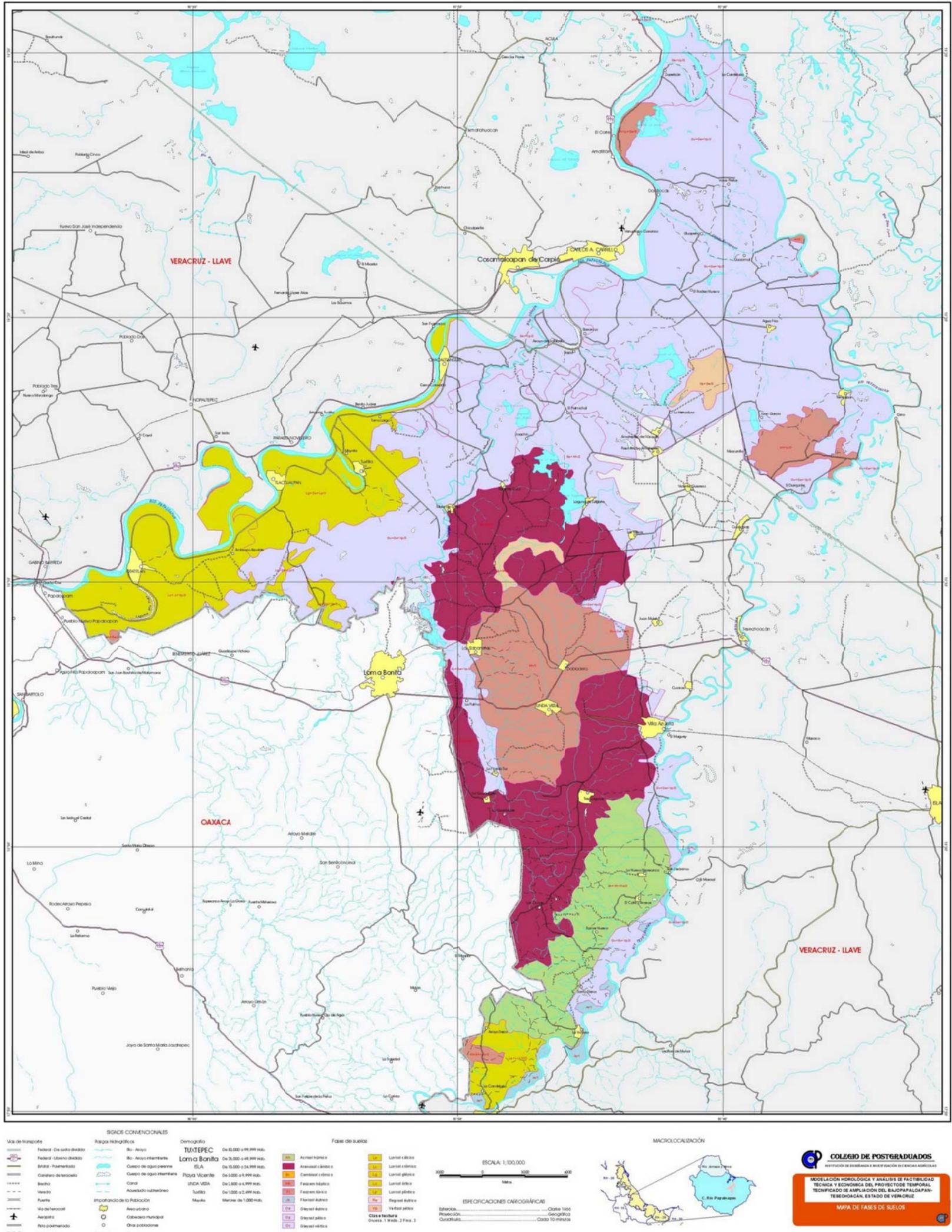
Mapa 8. Topografía.



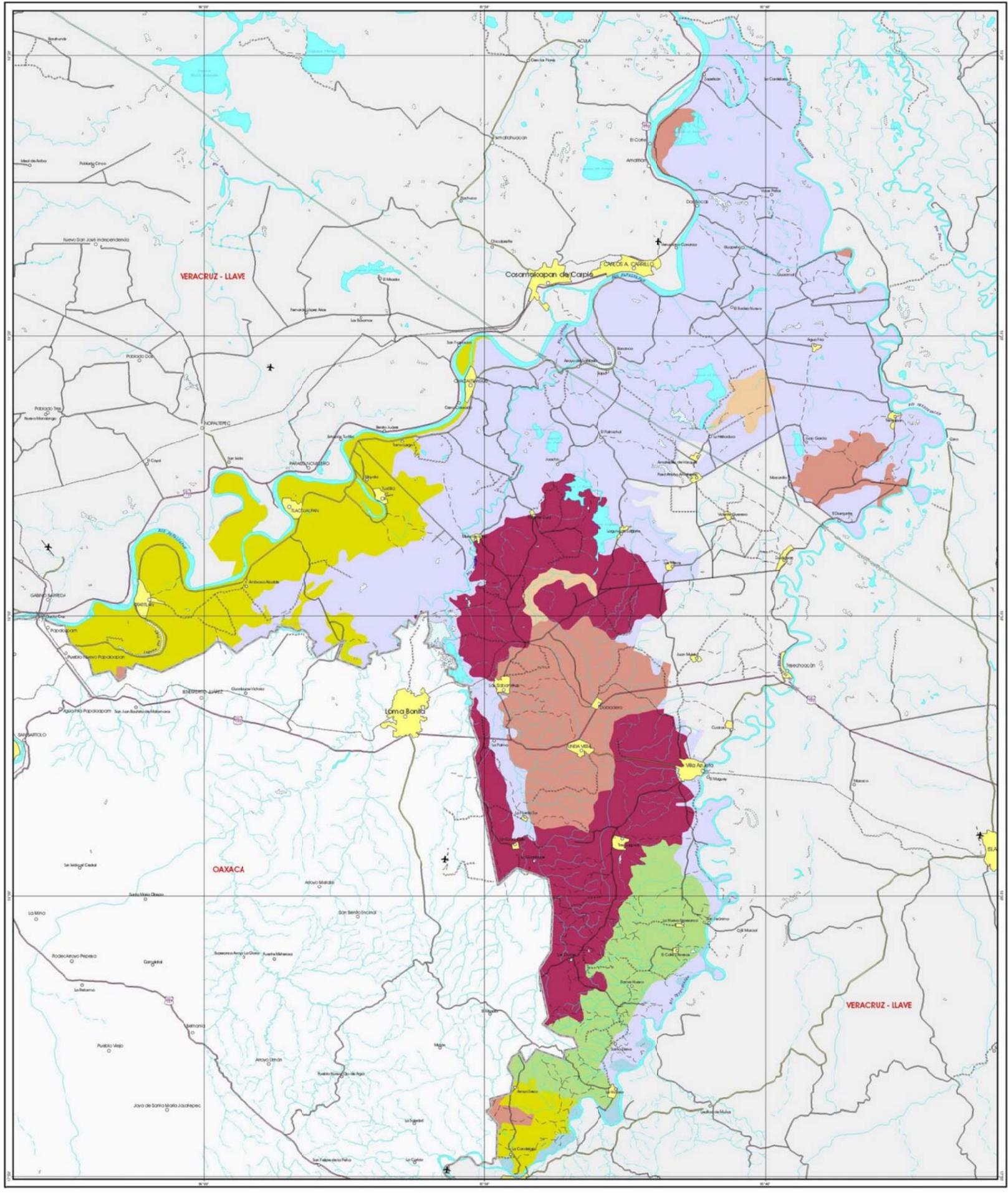


<p><b>SOLOS CONVENCIONALES</b></p> <p><b>Vías de transporte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Federal - De doble vía</li> <li> Federal - Línea de doble</li> <li> Brida - Pavimentada</li> <li> Cajonera de concreto</li> <li> Brida</li> <li> Vehículo</li> <li> Puente</li> <li> Vía de ferrocarril</li> <li> Aeropuerto</li> <li> Pista pavimentada</li> <li> Pista de tierra</li> </ul> <p><b>Riegos Hidráulicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Río - Ancho</li> <li> Río - Ancho y riego</li> <li> Cajón de agua presurizada</li> <li> Cajón de agua inmersa</li> <li> Canal</li> <li> Acueducto subterráneo</li> <li> Importación de la Población</li> <li> Asociación</li> <li> Cabecera municipal</li> <li> Otra población</li> <li> Gruta de agua</li> </ul>	<p><b>Demográfico</b></p> <p><b>TUXTEPEC</b> De 55,000 a 95,999 hab.</p> <p><b>Loma Bonita</b> De 35,000 a 49,999 hab.</p> <p><b>ELA</b> De 15,000 a 24,999 hab.</p> <p><b>Puerto Vicente</b> De 5,000 a 14,999 hab.</p> <p><b>San Juan</b> De 1,000 a 4,999 hab.</p> <p><b>Tuxtla</b> De 1,000 a 4,999 hab.</p> <p><b>Muyú</b> Menor de 1,000 hab.</p>	<p><b>Serie de suelos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> San Juan</li> <li> Zacatepec</li> <li> La Prochita</li> <li> Tuxtla</li> <li> Chalón</li> <li> San Juan</li> <li> Loma</li> <li> Loma</li> <li> Agua</li> <li> Paso del Curio</li> <li> San Juan</li> <li> El Cielo</li> <li> La Colaba</li> <li> La Colaba</li> <li> Mesa de la Cruz</li> <li> Vila Abuelo</li> <li> La Guadalupe</li> <li> La Guadalupe</li> <li> Loma</li> <li> El Bajo de San Juan</li> <li> Loma del Carmen</li> <li> Loma</li> <li> Muyú</li> </ul>	<p><b>MACROLOCALIZACIÓN</b></p> <p>ESCALA: 1:100,000</p> <p>0 1000 2000 3000 4000 Metros</p> <p><b>ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS</b></p> <p>Edición: _____ Carta 1:100,000</p> <p>Proyección: _____ Geográfico</p> <p>Coordenadas: _____ Carta 10:10:10</p>		<p><b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b></p> <p>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO AGRICOLA</p> <p><b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PÁLFOPÁN: TESHODACÁN, ESTADO DE VERACRUZ</b></p> <p><b>MAPA DE SERIES DE SUELOS</b></p>
--	---	---	--	--	---

Mapa 10. Distribución espacial de la series de suelo.

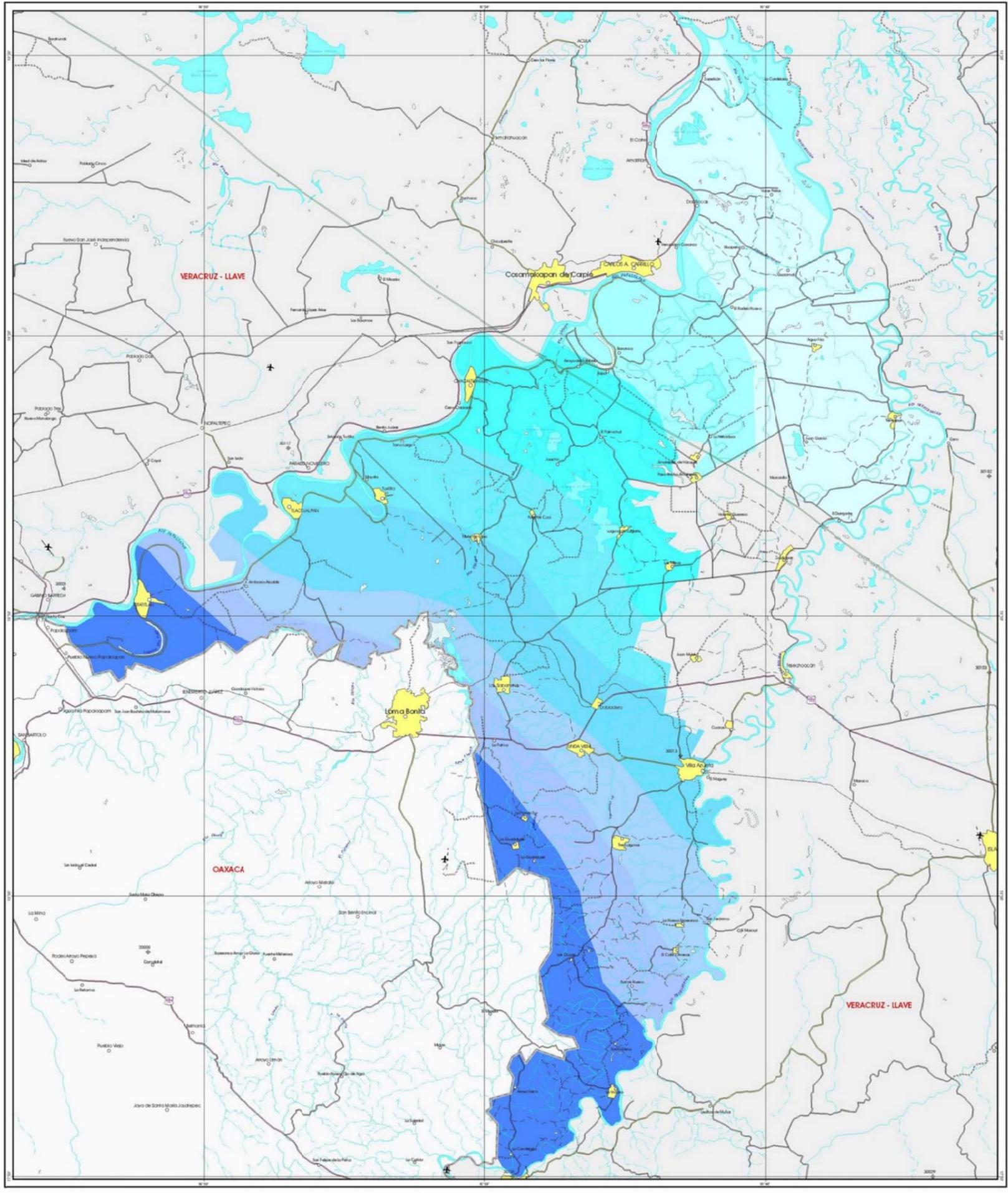


Mapa 11. Distribución espacial de las unidades de suelo.



<b>SOLOS COMERCIALES</b> Federal - De libre acceso Federal - Libre acceso Estatal - Fomento Estatal - Fomento Comuna de desarrollo Bordo Heredo Puente Vía de ferrocarril Aeropuerto Polígono militar Pto. de Nudo		<b>Redes Hidrográficas</b> Río - Arroyo Río - Arroyo intermitente Cauce de agua corriente Cauce de agua intermitente Canal Acueducto subterráneo Inundación de la Población Asentamiento Cabecera municipal Otra población Línea férrea		<b>Demográfico</b> <b>TUXTEPEC</b> De 5,000 a 99,999 hab. <b>Loma Bonita</b> De 25,000 a 49,999 hab. <b>SLA</b> De 5,000 a 24,999 hab. <b>Puerto Vicente</b> De 1,000 a 4,999 hab. <b>SLCA VISTA</b> De 1,000 a 4,999 hab. Tulete De 1,000 a 4,999 hab. Muxte Menos de 1,000 hab.		<b>Ordenes de suelos</b> Alico Arenoso Fisolon Fluvisol Gleysol Luvisol Vertisol		<b>MACROLOCALIZACIÓN</b> ESCALA: 1:100,000 0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 Kilómetros <b>ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS</b> Edición: _____ Carta 1:500 Proyección: _____ Geográfica Coordenadas: _____ Carta 10 minutos		 <b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS <b>MODELACIÓN MORFOLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL RANCHO PALOPIAPAN-TEPEHOACÁN, ESTADO DE VERACRUZ</b> <b>C. Ríos Páez</b> <b>MAPA DE ORDENES DE SUELOS</b>	
--	--	--	--	---	--	---	--	--	--	--	--

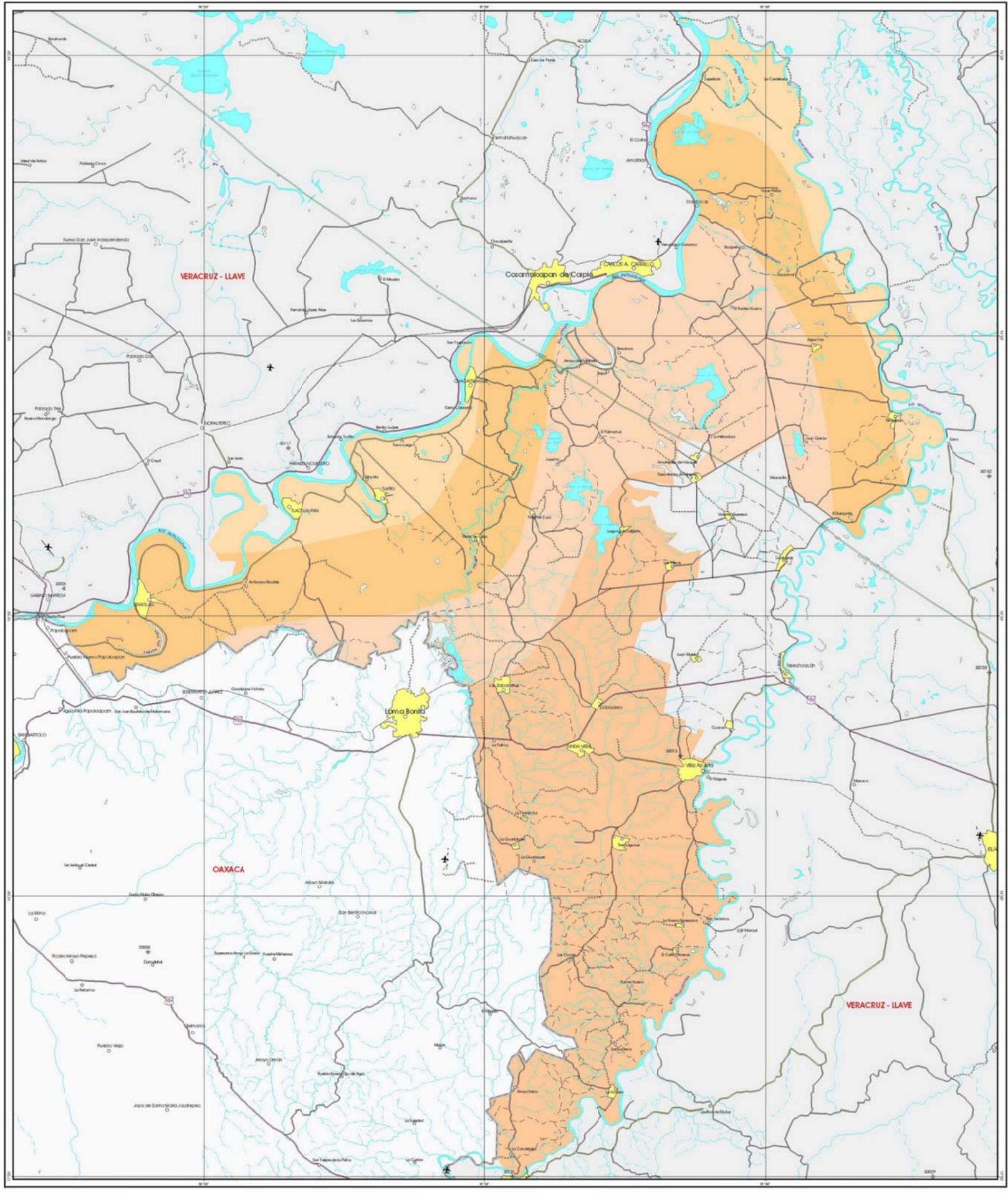
Mapa 12. Distribución espacial de las asociaciones de suelo.



<b>SÍMBOLOS CONVENCIONALES</b> Vías de transporte: Federal - De doble vía, Federal - Línea de doble vía, Estatal - Pavimentado, Carretera de terracería, Bracha, Vuelco, Puente, Vía de ferrocarril, Aeropuerto, Ruta pavimentada, Ruta de tierra. Redes hidrográficas: Río - Arroyo, Cauce de agua corriente, Cauce de agua intermitente, Canal, Acueducto subterráneo, Asesorato, Cabecera municipal, Otra población, Límite estatal.		<b>Demografía</b> <b>TUXTEPEC</b> <b>Loma Bonita</b> <b>SLA</b> Población: De 5,000 a 99,999 hab., De 25,000 a 49,999 hab., De 10,000 a 24,999 hab., De 1,000 a 4,999 hab., De 500 a 999 hab., Menos de 1,000 hab. Centros: CHCS, Sitios demográficos.	<b>Intervalos de precipitación (mm)</b> 1200 - 1300, 1300 - 1400, 1400 - 1500, 1500 - 1600, 1600 - 1700, 1700 - 1800, 1800 - 1900, 1900 - 2000, 2000 - 2100.	<b>ESCALA: 1:100,000</b> 0 1000 2000 4000 6000 Mts. <b>ESPECIFICACIONES CAROGRÁFICAS</b> Estación: Contorno 1:500, Población: Carrográfico, Contorno: Contorno 1:10,000.	<b>MACROLOCALIZACIÓN</b> 	 <b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUCIÓN VINCULADA A LA UNIVERSIDAD DE LOS RÍOS, VERACRUZ <b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO DE TORSORAL TÉCNICO DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PALPALAPAN - TESIHOACÁN, ESTADO DE VERACRUZ</b> <b>MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL</b>
---	--	---	---	---	------------------------------	---

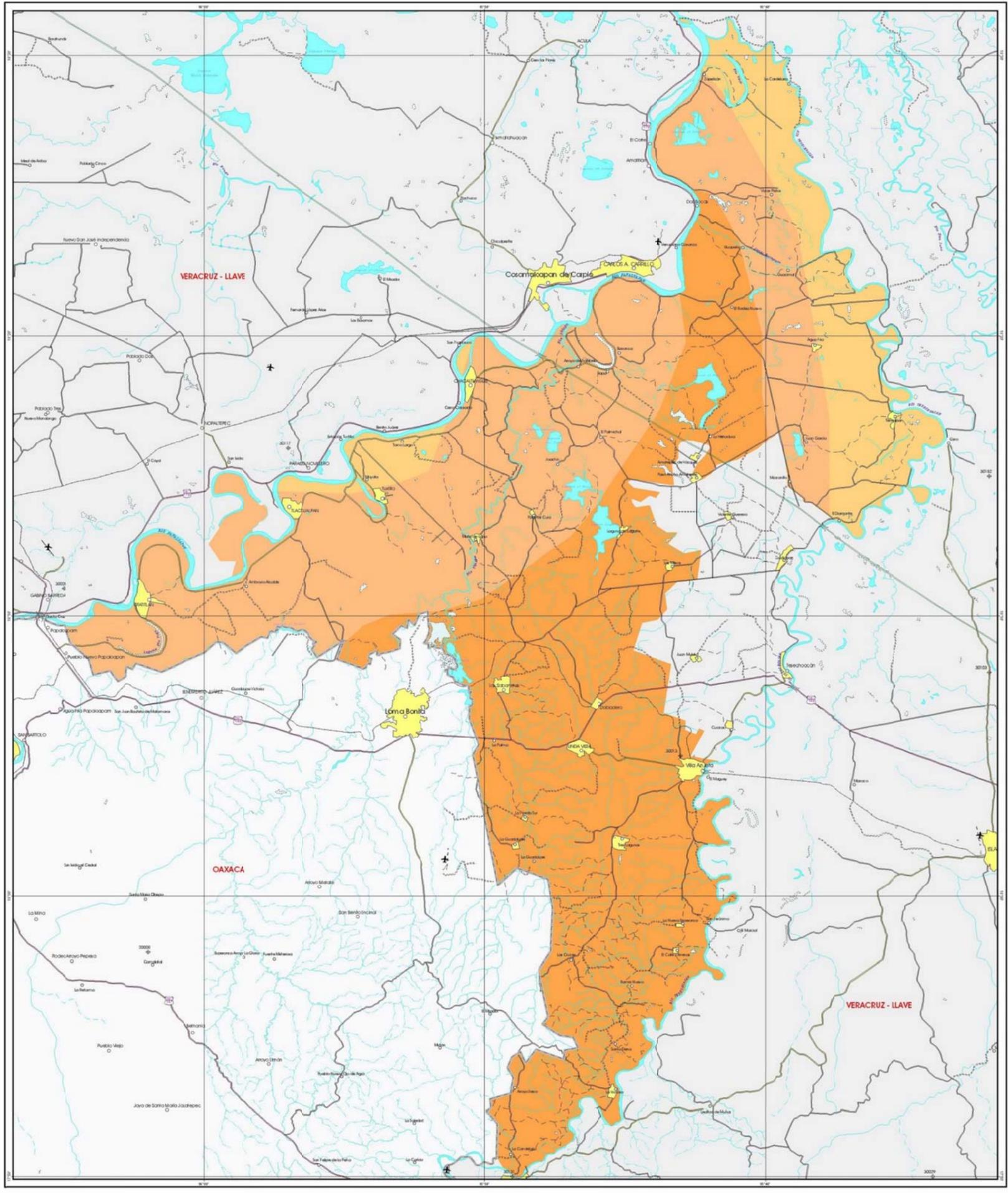
Mapa 13. Precipitación media anual en el área de estudio.





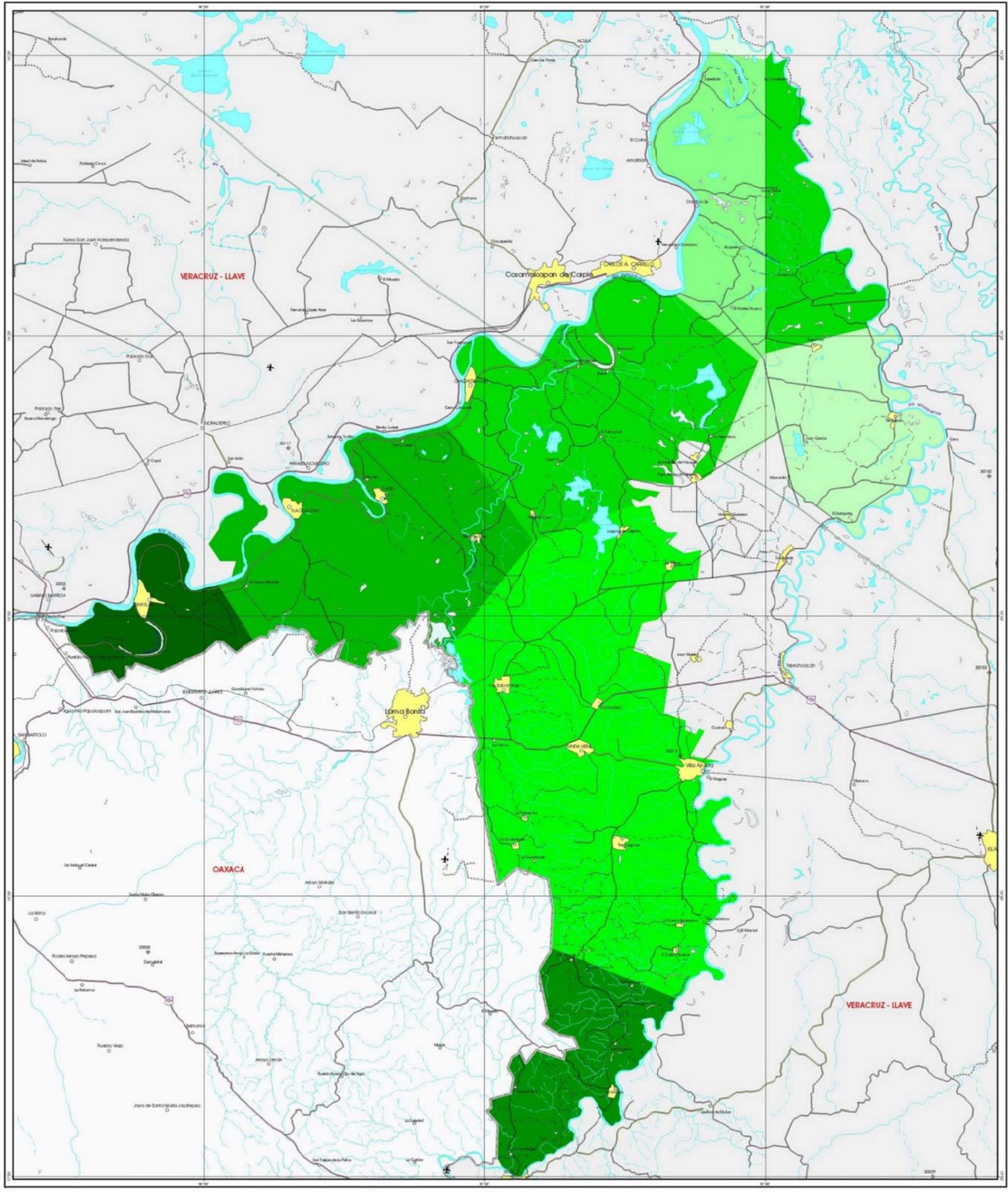
<b>SEÑALES CONVENCIONALES</b> Vías de transporte: Federal - De doble sentido, Federal - Línea de doble, Estatal - Pavimentado, Camarón de concreto, Brújula, Vialidad, Puente, Vía de ferrocarril, Aeropuerto, Pista pavimentada, Pista de tierra. Líneas Hidrográficas: Río - Arroyo, Arroyo intermitente, Campo de agua permanente, Campo de agua intermitente, Canal, Acueducto subterráneo. Importación de la Población: Asociación, Cabecera municipal, Otra población, Línea férrea.		<b>Demográfico</b> <b>TUXTEPEC</b> <b>Loma Bonita</b> <b>SLA</b> Población: De 55,000 a 99,999 hab., De 25,000 a 49,999 hab., De 15,000 a 24,999 hab., De 5,000 a 14,999 hab., De 1,000 a 4,999 hab., De 1,000 a 4,999 hab., Menos de 1,000 hab. CHCS: Situación climatológica.	<b>Evaporación (mm)</b> 1300 - 1400 1400 - 1500 1500 - 1600 1600 - 1700	<b>ESCALA: 1:100,000</b> 0 1000 2000 3000 4000 Metros <b>ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS</b> Edición: _____, Carta 1:500,000 Proyección: _____, Geográfico Coordenadas: _____, Carta 10:100,000	<b>MACROLOCALIZACIÓN</b> 	 <b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO <b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO DE TEMPORALIZACIÓN DE LA SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL MUNICIPIO DE TUXTEPEC, ESTADO DE OAXACA</b> <b>MAPA DE EVAPORACIÓN</b>
---	--	--	---	--	------------------------------	--

Mapa 15. Isolíneas de evaporación.



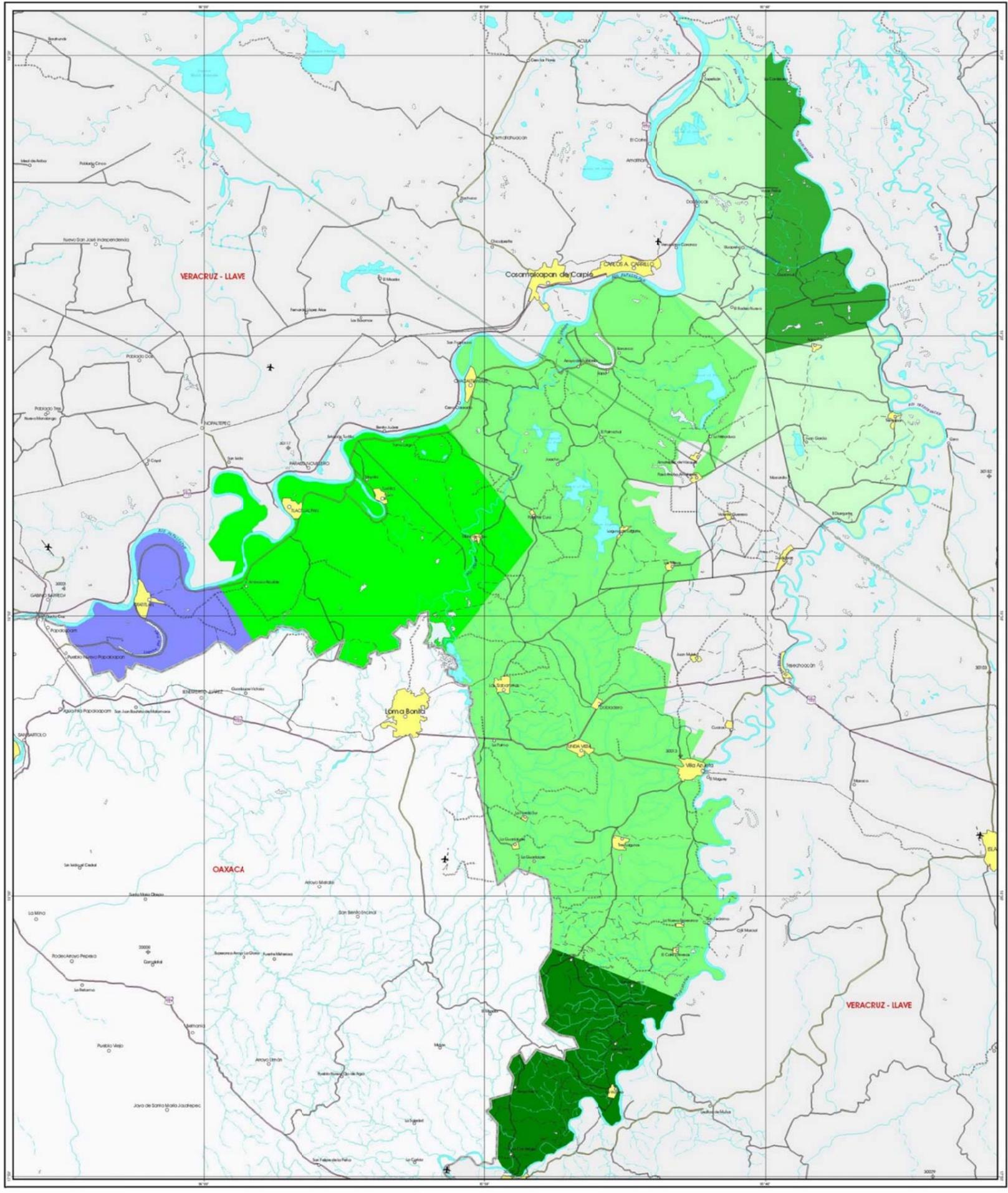
<p><b>SEÑALES CONVENCIONALES</b></p> <p>Vías de transporte:          Federal - Línea doble          Estatal - Línea simple          Carretera de terracería          Brachi          Vial          Puente          Vía de ferrocarril          Aeropuerto          Ruta pavimentada          Ruta de tierra</p> <p>Redes hidrográficas:          Río - Arroyo          Queque de agua corriente          Queque de agua intermitente          Canal          Acueducto subterráneo          Asesorato          Cauce municipal          Otra población          Límite estatal</p> <p>Demografía:  <b>TUXTEPEC</b>          Loma Bonita          OAXACA          PUEBLA          SAN PABLO          MEXICO          OTRAS          Sitios demográficos</p>	<p><b>Evapotranspiración (mm)</b></p> <table border="1"> <tr> <td>1000 - 1200</td> <td>1200 - 1400</td> <td>1400 - 1600</td> <td>1600 - 1800</td> </tr> </table>	1000 - 1200	1200 - 1400	1400 - 1600	1600 - 1800	<p><b>MACROLOCALIZACIÓN</b></p>	<p><b>ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS</b></p> <p>ESCALA: 1:100,000</p> <p>Proyección: UTM          Datum: WGS 84          Datum: Everest          Datum: Everest</p>
1000 - 1200	1200 - 1400	1400 - 1600	1600 - 1800				

Mapa 16. Isolíneas de evapotranspiración.



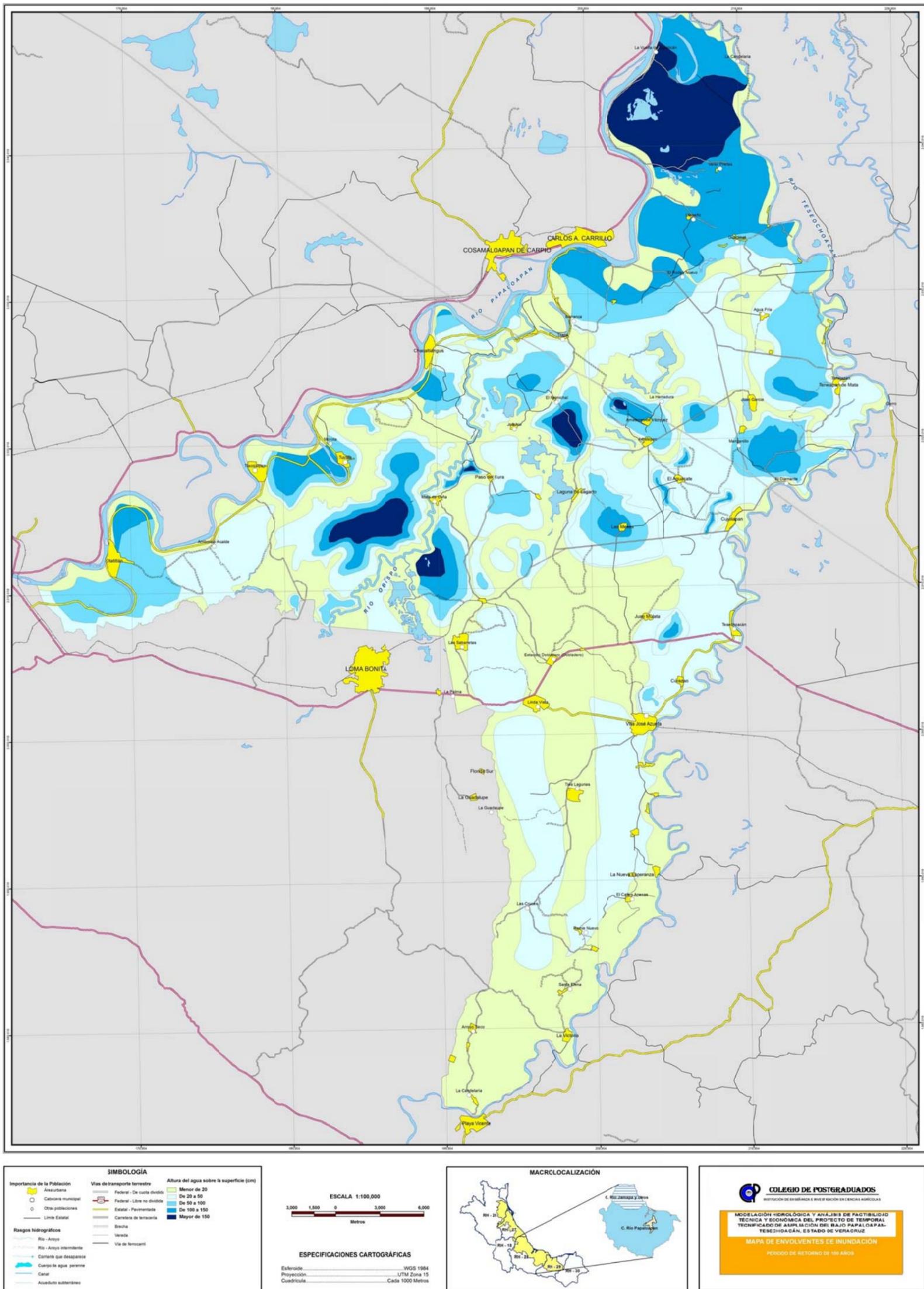
<p><b>SEÑALES CONVENCIONALES</b></p> <p>Vías de transporte: Federal - De doble sentido, Estatal - de doble sentido, Estatal - unidireccional, Carretera de trazo simple, Brecha, Vereda, Puente, Vía de ferrocarril, Aeropuerto, Ruta pavimentada, Pista de tierra.</p> <p>Redes hidrográficas: Río - Arroyo, Río - Arroyo permanente, Cauce de agua corriente, Cauce de agua intermitente, Canal, Acueducto subterráneo.</p> <p>Importación de la Población: Asociativa, Cabecera municipal, Otras poblaciones, Límite estatal.</p>	<p><b>Demografía</b></p> <p><b>TUXTEPEC</b> De 5,000 a 99,999 hab.</p> <p><b>Loma Bonita</b> De 25,000 a 49,999 hab.</p> <p><b>SLA</b> De 10,000 a 24,999 hab.</p> <p><b>Puerto Viejo</b> De 1,000 a 9,999 hab.</p> <p><b>UNCA VIDA</b> De 1,000 a 4,999 hab.</p> <p><b>Suñita</b> De 1,000 a 4,999 hab.</p> <p><b>Muñita</b> Menor de 1,000 hab.</p> <p><b>OTROS</b> Estación demográfica</p>	<p><b>Clima Köppen</b></p> <p>AmB(2)af, AmB(2)af, AmB(2)af, AmB(2)af, AmB(2)af</p> <p>AmB(2)af, AmB(2)af, AmB(2)af, AmB(2)af, AmB(2)af</p>	<p><b>MACROLOCALIZACIÓN</b></p> <p>ESCALA: 1:100,000</p> <p>0 1000 2000 4000 Mts</p> <p>ESPECIFICACIONES GEOGRÁFICAS: Estación: Cumbre 1400, Precipitación: 2000mm, Coordenadas: Oaxaca 10°N</p>	<p><b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS</b> INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIAS AGRICOLAS</p> <p><b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJOPALDAPAN-TEMERHACÁN, ESTADO DE VERACRUZ</b></p> <p><b>MAPA DE CLIMAS SEGUN KÖPPEN</b></p>
--	--	--	--	--

Mapa 17. Distribución de los climas según Köppen.

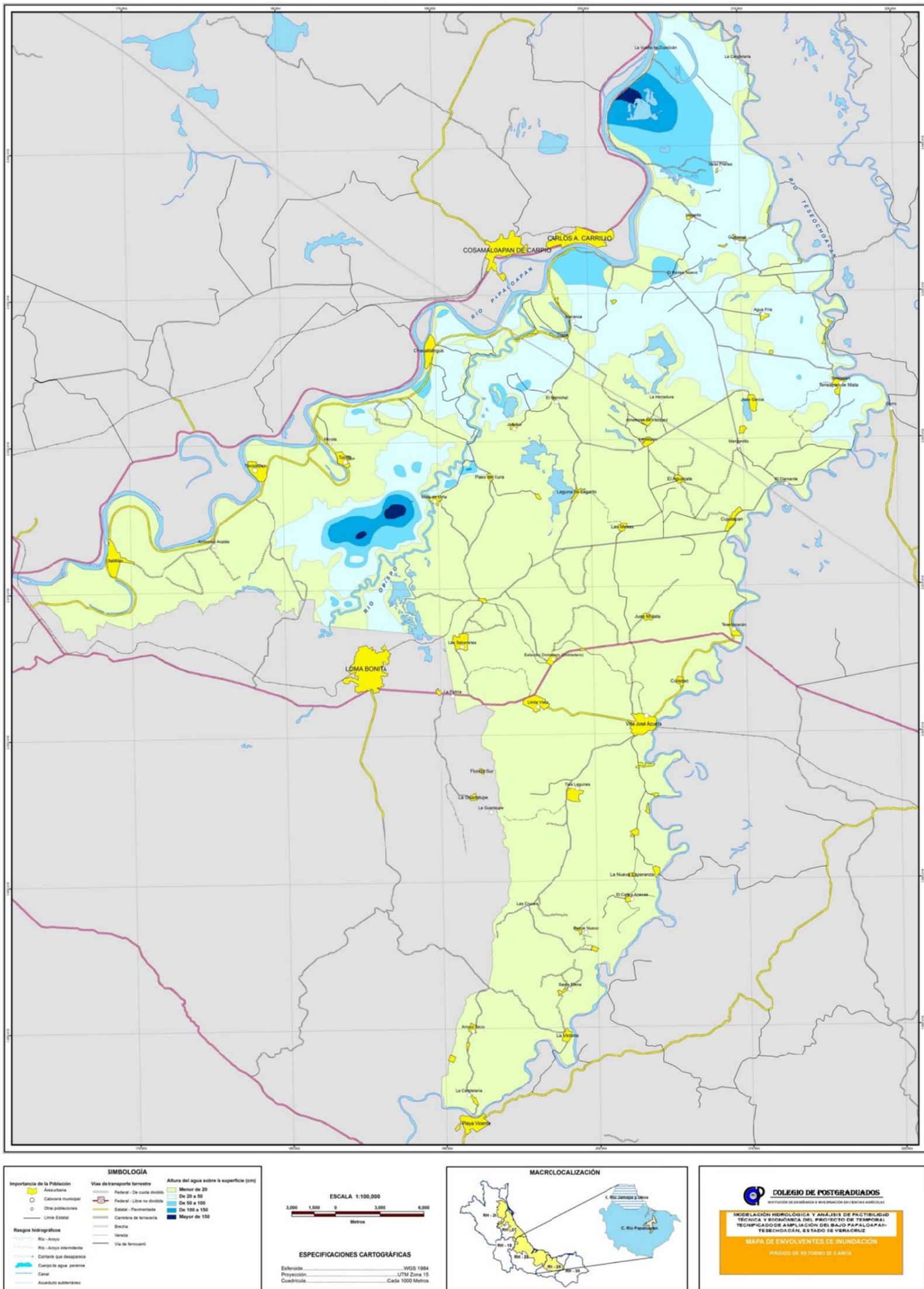


<b>SEÑALES CONVENCIONALES</b> Vías de transporte: Federal - De doble vía, Federal - Línea de doble vía, Camarero de carretera, Ruta, Puerto, Vía de ferrocarril, Aeropuerto, Pista pavimentada, Pista de tierra. Líneas hidrográficas: Río - Arroyo, Arroyo intermitente, Campo de agua permanente, Canal, Acueducto subterráneo. Importación de la Población: Asentamiento, Cabecera municipal, Otra población, Límite estatal.		<b>Demografía</b> <b>TUXTEPEC</b> <b>Loma Bonita</b> <b>SLA</b> <b>Puerto Vicente</b> <b>JUCA VIEJA</b> <b>Tuxtlá</b> <b>Muyú</b> <b>CHCS</b> De 55,000 a 99,999 hab., De 35,000 a 54,999 hab., De 15,000 a 34,999 hab., De 5,000 a 14,999 hab., De 1,000 a 4,999 hab., De 1,000 a 1,499 hab., Menos de 1,000 hab., Situación climatológica.	<b>Clima Thornthwaite</b> Super-húmedo (más de 4000 mm de precipitación anual y un índice de aridez < 0), Húmedo (entre 2000 y 4000 mm de precipitación anual y un índice de aridez < 1), Sub-húmedo (entre 1000 y 2000 mm de precipitación anual y un índice de aridez < 2), Semi-árido (entre 500 y 1000 mm de precipitación anual y un índice de aridez < 3), Super-árido (menos de 500 mm de precipitación anual y un índice de aridez > 3).	<b>MACROLOCALIZACIÓN</b> ESCALA: 1:100,000 ESTADÍSTICAS CAROGRÁFICAS: Estación: Ocotlán 1855, Población: 5000 personas, Cuadrícula: Ocotlán 10 minutos. COLEGIO DE POSTGRADUADOS, INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS, MODELANCIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO TEMPORAL TECNIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL BAJOPALMOPAN-TERREHONCÁN, ESTADO DE VERACRUZ, MAPA DE CLIMAS SEGUN THORNTHWAITTE II MODIFICADO.
---	--	---	---	--

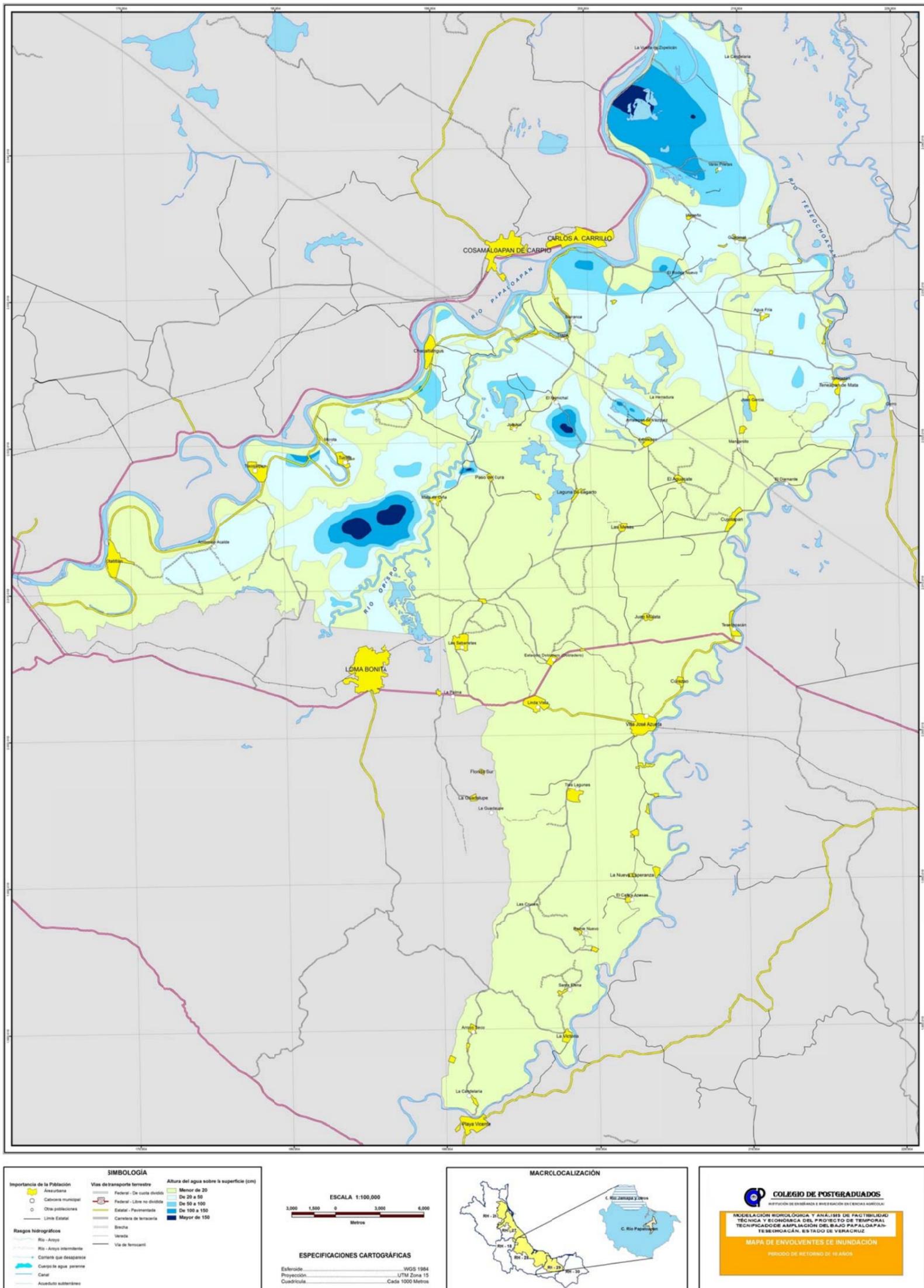
Mapa 18. Distribución de los climas según Thornthwaite.



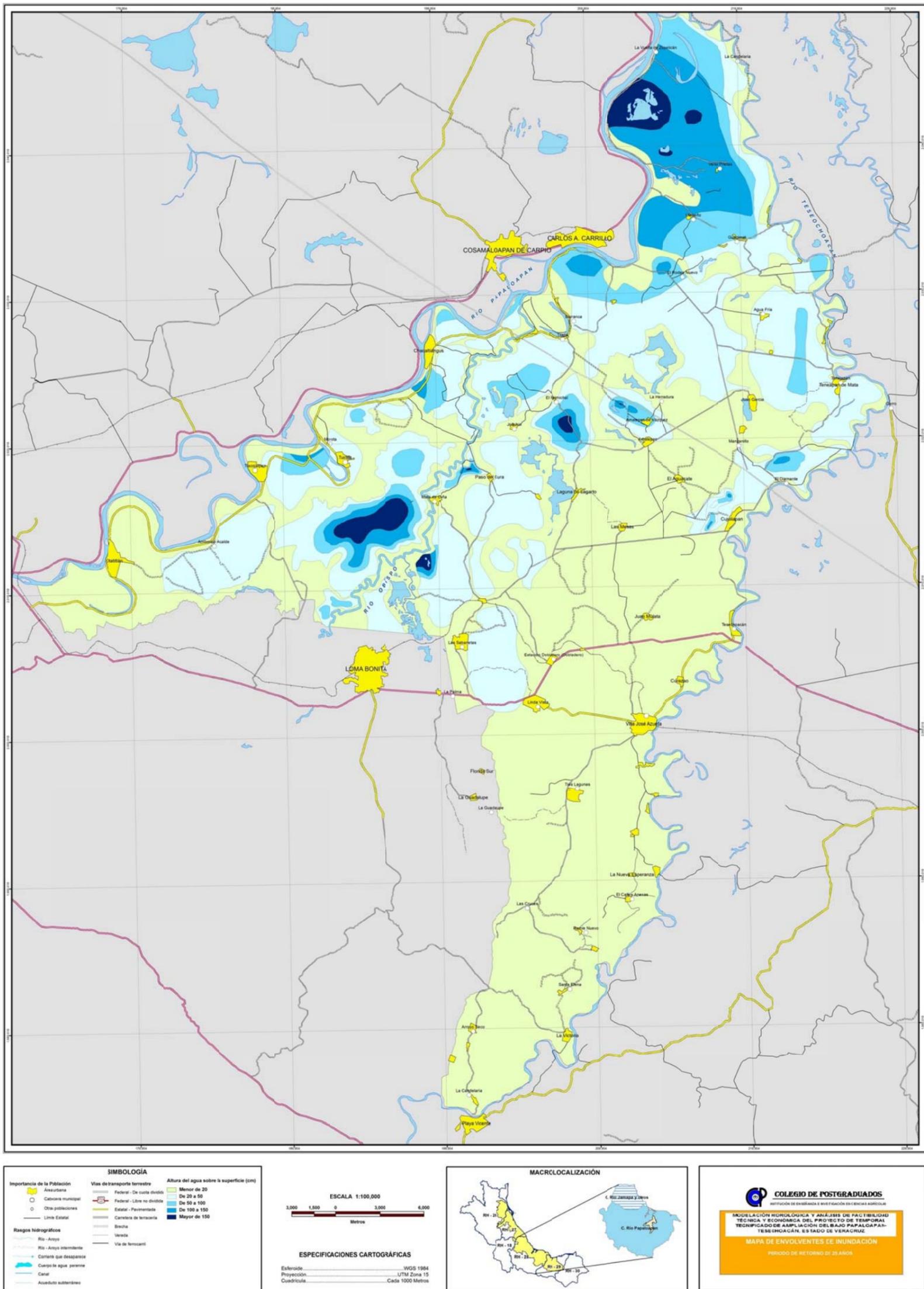
Mapa 19. Superficie inundable en la zona de estudio, Tr = 100 años.



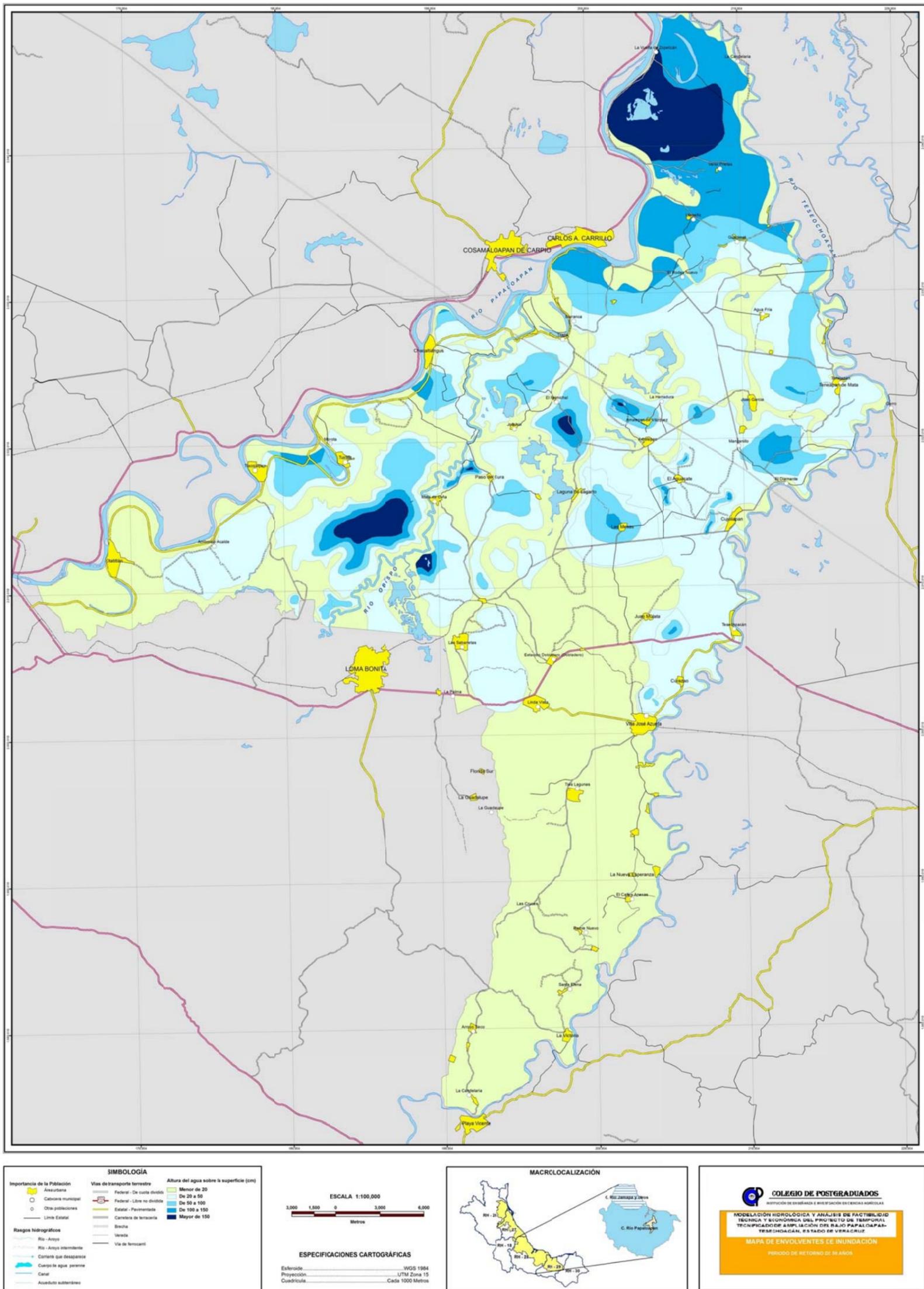
Mapa 20. Superficie inundable en la zona de estudio, Tr = 5 años.



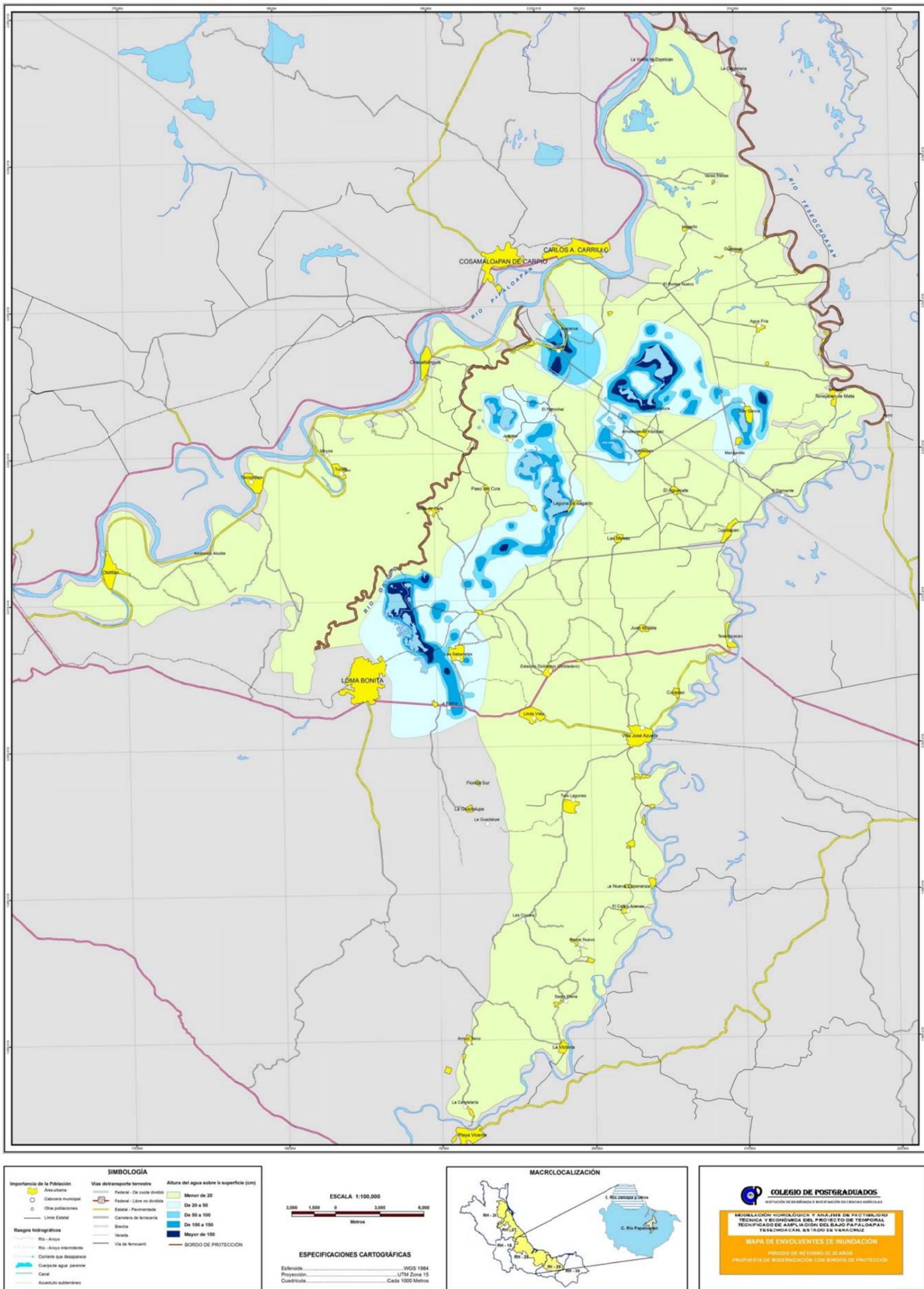
Mapa 21. Superficie inundable en la zona de estudio, Tr = 10 años.



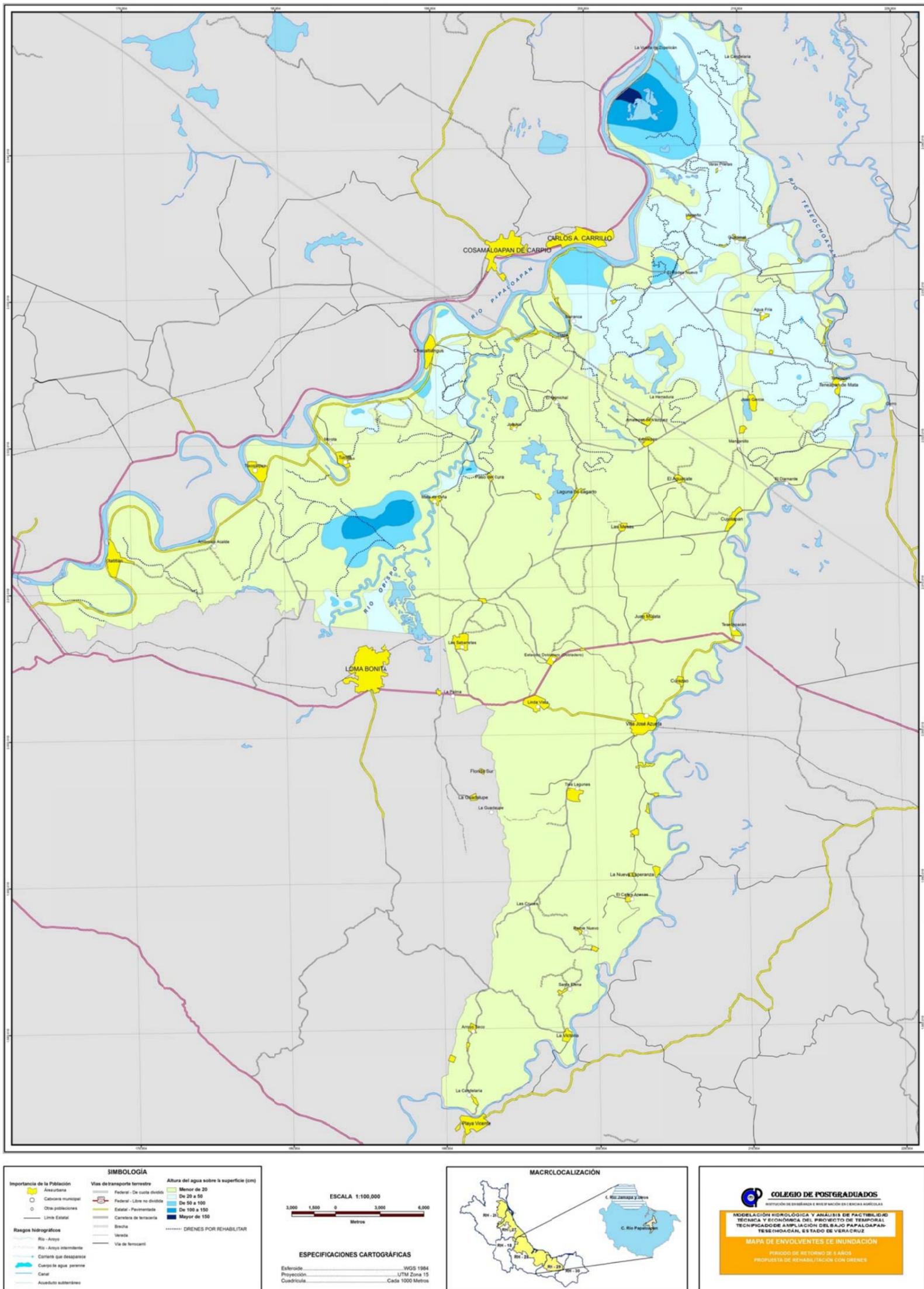
Mapa 22. Superficie inundable en la zona de estudio, Tr = 25 años.



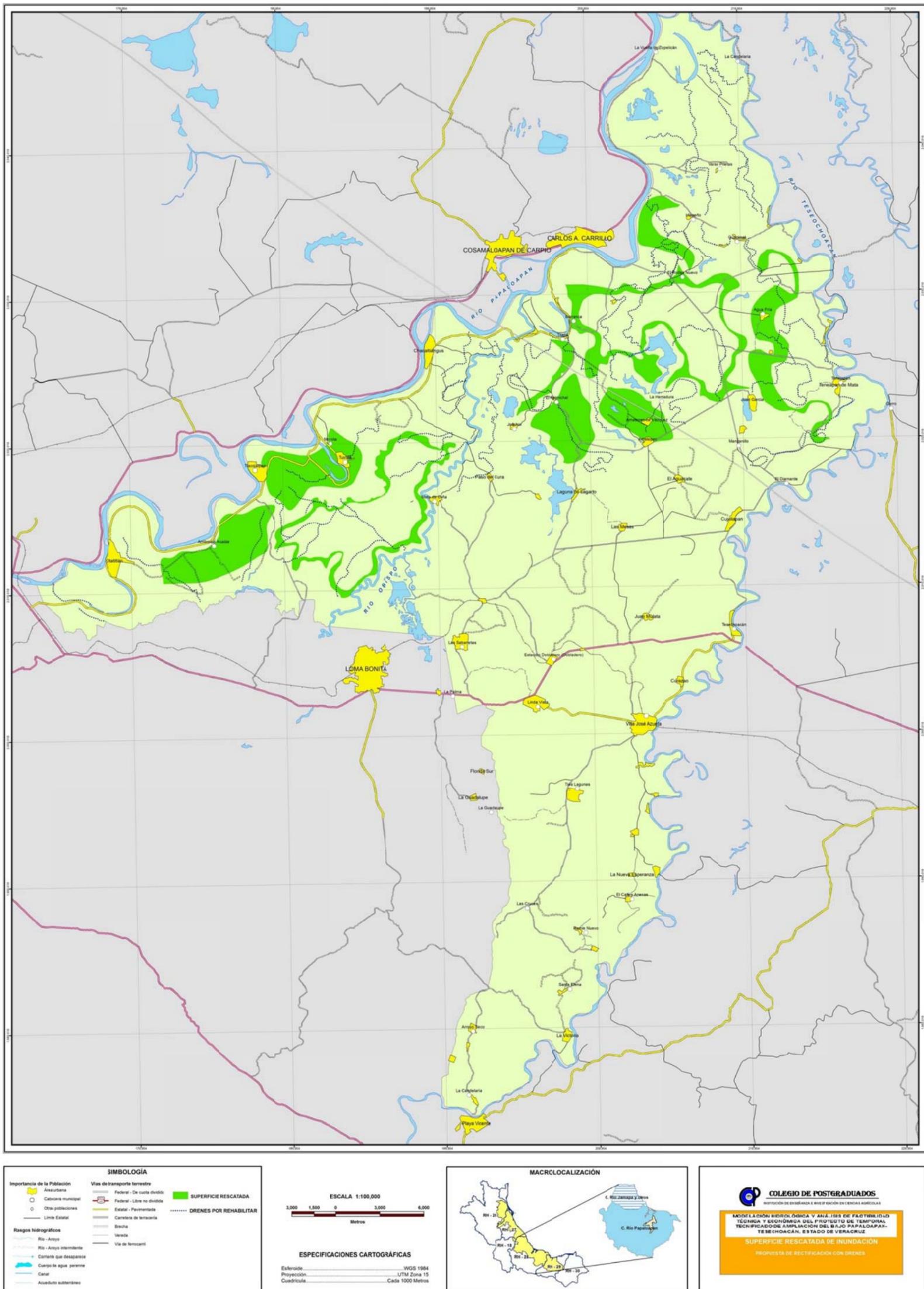
Mapa 23. Superficie inundable en la zona de estudio, Tr = 50 años.



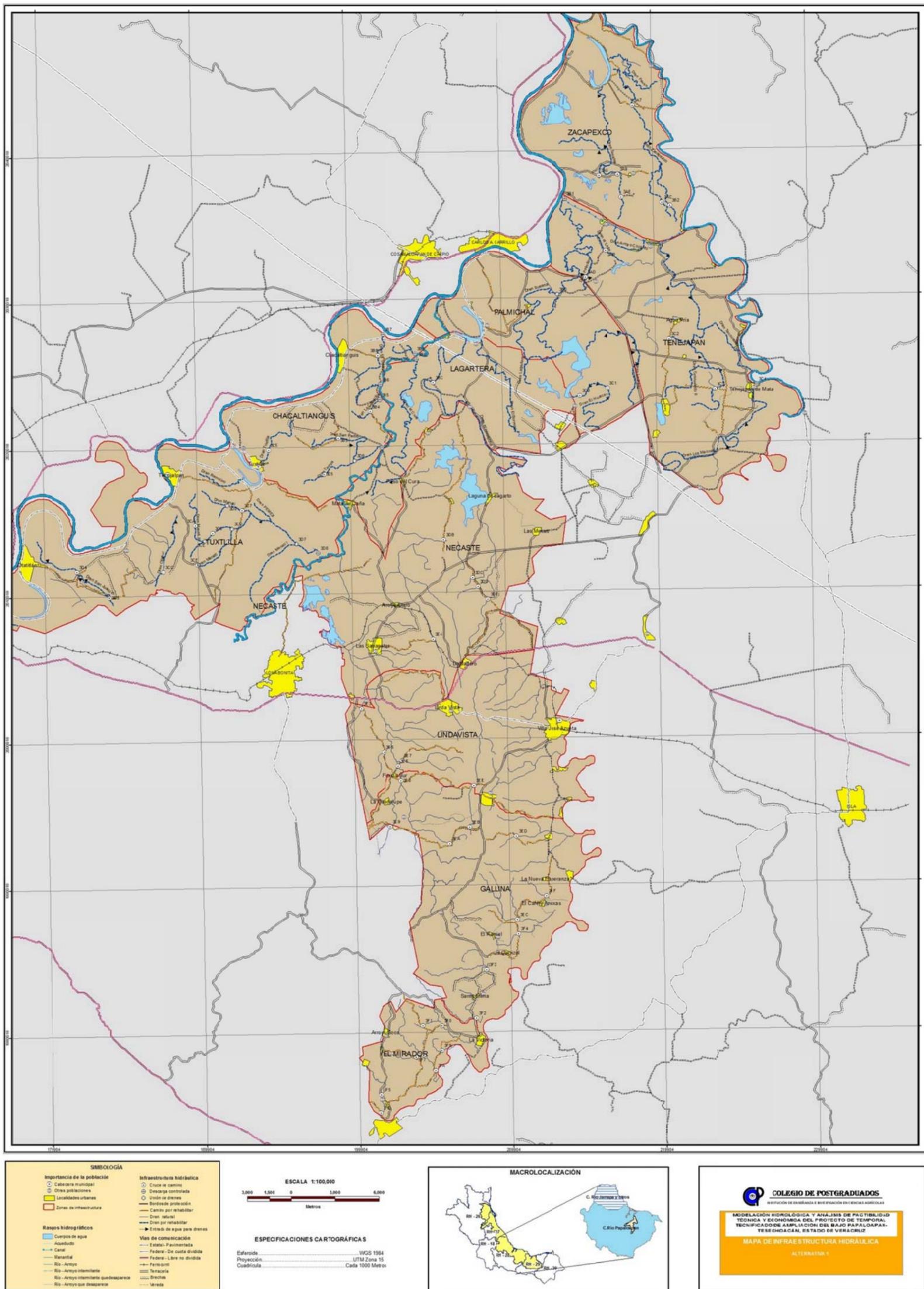
Mapa 24. Superficie inundable, con construcción de bordos, Tr = 25 años.



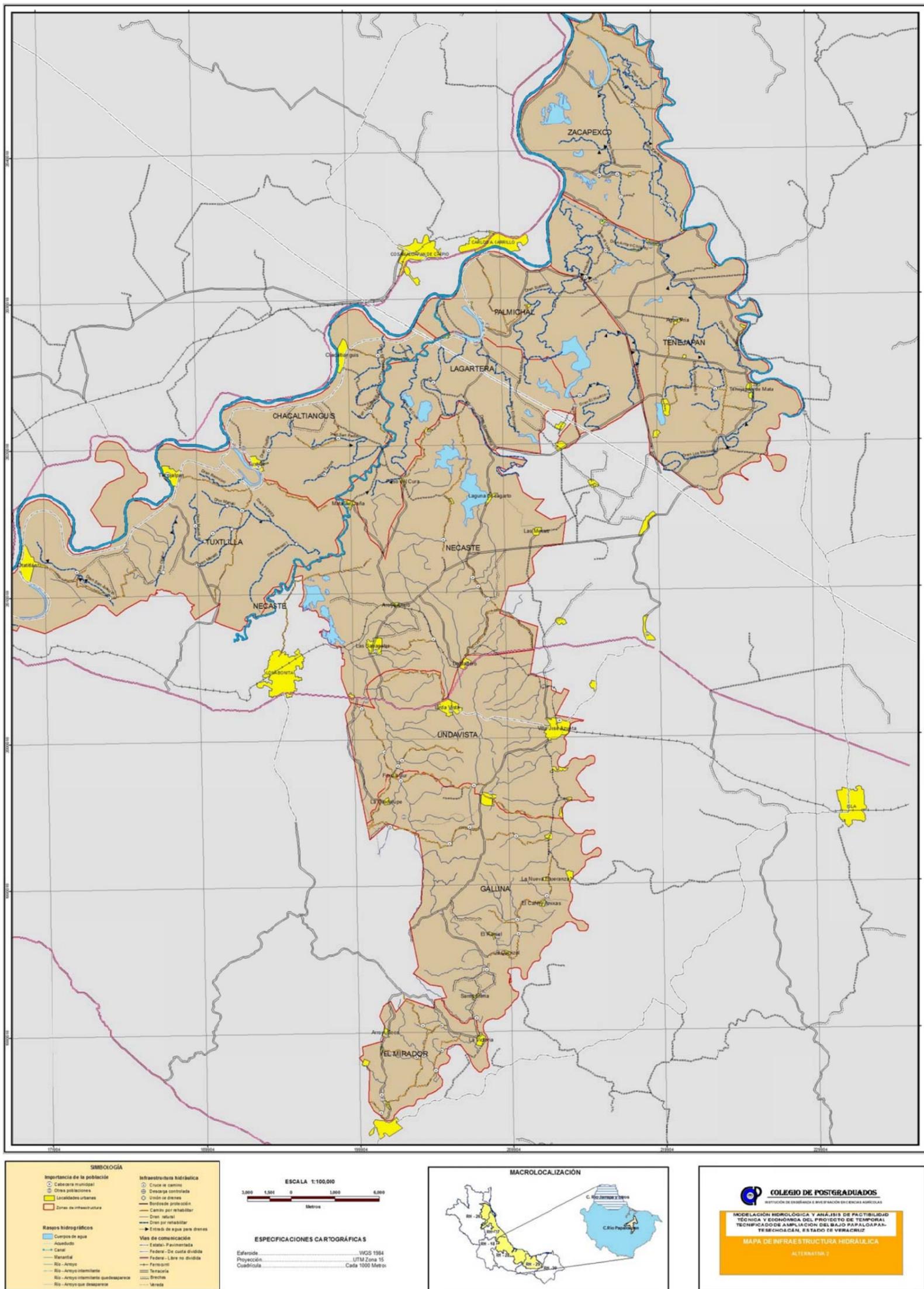
Mapa 25. Superficie inundable, con drenes, Tr = 5 años.



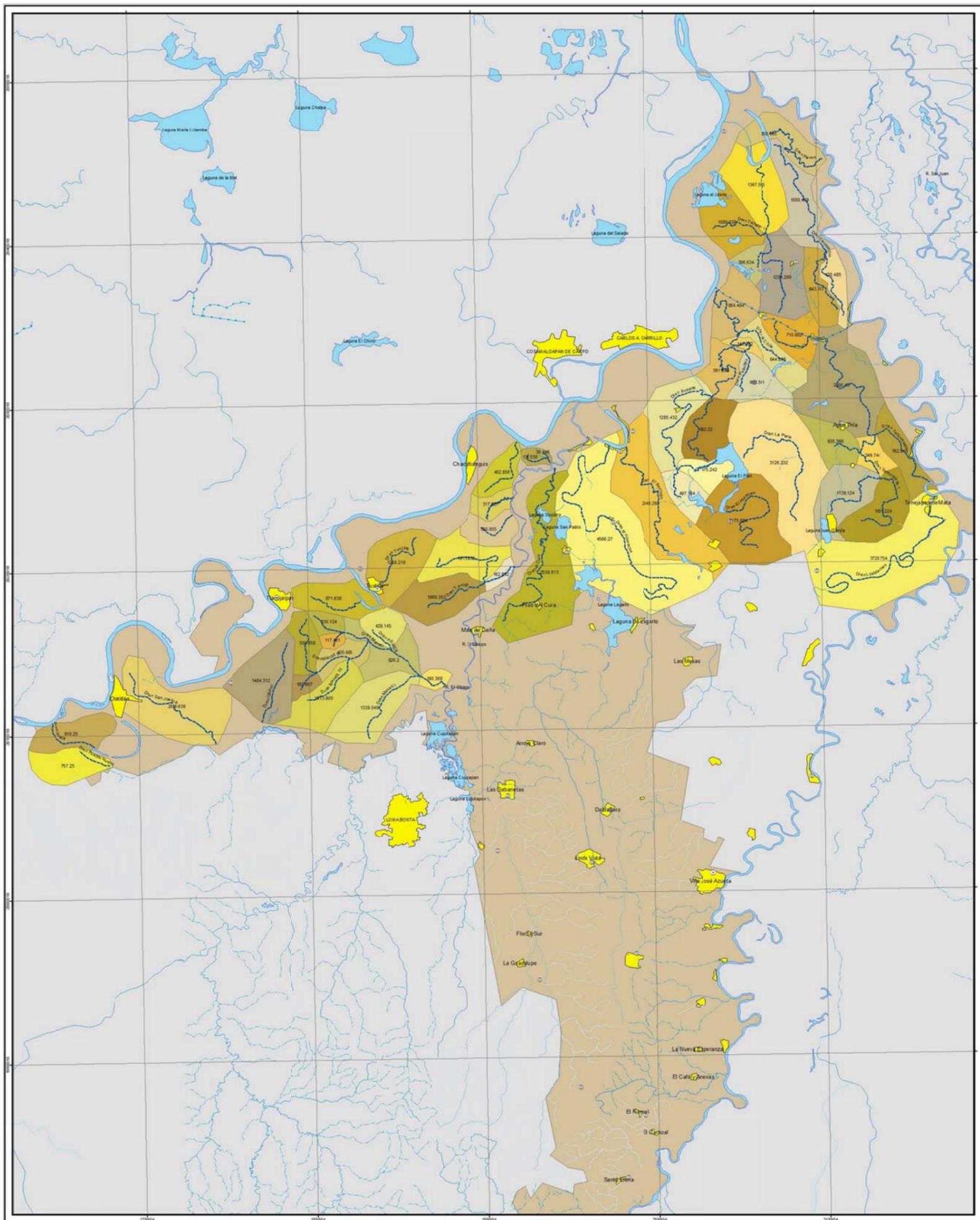
Mapa 26. Superficie rescatable, considerando la rectificación de drenes.



Mapa 27. Infraestructura para el desarrollo del proyecto, alternativa 1.



Mapa 28. Infraestructura para el desarrollo del proyecto, alternativa 2.



**SIMBOLOGÍA**

**Importancia de la población**

- Cabecera municipal
- Otras poblaciones
- Localidades urbanas

**Rasgos hidrológicos**

- Cuerpos de agua
- Aguadote
- Canal
- Manantial
- Río - Arroyo
- Río - Arroyo intermitente
- Río - Arroyo ocasionalmente que desecan
- Río - Arroyo que desecan

**Infraestructura hidráulica**

- Dren por rehabilitar

**Subcuencas de drenes**

- Superf. (ha)

**Vías de comunicación**

- Estatal - Pavimentada
- Federal - De cuota dividida
- Federal - Libre no dividida
- Ferrocarril
- Terrestre
- Brújula
- Vereda



**ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS**

Esférico: WGS 1984  
 Proyección: UTM Zona 15  
 Cuadrícula: Carta 1:500 Metro



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
 INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIÓN E INSTRUCCIÓN DE EDUCACIÓN AGRÍCOLA

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO DE TEMPORALIZACIÓN DE AMPLIACIÓN DEL BAJO PAPALAPA - TESHCHAGÁN, ESTADO DE VERACRUZ**

**MAPA DE SUBCUENCAS POR DREN**

INSTRUMENTOS Y RECURSOS

Mapa 29. Subcuencas por dren.