

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

30
2 ej.

GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DEL CURSO BAJO DEL
RIO VERDE, OAXACA

BIBLIOTECA CENTRAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

PRESENTA:

JOEL ZAVALA CRUZ

1985



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	<u>Pag.</u>
1. INTRODUCCION	10
2. MARCO CONCEPTUAL	15
2.1 Conceptos sobre Geomorfología Fluvial.	15
2.2 Geomorfología Fluvial y Aspectos Hidrológicos.	20
2.3 El Uso del suelo en las Llanuras Fluviales.	26
3. METODOLOGIA	29
3.1 Hipótesis de Trabajo	29
3.2 Objetivos	30
3.3 Métodos y Técnicas de Comprobación.	31
4. ANTECEDENTES	35
5. AREA DE ESTUDIO	40
5.1 Localización Geográfica.	40
5.2 Topografía	42
5.3 Geología	42
5.4 Climas	46
5.5 Hidrología	48
5.6 Suelos	53
5.7 Uso del Suelo	55
6. LLANURA FLUVIAL	61
6.1 Morfología Fluvial	64
6.1.1 Patrones de escurrimiento.	67

	<u>Pág.</u>
6.1.1.1 El Patrón Recto.	69
6.1.1.2 El Patrón Anastomosado.	71
6.1.1.3 El Patrón Meándrico.	88
6.1.2 Morfología de los Lechos de Inundación.	89
6.1.2.1 Los Lechos de Inundación en la Llanura Fluvial Erosiva.	90
6.1.2.2 Los Lechos de Inundación en la Llanura Acumulativa.	93
6.1.3 Tendencia de los Azolves en Suspensión.	99
6.2 Morfología Fluvial y el Uso Actual del Suelo.	104
6.2.1 Tipos de Vegetación.	104
6.2.2 Actividades Agropecuarias.	110
6.2.3 Asentamientos Humanos.	112
6.2.4 Obras del Proyecto Río Verde.	114
6.3 Aspectos Hidrológicos del Curso Bajo del Río Verde.	116
6.3.1 Análisis Estadístico de los Gastos Máxi- mos Anuales.	117
6.3.1.1 Método de Gumbel.	117
6.3.1.2 Método de Nash.	118
6.3.1.3 Método de Lebediev	120
6.3.1.4 Distribución Log-Pearson Tipo III.	123

	<u>Pág.</u>
6.3.2 Fases del Esguerrimiento en la Llanura Fluvial Mediante el Método de Area Pendiente.	128
6.4 Riesgos de Inundación en la Llanura Fluvial.	139
7. CONCLUSIONES	148
8. RECOMENDACIONES	153
9. BIBLIOGRAFIA	157
APENDICE 1: Métodos Estadísticos Aplicados en el Análisis de los Gastos Máximos del Río Verde, - Oaxaca.	161
APENDICE 2: Estimación de Caudales Mediante el Método de Área-Pendiente.	167

INDICE DE FIGURAS

1. Lechos de inundación en llanuras fluviales erosivas.
2. Lechos de inundación en llanuras fluviales acumulativas.
3. Ajuste de gastos máximos con diferentes métodos estadísticos, procesados por Maza y García (1976) y SOP (1975), Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
4. Perfil Longitudinal del Río Verde*
5. Perfiles geomorfológicos*
6. Recta de ajuste de la tendencia de los azolves en suspensión y escurrimiento anuales, mediante el método de mínimos cuadrados. Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
7. Ajuste de gastos máximos aplicando diferentes métodos estadísticos. Estación Paso de la Reina, Río Verde, Oaxaca.

* Localización al final del trabajo.

INDICE DE MAPAS Y CARTAS

1. Topografía
2. Geología
3. Clasificación de suelos por su textura
4. Carta topográfica de la llanura fluvial*
5. Carta geomorfológica*
6. Modificaciones del lecho menor observadas en diferentes años*.
7. Morfología comparativa del lecho menor y llanura de inundación inmediata, en 1967 y 1979-1980*.
8. Carta de lechos de inundación.*
9. Carta de uso actual del suelo.*

* Localización al final del trabajo.

INDICE DE MAPAS Y CARTAS

1. Topografía
2. Geología
3. Clasificación de suelos por su textura
4. Carta topográfica de la llanura fluvial*
5. Carta geomorfológica*
6. Modificaciones del lecho menor observadas en diferentes años*.
7. Morfología comparativa del lecho menor y llanura de inundación inmediata, en 1967 y 1979-1980*.
8. Carta de lechos de inundación.*
9. Carta de uso actual del suelo.*

* Localización al final del trabajo.

INDICE DE TABLAS

1. Datos de temperatura y precipitación de las estaciones Paso de la Reina y Río Grande, Oaxaca.
2. Resumen de datos hidrométricos. Corriente Río Verde, Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
3. Datos de textura de los suelos representativos en la llanura fluvial del Parque Nacional Lagunas de Chacahua, -- Oaxaca.
4. Datos de población de los asentamientos humanos afectados por las avenidas del Río Verde..
5. Pendiente del perfil longitudinal en el curso bajo del Río Verde, en 1979-1980.
6. Pendiente del perfil longitudinal en diferentes tramos -- del Río Verde, en 1964.
7. Coeficiente de sinuosidad en diferentes tramos del curso bajo del Río Verde, en 1979-1980.
8. Características generales de diferentes tramos con patrón recto en el curso bajo del Río Verde, en 1979-1980.
9. Coeficiente de sinuosidad en diferentes tramos del curso bajo del Río Verde, en 1964.
10. Anchura media del lecho menor del Río Verde, en tramos y fechas diferentes.

11. Variación efectiva en la anchura del lecho menor del Río Verde, en tramos y fechas diferentes.
12. Efectos de la migración de márgenes del lecho menor en suelos de la llanura fluvial, en diferentes períodos.
13. Tendencia de los azolves en suspensión mediante el método de mínimos cuadrados. Corriente Río Verde, Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
14. Tendencia de los escurrimiento anuales mediante el método de mínimos cuadrados. Corriente Río Verde, Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
15. Análisis estadísticos de los gastos máximos según el método de Gumbel. Corriente Río Verde, Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
16. Análisis estadístico de los gastos máximos según el método de Lebediev. Corriente Río Verde, Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
17. Comparación de gastos máximos críticos obtenidos en diferentes estudios y aplicando varios métodos estadísticos. Corriente Río Verde, Estación Paso de la Reina, Oaxaca.
18. Geometría de diferentes secciones del lecho menor, en los puntos de contacto con cauces antiguos y cálculo de flujos según la fórmula de Chezy-Manning.

19. Geometría de diferentes secciones del lecho menor hasta - la ribera baja y cálculo de flujos a pleno bordo según la fórmula de Chezy-Manning.
20. Geometría de diferentes secciones del lecho mayor hasta - el límite de transición con el lecho mayor excepcional, y cálculo de flujos que marcan el inicio de las avenidas extraordinarias, según la fórmula de Chezy-Manning.
21. Fases del escurrimiento y gastos críticos en la llanura - fluvial, según la fórmula de Chezy-Manning.
22. Caracterización de los riesgos de inundación en la llanura fluvial del curso bajo del Río Verde, Oaxaca.
23. Caracterización de los riesgos de inundación en la llanura fluvial erosiva.
24. Caracterización de los riesgos de inundación en la llanura fluvial acumulativa.

INDICE DE FOTOS

1. Llanura fluvial erosiva.
2. Llanura fluvial acumulativa.
3. Bancos arenosos con vegetación de sauces.
4. Bancos arenosos con vegetación de matorral y sauces.
5. Selva baja caduficolia en la llanura baja sin cauces activos.
6. Selva baja o mediana subperennifolia (canacoital), en la llanura baja con cauces activos.
7. Selva mediana subperennifolia en la llanura alta de inundación, en la zona de El Zapotal.
8. Bravaicia integerrima (canacoite), en la llanura baja -- con cauces activos.
9. Bordo de protección en la margen izquierda del Río Verde.
10. Canales y drenes en la margen izquierda del Río Verde.

1. INTRODUCCION

En la República Mexicana, durante el período 1973-1978, se registraron pérdidas por más de 5,053 millones de pesos, provocadas por inundaciones en general, resultando también, poco más de 88,344 damnificados, siendo los rubros más afectados la agricultura y ganadería, los núcleos urbanos, obras hidráulicas y comunicaciones (SAHOP, 1981).

Aunque se carece de datos suficientes, se sabe que las inundaciones fluviales, particularmente las extraordinarias, han provocado serios daños a las actividades humanas. Las pérdidas por este concepto ascendieron a 260 millones de pesos en 1973, en la Cuenca del Río Lerma; y a más de 1,000 millones en la Costa del Golfo de México en 1974 (S.R.H., 1976).

De 323 eventos extraordinarios registrados entre 1973 y 1978, el fenómeno fue aún más drástico debido a fallas en las presas en un 9.5% de los casos, y por la operación inadecuada de los almacenamientos en un 3.7% (SAHOP, 1981). La mayoría de las avenidas ocurrieron entre junio y octubre, y por lo general estuvieron ligadas a tormentas tropicales y ciclones, directa o indirectamente.

Actualmente sigue siendo un serio problema la insuficiencia de datos estadísticos para poder diagnosticar este tipo de -

eventos. Asimismo, tampoco se ha considerado en los criterios de evaluación antes de implementar los embalses, los beneficios o perjuicios derivados del control de las avenidas; o también para el diseño de las obras de excedencias, donde se han utilizado diferentes criterios, algunos con información incompleta y metodologías obsoletas, siendo necesaria una revisión de las mismas (SRH, 1976).

La importancia de las llanuras fluviales esta fuera de discusión, ya que poco más de 11 millones de hectáreas de tierras de mediana y alta potencialidad para la generación de alimentos, se ubican en estas áreas. Para su adecuado desarrollo será necesario conocer a fondo las fuerzas naturales que ahí operan.

El curso bajo del Río Verde en el estado de Oaxaca, corresponde a uno de esos sitios especiales, donde desde hace varios años la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos (1970), planteó un proyecto de aprovechamiento triple, que abarcaría el control de avenidas, generación de energía eléctrica y el riego en unas 70,000 Has.; proyecto que actualmente sigue en pie y que ha sido puesto en marcha en la margen izquierda, -- creándose un bordo de protección, sistemas de canales, drenes y obras preagrícolas.

Ahora bien, tradicionalmente la evaluación de las inundaciones y de los procesos que se activan durante su ocurrencia, ha sido tarea de la hidrología; por lo tanto, las medidas de solución a esta problemática por lo general han consistido en obras estructurales.

En su defecto, en México es casi desconocida la disciplina de la geomorfología, y sus posibles aportes al conocimiento de los ambientes fluviales y sobre todo la generación de criterios para la planeación de estos espacios. Asimismo los escasos estudios existentes, han estado desvinculados de los métodos empleados en hidrología.

Ante este panorama, el presente trabajo se ha planteado abordar un caso de estudio, pretendiendo una evaluación integral de la dinámica fluvial; partiéndose para ello de la siguiente problemática:

En la llanura fluvial del curso bajo del Río Verde, Oaxaca con periodicidad y caudal variables, dicha corriente desborda su lecho menor, causando inundaciones que en mayor o en menor medida afectan las actividades humanas que ahí se desarrollan; además durante las avenidas los procesos erosivos y acumulativos experimentan una especial activación que se ve reflejada en diferentes sectores del espacio fluvial.

Aunque las inundaciones ocurren de manera natural en todas las llanuras fluviales, en el caso de estudio, el efecto negativo que podrían ocasionar es evidente debido a:

a) La existencia de asentamientos rurales en la llanura cuyo crecimiento poblacional se incrementa, demandan con ello mayor espacio para la vivienda, así como infraestructura, equipamiento y servicios diversos.

b) La creciente expansión de las actividades agrícolas y pecuarias tanto de carácter comercial como para la subsistencia, aún sobre sitios francamente expuestos; por lo tanto la infraestructura agrícola del distrito de riego que ahí se está desarrollando, los insumos que demandan los cultivos, así como los espacios cultivados fuera del distrito de riego podrían verse seriamente afectados.

c) La falta o insuficiencia de obras de defensa que protejan las actividades humanas de las inundaciones y del avance de los procesos erosivos y acumulativos, con la consiguiente pérdida de tierras fértiles y de cultivos.

A la problemática anterior se suma la falta de un conocimiento serio de la dinámica de las inundaciones y de los procesos geomorfológicos que entrañan, que permita implantar medidas que no necesariamente signifiquen la construc--

ción de grandes obras hidráulicas, por consiguiente que sean menos onerosas, a través de la ordenación de los usos del suelo como una alternativa de defensa contra las inundaciones, contemplando incluso su aprovechamiento.

Ante la situación descrita surgen los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo conocer la dinámica de las inundaciones en la llanura fluvial del curso bajo del Río Verde? ¿Cuál es la relación que guardan las inundaciones con los procesos erosivos y acumulativos? ¿Cuál es la periodicidad, intensidad y magnitud de las inundaciones? ¿En qué medida están afectando las actividades humanas en la llanura? ¿De qué manera el conocimiento de la dinámica de las inundaciones a través de criterios hidrológicos y geomorfológicos puede contribuir a definir las alternativas de organización del espacio en las llanuras fluviales para la defensa contra las inundaciones?.

2. MARCO CONCEPTUAL.

En el presente trabajo el problema central es a la vez geomorfológico e hidrológico. Por un lado la activación de los procesos erosivos y acumulativos durante las inundaciones; hecho que plantea una afectación espacial y temporal, en función de la intensidad de los flujos; finalmente las repercusiones en los usos del suelo de las llanuras. Por lo tanto, en función del planteamiento del problema, es menester revisar y conjuntar los aspectos conceptuales y metodológicos de diferentes autores que permitan delinear una estrategia para abordar con claridad dicho problema.

2.1 Conceptos sobre Geomorfología Fluvial.

Se parte del postulado general de que en las llanuras fluviales, los ríos son al mismo tiempo los más importantes agentes del modelado terrestre, así como los principales alimentadores del material mineral de las tierras (Strahler, 1974).

Ello se explica si se toma en cuenta que las corrientes fluviales fluctúan constantemente por su llanura fluvial, trasladando y renovando su lecho menor hacia las zonas de mayor pendiente que faciliten el escurrimiento de sus aguas hasta encontrar su nivel de base (Ortiz, 1979).

Las fluctuaciones del lecho se caracterizan por la conjunción de procesos como la erosión o remoción de los materiales del fondo y de las orillas del lecho; el transporte o movimiento

de partículas mediante su arrastre por el fondo, en suspensión en la masa de agua o disolución en la misma; finalmente la sedimentación o acumulación progresiva sobre los lechos del río o en los cuerpos de agua donde desemboca. Sin duda estos procesos sufren su mayor activación en el transcurso de las inundaciones.

De esta manera, ante la incidencia variada de los diferentes procesos morfológicos, no es posible hablar de una homogeneidad de las llanuras fluviales. En efecto, es posible distinguir diferentes unidades geomorfológicas, cada una caracterizada por diferencias en el dinamismo de los procesos señalados; éstas unidades se resumen en la caracterización de los lechos de inundación. J. Tricart (1969), hace la distinción de tres elementos geomorfológicos diferentes pero interrelacionados en las llanuras fluviales (Figs. 1 y 2).

- a) El lecho menor, ocupado permanentemente por las aguas en los cursos acuáticos perennes.
- b) El lecho mayor estacionario, que las aguas ocupan poco más o menos todos los años en períodos de crecida.
- c) El lecho mayor excepcional, en el que el flujo no se produce sino en las grandes crecidas, que suceden mucho más raramente.

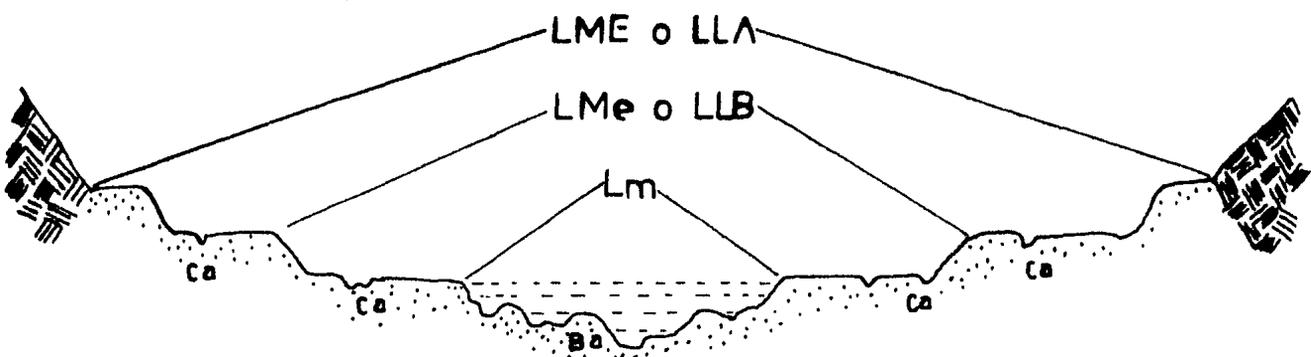


FIG. 1 LECHOS DE INUNDACION EN LLANURAS FLUVIALES EROSIVAS

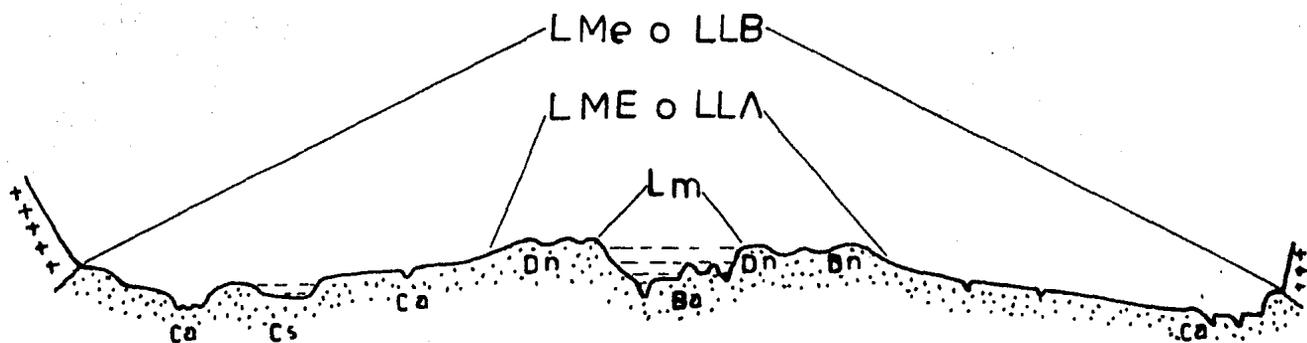


FIG.2 LECHOS DE INUNDACION EN LLANURAS FLUVIALES ACUMULATIVAS

SIMBOLOS

Lm	LECHO MENOR
LMe	" MAYOR ESTACIONARIO
LME	" " EXCEPCIONAL
LLB	LLANURA BAJA DE INUNDACION
LLA	" ALTA " "
Dn	DIQUE NATURAL
Ca	CAUCE ANTIGUO
Ba	BANCO DE ALUVION

Respecto a los materiales de los lechos, Derruau (1978) reporta que a lo largo del lecho aparente o lecho menor el calibre de los sedimentos decrece a medida que la pendiente disminuye; así mismo, a partir de las margenes, las crecidas depositan metariales que van de gruesos a finos a medida que se alejan del cauce principal. En cuanto a la estructura profunda de los lechos, a menudo presentan una composición heterogénea debido a la migración de los ríos.

Otra manera no menos válida de hacer una distinción entre los diferentes elementos geomorfológicos, consiste en distinguir la llanura baja de inundación y la llanura alta de inundación; la primera comprende el lecho menor y el lecho mayor estacionario, en tanto que la segunda es equiparable con lecho mayor excepcional (Figs. 1 y 2).

La llanura baja de inundación no necesariamente se ubica junto al cauce principal del río; con frecuencia corresponde a zonas topográficamente deprimidas con drenaje deficiente, relativamente alejadas del lecho menor; en este caso los materiales superficiales son principalmente limos y arcillas. (West, Psuty y Thom, 1976).

La llanura alta de inundación se caracteriza por la presencia de desarrollados diques naturales activos o relictos, con drenaje superficial más rápido, respecto a la llanura ba

ja. Se ubica tanto en los bordes de la llanura fluvial, cuando los lechos se distinguen en forma de terrazas y al río le corresponde el sitio más deprimido; o bien, junto al lecho menor, cuando la intensa sedimentación ha desarrollado diques naturales paralelos al río, situándolos en un plano más elevado respecto al resto de la llanura y ofreciendo mayor seguridad salvo en las crecidas extraordinarias (Strahler, 1974); - - en este último caso, los materiales superficiales por lo general son de arenas y limos.

Otro método de evaluación de la dinámica del cauce principal del río, consiste en el análisis del patrón o de los patrones de escurrimiento; lo anterior permite descubrir la intensidad con que se están sucediendo los diferentes procesos geomorfológicos e hidrológicos en el Lecho Menor. Así, es posible -- distinguir por lo menos tres patrones de escurrimiento, que - en muchos casos se encuentran interrelacionados (Ortiz, 1979).

- a) El patrón recto, que se reconoce por la existencia de -- largos tramos rectos, por lo general asociados a algún -- control estructural.

- b) El patrón anastomozado, que se distingue por la formación de dos o más canales trenzados, indica que en la carga de la corriente existe una mayor cantidad de sedimentos gruesos de los que puede transportar durante los flujos norma

les, por lo que el exceso de material se deposita en el fondo del cauce; este fenómeno de agradación conduce a una sensible reducción en la profundidad del lecho menor, la cual se compensa con la ampliación de su anchura, guardando así el equilibrio entre las relaciones caudal, anchura y profundidad.

- c) El patrón meándrico, donde el meandro es una forma de excavación o de equilibrio, no de colmatación; es decir, que sólo cierta potencia o energía de la corriente, es absorbida por los rozamiento y el transporte de materiales (Derruau, 1978).

Leopold, Wolman y Miller (1963), proponer un coeficiente de desinuosidad para diferenciar los patrones recto y meándrico, confrontando la longitud del Talweg, entre la distancia en línea recta en un tramo del río; si el coeficiente es menor de 1.5 corresponderá a un patrón recto, en tanto que si es mayor de 1.5, será meándrico.

2.2 Geomorfología Fluvial y Aspectos Hidrológicos.

Para poder profundizar en el conocimiento de la dinámica que se da en los ambientes fluviales, necesariamente tendrán que considerarse las relaciones con los aspectos hidrológicos.

De esta manera, la conjugación de métodos cualitativos y - -

cuantitativos, permitirán conocer la intensidad de los caudales, su frecuencia, probabilidad de ocurrencia en el tiempo, así como su magnitud en las diferentes unidades geomorfológicas.

En primer término, las formas del lecho guardan una estrecha relación con el caudal que llevan las corrientes durante las inundaciones; de manera categórica, las llanuras fluviales --son el reflejo de las condiciones del escurrimiento, toda vez que las variaciones del caudal y las de la velocidad de la corriente y los diferentes niveles o tirantes de la superficie del agua, determinan en gran medida la forma del cauce (Ortíz 1979).

El mismo autor, al evaluar la relación entre los lechos de --inundación y las fases del escurrimiento en una corriente de la vertiente del Pacífico, distingue las siguientes etapas.

- a) Fase de niveles bajos, correspondientes al escurrimiento de recesión o estiaje en los períodos secos. La corriente ocupa sólo el Talweg del río o canal de estiaje, dentro del lecho menor.
- b) Fase de niveles medios, que coinciden o se aproximan al valor del escurrimiento media anual; no es posible distinguir una indicación clara de este escurrimiento en las características del caudal del lecho menor; sin embargo, --

aproximadamente tiende a cubrir un tercio del área hidráulica de dicho lecho.

c) Fase de niveles altos, correspondientes a las crecidas ordinarias en las que se distinguen dos niveles:

- Escurrimientos con flujos a pleno bordo o muy cerca del límite del nivel máximo de contención del lecho menor. En los estudios hidrológicos este nivel se reconoce como gasto formativo que es aquel que puede pasar por la sección transversal de un río sin llegar a desbordar -- (Maza y García, 1976).

- Niveles altos de desborde que sobrepasan las riberas bajas del lecho menor e inundan periódicamente el lecho mayor (estacionario).

d) Fase de desbordes o inundaciones, en la que la avenida rebasa el nivel de las riberas altas, como resultado de las crecidas excepcionales desbordando sobre la llanura alta de inundación.

La descripción de las fases de crecida y su relación con los lechos se restringen casi exclusivamente a un análisis cualitativo de la dinámica de las inundaciones, por lo que es conveniente revisar algunos métodos de análisis cuantitativo, -- factibles de relacionar con los criterios señalados.

Para ello la predicción de las inundaciones mediante un análisis probabilístico de los caudales pico o gastos máximos anuales, son una buena alternativa. La organización de las Naciones Unidas (1977), sugiere un análisis de frecuencias o intervalo de recurrencia de dichos gastos, como uno de los aspectos para la evaluación de las avenidas.

Mediante el análisis de frecuencias se busca asignar a cada gasto máximo anual, una probabilidad de ser igualado o excedido en un año cualquiera (Lisley, Kohler y Paulus, 1977); dicha probabilidad se señala comúnmente como el período de retorno o también como intervalo de recurrencia que indica el número de años que transcurren en promedio para que un evento sea igualado o excedido.

Otra variable que debe contemplarse en la predicción de crecientes es la avenida de diseño (C.F.E., 1980), es decir la máxima avenida que una presa, por citar un ejemplo, deberá manejar sin que le ocurran daños; también tiene importancia en la medida que permite prevenir los posibles efectos de las avenidas, mediante la planificación del uso del suelo.

Existen varias distribuciones teóricas de probabilidad que permiten conocer la avenida máxima en diferentes períodos de retorno. Los métodos estadísticos para el análisis de gastos máximos, son los más confiables para cuencas grandes, mayores

de 100 km^2 (Hammerle, 1968) y 120 km^2 (Domínguez, 1981). Los métodos comunmente utilizados son los de: a) Gumbel (Springall, 1967; Maza y García, 1976 y C.F.E., 1980); b) Doble Gumbel (González, 1971; Maza y García, 1976, y Domínguez, 1981); c) Nash (C.F.E., 1980 y Springall, 1967); d) Lebediev (Maza y García, 1976 y Springall, 1967); y e) Log-Pearson Tipo III -- (Lisley, Kohler y Paulus, 1977 y González, 1972). El desarrollo teórico de estos métodos puede ser consultado en el apéndice 1.

Experiencias anteriores en el análisis de gastos máximos en la vertiente del Pacífico (González, 1972), permiten deducir que la distribución Gumbel es confiable para gastos medios y bajos, disparándose para valores grandes. La distribución doble Gumbel es adecuada para el análisis de gastos donde existen dos poblaciones contrastantes que se traducen en dos tipos de avenidas, una provocada por ciclones, y la otra por fenómenos meteorológicos más comunes. En cuanto a la Log-Pearson III, parece ser inferior a la Gumbel, debido a que ésta ofrece mayor facilidad de ajuste y predicción para periodos de retorno grandes.

Regalado

Según Hammerle (1968), el método de Nash se puede considerar como una variación mejorada del método de Gumbel, que es menos rígido que el de éste; en tanto que el método de Lebediev supone a los gastos máximos anuales como una variable casual y usa una distribución estadística del tipo III de Pearson.

El método de Gumbel es el único para el cual se ha demostrado que los gastos máximos en un registro grande (70 años) siguen la distribución indicada (Maza y García, 1976). Asimismo, para cualquier método, diferentes estudios coinciden en que es necesario contar con 20 años de registro por lo menos.

El análisis estadístico de los gastos máximos y la determinación de su período de retorno, permiten también conocer los gastos críticos de las diferentes fases del escurrimiento en los lechos de inundación. Al respecto, Leopold, Wolman y Miller (1967), al analizar los gastos máximos anuales encontraron que el período de retorno del gasto formativo fluctúa entre 1.07 y 4 años, siendo el promedio de 1.4; actualmente los métodos de Gumbel y de Nash son los más recomendables para su determinación (C.F.E., 1980). A su vez, Strahler (1974) considera que las inundaciones extraordinarias con aquellas que se presentan cada 10 o más años.

Otra forma de evaluación de los gastos de una corriente, sobre todo cuando se carece de datos hidrométricos confiables - consiste en aplicar el método de área pendiente, conociendo los elementos geométricos del cauce principal; para ello es confiable la aplicación de la fórmula de Chezy-Manning (Lisley, Fohler y Paulus, 1977; C.F.E., 1980), la cual tiene especial interés en la obtención de gastos críticos para diferenciar las fases de crecidas, mediante la medición de diferentes

secciones del lecho; esta técnica también es conocida como método simplificado de las huellas máximas (SARH y Colegio de Postgraduados, 1982). El principal inconveniente es que no toma en cuenta las modificaciones de la geometría del cauce conforme se incrementa el caudal, de tal manera que el margen de error oscila entre 15 y 20% (Kasmann, 1960).

La Comisión Federal de Electricidad (1980), para el conocimiento general de las formas geométricas del cauce, sugiere la distinción de las siguientes partes: tirante, área hidráulica, ancho de la superficie libre, perímetro mojado, radio hidráulica, tirante medio y pendiente (apéndice 2).

2.3 El Uso del Suelo en las Llanuras Fluviales.

Los procesos geomorfológicos e hidrológicos desencadenados durante las inundaciones necesariamente repercuten sobre el uso del suelo que se le esté dando a la llanura en cuestión, de ahí que para la correcta planificación de los usos del suelo, a fin de que éstos sufran un menor impacto, necesariamente deben de conocerse las fuerzas naturales que intervienen en la conformación y dinámica de las llanuras fluviales. En otras palabras, a mayor desconocimiento de la naturaleza de las inundaciones, así como de los procesos que entrañan, mayor será el daño que aquéllas puedan ocasionar a las actividades humanas en este tipo de llanuras.

El planteamiento anterior se deduce que es menester identificar por lo menos tres tipos de usos en las llanuras fluviales:

- a) Los usos del suelo que actúan como indicadores naturales de las inundaciones. Tal es el caso de algunos tipos de vegetación y en particular algunas especies florísticas, cuyo desarrollo y distribución geográfica, está interrelacionada con los relieves y tirantes que alcanza la superficie del agua durante las crecidas (López M., 1980).
- b) Los usos del suelo producto de las actividades humanas que no se contraponen con los procesos de la llanura y que en consecuencia sufren poca o ninguna afectación durante las avenidas. En este apartado, como ejemplo, se engloban -- los cultivos permanentes sobre la llanura alta.
- c) Los usos del suelo que se contraponen con los procesos de la llanura y que consecuentemente se ven drásticamente -- afectados durante las inundaciones; ejemplo de ellos son los asentamientos humanos e instalaciones industriales -- ubicados dentro de la llanura baja de inundación y más -- aún, dentro del lecho menor.

Cabe señalar que en la constante lucha por resguardar los -- centros de población del efecto negativo de las inundaciones, se construyen obras como presas, bordos, canales de alivio,

dragados, etc., que debido al desconocimiento de los procesos hidrológicos y geomorfológicos, han propiciado el desencadenamiento de otros procesos ocasionando cambios funestos en el uso de la tierra o bien aumentando la susceptibilidad a las inundaciones en sitios antes exentos. No está por demás aclarar que dichas obras representan esfuerzos muy onerosos, sobre todo para los países subdesarrollados que con poca frecuencia cuentan con recursos para poder pagar el alto costo y donde existen otras necesidades prioritarias que cubrir.

3. METODOLOGIA.

En base al problema de investigación y al marco conceptual, el presente estudio se ha planteado desarrollar los siguientes -- apartados metodológicos:

3.1 Hipótesis de Trabajo.

La llanura fluvial del curso bajo del Río Verde está experimentando una creciente alteración en la dinámica de las inundaciones y consecuentemente en los procesos erosivos y acumulativos. Tales modificaciones, principalmente tienen su origen en la evolución rápida del patrón de escurrimiento del río, en -- los últimos 20 años, manifestándose en el aceleramiento del fenómeno de la anastomosis; que entre otras características, en el área se evidencia a través de la excesiva agradación de sedimentos dentro del lecho menor, así como en la disminución -- de la profundidad y aumento en su anchura. Se deduce que en -- un lapso de tiempo relativamente breve, el río ha visto progresivamente aumentada su carga de sedimentos provenientes de -- áreas externas a la zona de estudio, mismos que al entrar a la llanura son depositados al disminuir el poder de carga de la -- corriente.

Como consecuencia de los cambios morfológicos en el lecho menor, se tiene que la exposición de las actividades humanas y -- de las diferentes áreas de la llanura, a los desbordes del Río

Verde, es creciente debido al acortamiento del período de retorno de las avenidas ordinarias y extraordinarias, y a la ampliación en su magnitud de afectación, sobre todo en las -- áreas no protegidas por obras de defensa; también es posible distinguir diferentes sectores de la llanura, donde el avance de los procesos erosivos y acumulativos, serán particularmente críticos provocando la pérdida de espacios cultivables y -- suelos fértiles.

Asimismo, es factible pronosticar que la implementación de -- obras hidráulicas (bordos y canales de alivio) como medios de defensa contra las inundaciones en la porción sureste de la -- llanura, por parte de la SARH, sólo serán una solución par-- cial al fenómeno; en cambio se causará una alteración drástica en el régimen de escurrimiento de la llanura, sobre todo -- durante las avenidas ordinarias y extraordinarias, provocando que los flujos de agua se viertan con mayor intensidad hacia la margen suroeste no protegida; incluso el mismo distrito de riego no estará exento de posibles efectos durante los desbor-- damiento máximos.

3.2 Objetivos.

- a) Definir la dinámica geomorfológica de la llanura fluvial -- del curso bajo del Río Verde, a través del análisis de los procesos erosivos y acumulativos, patrones de escurrimien-- to y morfología de los lechos de inundación.

- b) Evaluar la dinámica hidrológica de la llanura, en los aspectos de avenida máximas y su período de retorno, fases de crecidas, gastos críticos, y magnitud de afectación de las inundaciones.
- c) Evaluación de la tendencia de los azolves en suspensión - en los últimos 20 años.
- d) Caracterización del uso actual del suelo y evaluación de sus interrelaciones con las inundaciones, procesos erosivos y acumulativos.
- e) Obtención de criterios hidrológicos y morfológicos que -- permitan plantear alternativas para el ordenamiento del - uso del suelo en la llanura fluvial.

3.3 Método y Técnicas de Comprobación.

Objetivo 1:

- a) Elaboración de cartas geomorfológicas de la llanura fluvial, tomando como base cartográfica, las cartas topográficas de SRH (1964), Esc. 1:20,000 y mediante la interpretación de pares de fotografías aéreas B/N, 1:50,000 de -- Aerofoto (1967), 1:80,000 DEGETENAL (1979) y 1:80,000 - - DEGETENAL (1980).

- b) Elaboración de cartas de lechos de inundación.
- c) Elaboración de cartas de morfología del lecho menor en - - 1967 y 1979-1980.
- d) Elaboración de cartas de sobreposición de los lechos menores de 1964, 1967 y 1979-1980.
- e) Elaboración de perfiles geomorfológicos de la llanura, perpendiculares al lecho menor.
- f) Elaboración del perfil longitudinal del curso bajo del Rfo Verde.
- g) Trabajo de campo que permita la corroboración de formas y procesos; pláticas con la gente del lugar, toma de material fotográfico.

Objetivo 2.

- a) Análisis de los gastos máximos mediante métodos estadísticos y determinación de las avenidas máximas y su período de retorno, utilizándose las siguientes distribuciones:
 - a) Método de Gumbel (Springall, 1987; Maza y García 1976)
 - b) Método de Nash (C.F.E., 1980); c) Método de Lebediev - (Springall, 1967); y d) Distribución Log-Pearson, Tipo III (Lisley, Kohler y Paulus, 1977).

- b) Obtención de gastos críticos para los diferentes lechos de inundación mediante el método de área-pendiente y la aplicación de la fórmula de Chezy-Manning (C.F.E., 1980) Lislely, Kohler y Paulus, 1977); y también utilizando los métodos de análisis estadístico de gastos máximos.
- c) Caracterización de las fases de escurrimiento en los lechos de inundación.

Objetivo 3:

- a) Determinación de la tendencia de los azolves en suspensión en el período 1961-1980 mediante el método de mínimos cuadrados.

Objetivo 4:

- a) Elaboración de la carta de uso actual del suelo, mediante la interpretación de pares de fotografías aéreas B/N, Esc. 1:50,000 aerofoto (1967); 1:80,000 DEGETENAL (1979) y 1:80,000 DEGETENAL (1980).
- b) Recorrido de campo y verificación de la fotointerpretación preliminar; pláticas con la población local sobre la afectación de las inundaciones y procesos geomorfológicos al uso del suelo; identificación de indicadores naturales de las inundaciones como especies florísticas; - toma de material fotográfico.

c) Evaluación de la compatibilidad de los usos del suelo con -
los procesos hidrológicos y geomorfológicos.

Objetivo 5:

a) Planteamiento de los criterios hidrológicos y geomorfológi-
cos aplicables a la planeación de uso del suelo de la llanura
ra.

4. ANTECEDENTES.

Son escasos los estudios que hayan abordado aspectos de la geomorfología de la llanura fluvial en el curso bajo del Río Verde, incluso esta premisa es válida para casi todos los ambientes fluviales del país. Existen diversos materiales y trabajos aislados o enfocados a otros aspectos del conocimiento, los cuales ya han sido referidos en la descripción del área de estudio. No obstante, cabe hacer mención de dos estudios que abordan aspectos de la morfología del área.

En el reporte de un curso de biología de campo (Facultad de Ciencias, 1980), se contempla un capítulo de geomorfología referido a la llanura del Parque Nacional Lagunas de Chacahua. Se reporta un fotomapa geomorfológico Esc. 1:50,000, el cual distingue tres unidades: el lecho ordinario (lecho menor); la llanura alta, en la zona de "El Zapotal", en la margen izquierda del Río Verde; y la llanura baja que ocupa la mayor parte de la llanura. La carta también presenta diferentes rasgos erosivos y acumulativos.

Como complemento de la carta geomorfológica se presenta un perfil transversal de la llanura, de la Laguna Tianguis a la Laguna Miniyua. Se encontró una relación estrecha entre las unidades geomorfológicas, los suelos y los tipos de vegetación. La llanura alta, entre 2 y 5 m.s.n.m., presentó sue-

los profundos de textura media y con buen drenaje, los cuales sustentan la vegetación más desarrollada de la región: la selva mediana subperennifolia. La llanura baja, se localizó entre 1 y 2 m.s.n.m.; y presentó suelos profundos arcillosos con mal drenaje interno y con presencia de sales, en los cuales se desarrolla la selva baja caducifolia. En la zona de contacto entre las llanuras alta y baja se encontró un tipo de vegetación de transición, el cual se determinó como selva baja o mediana subperennifolia.

El presente trabajo retoma los criterios de la vegetación del estudio señalado para caracterizar la llanura alta y baja, así como el lecho menor, con algunas modificaciones surgidas a partir de la actualización cartográfica.

Otro estudio importante es el efectuado por Méndez (1981), quien realizó un levantamiento fisiográfico con fines de evaluación de tierras para la producción de maíz y algodón en la región. El autor distingue para la llanura fluvial de la margen izquierda, dos sistemas terrestres: el Sistema Parque Nacional Lagunas de Chacahua y el Sistema Río Verde-Llanos del Espinal. Para cada sistema se describen los aspectos de clima, geología, paisaje, hidrología, suelos, vegetación, uso actual y altitud. En el Sistema Parque Nacional no se distinguen facetas debido a que no presenta interés agrícola. En el Sistema Río Verde-Llanos del Espinal se distinguen 9 face-

tas, de las cuales 8 quedan contenidas en el área de estudio. Para cada faceta se describen los aspectos de geoforma, suelos, régimen hidrológico, vegetación y cultivos. Las geoformas en las diferentes facetas son descritas como: 1) Planicie ligeramente ondulada; 2) Cerril cupular; 3) Planicie cóncava ondulada; 4) Planicie cóncava ligeramente ondulada; - - 5) Lagunas; 6) Planicie ligeramente ondulada; 7) Planicie -- cóncava ligeramente ondulada, y 8) Planicie cóncava ondulada. Las facetas con la denominación de planicie, se diferencia - por la pendiente que varía entre 0.5 y 2%.

Estos conceptos, en mayor o menor medida, reflejan la heterogeneidad de la llanura. Aunque la utilización de conceptos como lechos de inundación o tipos de llanura fluvial, -- sin duda ayudarían a caracterizar mejor las geoformas del -- área.

En cuanto a estudios hidrológicos, el más importante es el efectuado por Maza y García (1976), para la Secretaría de -- Obras Públicas. El estudio se originó debido a que en las -- avenidas de 1974, a la altura del puente Río Verde, se erosionó la margen derecha, sufriendo un corrimiento del orden de 200 m. ocasionando que el estribo derecho quedara dentro del lecho menor; por lo que se trazó como objetivo el retornar el río a su cauce anterior y evitar futuras erosiones en el acceso derecho del puente.

Se efectuó un estudio hidrológico describiendo varias distribuciones de probabilidad para determinar la avenida máxima - con un período de retorno cualquiera; se aplicaron para el Río Verde el método de Gumbel, método de Nash, ajuste Gumbel, ajuste Gamma, método de Lebediev y ajuste doble Gumbel (figura 3).

Se determinó un gasto máximo de $7,100 \text{ m}^3/\text{seg.}$ para un período de retorno de 100 años mediante el método de Gumbel, existiendo una probabilidad de 0.395 de que ese gasto fuera sobrepasado durante la vida útil del puente, considerada en 50 años. Dicho gasto resultó inferior al calculado por la S.O.P. de $8,500 \text{ m}^3/\text{seg.}$ mediante la distribución de Pearson por lo que, el costo del puente y la consecución de obras conexas resultaron ser muy elevadas al seleccionarse el último gasto para su construcción.

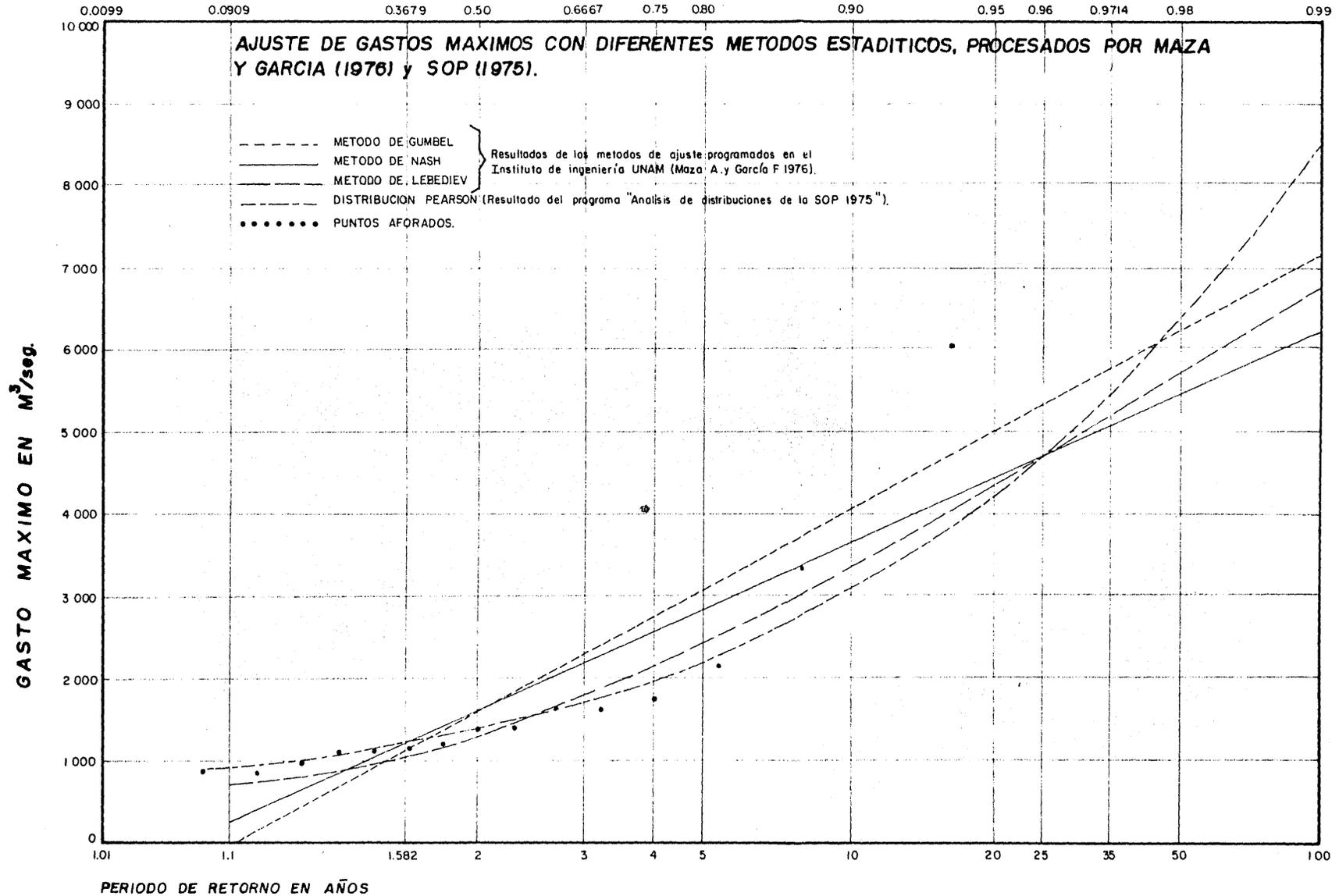
El gasto formativo se seleccionó mediante el análisis de gastos máximos de acuerdo con el criterio de Leopold, Wolman y Miller, asociado a un período de retorno de 1,4 años. Dicho gasto fue de $1,007 \text{ m}^3/\text{seg.}$ adoptando el método de Nash.

Se construyó también un modelo hidrológico probando diferentes alternativas para el reencauzamiento del río seleccionándose la construcción de un dique elíptico de 600 m. de longitud. El modelo arrojó un gasto formativo de $900 \text{ m}^3/\text{seg.}$

ESTACION PASO DE LA REINA, RIO VERDE, OAX.

Figura : 3

PROBABILIDAD.



Posterior-a-la adopción de medidas de reencauzamiento, debido a que el dique no fue desarrollado por la S.O.P. con la longitud recomendada por los autores del estudio, una avenida libró la obra por su extremo derecho, afectando la carretera -- por el acceso a la derecha del puente (García, 1985, comunicación verbal).

De lo anterior se infiere que los costos de construcción y mantenimiento de una obra de tal magnitud, se vieron incrementados al adoptarse una avenida de diseño excesivamente grande, y al no contemplar la dinámica del lecho menor; hecho que puso - en peligro la vida útil de la estructura.

5. AREA DE ESTUDIO.

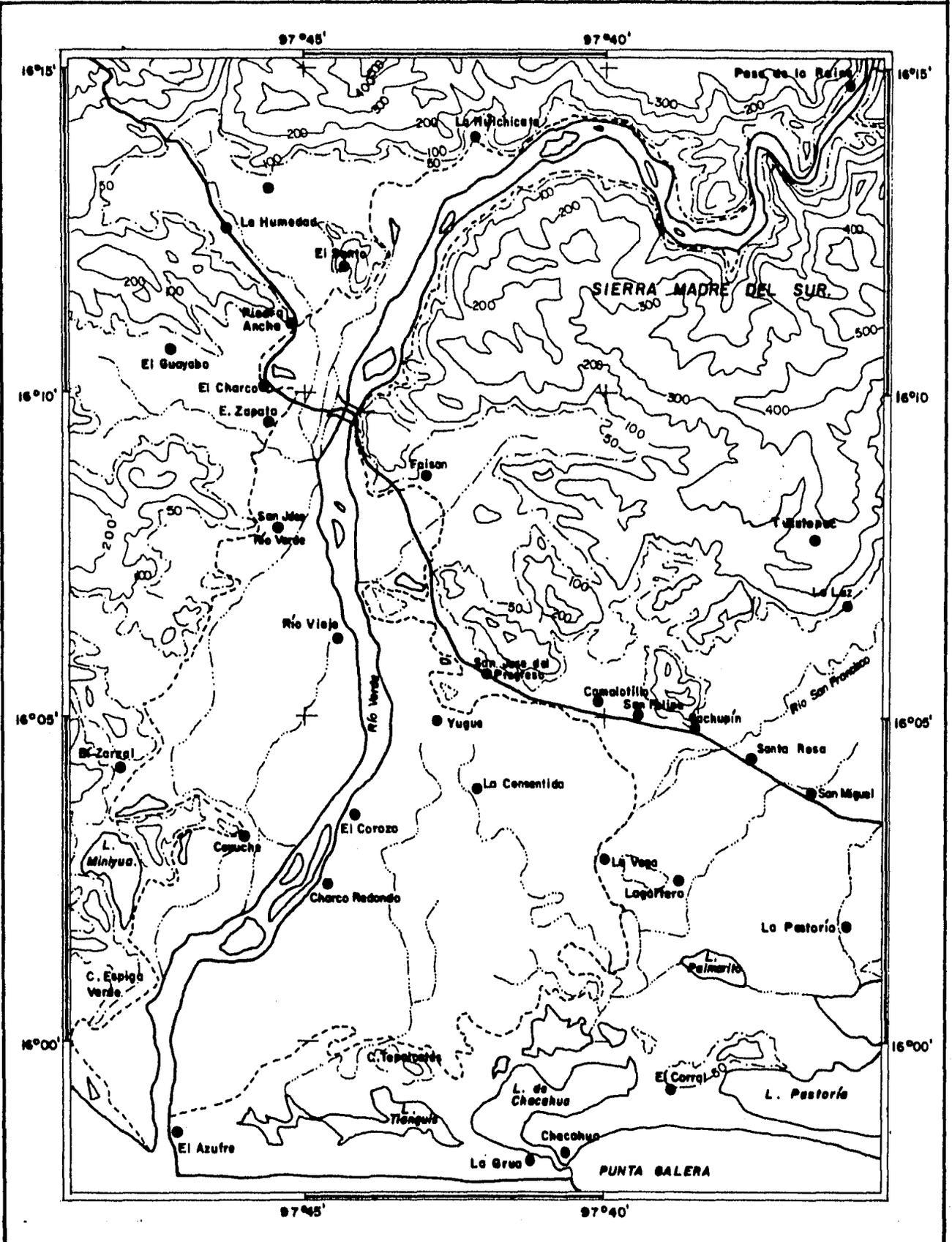
A continuación se describen los aspectos que guardan una estrecha relación con el espacio fluvial objeto de estudio: la información que se reporta ha sido interpretada de diferentes estudios o materiales existentes y completada con los recorridos de campo.

5.1 Localización Geográfica.

El área de estudio se localiza al sur de la República Mexicana, en la Costa del Estado de Oaxaca. Forma parte de la Cuenca del Río Verde, que a su vez pertenece a la región hidrológica No. 20. Se sitúa entre las siguientes coordenadas geográficas (mapa 1): $15^{\circ}58'40''$ y $16^{\circ}14'15''$ de latitud norte y entre los $97^{\circ}37'25''$ y $97^{\circ}48'15''$ de longitud oeste. Su configuración es irregular, con una longitud máxima de 46 Kms. de la desembocadura al sitio Calera, y anchura máxima de 15 Kms. en el Parque Nacional Lagunas de Chacahua; su extensión es de aproximadamente 20,000 Has. Sus límites naturales son: al norte con la Sierra Madre del Sur; al este con estribaciones de la misma sierra y con la llanura fluvial del Río San Francisco; al sur con el Océano Pacífico, y con las llanuras de inundación de los sistemas lagunares Chacahua-Pastoría y del Monrroyo; al oeste con estribaciones de la Sierra Madre del Sur y con pequeños valles fluviales de corrientes intermitentes.

TOPOGRAFIA

Mapa: 1



Escala Grafica.



5.2 Topografía.

El rango altitudinal en que se sitúa la llanura fluvial varía entre 0 y 35 m.s.n.m., desde su desembocadura hasta el sitio Calera; existiendo también cambios altitudinales importantes a lo ancho del plano fluvial (carta topográfica). Estos son evidentes en el tramo del Río Verde entre Río Viejo y 4 Kms. antes de su desembocadura, donde las márgenes del cauce principal o lecho menor se sitúan 5 ó más metros por encima de áreas de depresión topográfica en las márgenes de la llanura, como el Zarzal, Río San Francisco y la llanura de inundación lagunar de los sistemas Chacahua-Pastoria y Laguna Miniyua.

De la llanura de inundación con frecuencia emergen macizos cristalinos con altitud variable, sin sobrepasar los 200 m. s.n.m. En cuanto a la topografía circundante a la llanura fluvial, ésta es por lo general montañosa, sobrepasando los 400 m.s.n.m. en algunos puntos sobre todo al norte, este y oeste (mapa 1).

5.3 Geología.

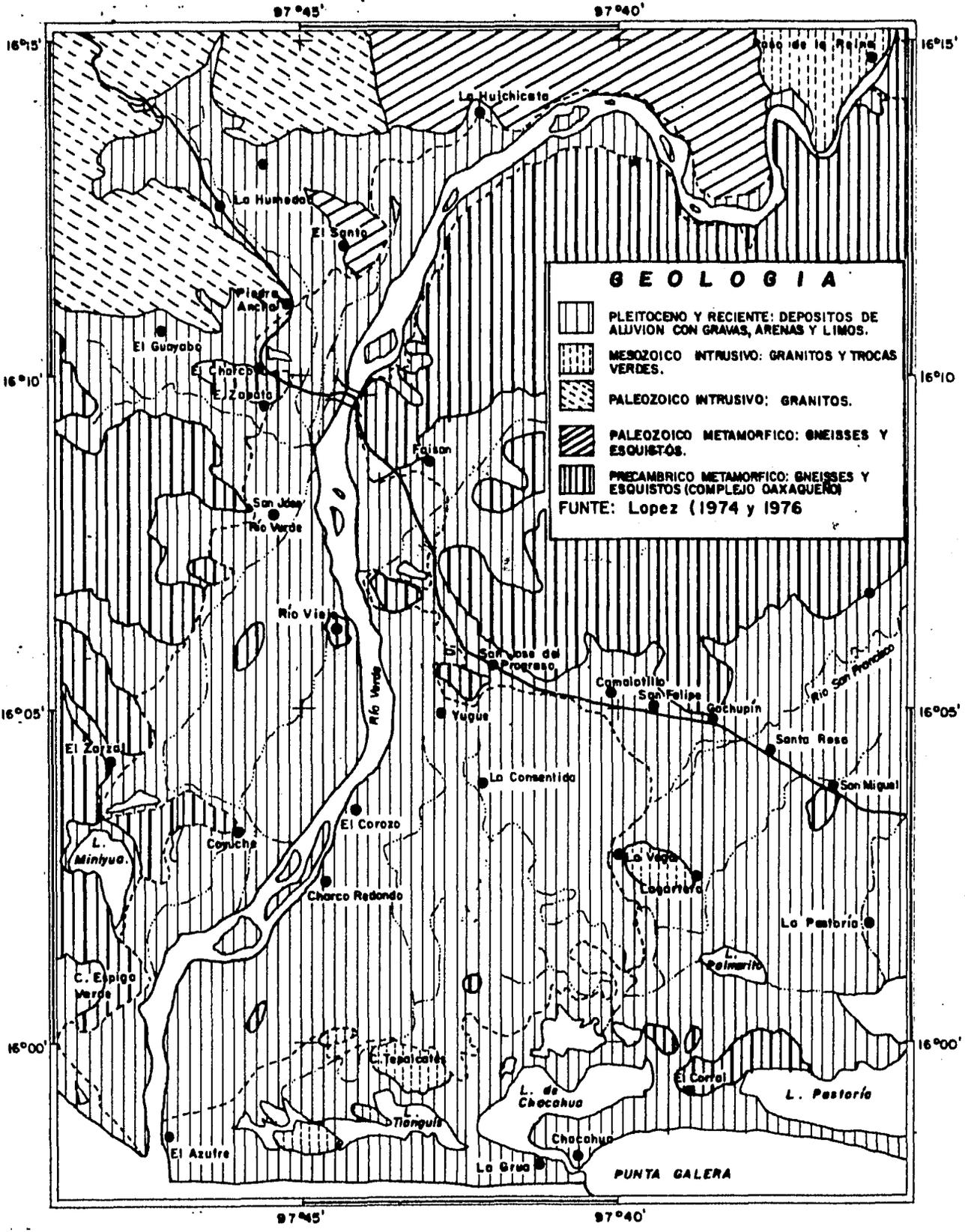
En base a López R. (1979), el área de estudio se sitúa en la provincia de la Sierra Madre del Sur. De acuerdo con el mismo autor (1974 y 1976), los materiales de la llanura son del

cuaternario reciente; la litología de la zona montañosa circundante se clasifica en el siguiente orden: a) Precámbrico-metamórfico, principalmente gneisses y esquistos al este y oeste de la llanura; b) Paleozoico metamórfico, principalmente gneisses y esquistos, al norte; c) Paleozoico intrusivo granítico al noroeste, y d) Mesozoico intrusivo granítico al noreste (mapa 2).

El valle fluvial del curso bajo del Río Verde, se ha formado mediante el trabajo erosivo de la corriente principalmente sobre rocas del precámbrico, por lo que del plano fluvial es frecuente el afloramiento de rocas gneisses.

El basamento metamórfico en el área, está íntimamente ligado a la actividad tectónica. "Dos secuencias paleozoicas - parecen definir un sistema paralelo de cinturones metamórficos que sugieren la existencia de una paleozona de subducción paleozoica en esta parte del continente" (López R. 1979). La Sierra Madre del Sur y consecuentemente el área de estudio, ha sido afectada por diferentes orogenias, desde el Precámbrico hasta el Cretácico Superior y Terciario.

En la actualidad la trinchera centroamericana paralela a la Costa del Pacífico, desde Jalisco hasta el Sureste de Oaxaca, puede considerarse como la zona de subducción de la placa del Pacífico y la norteamericana; el avance de la primera so



Escala Grafica.



bre el continente debe afectar las condiciones de sial y síma provocando una alta sismicidad y la continuidad de la actividad ígnea (López R. 1979).

Lo anterior debe ser la explicación del intenso sistema de fallas y fracturas en la zona, reportadas en un curso de biología de campo (Facultad de Ciencias, 1980); la orientación del sistema es NW-SE y NE-SW, y en él se ajustan la mayoría de las corrientes hidrológicas, incluyendo diferentes secciones del Río Verde.

En cuanto al origen y proceso evolutivo de la llanura fluvial, indudablemente ha estado ligado a los cambios del nivel del mar en los últimos miles de años, que consecuentemente provocaron variaciones en el nivel de base del Río Verde.

Según Lankford (1977) hace aproximadamente 18,000 años el nivel del mar descendió 130 mts. por debajo de su nivel actual, por lo que las tierras emergidas estuvieron expuestas a procesos terrestres y atmosféricos, formándose valles y cañones. El nivel del mar de Holoceno comenzó a levantarse hace 18,000 años hasta hace unos 5,000 años, siendo más rápida la transgresión que la sedimentación terrígena, por lo que valles y depresiones fueron inundados y expuestos a la energía del mar. Sin embargo desde hace 5,000 años y hasta

el presente, se ha sucedido un nuevo descenso del nivel del mar, entre -3 y -4 mts., lo que no ha impedido la sedimentación terrígena y la marina en la línea de costa, llenando los ríos, sus valles y sus deltas, a pesar de los cambios climáticos.

Se deduce que el área de estudio, hace 18,000 años era un valle de tipo erosivo y que fue parcialmente inundado durante la transgresión hasta hace 5,000 años; fecha que marcó la posición actual del nivel de base del Río Verde a partir del cual se empezó a edificar una llanura fluvial acumulativa.

5.4 Climas.

Con apoyo de datos meteorológicos de las estaciones de Paso de la Reina y Río Grande, la primera a 6 Kms. al norte del sitio Calera y la segunda a 25 Kms. al este del área de estudio, se determinó y caracterizó el clima de la llanura fluvial. Los datos se resumen en la Tabla 1.

El clima es del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw_1 " (w) i g), de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen y las modificaciones hechas por García (1973). La temperatura es isotermal con oscilación menor de $5^{\circ}C$, la máxima se presenta en mayo y la mínima en enero. En cuanto a la precipitación, el 96% se presenta entre junio y octubre, siendo septiembre el mes más lluvioso; también se presen

TABLA 1

DATOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACION DE LAS ESTACIONES, PASO DE LA REINA Y RIO GRANDE, OAXACA

ESTACION	VARIABLE	AÑOS DE OBSERVACION	M E S E S												PROMEDIO ANUAL	TIPO DE CLIMA
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
PASO DE LA REINA	TEMPERATURA	18	25.1	25.6	26.4	27.7	28.5	27.3	26.6	26.5	26.2	26.0	25.7	25.1	26.4	Aw ₁ (w) i-g
	PRECIPITACION	18	2.1	0.9	0.9	6.3	53.0	290.5	170.8	182.1	316.7	147.7	18.4	2.6	1192.4	
RIO GRANDE	TEMPERATURA	9	26.5	26.0	26.3	27.5	28.0	27.3	27.3	27.0	26.7	26.8	26.7	26.0	26.7	Aw ₁ (w) i-g
	PRECIPITACION	11	2,3	8,3	0.0	10.7	44.1	292.6	123.0	225.8	329.0	151.4	14.0	0.5		

FUENTE: Los datos fueron proporcionados por la Oficina de Climatología de la SARH (1980).

un intervalo de secas en julio o agosto conocido como canficu la, dentro del período húmedo.

Aunque la cantidad de lluvia que cae en la llanura no es la razón de las avenidas del Río Verde, si es claro que las condi ciones locales de humedad o de encharcamiento estacional - de algunos sectores influyen en el comportamiento de las avenidas en la llanura; sobre todo las condiciones de permeabilidad o de saturación del suelo, el nivel de las aguas de -- las lagunas y ciénegas, además del papel que las plantas juegan en la evapotranspiración; condiciones que se acentúan sobre todo durante la afectación de ciclones que es cuando se presentan las avenidas más importantes.

5.5 Hidrología.

Para efecto del presente trabajo, los datos hidrométricos de la estación Paso de la Reyna, son de particular relevancia. En la tabla 2, se recumen los datos más importantes de la corriente del Río Verde. La estación se localiza a 55 Kms. de la desembocadura del Río Verde, comprendiendo una superficie drenada de 17,617 Km².

En cuanto a las avenidas más importantes registradas en la estación Paso de la Reyna, éstas presentaron las siguientes características.

TABLA 2

RESUMEN DE DATOS HIDROMETRICOS. CORRIENTE RIO VERDE. ESTACION PASO DE LA REINA, OAXACA

AÑO	GASTO MAXIMO	GASTO MINIMO	GASTO MEDIO	VOLUMEN ESCURRIDO	VOLUMEN DE AZOLVE	PORCIENTO MEDIO DE VOLUMEN DE AZOLVES
	M3/SEG.	M3/SEG.	M3/SEG.	MILES M3	MILES M3	
1961	913.20	21.00	148.18	4673077.0		
1962	1150.49	19.32	122.49	3862998.0	4277.031	0.1107
1963	1407.00	15.32	180.36	5703693.0	8255.670	0.14474
1964	1249.16	19.90	154.12	4873493.0	619.724	0.01272
1965	1146.00	20.13	167.62	5286147.0	5363.027	0.10145
1966	1011.60	19.70				
1967	3352.60	7.37	169.12	5333510.0		
1968	903.30	13.21	101.03	3194824.0	2076.314	0.6499
1969	2192.13	9.88	198.23	6251268.0	17170.086	0.27467
1970	1653.10	11.81	210.00	6622574.0	8251.431	0.12460
1971	1776.00	17.30	176.82	5576180.0	6401.458	0.11480
1972	1404.75	14.40	147.81	4661192.0	6371.957	0.13670
1973	1643.80	15.10	173.51	5471832.0	7808.887	0.14271
1974	7000.00	26.64	264.02	8326040.0	11583.217	0.13912
1975	1782.00	23.93	201.18	6344458.0	12433.48	0.1960
1976	1316.00	27.80	128.11	4051155.0	6139.12	0.1529
1977	908.00	18.65	130.81	2125128.0	6531.39	0.1587
1978	1066.00	15.02	152.59	4812221.0	3809.44	0.0791
1979	2830.00	14.50	155.38	4899968.0	9468.85	0.1932
1980	1576.00	16.10	156.60	4952007.0	8943.76	0.1806

FUENTE: SARH (1977). Regiones hidrológicas Núms. 19, 20, 21 y 22, zona de las Costas de Guerrero y Oaxaca. Boletín Hidrológico No. 31, Tomo V. México.

Los datos hidrométricos para el periodo 1975-1980, fueron directamente proporcionados por la Oficina de Cálculo Hidrométrico de la SARH (1983).

Entre el 23 y el 30 de septiembre de 1967, partiendo de un -
gasto base de $400 \text{ M}^3/\text{seg.}$ y alcanzando un máximo de $3,334 \text{ m}^3/\text{seg.}$ La avenida fue ocasionada por la influencia de los ci-
clones Beulah y Mónica, que entre el 21 y 26 de septiembre -
provocaron lluvias superiores a los 400 mm., en la porción -
occidental de la Cuenca del Río Verde (SRH, 1979)..

Otra serie de avenidas importantes ocurrieron entre el 19 de
agosto y el 8 de septiembre de 1969; el gasto base del cual
se partió fue de $450 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y el gasto máximo fue de $2,192 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Esta crecida tuvo relación con los ciclones Emily y
Glenda, ocasionando lluvias que sobrepasaron los 400 mm., en
diferentes sectores de la cuenca (SRH, 1970).

Entre el 21 y el 28 de septiembre de 1974, ocurrió otra ave-
nida que partió de un gasto base de $320 \text{ M}^3/\text{seg.}$ y alcanzo un
máximo de $2,659 \text{ m}^3/\text{seg.}$ La crecida tuvo relación con varios
ciclones, aunque en particular con el Orlene o Fifi, que pro-
vocó lluvias abundantes en varios sectores de la cuenca alta
(SARH, 1977).

De las avenidas registradas y sus características es factible
deducir dos observaciones. En primer lugar, las avenidas --
más importantes del Río Verde en los últimos 20 años han es-
tado relacionadas directa o indirectamente con el paso de ci-
clones, los cuales han provocado lluvias abundantes en la --

cuenca alta del Río Verde; al respecto, el promedio anual de ciclones para las costas de Guerrero y Oaxaca es de 5, siendo agosto, septiembre y octubre los meses con mayor ocurrencia de estas perturbaciones (SRH, 1970). En segundo lugar, sólo han sido registradas algunas de las avenidas más importantes; sin embargo, anualmente se presentan una o más crecidas con carácter ordinario que inundan parcialmente la llanura fluvial, cuyos efectos no han sido evaluados. Lo anterior se apoya en que las avenidas reportadas han partido de gastos base de $400 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en promedio y que anualmente se registra por lo menos un gasto máximo superior a los $900 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (tabla 2).

En cuanto a proyectos y obras hidráulicas propuestas para la zona de estudio, a continuación se presenta un resumen de los mismos.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos (1970), planteó que ha sido estudiado el vaso de la Calera, Oaxaca, situado 5 Kms. aguas abajo de la confluencia del Río Juquila o de la leche; dicho proyecto persigue un aprovechamiento triple, que abarcaría el control de avenidas, generación de energía eléctrica y riego de unas 70,000 Has.

Actualmente se encuentra en proceso de ejecución "El proyecto Río Verde" (SARH, 1977). El proyecto propone 5 sistemas - -

alternativos de obras encaminadas a iniciar el aprovechamiento intensivo de los recursos. Las diferentes alternativas comprenden sistemas de riego por derivación, una presa, redes de distribución, drenes, caminos, obras de protección y trabajos preagrícolas; la superficie irrigada variaría entre 5,934 Has. y 13,673 Has. (1a. y 5a. alternativas).

Las obras de defensa propuestas consisten en bordos que se erigirán en ambas márgenes del Río Verde, teniendo una altura y separación suficiente para garantizar el paso de una avenida máxima de $6,600 \text{ m}^3/\text{seg.}$ la cual se presentaría en un período de retorno de 12 años.

La presa derivadora sería de tipo flotante y habría de permitir una avenida de diseño de $10,000 \text{ m}^3/\text{seg.}$, gasto instantáneo correspondiente a un período de recurrencia de 100 años; la presa se localizaría en el sitio Río Viejo.

Todas las alternativas contemplan la construcción de redes de drenes a cielo abierto; en la 5a. alternativa el sistema de riego comprende dos canales principales para las márgenes izquierda y derecha, con capacidad de 10.5 y $4.6 \text{ m}^3/\text{seg.}$ respectivamente.

Es evidente que la ejecución de dichas obras provocaría modificaciones radicales en el comportamiento de las inundaciones en la mayor parte de la llanura, y consecuentemente en

la intensidad de los procesos erosivos y acumulativos; de ahí la importancia que reviste su conocimiento.

5.6 Suelos

Se distinguen hacia ambas márgenes del río, dos grupos de suelos propicios para el desarrollo agropecuario. El grupo -- feozem (serie Charcos), con una superficie de 15,328 Has. integradas por suelos jóvenes, profundos, de textura media y -- buen drenaje interno. El grupo de fluvisoles (serie Río Verde), con una superficie de 3,020 Has., ubicados en las vegas del Río Verde; son profundos y con drenaje interno de ligeramente excesivo a excensivo. Ambos suelos están limitados por inundaciones, textura y pendiente (SARH, 1977).

En cuanto a la porción de la llanura fluvial ocupada por el Parque Nacional Lagunas de Chacahua, los suelos representativos son, el feozem en la llanura alta y el solonetz mólido en la llanura baja; éste último con presencia de sales debido a su proximidad con el sistema lagunar Chacahua-Pastoria (Facultad de Ciencias, 1980). Las características texturales están contenidas en la tabla 3.

TABLA 3

DATOS DE TEXTURA DE LOS SUELOS REPRESENTATIVOS EN LA LLANURA FLUVIAL DEL PARQUE NACIONAL LAGUNAS DE CHACAHUA, OAXACA.

SUELO	LOCALIZACION	PROFUNDIDAD CMS.	ARCI LLA	LIMO	ARENA	CLASIFICACION TEXTURAL
FEOZEM	CHARCO REDONDO	0-14	24	34	20	R
		14-53	46	32	38	Mr
		53-108	30	12	74	Ma
		108-122	14	12	74	Ma
SOLONETZ MOLICO	3.5 KMS. AL SE DE CHARCO RE - DONDO	0-20	30	50	20	Ma
		20-60	26	54	20	M1
		60-120	22	56	22	M1

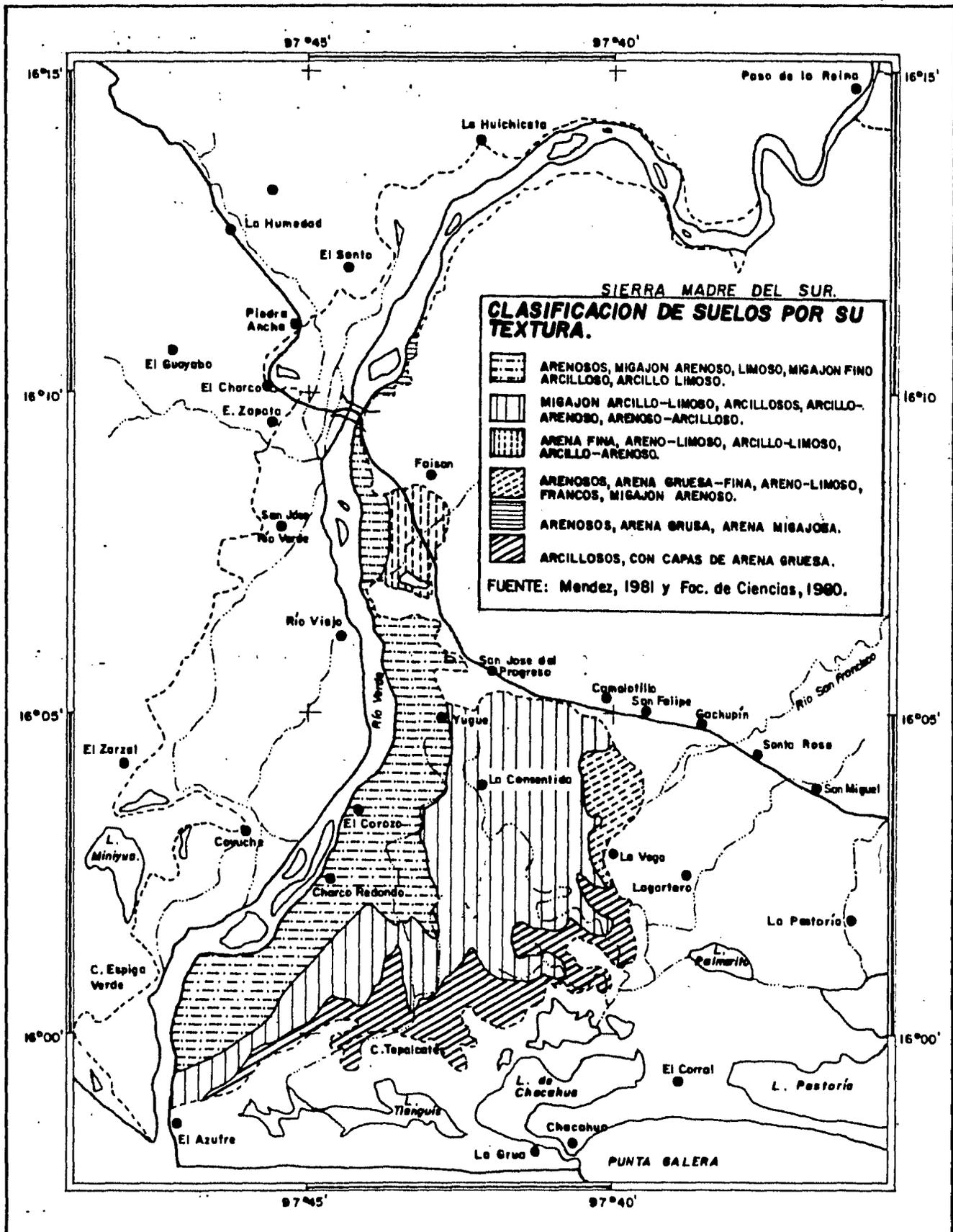
FUENTE: Facultad de Ciencias (1980). Estudio Interdisciplinario sobre la conservación y el aprovechamiento de un Parque Nacional "Lagunas de Chacahua", Oaxaca, con una población humana establecida, UNAM. México.

La clasificación de los suelos en la llanura de la Margen Iz-
quierda (Mapa 3) revela que los materiales en el sentido trans-
versal varían de arenosos junto al lecho menor, a textura me-
dia o arcillosa en áreas mediatas o alejadas; no obstante, --
con frecuencia existen áreas con materiales diferentes a los
dominantes, sobre todo junto a los cauces antiguos. Es evi-
dente la relación que el calibre de los materiales tiene con --
las inundaciones, deduciéndose que la energía decrece de las
riberas del lecho menor hacia las partes alejadas de la llanu-
ra.

5.7 Uso del Suelo

La zona irrigable de la llanura fluvial comprende un 32% de --
terrenos agrícolas, con cultivos anuales de temporal; 5% te-
rrenos agrícolas con cultivos perennes de temporal; 19% terre-
nos de agostadero con pastizal natural y matorrales; 43% de --
terrenos cubiertos de monte, y 1% de zonas inundables (SARH,
1977). El mismo autor estima que las inundaciones del Río --
Verde están frenando las actividades productivas; sin embargo,
los cultivos existentes son adecuados a los suelos disponi-
bles, aunque con rendimientos limitados. La superficie eva-
luada totalizó 30,463 Has.

En cuanto a los tipos de vegetación de la llanura fluvial com-
prendida dentro del Parque Nacional Lagunas de Chacahua, des-
tacan los siguientes (Facultad de Ciencias, 1977 y 1980):



Selva mediana subperennifolia, en la zona de "El Zapotal", - en la margen izquierda del Rfo Verde; las especies dominantes fueron: Brosimum alicastrum, Crataeva tapia, Calicophyllum candidissimum y Manilkara zapota.

Selva baja o mediana subperennifolia, 3 Kms. al este de Charco Redondo; las especies dominantes fueron: Bravaicia integerrima y Crataeva tapia. Otro sitio con la misma comunidad vegetal, se muestreó a 2.5 Kms. al SE de Charco Redondo donde las especies representativas, fueron: Sabal mexicana y Bravaicia integerrima.

Selva baja caducifolia, muestreada a 4 Kms. al sureste de Charco Redondo; las especies dominantes fueron: Trichilia trifolia, Cocoloba floribunda y Bravaicia integerrima.

La selva mediana se ubicó en la llanura alta de inundación, - en tanto que la selva baja en la llanura baja de inundación; así mismo, la selva baja o mediana en una zona de transición entre las llanuras alta y baja o directamente asociada con cauces antiguos.

Cabe destacar la presencia de Bravaicia integerrima en toda la llanura de inundación, siendo dominante en áreas adyacentes a los cauces antiguos activos e inactivos, al este de Charco Redondo; por lo que en este trabajo será considerada como un indicador natural de inundaciones fluviales.

Recientemente la SPP (1984), elaboró una carta provisional - de uso actual del suelo Esc. 1:250,000 reportando los siguientes usos: selva mediana subperennifolia en la llanura del -- Parque Nacional; vegetación secundaria derivada de selva mediana subperennifolia, en la margen derecha del Río Verde; - agricultura de temporal en casi toda la llanura con predominio de cultivos anuales; pastizal cultivado en áreas de inundación anual o de humedad alta, en los alrededores de El Zarzal, La Vega, Río San Francisco y Charco Redondo.

El presente trabajo considera errónea la ubicación de la selva mediana subperennifolia en toda la llanura, incluyendo -- las comunidades secundarias; para tal efecto se consideran - válidos los tipos de vegetación estudiados en los cursos de biología de campo, los cuales están avalados por muestreos - representativos en el área.

En cuanto a los asentamientos humanos en la llanura, en base a los datos de población reportados en los Censos de Población Generales de 1960 (S.I.C., 1963) y 1970 (S.I.C. 1973), fue posible inferir la población de 1980 (tabla 4); observándose que el crecimiento demográfico en la llanura presenta - una tasa de crecimiento del 7.5%, la cual es alta, aunque explicable si se tiene en cuenta que las llanuras fluviales -- son áreas potencialmente ricas en recursos naturales, capaces de sostener altas densidades de población. Lo anterior confirma

TABLA 4

DATOS DE POBLACION DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS AFECTADOS POR LAS AVENIDAS DEL RIO VERDE, OAXACA.

CENTRO DE POBLACION	POBLACION 1960 ¹	POBLACION 1970 ²	TASA DE CRECIMIENTO 1960 - 1970	POBLACION A PROYECTADO A 1980
Comalotillo	166	188	-3.55	84
Coyuche	44	299	21.12	2032
Charco Redondo	(300)	521		
Emiliano Zapata				
El Azufre		12		
El Corozo				
El Charco	69			
El Faisán	105	303	11.18	874
El Santo	78	327	15.41	1,371
El Zarzal		167		
La Consentida		579		
La Huichicata	172	282	5.07	462
La Vega	119	115	-0.34	111
Paso de la Reyna	244	429	5.80	754
Piedra Ancha	90	223	9.50	552
Río Viejo	58	399	21.27	2,745
San José del Progreso		863		
San José Río Verde	381	670	5.81	1,178
Yugue	125	96	-2.60	74
	1,651	5,403	7.5	10,237

FUENTES: 1. Secretaría de Industria y Comercio (1963).

2. Secretaría de Industria y Comercio (1973).

que las poblaciones rurales, por su desarrollo natural, están exponiéndose cada vez más a la afectación de los desbordes -- del Rfo Verde.

6. LLANURA FLUVIAL.

Algunas generalidades sobre la llanura fluvial del curso bajo del Río Verde ya han sido descritas en los capítulos precedentes.

La orientación general de la llanura es de NE-SE y con rumbo variable, entre el sitio Calera* y la Huichicata. El Río Verde, paulatinamente va configurando su llanura fluvial conforme abandona el control estructural que le imprime la Sierra Madre del Sur; inicialmente un valle encajonado con una llanura de inundación reducida, misma que se va ampliando hacia el sur, hasta alcanzar una anchura de poco más de 15 Kms. antes de su desembocadura.

El declive de la llanura, si se toma en cuenta el perfil longitudinal del lecho menor es de 0.073% o bien de 0.00073 m/m (tabla 5), aunque con cambios significativos en diferentes tramos. En su sentido transversal, también presenta variaciones; al norte del puente Río Verde, la pendiente de la llanura varía entre 0.5 y 1%, incrementándose conforme se avanza del cauce principal hacia sitios alejados en contacto con los macizos montañosos. Al sur del puente Río Verde, en

* El sitio Calera se ubica a 5 Kms. aguas abajo de la confluencia Río Juquila-Río Verde, donde se tiene proyectada la construcción de una presa de uso múltiple (SRH, 1970); en este estudio es considerado como el punto de entrada del Río Verde a la llanura fluvial en su curso bajo.

TABLA 5

EL CURSO BAJO

PENDIENTE DEL PERFIL LONGITUDINAL EN DIFERENTES SECCIONES

DEL RIO VERDE, EN 1979-1980.

SECCION VARIABLE	SIERRA MADRE DEL SUR	LLANURA FLUVIAL
Distancia del perfil longitudinal en mts.	55,500	49,080
Diferencia de altura en mts.	203.00	36.00
Pendiente en %	0.366	0.073

la margen derecha por lo general la pendiente es menor de 0.1% en tanto que en la margen izquierda, fluctúa entre 0.1 y 0.2% con la particularidad de que en ambas márgenes el gradiente se incrementa de las áreas marginales de la llanura hacia el lecho menor, que ocupa los sitios más elevados.

Aunque la llanura presenta aportes de materiales de corrientes intermitentes en algunos sitios, el Río Verde ha sido el principal modelador del ambiente fluvial actual. Dicha corriente ha sido inestable, cambiando de curso constante; testigo de ello son los múltiples cauces antiguos que acusan un gran dinamismo por su llanura.

El drenaje de la llanura presenta variaciones significativas. Entre el sitio Calera y el puente Río Verde, los cauces antiguos se distribuyen paralelamente al cauce principal, manteniendo comunicación constante. Al sur del puente Río Verde se desprenden del lecho menor, prolongados cauces antiguos -- algunos activos en crecidas; que recorren hasta 12 Kms. antes de unirse al cauce principal, o bien desembocar en los sistemas lagunares costeros. Estos remanentes, ocupan áreas marginales de la llanura fluvial, configurando un drenaje del tipo YaZOO, el cual es característico en las corrientes que elevan su lecho por encima de su llanura de inundación.

6.1 Morfología Fluvial.

La llanura fluvial del curso bajo del Río Verde, puede desglosarse en dos macrounidades, donde los procesos geomorfológicos actúan en forma diferenciada: 1) La llanura fluvial erosiva y, 2) La llanura fluvial acumulativa (carta geomorfológica).

La llanura fluvial erosiva (foto 1), comprende la porción que acusa un mayor control estructural por parte de las estribaciones de la Sierra Madre del Sur y su característica principal es que el Talweg o canal de estiaje ocupa los puntos de mayor depresión topográfica del plano fluvial, lo que indica un predominio de los procesos erosivos sobre los acumulativos. Se ubica entre el sitio Calera y San José Río Verde; la pendiente del perfil longitudinal del lecho menor era de 0.083% en 1964 (Tabla 6) y su anchura varía de 1,000 mts. en el sitio Calera a 3.5 Kms. al sur del puente Río Verde.

La llanura fluvial acumulativa (Foto 2), comprende el sector más importante del espacio fluvial. La particularidad de esta unidad es que el lecho menor se eleva progresivamente por encima de su llanura fluvial, alcanzando las riberas bajas -- hasta 5 y 7 mts. en relación a sectores en los bordos de la llanura (carta topográfica). Este hecho coincide con los valles fluviales donde los procesos acumulativos predominan so-



1. Llanura fluvial erosiva



2. Llanura fluvial acumulativa

TABLA 6

PENDIENTE DEL PERFIL LONGITUDINAL EN DIFERENTES TRAMOS DEL --
RIO VERDE, EN 1964.

SECCION VARIABLE	SIERRA MADRE DEL SUR	LLANURA FLUVIAL	MACROUNIDADES GEOMORFOLOGICAS	
			LLANURA EROSIVA	LLANURA ACUMULATIVA
Distancia del per fil longitudinal en mts.	55,500	47,500	23,550	24,000
Diferencia de altu ra en mts.	203.00	36.00	19.50	16.50
Pendiente en %	0.366	0.076	0.083	0.069

bre los erosivos; dinámica general que persiste entre San José Río Verde y la desembocadura, donde la planicie varía entre 6 y 15 Kms. de anchura. La pendiente del perfil longitudinal en este sector era de 0.069% en 1964.

6.1.1. Patrones de escurrimiento.

Tomando como base el coeficiente de sinusidad propuesto por Leopold y otros autores (1964), se diferenciaron los sectores del río con patrón meándrico o recto y su cojunción con el anastomosado; obteniéndose los siguientes resultados. (Tabla 7).

En 1979-1980, el perfil longitudinal entre el sitio Calera y la desembocadura presentó un coeficiente de 1.55; en ese tramo, el río presentaba un desarrollo longitudinal de 1,550 -- mts. por cada 1,000 mts. de distancia en línea recta. Este valor, lo sitúa por encima de 1.5 necesario para ser meándrico; sin embargo, un análisis por tramos menores revela los siguientes datos.

El tramo Paso de la Reyna-Huichicata, donde se ubican un conjunto de meandros (Mapa 1), presenta un coeficiente de 1.93 en tanto que el tramo Huichicata-Desembocadura, un coeficiente de 1.32, lo que le confiere un patrón meándrico al primer tramo y patrón recto al segundo. Las fotografías aéreas de

TABLA 7

COEFICIENTE DE SINUOSIDAD EN DIFERENTES TRAMOS DEL CURSO --
BAJO DEL RIO VERDE, EN 1979-1980.

SECCION VARIABLE	LLANURA FLU - VIAL (Sitio - Calera-Desem- bocadura)	PASO DE LA -- REINA-HUICHI- CATA	HUICHICATA- DESEMBOCADURA
Distancia en - línea recta en Kms.	31.68	8.0	31.00
Distancia del- perfil longitu- dinal en Kms.	49.08	16.45	40.88
Coefficiente de sinuosidad	1.55	2.05	1.32
Patrón de es- currimiento	Meándrico	Meándrico	Recto

Criterios de Calificación

< 1.5 = Patrón Recto
> 1.5 = Patrón Meándrico

octubre de 1967 y febrero-marzo de 1979-1980, permiten distinguir un patrón más, que domina en todo el curso bajo del Río Verde; el patrón anastomosado, cuya característica principal es que el lecho menor se divide entre 2 y 4 canales dependiendo del tirante del caudal, separados por bancos de aluvion o barras arenosas de tamaño y configuración variable.

6.1.1.1 El Patrón Recto.

En el Río Verde, este patrón de escurrimiento se reconoce -- por la existencia de largos tramos rectos en el curso de la corriente. Cabe señalar que su coeficiente de sinuosidad, es el resultado de la configuración sinuosa del canal de estiaje que discurre entre las márgenes del lecho menor, mas no del curso divagante de éste último (carta geomorfológica).

La sección entre la Huichicata y la Desembocadura, donde domina este patrón, se subdivide en 4 tramos que presentan un arreglo escalonado (tabla 8). Los datos anteriores permiten comprobar que el cauce del Río Verde en su curso bajo presenta un control estructural. En efecto, dos tramos importantes presentan una orientación de 45° NE-SW; dos más coinciden con orientaciones 05° NW-SE. Asimismo, los ángulos de confluencia entre uno y otro sector, son casi simétricos, entre 130 y 140°

Otro aspecto que refleja el control estructural está conteni

TABLA 8

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE DIFERENTES TRAMOS CON PATRON RECTO, EN EL CURSO BAJO DEL RIO VERDE, EN 1979-1980.

TRAMOS VARIABLE	HUICHICATA PUENTE RIO VERDE	PUENTE RIO VER DE-EL COROZO	EL CORO ZO-ESPI GA VER DE	ESPIGA -- VERDE-DE- SEMBOCADU RA
Distancia en línea recta en Kms.	11.00	10.80	7.80	4.40
Orientación del tramo	45° NE-SW	05° NW-SE	45° NE-SW	05° NW-SE
Angulo formado con el tramo anterior	90°	130°	130°	140°

do en 3 tramos rectos que superan 10 veces su anchura, lo -- que es poco común en ríos con este patrón.

6.1.1.2 El patrón Anastomosado.

El patrón anastomosado en el Río Verde se observa desde el sitio Calera hasta la desembocadura, según las imágenes -- aéreas de octubre de 1967 y febrero-marzo de 1979-1980. (carta Geomorfológica y carta de Morfología Comparativa del lecho menor 1967 y 1979-1980).

Este patrón de escurrimiento será analizado desde la perspectiva de los siguientes cuestionamientos ¿Qué factores han de terminado que el Río Verde en su curso bajo, adopte el patrón anastomosado? ¿Ha sido este patrón estable, entre 1964 y 1979-1980, o bien ha sido cambiante?.

En el curso bajo del Río Verde, el proceso de anatomosis, se está dando bajo la siguiente dinámica general. En el lecho menor, la formación de 2 y hasta 4 canales trenzados, separados por bancos de aluvión arenosos, revelan que en la carga de la corriente existe una cantidad mayor de sedimentos de los que el río puede transportar durante los flujos normales provocando su incompetencia; por lo que el exceso de materiales se deposita en el lecho menor produciéndose el fenómeno de agradación o aluvionamiento excesivo. La obliteración --

del lecho menor es manifiesta por la existencia de múltiples islas o barras arenosas que están provocando la disminución de la pendiente en el curso bajo y por lo tanto un mayor decremento en la capacidad de carga de la corriente, a la vez que acentuando la división de canales en el lecho menor. El proceso de agradación del lecho, forzosamente conlleva la alteración de la geometría del cauce, manifestándose además - del cambio del gradiente; por la pérdida de profundidad del lecho y por la ampliación de su anchura como compensación para mantener el equilibrio entre el caudal, la anchura y la profundidad.

Existen evidencias de que el patrón anastomosado, actualmente está en un proceso de desarrollo; los hechos son los siguientes:

El curso bajo del Río Verde, entre 1964 y 1979-1980, experimentó un cambio en su pendiente, en tanto que, en el sector donde el río escurre entre la Sierra Madre del Sur, el declive se mantuvo. En este último la pendiente se ha mantenido en 0.366%, mientras que en el curso bajo varió de 0.076% en 1964 a 0.073% en 1979-1980; como consecuencia de que el perfil longitudinal aumentó su distancia en 1,580 mts. (tablas 5 y 6, y perfil longitudinal del Río Verde).

De la comparación entre la parte montañosa y el curso bajo,

se deduce que sus características morfológicas traducidas en la geometría del cauce, son diametralmente opuestas. En la Sierra Madre del Sur, el control estructural se hace patente a través de profundas cañadas y en su mayor pendiente, características que le confieren a la corriente una mayor capacidad de evacuación del caudal y de transporte de sedimentos - persistiendo un proceso continuo de profundización del lecho; de esta manera se tiene un valle fluvial eminentemente erosivo con lecho menor estrecho, con depósitos de gravas y arenas gruesas, sin llanura fluvial, y con un tirante mayor que el de su curso bajo. Al abandonar la sierra y penetrar en la llanura fluvial, el Río Verde experimenta un cambio brusco en su pendiente, hecho que se traduce en modificaciones profundas en la morfología de su cauce, motivadas por la pérdida de capacidad de transporte, sucediéndose el aluvionamiento del lecho menor; de esta manera, la disminución del gradiente del río, origina una pérdida de profundidad del lecho por el abandono de los materiales gruesos disminuyendo así su tirante, por lo que en compensación se sucede una ampliación sustancial del lecho, garantizándose así el paso de los flujos.

La persistencia de una dinámica erosiva o acumulativa, que diferencia la llanura en dos grandes sectores, conduce a hacer una revisión más profunda de los cambios del gradiente.

Esto no ha sido posible debido a la falta de una cartografía reciente que detallara la topografía del lecho. Sin embargo, utilizando el coeficiente de sinuosidad propuesto por Leopold y otros autores, se revelan los siguientes datos, (tabla 9).

La prolongación del perfil longitudinal en un período de 16 años de análisis, se tradujo en un aumento del coeficiente de sinuosidad, pasando de 1.50 en 1964 a 1.55 en 1979-1980. Este hecho podrían interpretarse como una evolución de patrón meándrico en el curso bajo; sin embargo, mediciones del lecho menor en diferentes años sugieren la activación de otros fenómenos; además, como ya se apuntó, en el tramo Huichacata-Desembocadura, actualmente persiste el patrón recto.

En el tramo sitio Calera-Huichicata, que forma parte del sector con patrón meándrico entre paso de la Reina y Huichicata, el coeficiente de sinuosidad varío de 1.69 en 1964 a 1.87 en 1979-1980, debido a que el perfil longitudinal se prolongó en 950 m. En el mismo lapso, en el tramo con patrón recto entre la Huichicata y la desembocadura, el coeficiente varío de 1.30 a 1.32, prolongándose el perfil longitudinal en 630 m. Se deduce que es en el tramo meándrico donde se está dando una mayor disminución de la pendiente, debido al rápido aluvionamiento del cauce.

Cabe destacar el hecho de que en 16 años, la distancia en línea recta del tramo con el patrón recto se mantuvo en 31.00 Kms. no sin la prolongación o acortamiento de algunos secto-

TABLA 9

COEFICIENTE DE SINUOSIDAD EN DIFERENTES TRAMOS DEL CURSO -
BAJO DEL RIO VERDE, EN 1964.

SECCION VARIABLE	LLANURA FLU VIAL	SUBSECCIONES	
		PASO DE LA - REINA-HUICHI CATA	HUICHICATA-DE- SEMBOCADURA
Distancia en línea recta- en Kms.	31.68	8.00	31.00
Distancia del- perfil longitu- dinal en Kms.	47.50	15.50	40.25
Coefficiente de sinuosidad	1.50	1.93	1.30
Patrón de escu- rrimiento	Límite en- tre recto- y meándri- co.	Meándrico	Recto

Criterios de Calificación:

< 1.5 = Patrón Recto
> 1.5 = Patrón Meándrico

res; en cambio, el perfil longitudinal experimentó una prolongación, hecho que conduce a pensar que el río también disminuyó su pendiente aunque en forma menos sensible que en el tramo sitio Calera-Huichicata. En otras palabras, en el tramo Huichicata-Desembocadura, no se está dando un desarrollo en la sinuosidad de los tramos que permita inferir un cambio de patrón recto-anastomosado a patrón meándrico; sino la prolongación del perfil longitudinal dentro de su propio lecho, debido a la divagación entre los bancos de aluvión, lo que permite vislumbrar una evolución del patrón anastomosado. Este hecho se ve reforzado claramente en el tramo Calera-Huichicata, donde no se registraron migraciones de meándros, sino cambios en la disposición de los bancos de aluvión y en el aumento de la sinuosidad del canal de estiaje dentro del cauce principal.

Cabría preguntarse ¿Porqué los cambios en la sinuosidad del talweg han sido mayores en el sector meándrico que en el sector con patrón recto?, es muy probable que al presentarse un mayor aluvionamiento en el lecho menor con patrón meándrico, este hecho se haya traducido en un ligero incremento en la pendiente de tramos subsecuentes, lo que junto con la continuación del proceso de agradación en otros, contribuyeron a mantener casi un equilibrio en la pendiente del río en la porción con patrón recto.

Al mismo tiempo, no obstante que el aluvionamiento ha sido más intenso en el cauce principal de la porción erosiva, al parecer ello no ha significado la pérdida de condiciones favorables para la evacuación de los flujos debido a que la pendiente, aún sigue siendo superior a la del cauce de la llanura acumulativa; lo que a su vez se tradujo en una mayor estabilidad de las margenes. Por el contrario, en los últimos 16.5 Kms. la continuidad en la agradación del hecho contribuyó a una mayor inestabilidad de las margenes, produciéndose cambios espectaculares debido a la constante búsqueda de una mayor pendiente que facilite el escurrimiento hacia su nivel de base.

Otro cuestionamiento sería ¿De qué manera el proceso generalizado de agradación del lecho menor, se ha reflejado en la degradación o evolución horizontal del mismo?. Un indicador de los cambios dinámicos del lecho menor está contenido en el análisis de la posición de las márgenes o riberas bajas. En efecto, en las tablas 10 y 11, y en la carta de modificaciones del lecho menor observadas en diferentes fechas, se advierte que en 16 años la anchura media del lecho menor varió progresivamente de 548.75 mts. en 1964, a 770.53 mts. en 1979-1980; es decir que el río aumentó su anchura a una velocidad media anual de 14 m. por año.

TABLA 10

ANCHURA MEDIA DEL LECHO MENOR DEL RIO VERDE EN TRAMOS Y FECHAS DIFERENTES.

SECCIONES		ANCHURA MEDIA EN METROS		
		1964	1967	1979-1980
LLANURA FLUVIAL		548.75	624.08	770.53
MACROUNIDA DES GEOMOR- FOLOGICAS	Llanura flu- vial erosi- va	533.96	585.67	654.88
	Llanura flu- vial acumu- lativa.	561.61	655.09	866.15
PATRON DE ESCURRIMIENTO	Meándrico:- sitio Cale- ra Huichica- ta.	449.00	454.67	525.28
	Recto: Hui- chicata-De- sembocadura	569.98	653.86	813.09
TRAMOS DEL PATRON RECTO	Huichicata- Puente Río- Verde	596.92	650.40	693.64
	Puente Río- Verde El Co- rozo.	611.43	748.33	847.62
	El Corozo- Espiga Ver- de	531.82	723.33	952.38
	Espiga Ver- de-Desembó- cadura	513.30	486.66	761.17

TABLA 11

VARIACION EFECTIVA EN LA ANCHURA DEL LECHO MENOR DEL RIO VERDE EN TRAMOS Y FECHAS DIFERENTES.

SECCION	ANCHURA MEDIA EN 1964, EN METROS	AMPLIACION DEL LECHO MENOR EN RELACION A LA ANCHURA MEDIA EN 1964, EN METROS		
		1967	1979-1980	
LLANURA FLUVIAL	548.75	75.33	221.78	
MACROUNIDAD DE GEOMORFOLOGICAS	Llanura fluvial erosiva.	533.61	51.69	120.92
	Llanura fluvial acumulativa.	561.61	93.48	304.54
PATRON DE ESCURRIMIENTO	Meándrico: sitio Calera-Huichicata.	449.00	5.67	76.28
	Recto: Huichicata-Desembocadura	569.98	83.88	243.11
TRAMOS DEL PATRON RECTO	Huichicata-Puente Río-Verde.	596.92	53.48	96.72
	Puente Río-Verde-El Corozo.	611.43	136.90	236.19
	El Corozo-Espiga Verde.	531.82	191.51	420.56
	Espiga Verde-Desembocadura	513.30	- 26.00	247.87

El análisis del lecho menor de los valles fluviales erosivo-acumulativo, permiten deducir que en el primero, la anchura ganó 120.92 mts. en 16 años, en tanto que en el segundo se amplió en 304.54 mts. en el mismo lapso; ésto equivale a una ampliación media anual del lecho de 7.5 y 19 m. respectivamente.

Si se comparan las diferencias de anchura del cauce en las unidades erosiva y acumulativa, se observa que en 1964 existía un relativo equilibrio ya que la diferencia de amplitud era de 27.65 mts.; para 1979-1980, esta diferencia se incrementó a 211.27 mts., de lo que se deduce una ruptura del equilibrio existente, siendo la parte más afectada la del valle acumulativo.

De la comparación del lecho menor con patrón meándrico y patrón recto, se obtuvo lo siguiente. Los cambios más relevantes ocurrieron en el tramo con patrón recto entre la Huichicata y la Desembocadura; toda vez que entre el tramo meándrico la anchura aumentó en 76.28 mts., en cambio en el tramo con patrón recto, lo hizo en 243.11 mts. También se dieron cambios en la anchura media del lecho menor entre ambas secciones en 16 años; las diferencias en 1964 eran de 120.98 mts., aumentando a 287.81 mts. para 1979-1980. Un análisis más detallado en el tramo con patrón recto, revela que en 16 años la porción del lecho menor que más cambios experimentó,

se localiza entre el Corozo y Espiga Verde, aumentando su anchura en 420.56 mts.

Los datos anteriores permiten confirmar que es en el lecho menor de la llanura fluvial acumulativa donde se han registrado las variaciones más importantes del lecho, caracterizadas por una irrupción violenta en el proceso de ampliación de las márgenes en 16 años; en el valle fluvial erosivo, aunque hubo -- variaciones positivas en la anchura del cauce, no tuvieron un carácter tan dinámico; en esta sección el sector de la corriente con patrón recto, entre la Huichicata y San José Río Verde evidenció los cambios más importantes. También la migración de las márgenes del lecho menor se ha traducido en una pérdida gradual de suelos fértiles. En la tabla 12 se evalúan los terrenos de la llanura erosionados y/o incorporados al lecho mayor en diferentes períodos; resultando que entre 1964 y - - 1980, se perdieron 1,182 Has. y solamente se restituyeron 328 Has., siendo la llanura acumulativa la porción más afectada.

Sin duda los cambios en la morfología del lecho menor, como - se verá mas adelante, están ligados con los usos del suelo, - el proceso de sedimentación y sobre todo con las avenidas extraordinarias.

Ahora bien, el proceso de abliteración en el Río Verde se manifiesta por el desarrollo de bancos de aluvión arenosos y a su vez la alteración de la geometría del cauce; pero ¿Qué papel - más concreto están jugando éstos en el proceso de anastomosis y en la dinámica general del lecho menor?

TABLA 12

EFFECTOS DE LA MIGRACION DE MARGENES DEL LECHO MENOR EN LOS SUELOS DE LA LLANURA FLUVIAL, EN DIFERENTES PERIODOS.

	PERIODO 1964 - 1967		PERIODO 1967 - 1979 - 1980	
	SUPERFICIE EROSIONADA EN HAS.	SUP. INCORPORADA A LA LLANURA EN HAS.	SUPERFICIE EROSIONADA EN HAS.	SUP. INCORPORADA A LA LLANURA EN HAS.
Llanura fluvial	449	87	733	241
Llanura erosiva	138	42	217	99
Llanura acumulativa.	311	45	516	142



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

En primera instancia la superficie de los bancos de aluvión ha ido en aumento debido a la ampliación del lecho menor. En base a la interpretación de imágenes de fotografías aéreas de 1967, 1979 y 1980, y considerando las variaciones del caudal es posible derivar los siguientes resultados (carta geomorfológica y carta de morfología comparativa del lecho menor en diferentes fechas).

En el curso bajo del Río Verde se distinguen tres tipos de barras o bancos de aluvión arenosos en función de su desarrollo horizontal y vertical y considerando el tipo de vegetación -- que sustentan. Su desarrollo o decremento, estabilidad o inestabilidad dentro del lecho, está íntimamente relacionado con la mayor o menor consolidación de los materiales arenosos, -- además del papel de la vegetación como fijadora de arenas y limos durante los flujos medios; pero sobre todo, dependen de las variaciones del caudal en el año, produciéndose las modificaciones más drásticas durante los flujos altos y de avenidas extraordinarias. Por lo tanto estos depósitos arenosos son indicadores del proceso de anastomosis, evidenciando la división de canales ocupados por el caudal en los diferentes niveles o tirantes.

En el período de 1967 a 1979-1980, se observa que los bancos más estables; fueron aquellos que presentaban vegetación de sauces (*Salix Sp.*), (foto 3), a juzgar por la persistencia de

algunos después de la ocurrencia de gastos extraordinarios de hasta $7,000 \text{ m}^3/\text{seg.}$, los que se localizaban en medio del lecho fueron erosionados y disminuídos en su superficie; en tanto que algunos que colindaban con las riberas bajas, se integraron a la llanura baja registrándose una ganancia de suelos -- cultivables. Sin embargo en lo general, esta incorporación de terrenos aluviales al lecho mayor no alcanzó a compensar los terrenos erosionados por la ampliación del lecho menor; -- he aquí una evidencia más del desequilibrio que está experimentando el Río Verde en su curso bajo. En su defecto, los bancos de aluvi6n con *Salix Sp.* que desaparecieron, probablemente migraron hacia otros puntos del lecho, conformando nuevos bancos o bien acrecentando algunos que ya sostenían vegetación de matorral, pasando gradualmente a conformar nuevos dep6sitos con vegetación de jóvenes sauces.

Los bancos arenosos con vegetación de matorral (foto 4), son el resultado de una persistencia mayor de 1 año; lo anterior se deduce a partir del ciclo de desarrollo de las plantas que conforman esta comunidad vegetal; si el dep6sito persiste y desarrolla por más de 2 años, probablemente se empieza a dar la colonización de jóvenes sauces.

En cuanto a los bancos de aluvi6n sin vegetación, éstos representan los dep6sitos de materiales más frescos dentro del lecho; probablemente la remoci6n o desaparici6n de alg6n dep6si



3. Bancos arenosos con vegetación de sauces



4. Bancos arenosos con vegetación de matorral y sauces, en el Puente Río Verde.

to con vegetación, durante los flujos máximos de la temporada lluviosa anterior. En ese sentido, es posible que los depósitos de aluviones, sin vegetación o con matorral, correspondan a los materiales que son removidos durante los flujos medios; en su defecto, para que los bancos arenosos con bosque de *Salix* sufran desgastes importantes, es necesaria la ocurrencia de flujos altos a pleno borno, cuando menos. En consecuencia los bancos arenosos experimentarán los cambios más dinámicos durante las avenidas ordinarias, pero sobre todo durante las extraordinarias, que es cuando se activa la zocavación del fondo del lecho, con el incremento momentáneo de la pendiente; hecho que se revierte con el decremento del caudal, iniciándose nuevamente el proceso de aluviamiento.

Es evidente que la ampliación del lecho, ha significado en 13 años la ganancia de espacios arenosos muy inestables, y que la persistencia de los depósitos relativamente estables como los que sustentan vegetación de *Salix*, más o menos se ha mantenido, aunque con una mayor fragmentación en algunos sitios, que anuncia su próxima desaparición.

Como ya se ha mencionado, el canal o canales de estiaje durante los flujos bajos, serpentean dentro del lecho, entre los bancos de aluvión arenosos. En las imágenes de 1967 y 1980, claramente se observa como la erosión lineal se ha dado con mayor intensidad hacia los sitios donde el canal principal es

taba en contacto con la riberas bajas, sin que mediaran los bancos arenosos o barras. Cuando esta situación además coincide con grandes bancos arenosos en la orilla opuesta, y -- sobre todo con vegetación de Salix, es muy factible que dichos depósitos actúen como barreras desviadoras de los flujos medios y altos, hacia las riberas bajas no protegidas, acelerándose de esta manera la migración de las márgenes del lecho. Cuando la ribera que está siendo trabajada, además coincide con vertederos de displayamiento, brazos de corriente de crecidas y desprendimiento de cauces antiguos activos, y en presencia de flujos ordinarios y extraordinarios, los cambios -- que se manifiestan son aún más espectaculares; evidenciándose por lo tanto estos sitios, como los puntos más vulnerables -- del lecho, por donde las crecidas inician su penetración hacia la llanura baja, trascendiendo la dinámica hidrológica y geomorfológica hacia la planicie de inundación. Los sitios -- que presentan estas características se ubican en toda la llanura baja del valle erosivo; en tanto que en la llanura acumulativa principalmente en los siguientes sitios: San José Río Verde, Río Viejo, Yugue-El Corozo, Río Viejo-Espiga Verde, El Zapotal y Espiga Verde-Desembocadura. Este hecho coincide -- también con las áreas donde la ampliación de lecho ha sido mayor.

6.1.1.3 El Patrón Meándrico.

Dadas las características de este patrón en el área de estudio solamente se vierten algunos aspectos de interés general. Se localizó entre el sitio Calera y la Huichicata con un recorrido de 8.20 Kms. en su perfil longitudinal. Se tomó como coeficiente de sinuosidad el valor de 1.93, que corresponde a un grupo de meandros entre Paso de la Reyna y la Huichicata. La sinuosidad ha aumentado en el tramo en cuestión, acompañada de un sensible decremento de la pendiente a causa del abandono de la carga de materiales al entrar en la llanura, con la consecuente obliteración del lecho; teniéndose un cambio parcial de la sinuosidad en 16 años, de 1.68 a 1.87. Ya ha sido señalado también que en esta porción del lecho menor es la que menos cambios experimentó en cuanto a la ampliación de sus márgenes; sin duda la mayor pendiente en relación al tramo con patrón recto permite aún la evacuación eficiente de los caudales, a pesar de que el cambio de sinuosidad revelan una pérdida en el declive del sector; en ese sentido existe la tendencia a un mayor desarrollo del patrón anastomosado del lecho sin que ésto signifique una alteración del patrón meándrico.

En este tramo del río es evidente el control estructural que la Sierra Madre del Sur y sus estribaciones ejercen sobre el grupo de meandros. El Río Verde, en la búsqueda de su nivel

de base, aprovechó las líneas de debilidad del macizo del precámbrico y rocas graníticas del mesozoico, que en esta porción del territorio han sido sometidas a una intensa actividad tectónica. El trabajo erosivo del río ha borrado parcialmente las fallas y fracturas que convergen en la parte cóncava de la corriente, conformando una llanura fluvial estrecha, que paulatinamente se va ampliando conforme se avanza hacia el mar. Solamente de esa manera es explicable el hecho de que el río presente un curso sinuoso, pero sin que se observen migraciones de meandros u otros vestigios que atestigüen una mayor dinámica de este patrón. En efecto, inmediatamente después de la curva convexa se ha desarrollado una llanura fluvial de poca amplitud que rápidamente da paso a los macizos del precámbrico; en la parte cóncava, el lecho menor tiene contacto directo con los macizos montañosos que como se ha señalado se elevan entre 200 y 400 m.s.n.m.

6.1.2. Morfología de los Lechos de Inundación.

Cuando los gastos del caudal rebasan las riberas del lecho menor, se da inicio a la dinámica en la llanura de inundación; su ocupación temporal y espacial, en mayor o menor medida, significa también la activación de los procesos erosivos y acumulativos, conformándose unidades geomorfológicas con rasgos distintivos.

En el área de estudio se reconocen tres unidades geomorfológicas a saber (Carta de lechos de inundación, Carta Geomorfológica y Perfiles geomorfológicos): 1) El lecho menor o cauce ordinario; 2) El lecho mayor o llanura baja de inundación y, 3) El lecho mayor excepcional o llanura alta de inundación. El Lecho menor ya ha sido analizado con mayor detalle en los apartados anteriores, por lo que se hará más énfasis en las unidades restantes.

6.1.2.1. Los Lechos de Inundación en la Llanura Fluvial Ergativa.

El talweg del lecho menor en este sector, se caracteriza por que siempre ocupa los puntos de mayor depresión topográfica en la llanura.

El lecho mayor o llanura baja de inundación, se ubica invariablemente a ambos lados de las márgenes del lecho menor y se caracteriza por presentar una alta densidad de cauces antiguos trenzados, la mayoría activos en época de crecidas; algunos recorren hasta 10 Kms. paralelos al cauce ordinario aunque manteniendo estrecha comunicación a través de cauces menores. La alta densidad de cauces antiguos revelan la renovación dinámica del lecho menor por su llanura fluvial, además de la persistencia de la erosión lineal en esta unidad, aunque por otro lado, existen evidencias de algunos pun

tos donde los procesos acumulativos son relevantes; tal es el caso de los diques naturales junto a las márgenes del lecho menor, aunque poco desarrollados y muy segmentados por los paleocauces.

La llanura baja, es la unidad geomorfológica en el valle erosivo, que presenta una mayor exposición a las avenidas ordinarias. Prueba de ello es que de las riberas bajas del lecho menor se desprenden las huellas de corrientes de crecidas, brazos de crecidas y vertederos de displayamiento, además de los cauces antiguos activos que facilitan la penetración de los flujos.

La llanura baja también presenta diferentes grados de exposición a las inundaciones ordinarias. La llanura baja con inundaciones anuales, que engloba las áreas marginales a las lagunas o "charcos", las cubetas inundables y los cauces antiguos activos en crecidas donde se da un entarquinamiento del drenaje. En segundo lugar, está la llanura baja con alta densidad de cauces antiguos activos, que corresponden a la mayor parte del lecho mayor; los sitios menos expuestos serían los diques naturales.

Los materiales de la llanura baja son heterogeneos aunque aproximadamente siguen el siguiente arreglo. Arenosos o arenoso-limosos, junto al lecho menor y junto a los cauces anti

guos activos; limo-arenosos y limo-arcillosos en las áreas entre los cauces antiguos; arcillosos y arcillo-limosos en las llanuras y en las cubetas de inundación anual. Las arenas -- junto al lecho menor acusan una mayor energía de la corriente de inundación; conforme la llanura se amplía, además de que su pendiente se incrementa, se infiere que la corriente pierde energía y por lo tanto el calibre de los materiales es menor. Esto no siempre es válido, sobre todo cuando existen paleocanales que facilitan el flujo de las crecidas por la llanura.

En cuanto al lecho mayor excepcional o llanura alta de inundación, ésta ocupa invariablemente en el valle erosivo, los sitios marginales y por lo tanto los más elevados en la llanura fluvial. Es por eso que estas áreas sólo se ven afectadas -- por las avenidas de carácter extraordinario; este hecho explica la nula presencia de paleocanales, de donde se deriva que en esta unidad domina la acumulación de sedimentos que han borrado los vestigios de la erosión lineal. Los materiales de esta reducida unidad son variables; por un lado la poca energía de la corriente de inundación contribuye al depósito de materiales finos. Sin embargo, con frecuencia se tienen aportes de arenas y limos de corrientes intermitentes que fluyen hacia el Río Verde, o también el aporte de materiales gruesos del piedemonte de la zona montañosa. Las partes más amplias

de esta unidad se localizan en la margen derecha del valle erosivo, entre la Huichicata y San José Río Verde.

En esta macrounidad, la posición topográfica del lecho menor, su mayor pendiente en relación a la llanura acumulativa, el incremento del gradiente de la ribera baja hacia la llanura alta, la existencia de diques naturales, además de algunas áreas con cobertura vegetal importante, son factores que han determinado que el cauce ordinario del río en los primeros 24.32 Kms. de recorrido, haya experimentado cambios menos drásticos que el lecho de la llanura acumulativa; no obstante el aumento de la sinuosidad, la disminución de la pendiente hidráulica y la evolución rápida del proceso de anastomosis, permiten pronosticar mayores modificaciones en la morfología del lecho menor en los próximos años.

6.1.2.3. Los Lechos de Inundación en la Llanura Fluvial Acumulativa.

El lecho menor o cauce ordinario en los últimos 24.76 Kms. de recorrido hacia el mar, gradualmente se eleva por encima de su llanura de inundación, de tal manera que no siempre el talweg ocupa los puntos de mayor depresión topográfica; incluso las riberas bajas del lecho menor llegan a ubicarse entre 5 y 7 mts. por encima de áreas marginales de llanura. La pendiente del perfil longitudinal es menor que la del valle erosivo,

además de que en los últimos 20 años se ha acentuado la disminución del declive, debido a la agradación y ampliación del cauce principal.

El lecho mayor o llanura baja de inundación ocupa la porción más importante de la llanura inundable y no siempre se localiza junto al lecho menor. Es esta unidad la que con mayor frecuencia se ve afectada por las avenidas del Río Verde, debido a su posición respecto al cauce principal, siempre por debajo o a nivel de las riberas bajas.

La recurrencia de las inundaciones afecta diferencialmente el espacio geográfico del lecho mayor; lo anterior se deduce a partir de la clara incidencia de los procesos erosivos y acumulativos en uno u otro sector. Con este criterio es posible distinguir las siguientes subunidades:

- a) La llanura baja afectada por inundaciones anuales. Ocupa las áreas de mayor depresión topográfica caracterizadas como cubetas inundables anualmente, donde se incluyen las planicies de inundación de lagunas marginales; en realidad, esta subunidad es la prolongación de zonas lacustres en los bordos de la llanura, que paulatinamente se han ido sedimentando y que representan áreas de alta humedad, mal drenaje y de vegetación peculiar. En efecto las asociaciones vegetales que caracterizan estas áreas son los popales,

tulares y canocoitales. Esta subunidad se ubica preferentemente en los sitios alejados del lecho menor donde la llanura baja tiene contacto con los macizos montañosos. La ausuencia de cauces antiguos y los materiales finos que ahí se han depositado, revelan un lento proceso de sedimentación, al mismo tiempo que un estancamiento temporal o drenaje lento de las aguas de crecidas. Estas áreas no necesariamente necesitan flujos o desbordes para ser inundados, sino que también fungen como depresiones de captación de aguas pluviales.

- b) La llanura baja con alta densidad de cauces antiguos. Esta extensa subunidad se localiza desde las riberas bajas del lecho menor hasta los sitios más alejados de la llanura; caracterizándose por presentar prolongados cauces antiguos activos e inactivos que se desprenden del lecho menor, configurando una red de drenaje tipo Yazoo, característico de las llanuras donde la corriente principal eleva su nivel sobre el lecho mayor. Algunos paleocanales recorren entre 12 y 15 Kms. antes de unirse nuevamente al lecho menor o bien desembocar en los sistemas lagunares costeros. La trenzada red de cauces antiguos refleja la dinámica de las inundaciones en ese sector, al mismo tiempo que las constantes migraciones del cauce principal sobre su llanura.

Aunque se sostiene que en esta subunidad prevalecen los procesos acumulativos sobre los erosivos, es evidente la importancia de la erosión lineal a través de los cauces antiguos activos, deduciéndose que estas áreas son las más dinámicas en cuanto a la ocurrencia de avenidas ordinarias; que por un lado permiten la constante depositación de materiales -- arenosos junto al lecho menor y en las márgenes de los paleocauces; por el otro, representan la persistencia de rasgos erosivos en el plano fluvial, y aún su incremento junto al lecho menor, a través de las huellas de corrientes de crecidas, brazos de crecidas y vertederos de displayamiento. Es esta subunidad de la llanura fluvial, la que ha sido más -- afectada por el retroceso de las márgenes del lecho menor. Este hecho ha repercutido en un aumento del peligro de afectación por avenidas ordinarias, ya que aunado a la disminuición del tirante del lecho menor, durante la migración de -- las márgenes, se han erosionado algunos diques naturales -- que fungían como contenedores de avenidas menores; disminuyendo así el desnivel topográfico entre las riberas bajas y el resto de la llanura baja, favoreciendo desbordes que pueden afectar espacios geográficos mayores, aún con la ocurrencia de gastos ordinarios de menor rango (ver Perfiles Geo-- morfológicos).

Los materiales junto al lecho menor y en las márgenes de -- los cauces antiguos activos, son areno-limosos y limo-areno

sos; en el espacio restante, coexisten los limo-arcillosos o arcillo-limosos.

- c) La llanura baja sin cauces antiguos. Está representada por amplios sectores en forma de islas y cuyo nivel topográfico se ubica en posición intermedia entre el lecho menor y los paleocauces antiguos muy prolongados, sin constituir depósitos que sobresalgan del plano fluvial en forma importante como para considerarlos dentro de la llanura alta; en general carece de cauces antiguos activos o inactivos, de donde se infiere que el proceso dominante es el acumulativo. La escasez de rasgos de la erosión lineal revelan también un menor dinamismo en cuanto a la ocurrencia de inundaciones; es decir que aunque pertenecen al grupo de las ordinarias, presentan un período de retorno más largo. La presencia de una cubierta vegetal importante, revela que en esta subunidad el flujo de las crecidas es lento y de escasa energía -teniéndose por lo tanto, un aluvionamiento menor que en la subunidad con cauces antiguos. Los sectores de esta subunidad, al SW de Río Viejo y sur de San José del Progreso, sugieren que los macizos montañosos que emergen del plano fluvial, ejercen un control estructural en los cauces antiguos desviándolos hacia ambos lados. En el caso de los sectores entre el Corozo y el sistema lagunas Chacahua-Pastoría, es clara su evolución a la sombra de la llanura alta de inundación y sus diques naturales; estos depósitos producen un --

efecto de desviación de las avenidas ordinarias de menor rango y solamente cuando las avenidas son excepcionales -- llegan a afectar a esta subunidad en forma significativa -- aportando sedimentos de limos y arcillas.

En otras áreas de esta subunidad, los materiales son variables, reconociéndose capas alternas de limos, arcillas, en función de la intensidad de la serie de avenidas que originaron los depósitos.

El lecho mayor excepcional o llanura alta de inundación. En la llanura acumulativa, esta unidad presenta características singulares que la diferencian claramente del resto -- de los lechos de inundación. Nos referimos al sector de la llanura ubicado en la margen izquierda del Río Verde -- desde el Corozo hasta El Azufre, sólo interrumpida por algunos cauces antiguos activos. Se distingue porque es el único espacio geográfico importante que se eleva por encima de las riberas bajas del lecho menor, entre 1 y 2 mts.; la presencia de los más desarrollados y prolongados diques naturales que fungen como barreras naturales que en ese sector desvían las inundaciones ordinarias hacia la margen -- opuesta, de ahí que no es extraño que la migración de los márgenes del lecho menor se esté dando con preferencia en esos puntos. La elevación sobre el resto de la llanura -- permite un resguardo de los desbordamientos del río, salvo

de aquellos con carácter extraordinario; este hecho ha originado una depositación intensa de materiales de textura gruesa y media, cuando el flujo de la corriente presenta una alta energía. Al mismo tiempo, el período de retorno prolongado de los desbordes así como el elevado aluvionamiento durante su ocurrencia, han borrado los rasgos de la erosión lineal a través de cauces antiguos; este efecto se prolonga hacia porciones de la llanura baja sin cauces, en el Parque Nacional. Otro rasgo distintivo es la presencia de suelos francos con buen drenaje superficial e interno, que además, por tener una fuente de agua segura del Río Verde, han permitido la sucesión de la vegetación más desarrollada de la región: la selva mediana subperennifolia.

Existen también estrechas y prolongadas franjas de llanura alta en contacto con el pie de monte de los macizos cristalinos o con pequeñas llanuras intermontanas de corrientes intermitentes, los materiales son de textura media a gruesa.

6.1.3 Tendencia de los Azolves en Suspensión.

En el presente trabajo se ha sostenido que Río Verde en su curso bajo ha visto incrementada progresivamente la carga de la corriente. Para demostrar lo anterior se procedió al tratamiento preliminar de los datos de acarreo de azolves en suspensión y escurrimiento anual.

Mediante el método de los mínimos cuadrados (Spiegel, 1984) - (tablas 13 y 14), se construyó la figura ⁶4 en papel semilogarítmico trazándose las rectas de ajuste de las tendencias de los azolves en suspensión y el escurrimiento anual.

La Gráfica ⁶A muestra una clara tendencia ⁵ en el incremento anual de los azolves, lo cual no corresponde a un aumento sustancial en el escurrimiento. Así, en 1962 se tenía una relación de 5.16 m^3 de carga en suspensión para cada 5.19 m^3 de escurrimiento; para 1980, la relación fue de 9.16 m^3 de carga en suspensión, para 5.49 m^3 de escurrimiento. Este hecho implicó una carga adicional que mermó la potencia de la corriente, traduciéndose en la obliteración del lecho menor, la maduración del patrón anastomosado y los cambios geomorfológicos ya descritos.

Es prudente aclarar que la tendencia de los azolves no considera la carga de disolución o la del fondo. Sin embargo, es claro que el origen del desequilibrio geomorfológico que el curso bajo está experimentando se ubica en gran medida en áreas externas. Probablemente las áreas principales donadoras de materiales se ubiquen en la Mixteca Alta y en los valles centrales de Oaxaca, las cuales han sido sometidas a una intensa desforestación y prácticas agropecuarias que han acelerado los procesos erosivos.

TABLA 13

TENDENCIA DE LOS AZOLVES EN SUSPENSION MEDIANTE EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS. CORRIENTE RIO VERDE, ESTACIO PASO DE LA REINA, OAXACA.

AÑO	AZOLVES EN SUSPENSION. EN MILES DE M ³
X	Y
1962	4277.0
1963	8255.7
1964	619.7
1965	5363.0
1966	5226.9
1967	4272.0
1968	2076.3
1969	17170.1
1970	8251.4
1971	6401.4
1972	6371.9
1973	7808.9
1974	11583.2
1975	12433.5
1976	6193.1
1977	6531.4
1978	3809.4
1979	9468.8
1980	8943.8

Pendiente = 221.82
 Coeficiente de correlacion=0.32

Y 1962 = 5111.9
 Y 1980 = 9104.7

TABLA 14

TENDENCIA DE LOS ESCURRIMIENTOS ANUALES MEDIANTE EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS. CORRIENTE RIO VERDE, ESTACION PASO - DE LA REINA, OAXACA.

AÑO	ESCURRIMIENTO ³ EN MILLONES DE M ³
X	Y
1962	3863.0
1963	5703.7
1964	4873.5
1965	5286.1
1966	4857.9
1967	5333.5
1968	3194.8
1969	6251.3
1970	6622.6
1971	5576.2
1972	4661.2
1973	5471.8
1974	8326.0
1975	6344.4
1976	4051.1
1977	4125.1
1978	4812.2
1979	4899.9
1980	4952.0

Pendiente = 13.78

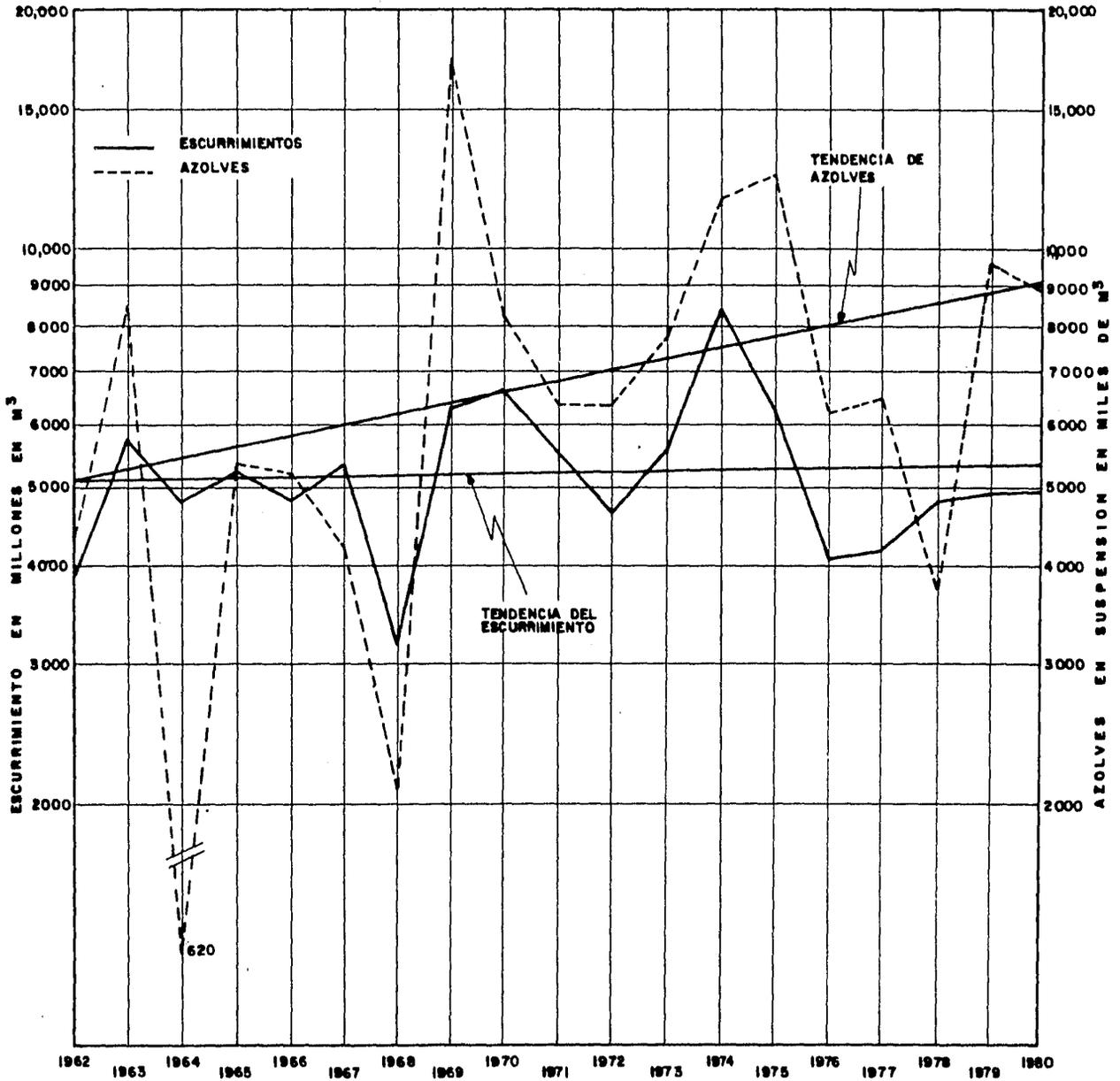
Coefficiente de Correlación = 0.067

Y 1962 = 5097.3

Y 1980 = 5345.4

Figura: 6

RECTA DE AJUSTE DE LA TENDENCIA DE LOS AZÓLVES EN
SUSPENSION Y ESCURRIMIENTO ANUALES, MEDIANTE EL METODO
DE MINIMOS CUADRADOS.



6.2 Morfología Fluvial y el Uso Actual del Suelo.

En este apartado se pretende evaluar las relaciones que guarda el uso actual del suelo con los lechos de inundación de la llanura. Para ello se abordan los siguientes aspectos:

a) Los tipos de vegetación; b) Actividades agropecuarias; c) Los asentamientos humanos y d) Obras del proyecto Río Verde, (carta de Uso Actual del Suelo).

6.2.1 Tipos de Vegetación en la Llanura Fluvial.

La vegetación presenta una distribución que responde principalmente a la dinámica de las inundaciones y a los materiales de depósito. Este planteamiento no excluye la importancia -- del clima como factor determinante de los tipos de vegetación en el área; sin embargo, se ha observado que los cambios en -- distancias tan cortas y con escaso desnivel topográfico se -- ajustan en lo general a los lechos de inundación y sus subunidades, cuya dinámica geomorfológica se activa en función de -- la mayor o menor recurrencia de las inundaciones.

En el lecho menor, los tipos de vegetación ya han sido abordados, destacando matorrales y sauces, en los bancos de aluvión, contribuyendo a la fijación de sedimentos. Cuando la estabilidad del depósito lo permite, puede darse una sucesión ecológica

gica hacia un bosque de galería desarrollado o bien una selva baja, incorporándose en ocasiones a la llanura baja.

En la llanura baja o lecho mayor destacan las siguientes comunidades vegetales:

El pastizal. Son halófitos y se restringen a pequeñas áreas con suelos salinos, próximos al sistema lagunar Chacahua-Pastoría. Sin duda ocupan remanentes de la llanura lagunar que están siendo sedimentados e incorporados a la llanura baja.

La vegetación acuática y subacuática. Su distribución se restringe a la llanura de inundación de las lagunas y charcos de agua dulce como la Miniyua, El Espejo, El Abalo y El Charquito. Las asociaciones son de popales, tulares, pastizales y matorrales; todos ellos adaptados a las condiciones de inundación anual, a la humedad excesiva todo el año y a los suelos de textura fina.

La selva baja caducifolia (foto 5). En el Parque Nacional esta comunidad se localiza principalmente en la llanura baja sin cauces antiguos, aunque también se le reconoce en la llanura baja con cauces antiguos, intercalada con el canacoital. Presenta rasgos distintivos en cuanto a su estructura y distribución. Su menor desarrollo en relación a la selva baja mediana, a pesar de ubicarse en muchos casos al mismo nivel topográfico, se explica porque los suelos donde se ubica son

arcillosos con mal drenaje superficial e interno, además que se presentan influencia de sales. La selva baja es la etapa sucesional de la vegetación que se ha instalado en terrenos recientemente ganados a las llanuras lagunares.

La selva baja o mediana subperennifolia (canacoital) (foto 6). Como vegetación natural su distribución está restringida al Parque Nacional Lagunas de Chacahua, aunque como asociación secundaria se localiza en diferentes sectores de la llanura, sobre todo en la margen derecha del Río Verde. Esta es la vegetación típica de la llanura inundable con alta incidencia de desbordes; debiendo ocupar en condiciones naturales, la mayor parte del área de estudio, preferentemente la llanura con cauces antiguos activos e inactivos.

En el lecho mayor excepcional o llanura alta, el tipo de vegetación representativo es la selva mediana subperennifolia (foto 7), que es la asociación más desarrollada de la llanura fluvial y se ubica en la margen izquierda, junto al Río Verde, conociéndosele también como "El Zapotal" en el Parque Nacional. Coincide con la llanura alta, desbordando en ocasiones hacia la llanura baja sin cauces activos. Junto con los diques naturales, la selva mediana está contribuyendo a la estabilidad de la ribera baja del lecho menor en la margen izquierda, además de cumplir el papel de filtro y fijación de materiales durante las crecidas ya que desde 1964 a



5. Selva Baja Caducifolia en la llanura baja sin cauces, activos

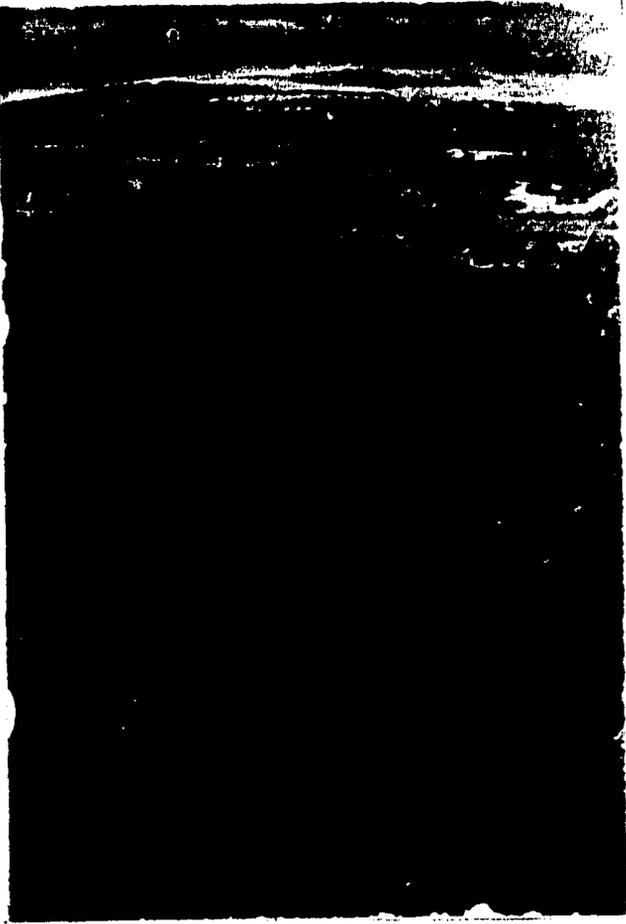
6. Selva Baja o Media subperennifolia (canacoital), en la llanura baja sin cauces activos. - También, vegetación acuática y subacuática al sur de la Laguna Miniyua



la fecha ha sufrido migraciones poco importantes; en cambio la margen opuesta que forma parte de la llanura baja con alta densidad de cauces antiguos, con diques naturales poco desarrollados y sin una cubierta vegetal natural, es la que experimentó mayores cambios por la erosión acelerada de las riberas, migrando en algunos puntos hasta 800 mts., en detrimento de suelos fértiles y cultivos.

Sin duda de todos los tipos de vegetación, la selva baja y la selva baja-mediana o canacoital, en condiciones naturales fueron las más extendidas en la llanura fluvial, ocupando principalmente la llanura baja expuesta a los desbordamientos ordinarios.

Cabe destacar la presencia de Brayaicia integerrima (canacoite) (foto 8), como la especie arbórea de mayor distribución en la llanura fluvial. En los canacoitales del Parque Nacional, esta especie es dominante o codominante con Sabal mexicana; en la selva baja es una de las tres dominantes, en tanto que en la selva mediana aunque no es dominante, también se le encuentra, sobre todo junto a los cauces antiguos. El canacoite presenta raíces aéreas en la base del tronco, mecanismo que le permite a la planta adaptarse a las condiciones ecológicas de alta humedad, encharcamiento excesivo, e inundaciones fluviales frecuentes. Por lo tanto, esta especie es un indicador natural de la susceptibilidad a las inundaciones en la llanura, donde, a mayor dominancia, mayor será la exposición a los desbordamientos.



7. Selva Mediana subperennifolia en la llanura alta de inundación, en la zona de El Zapotal, del Parque Nacional Lagunas de Chacahua.

8. Bravaicia integerrima (cana-coite), en la llanura baja con cauces activos.



6.2.2 Actividades Agropecuarias en la Llanura Fluvial.

Los usos agrícola y pecuario en la llanura no presentan un arreglo específico en relación a los lechos de inundación. Esto se debe a que los cultivos más importantes dependen de las características de la economía regional y no tanto de la incidencia de las inundaciones; además, si éstas en algún momento se presentan como una limitante, pueden ser atenuadas mediante la aplicación de tecnología. No sería aventurado afirmar que la población rural campesina haya acumulado un conocimiento empírico respecto a las inundaciones del río, así como de las características morfológicas y edáficas de la llanura, de tal manera que los cultivos que tradicionalmente han prosperado mantienen una estrecha adaptación al medio; ésto sucedió hasta años recientes en que la mayor parte de los espacios cultivados eran para la subsistencia. Actualmente, con la implementación del Proyecto Río Verde, se está dando un giro hacia una agricultura de carácter comercial -- con alta tecnificación y que demanda diversas obras de infraestructura, donde las inundaciones son vistas como el peligro número uno para el adecuado desarrollo de los cultivos.

Por orden de importancia en cuanto a la superficie que ocupan se pueden reconocer los usos siguientes: a) Agricultura de temporal anual, con cultivos de ciclo corto como maíz, -- frijol, chile, ajonjolí y algodón; b) Agricultura de tempo--

ral permanente, principalmente coco, limón y frutales; y - -
c) Pastizales cultivados, principalmente introducidos y de ca
racter extensivo.

Todos ellos pueden ocupar indistintamente la llanura alta o --
baja e inclusive el lecho menor en algunas islas de aluvi6n;
no obstante, llaman la atenci6n los siguientes aspectos genera
les.

En la margen izquierda de la llanura acumulativa, existe un -
equilibrio entre los cultivos anuales y permanentes; llegando
se a encontrar algunas obras como limpieza de cauces, vados -
en las brechas para no obstruir el escurrimiento y cercas vi-
vas que eviten algunos flujos ordinarios.

En la margen derecha de la llanura acumulativa, los cultivos
anuales ocupan 6reas m6s extensas que los cultivos permanen--
tes. Es posible que esta zona tradicionalmente ^{hayan} haya padecido
problemas de excesiva humedad o una mayor incidencia de ayeni
das ordinarias, lo que ha dificultado la introducci6n de cul-
tivos permanentes. No obstante, en ambas m6rgenes, 6stos 6l-
timos denotan una marcada preferencia por las 6reas con cau--
ces antiguos y sobre todo los dep6sitos de materiales areno-
limosos.

En la llanura baja del valle acumulativo, existen importantes

áreas de pastizales cultivados adaptados a las condiciones de alta humedad, encharcamiento anual y con una mayor frecuencia de inundaciones ordinarias; ocupan sitios marginales de la llanura, ya sea cubetas inundables, llanuras lagunares y cauces activos. Por lo general los pastizales han prosperado en detrimento de los canacoitales.

En la llanura erosiva existe un arreglo más evidente entre los tipos de cultivos y los lechos de inundación. Los pastizales cultivados predominan en la llanura baja, que en este sector presenta gran cantidad de cauces antiguos, áreas de encharcamiento y humedad alta. Los cultivos anuales, aunque se localizan también en la llanura baja, ocupan preferentemente terrenos de la llanura alta mejor drenada y con menos incidencia de inundaciones. En cuanto a los cultivos permanentes, su superficie es poco significativa.

6.2.3 Asentamientos Humanos.

De los 20 centros de población rural que se sitúan dentro de la llanura o en posiciones inmediatas, 16 de ellos se ubican en el pie de monte de macizos montañosos que limitan con la llanura o que emergen de ésta; de los 4 restantes, Charco Redondo y El Corozo se ubican en la llanura alta, La Consentida en la llanura baja y El Azufre en el cordón litoral. Estos 4 centros de población, tradicionalmente han sido los --

más afectados directa o indirectamente por los desbordamientos. Así los habitantes se refieren a la avenida de 1974 -- cuando el río alcanzó un gasto máximo de $7000 \text{ m}^3/\text{seg.}$, como una inundación que convirtió a la llanura en una inmensa laguna, pudiéndose navegar en lancha de Charco Redondo a San José del Progreso. También estas localidades, excepto la Consentida, en los últimos años han sufrido la migración de márgenes, a pesar de que la ribera de la margen izquierda ha sido estable en relación a la orilla opuesta; esta situación ha sido particularmente crítica en El Azufre donde la población ha tenido que recorrerse hacia el interior de las dunas. Dicha problemática motivó a la SARH, para llevar a cabo acciones de reubicación de El Corozo y Charco Redondo hacia sitios de lomeríos y áreas protegidas por el bordo, en 1983.

La afectación a las 16 comunidades restantes, ha sido sobre todo hacia las áreas de cultivos, ya por las inundaciones, o bien por la erosión de suelos fértiles. Aquí se vislumbra otra problemática en un futuro mediano; la mayoría de las localidades ubicadas en los macizos montañosos, están creciendo hacia la llanura, aumentando el número de casas expuestas a las avenidas.

La población local también tiene nociones empíricas de las causas de las frecuentes inundaciones, coincidiendo la mayoría en que el peligro de éstas está aumentando debido a que

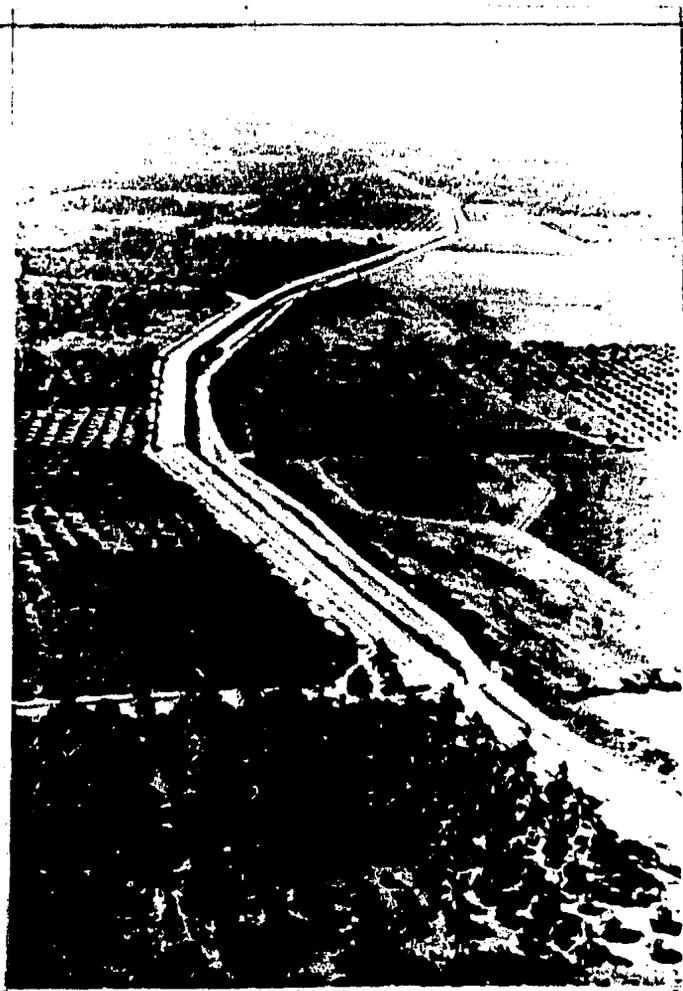
el río se está llenando de arena; idea que ha sido retomada y desarrollada en este estudio.

6.2.4 Obras del Proyecto Río Verde.

En diciembre de 1983 los trabajos del Proyecto Río Verde, para el desarrollo de un distrito de riego, se habían centrado en la margen izquierda (carta de Uso Actual del Suelo); habiéndose concluido la construcción de un bordo de protección, entre el sitio Río Viejo y Charco Redondo, cuyas características ya han sido descritas (foto 9). También estaba en marcha la construcción de canales y drenes (foto 10), centrándose éstos en el dragado y limpieza de cauces antiguos y desembocando los más importantes en la Laguna de Chacahua y en el Río San Francisco, que a su vez drena hacia la Laguna de Palmarito.

Las obras restantes que contempla la alternativa 5 del Proyecto Río Verde, para la margen derecha y la presa derivadora, aún se encontraban en proyecto. Es evidente que, de llevarse a cabo parcial o totalmente estas obras, se originarán modificaciones importantes en la dinámica hidrológica y geomorfológica del río y su llanura fluvial, hasta ahora no ponderados.

Un aviso de los cambios que se están operando con las obras, ocurrió el 24 de septiembre de 1984, cuando el Río Verde se -



9. Bardo de Protección en la margen izquierda del Río Verde



10. Canales y drenes en la margen izquierda del Río Verde

desbordó y arrasó siembras de maíz, ajonjolí y algodón en -- 2,500 Has., erosionó la tierra y afectó a 10 poblados del municipio de Jamiltepec dejando 500 dañificados; la avenida -- afectó las márgenes desde el puente Río Verde hasta la desembocadura, en unos 12 Kms. (Excelsior, 25 de septiembre de -- 1984). Está claro que las nefastas repercusiones de la avenida hacia la llanura acumulativa en la margen derecha, coinciden con la desviación de los flujos por el bordo de protección, registrándose una rápida elevación del tirante de la crecida que causó daños en espacios que en condiciones normales habrían sido menos afectadas con el gasto registrado. Ante ésto ¿Qué actitud asumió la SARH en cuanto a la responsabilidad por la desviación de la avenida? ¿Fueron evaluados estos impactos en los estudios previos a la iniciación del Proyecto?.

6.3 Aspectos Hidrológicos del Curso Bajo del Río Verde.

En este apartado se reportan algunos aspectos hidrológicos - del curso bajo del Río Verde, procurando la detección de criterios para la caracterización de los flujos de crecidas, la estimación de gastos críticos y su correlación con los le- - chos de inundación.

desbordó y arrasó siembras de maíz, ajonjolí y algodón en -- 2,500 Has., erosionó la tierra y afectó a 10 poblados del mu nicipio de Jamiltepec dejando 500 damificados; la avenida -- afectó las márgenes desde el puente Río Verde hasta la desem bocadura, en unos 12 Kms. (Excelsior, 25 de septiembre de -- 1984). Está claro que las nefastas repercusiones de la ave- nida hacia la llanura acumulativa en la margen derecha, coi nciden con la desviación de los flujos por el bordo de protec ción, registrándose una rápida elevación del tirante de la - crecida que causó daños en espacios que en condiciones norma les habrían sido menos afectadas con el gasto registrado. Ante esto ¿Qué actitud asumió la SARH en cuanto a la respon- sabilidad por la desviación de la avenida? ¿Fueron evaluados estos impactos en los estudios previos a la iniciación del - Proyecto?.

6.3 Aspectos Hidrológicos del Curso Bajo del Río Verde.

En este apartado se reportan algunos aspectos hidrológicos - del curso bajo del Río Verde, procurando la detección de cri terios para la caracterización de los flujos de crecidas, la estimación de gastos críticos y su correlación con los le- - chos de inundación.

6.3.1 Análisis Estadístico de los Gastos Máximos Anuales.

Los gastos máximos procesados, corresponden a la estación hidrométrica Paso de la Reyna, situada a 8.2 Kms. aguas arriba del sitio Calera; cuyos registros corresponden al período 1961-1980. Los gastos máximos del período 1961-1974, fueron tomados del Boletín Hidrológico No. 31, Tomo V (SARH, 1977); los del período 1975-1980, fueron directamente consultados en la oficina de cálculo hidrométrico de la SARH.

El desarrollo teórico de los métodos estadísticos está contenido en el Apéndice 1; A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicarlos al Río Verde.

6.3.1.1 Método de Gumbel (Springall 1967; Maza y Flores, 1976).

a) Gasto medio anual

$$\bar{Q}=1784.815 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

b) Desviación estandar

$$SQ=1384.316$$

c) Parámetros Y_n y σ_n en función de 21 años de registro.

$$Y_n=0.5252$$

$$\sigma_n=1.0696$$

d) Gastos máximos para diferentes períodos de retorno.

Tr	Qmáx
1.100	- 26.847
1.400	813.423
2.000	1579.436
5.000	3046.360
10.000	4017.591
25.000	5244.744
50.000	6155.116
100.000	7058.766

Los gastos máximos calculados están dibujados en la gráfica de la Figura 7.

6.3.1.2 Método de Nash (C.F.E., 1980)

Los cálculos preliminares están contenidos en la Tabla 15.

a) Valores de las medias:

$$\bar{q} = 1784.815 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\bar{x} = -0.5249048$$

b) Valores de los parámetros

$$c = -1031.714$$

$$a = 1243.263$$

Figura: 7

ESTACION PASO DE LA REINA, RIO VERDE, OAX.

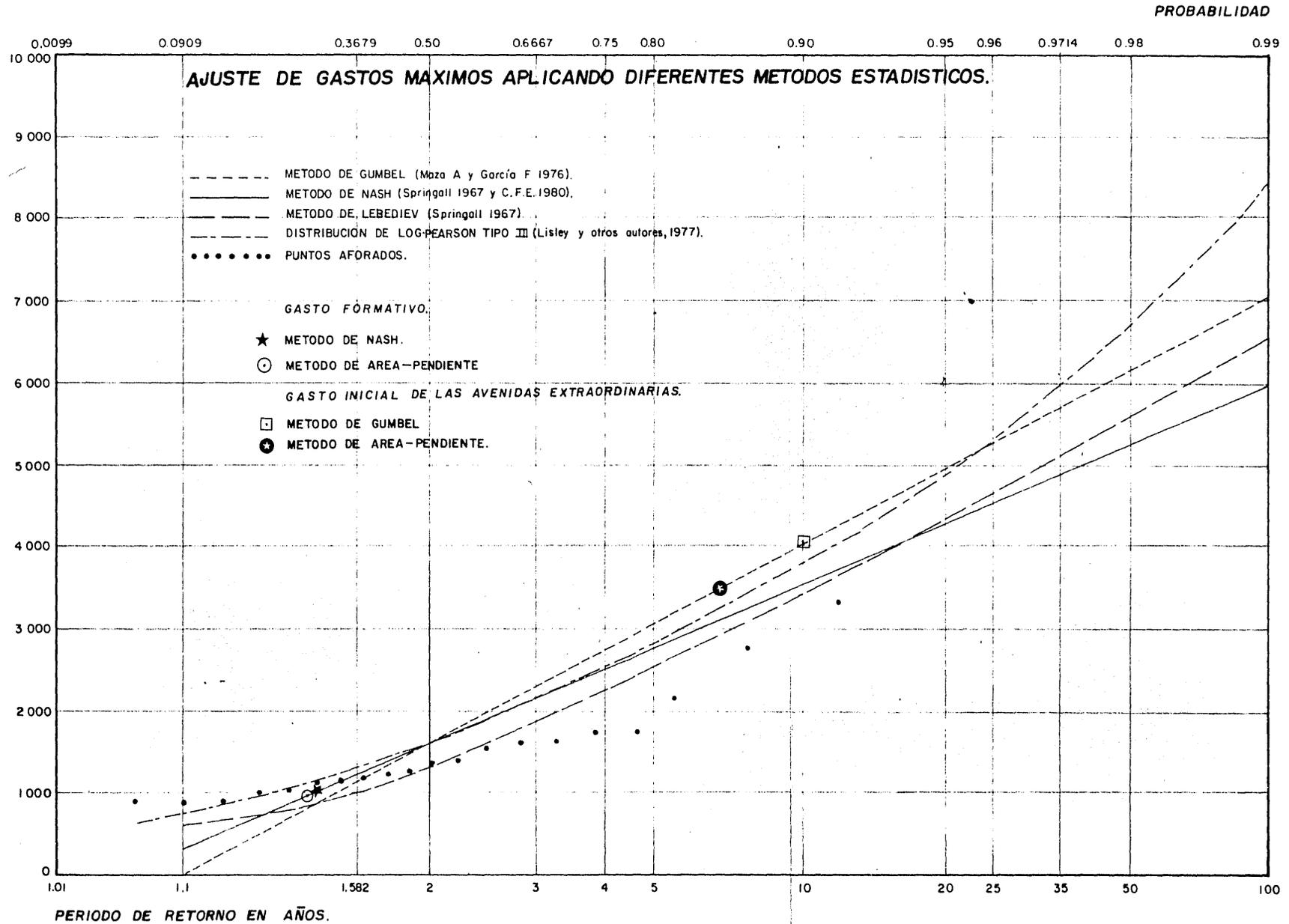


TABLA 15

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS GASTOS MAXIMOS SEGUN EL METODO DE -
GUMBEL, CORRIENTE, RIO VERDE, ESTACION PASO DE LA REINA, OAXACA.

ri	qi	\hat{T}_m	$\frac{\hat{T}_m}{\hat{T}_m - 1}$	Xi	q_i^2 $\times 10^6$	X_i^2	Xi qi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	7,000.000	22.000	1.048	-3.0601	49,000	9.3642	-21,420.70
2	3,352.600	11.000	1.100	-2.3506	11,240	5.5253	-7,880.62
3	2,830.000	7.333	1.158	-1.9194	8,009	3.6841	-5,431.90
4	2,192.125	5.500	1.222	-1.6070	4,805	2.5824	-3,522.74
5	1,782.000	4.400	1.294	-1.3558	3,175	1.8382	-2,416.03
6	1,776.000	3.667	1.375	-1.1443	3,154	1.3094	-2,032.28
7	1,653.100	3.143	1.467	-0.9591	2,733	0.9199	-1,585.49
8	1,643.800	2.750	1.571	-0.7947	2,702	0.6315	-1,306.33
9	1,576.000	2.444	1.692	-0.6426	2,484	0.4129	-1,012.74
10	1,406.996	2.200	1.833	-0.5009	1,980	0.2509	-704.76
11	1,404.750	2.000	2.000	-0.3665	1,973	0.1343	-514.84
12	1,316.000	1.833	2.200	-0.2377	1,732	0.0565	-312.81
13	1,249.161	1.692	2.445	-0.1120	1,560	0.0125	-139.91
14	1,200.000	1.571	2.751	-0.0119	1,440	0.00014	14.28
15	1,150.493	1.467	3.141	0.1350	1,324	0.0182	155.32
16	1,145.998	1.375	3.667	0.2619	1,313	0.0686	300.14
17	1,066.000	1.294	4.401	0.3933	1,136	0.1545	419.26
18	1,011.599	1.222	5.504	0.5338	1,023	0.2849	539.99
19	913.197	1.158	7.329	0.6890	0.834	0.4747	629.19
20	908.000	1.100	11.00	0.8746	0.824	0.7649	794.14
21	903.300	1.048	21.980	1.1282	0.816	1.2728	1,019.10
Σ	37,418.119			-11.0230	103.259	29.7614	-44,409.74

$$\bar{q}_1 = \frac{37,418.119}{21} = 1784.815$$

$$\bar{X}_1 = \frac{-11.0230}{21} = -0.5249048$$

Donde:

ri = No. de orden
qi = gasto máximo

\hat{T}_m = Período de retorno

c) Gastos máximos para diferentes periodos de retorno.

T_m	q
1.100	340.935
1.400	1010.765
2.000	1621.400
5.000	2790.770
10.000	3565.000
25.000	4543.240
50.000	5268.950
100.000	5989.300

Los gastos máximos están dibujados en la Figura 7.

6.3.1.3 Método de Lebediev (Springall, 1967).

En la tabla 16 se muestra la aplicación del método y los valores obtenidos; los gastos máximos se dibujaron en la figura 7.

a) Gasto medio.

$$Q_m = 1784.8152 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

b) Coeficiente de variación.

$$C_v = 0.737259$$

TABLA 16

Análisis estadístico de los gastos máximos según el método de Lebediev, Río Verde, Oaxaca, Estación Paso de la Reyna.

1	2	3	4	5	6
AÑO DE CONSERVACION	GASTO MAXIMO ANUAL (Qi)	$Q_i^2 \times 10^6$	$\frac{Q_i}{Q_m}$	$\frac{Q_i}{Q_m} - 1$	$\left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1\right)^2$
1960	1200.000	1.440	0.672	-0.328	0.107
1961	913.197	0.834	0.512	-0.488	0.238
1962	1150.493	1.324	0.645	-0.355	0.1263087
1963	1406.996	1.980	0.788	-0.212	0.0448107
1964	1249.161	1.560	0.700	-0.300	0.0900705
1965	1145.998	1.313	0.642	-0.358	0.1281052
1966	1011.599	1.023	0.567	-0.433	0.1876789
1967	3352.600	11.240	1.878	0.878	0.7715896
1968	903.300	0.816	0.506	-0.494	0.2439344
1969	2192.125	4.805	1.228	0.228	0.0520791
1970	1653.100	2.733	0.926	-0.074	0.0054460958
1971	1776.000	3.154	0.995	-0.0049	0.00002439
1972	1404.750	1.973	0.787	-0.213	0.045345
1973	1643.800	2.702	0.921	-0.079	0.0062423
1974	7000.000	49.000	3.922	2.922	8.537936
1975	1782.000	3.175	0.998	-0.002	0.00000249
1976	1316.000	1.732	0.737	-0.263	0.0689949
1977	908.000	0.824	0.509	-0.491	0.2413402
1978	1066.000	1.136	0.597	-0.403	0.1621989
1979	2830.000	8.009	1.585	0.586	0.3429254
1980	1576.000	2.484	0.883	-0.117	0.0136879
SUMA	37481.119	103.259			11.41457

d) Coeficiente de asimetría. Tomando en cuenta 21 años de registro se tomaron los valores para avenidas producidas por tormentas.

$$Cs = 2.2117773$$

d) Coeficientes K, para diferentes períodos de retorno.

Tr	P en %	K
1.100	90.91	-0.866
1.400	71.43	-0.640
2.000	50.00	-0.320
5.000	20.00	0.590
10.000	10.00	1.290
20.000	5.00	2.010
50.000	2.00	2.940
100.000	1.00	3.650

e) Gastos máximos para diferentes períodos de retorno.

Tr	Q max.
1.100	645.271
1.400	942.658
2.000	1363.736
5.000	2561.179
10.000	3482.289
20.000	4429.716
50.000	5653.477
100.000	6587.745

6.3.1.4 Distribución Log-Pearson Tipo III (Lisley, Kohler y Paulus, 1977).

a) Media

$$\overline{\text{Log } X} = 3.2340$$

b) Desviación estandar

$$\sigma_{\log x} = 0.2662$$

c) Coeficiente de asimetría

$$g = 0.4648797$$

d) Factor de frecuencias K para diferentes períodos de retorno Tr.

Tr	K
1.010	- 2.029
1.250	- 0.855
2.000	- 0.066
5.000	0.816
10.000	1.317
25.000	1.880
50.000	2.261
100.000	2.615

e) Gastos máximos para diferentes períodos de retorno.

Tr	Q max.
1.010	494.174
1.250	1014.843
2.000	1646.004
5.000	2826.306
10.000	3842.248
25.000	5425.703
50.000	6852.960
100.000	8513.595

Los gastos máximos son dibujados en la gráfica de la Figura 7.

En la figura 7, se observa como la curva de la distribución de Log-Pearson Tipo III, es la que más se dispara respecto a las curvas de gastos máximos contra períodos de retorno de los otros métodos. Debido a que el método de Gumbel es el que ha demostrado que los gastos máximos calculados siguen la distribución indicada, dichos gastos son seleccionados en este estudio como la mejor alternativa para el Río Verde, sobre todo para los períodos de retorno de 10 y 100 años. Para la evaluación del gasto formativo considerando un período de retorno de 1.4 años se adoptó el método de Nash, aunque también pueden ser considerados los métodos de Lebedieu y Gumbel.

Los gastos críticos obtenidos fueron los siguientes: a) El gasto formativo mediante el método de Nash fue de 1010.76 m^3 /seg., indicando que es el flujo máximo que en el canal del lecho menor del Río Verde puede pasar sin llegar a desbordar sobre la llanura baja; b) El gasto que da inicio a los desbordes extraordinarios en el curso bajo del Río Verde, calculado mediante el método de Gumbel para un período de retorno de 10 años fue de 4017.59 m^3 /seg. indicando que al alcanzar ese flujo, toda la llanura baja o lecho mayor se encuentran inundados; y c) El gasto máximo o uno mayor esperado para un período de retorno de 100 años, calculado mediante el método de Gumbel fue de 7058.766 m^3 /seg.

Al comparar los gastos obtenidos con los resultados del análisis estadístico de estudios efectuados por Maza y García - (1975) y la S.O.P. (1974). Se observan variaciones poco significativas (tabla 17 y figuras 3 y ~~4~~⁷), lo que demuestra la bondad de los métodos empleados, aunque en este estudio se hayan empleado 6 años más de registro.

Es sorprendentemente como los gastos calculados mediante el método de Gumbel son semejantes a los obtenidos por Maza y - García; respecto al mismo estudio, también lo son los gastos calculados para el gasto formativo. Así mismo, es idéntica la avenida calculada para un período de retorno de 100 años mediante el método de Pearson empleado por la S.O.P.

Los gastos calculados, ligeramente inferiores a los obtenidos por los autores referidos, indican que los flujos máximos -- aforados entre 1975 y 1980, fueron algo más bajos que la media de los gastos precedentes. No obstante los gastos reportados en este trabajo, deben apegarse aun más a la realidad ya que se procesa un mayor número de datos.

Con los gastos calculados, es posible seleccionar el gasto - máximo de diseño para obras hidráulicas como presas, bordos, canales de alivio, puentes, etc. Para ello es necesario calcular el período de vida útil en la cual la obra cumpla las funciones para las que se diseña (Maza y García, 1975). La

TABLA 17

Comparación de gastos máximos críticos obtenidos en diferentes estudios y aplicando varios métodos estadísticos.

PERIODO DE RETORNO (T _m)	GUMBEL		NASH		LEBEDIEV		PEARSON	LOG. PEARSON TIPO III
	1975 (MAZA Y FLORES)	1985	1975 (MAZA Y FLORES)	1985	1975 (MAZA Y FLORES)	1985	1974 (S.O.P.)	1985
1.4 años gasto formativo	844.141	813.423	1006.875	1010.765	994.763	942.658	1250.000 (aprox.)	1200.000 (aprox.)
10.0 años inicio de avenidas extraordinarias	4058.553	4017.591	3676.357	3565.000	3389.926	3482.289	3100.000 (aprox.)	3842.248
100.0 años	7109.451	7058.766	6208.096	5989.300	6667.114	6587.745	8500.000	8513.595

Obtención de esos datos desbordan los objetivos planteados en este trabajo, por lo que si se desea profundizar, será necesario remitirse a los métodos y fuentes citadas.

Sólo como breve introducción, se puede apuntar que la vida útil dependerá de las condiciones técnicas, económicas, sociales y financieras; siendo muy importante el riesgo que se desee correr para la obra. Como ejemplo, para el diseño de un bordo de defensa en la llanura, si se le asigna una vida útil de 30 años y se desea correr un riesgo de que el gasto de diseño sea excedido con una probabilidad de 0.25, es decir, que se tenga una seguridad de que en el 75% de las veces, el gasto no será mayor que el de diseño, dicho gasto tendrá un período de retorno de 100 años aproximadamente (Camargo, Cruickshank y Maza, 1980). Vidas útiles entre 25 y 100 años son comunmente utilizadas en este tipo de obras.

6.3.2 Fases del Esguerrimiento en la Llanura Fluvial Mediante el Método de Area-Pendiente.

A continuación se caracterizan las fases del esguerrimiento en la llanura fluvial, sin tomar en cuenta el bordo de protección de la margen izquierda. Las fases descritas en el marco conceptual son retomadas y en algunos casos modificadas, adecuándolas al caso de estudio. Antes de pasar a los resultados, es necesario apuntar algunas consideraciones de carácter metodológico.

Las fases de niveles bajos y medios, se obtuvieron procesando los gastos mínimos y medios reportados para la estación hidrométrica Paso de la Reyna. Una variante de la fase de niveles medios, así como las fases de niveles altos y de desbordes o inundaciones extraordinarias, fueron determinadas aplicando el método de área pendiente (Apéndice 2) y utilizando la fórmula de Chezy-Manning propuesta por Lisley, Paulus y Kohler (1977), y C.F.E. (1980). Con el último método también se calculó el flujo que ocupa 1/3 del área hidráulica del lecho menor, el cual queda comprendido dentro de los niveles medios.

La geometría de las secciones evaluadas comprendieron los diferentes lechos de inundación (ver Perfiles Geomorfológicos), utilizándose para ello las cartas topográficas Esc. 1:20,000, de la zona regable del Río Verde (SRH, 1964), debido a que actualmente no existe información más precisa. Por lo tanto, en la interpretación de los resultados deberán considerarse las modificaciones experimentadas para el lecho menor.

La pendiente del perfil longitudinal y tramos del canal, se obtuvo mediante el método recomendado por S.A.R.H. Colegio de Postgraduados (1982); calculándose también la pendiente media, según el método descrito por S.R.H. (1974), obteniéndose los mismos resultados.

Para la fase de niveles medios a nivel de cauces antiguos -- activos, la pendiente del perfil longitudinal en la llanura erosiva fue de 0.083% o bien, 0.00083 m/m; en tanto que para la llanura erosiva fue de 0.069% o bien 0.00069 m/m. El coeficiente de rugosidad considerado fue de 0.035 que corresponde a ríos en planicies con secciones irregulares con depósitos arenosos sin vegetación y bancos de aluvión con vegetación herbácea, matorral y de sauces.

Para la fase de niveles altos, en particular los flujos a -- pleno bordo, se consideró la pendiente del canal del lecho menor; en la llanura erosiva fue de 0.087% o bien 0.00087 -- m/m, y en la llanura acumulativa, de 0.072% o bien 0.00072 m/m. El coeficiente de rugosidad considerado fue de 0.035.

Para la fase de desbordes o inundaciones extraordinarias, la asignación de la pendiente y del coeficiente de rugosidad -- fue un serio problema ya que las características de los lechos de inundación a lo largo y ancho de la llanura, son variables. No obstante, con la incertidumbre de incurrir en errores más grandes en los resultados, se evaluaron por separado los gastos del lecho menor y la llanura de inundación. La pendiente y rugosidad del canal fue la misma para el cálculo de flujos a pleno bordo. Para la llanura se tomó la pendiente del canal en los tramos erosivo y acumulativo; asignándosele un coeficiente de rugosidad de 0.040 que correspon

de a planicies de avenidas con predominio de áreas cultivadas. De esta forma, la suma de los flujos a pleno bordo más los gastos calculados para el lecho mayor, se aproxima al gasto que da inicio a las avenidas extraordinarias en el área de estudio.

Para considerar las modificaciones del lecho durante las avenidas, se adoptó un margen de error del 20%.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Fase de niveles bajos. El escurrimiento entre los meses de enero y mayo es de $38.99 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en promedio, por lo que los flujos por debajo de ese valor, corresponden al canal de estiaje del Río Verde en su curso bajo. El caudal observado en el lecho menor en las imágenes aéreas de 1980, corresponde a esta fase, con gasto medio diario de $25.83 \text{ m}^3/\text{seg.}$; en las imágenes de 1979, el gasto se aproxima a esta fase con $45.60 \text{ m}^3/\text{seg.}$ medio diario.

Fase de niveles medios. En el período 1960-1980, el gasto medio anual del Río Verde fue de $165.16 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Otra variante de esta fase, son los flujos medios a nivel de los cauces antiguos que se desprenden del Río Verde, con promedio de $231.31 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (tablas 18 y 21). Este valor es indicador del inicio de la ocupación de algunos sectores de la llanura

TABLA 18

Geometría de diferentes secciones del lecho menor en los puntos de contacto con cauces antiguos activos y cálculo de flujos según la fórmula de Chezy-Manning.

LLANURA FLUVIAL	SECCIONES	A ₂ (m ²)	P (m)	R (m)	S (m/m)	Q ³ (m ³ /seg)	MARGEN DE ERROR	
							+ 20%	- 20%
EROSIVA	1	120	170	0.700	0.00083	77.84	93.41	62.27
	2	160	230	0.690	0.00083	102.80	123.36	82.24
	3	450	400	1.125	0.00083	400.51	480.61	320.41
	4	340	280	1.210	0.00083	317.67	381.07	254.27
	5	320	180	1.450	0.00083	337.31	404.77	269.85
	6	200	400	0.875	0.00083	225.82	270.98	180.66
ACUMULATIVA	7	550	500	1.100	0.00069	440.38	528.46	352.30
	8	250	320	0.780	0.00069	159.17	191.00	127.34
	9	180	240	0.750	0.00069	111.65	133.98	89.32
	10	270	322	0.838	0.00069	180.32	216.38	144.25
	11	240	220	1.090	0.00069	191.00	229.20	152.80

$$\bar{q} = 231.31 \quad 277.57 \quad 185.06$$

Coefficiente de rugosidad considerado = 0.035

baja por los flujos del río, probablemente la llanura de inundación anual.

Otra variante de esta fase, son los flujos que ocupan 1/3 del área hidráulica del lecho menor, los cuales se aproximan a -- 316.91 m³/seg., valor que equivale a 1/3 de los flujos a pleno bordo.

Recorridos efectuados por la llanura entre San José del Progreso y El Azufre, en septiembre de 1980, permitieron corroborar que los cauces antiguos fueron activados durante la fase de niveles medios, ya que entre el 12 y 20 de ese mes, los gastos aforados en la estación Paso de la Reyna fluctuaron entre 400 y 675 m³/seg.

Fase de niveles altos. Los flujos a pleno bordo (tablas 19 y 21), se aproxima a un gasto medio de 950.74 m³/seg. que marca el límite de contención de las riberas bajas del lecho menor y el inicio de las inundaciones ordinarias sobre el lecho mayor o llanura baja, especialmente la zona con alta densidad de cauces antiguos activos.

La fase de desbordes o inundaciones extraordinarias (tabla 20 y 21), comprende gastos superiores a 3488.03 m³/seg.

Se infiere que los gastos máximos que desbordan sobre la llanura baja causando inundaciones ordinarias, fluctúan entre -

TABLA 19

Geometría de diferentes secciones del lecho menor hasta la ribera baja y cálculo de flujos a pleno bordo, según la fórmula de Chezy-Manning.

LLANURA FLUVIAL	SECCIONES	A ₂ (m ²)	P (m)	R (m)	S (m/m)	q ³ (m ³ /seg)	MARGEN DE ERROR	
							+ 20%	- 20%
EROSIVA	1	860	324	2.654	0.00087	1389.21	1667.05	1111.37
	2	980	980	1.000	0.00087	825.84	991.01	660.67
	3	880	790	1.114	0.00087	796.91	956.29	637.53
	4	970	580	1.672	0.00087	1151.50	1381.80	921.20
	5	910	740	1.230	0.00087	880.33	1056.40	704.26
	6	740	480	1.542	0.00087	832.32	998.78	665.86
	7	720	404	1.780	0.00087	891.15	1069.38	712.92
ACUMULATIVA	8	900	540	1.670	0.00072	971.17	1165.40	776.94
	9	1000	840	1.190	0.00072	860.88	1033.06	688.70
	10	1100	830	1.325	0.00072	1017.29	1220.75	813.83
	11	1220	900	1.355	0.00072	1145.24	1374.29	916.19
	12	1000	820	1.220	0.00072	875.28	1050.34	700.22
	13	760	470	1.620	0.00072	803.65	964.38	642.92
	14	1160	650	1.780	0.00072	1306.11	1567.33	1044.89
	15	913	732	1.250	0.00072	812.18	974.62	649.74
	16	871	584	1.490	0.00072	871.07	1045.28	696.86
	17	550	240	2.290	0.00072	732.54	879.05	586.03

$$\bar{q} = 950.74 \quad 1140.89 \quad 760.59$$

Coefficiente de rugosidad considerada = 0.035

TABLA 20

Geometría de diferentes secciones del lecho mayor hasta el límite de transición con el lecho mayor excepcional y cálculo de flujos que marcan el inicio de avenidas extraordinarias, según la fórmula de Chezy-Manning.

LLANURA FLUVIAL	SECCIONES	A ₂ (m ²)	P (m)	R (m)	S (m/m)	q ₁ (m ³ /seg)	q ₂ (m ³ /seg)	q ₃ (m ³ /seg)	MARGEN DE ERROR	
									+ 20%	- 20%
EROSIVA	1	2040	1363	1.50	0.00087	1971.17	825.84	2797.01	3356.41	2237.61
	2	3900	2603	1.50	0.00087	3768.41	796.91	4565.32	5478.38	3652.26
	3	3840	2563	1.50	0.00087	3710.44	1151.50	4861.94	5834.33	3889.55
	4	2300	1852.5	1.25	0.00087	1968.04	880.33	2848.37	3418.04	2278.70
	5	2010	1345	1.50	0.00087	1942.18	832.32	2774.50	3329.40	2219.60
	6	2700	1803	1.50	0.00087	2608.90	891.15	3500.05	4200.06	2800.04
ACUMULATIVA	7	3975	5301	0.75	0.00072	2201.16	860.88	3062.04	3674.45	2449.63
	8	3375	4501.5	0.75	0.00072	1868.91	1017.29	2886.20	3462.44	2308.96
	9	4400	4400	1.00	0.00072	2951.61	1145.24	4096.85	4916.22	3277.48
						q̄ =		3488.03	4185.64	2790.42

Donde:

q₁ = Gasto en m³/seg. sobre el lecho mayor considerando un coeficiente de rugosidad de 0.040.

q₂ = Gasto en m³/seg. o flujo a pleno bordo considerando un coeficiente de rugosidad de 0.035.

q₃ = Suma de q₁+q₂ = flujo que marca el inicio de las unidades extraordinarias.

TABLA 21

Fases del escurrimiento y gastos críticos en la llanura fluvial según la fórmula de Chezy - Manning.

FASES DEL ESCURRIMIENTO UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	NIVELES MEDIOS: FLUJOS A NIVEL DE CAUCES ANTIGUOS			NIVELES ALTOS: FLUJOS A PLENO BORDO			NIVELES ALTOS: FASE DE DESBORDOS O INUNDACIONES EXTRAORDINARIAS		
	GASTO MEDIO	MARGEN DE ERROR		GASTO MEDIO	MARGEN DE ERROR		GASTO MEDIO	MARGEN DE ERROR	
		+ 20%	- 20%		+ 20%	- 20%		+ 20%	- 20%
LLANURA FLUVIAL	231.31	277.57	185.06	950.74	1140.89	760.59	3488.03	4185.64	2790.42
LLANURA EROSIVA	243.66	292.37	194.95	966.75	1160.10	773.40	3557.86	4269.44	2846.29
LLANURA ACUMULATIVA	216.50	259.81	173.20	939.54	1127.45	751.63	3346.36	4015.63	2677.09

950.74 m³/seg. y 3488.03 m³/seg. (tabla 21).

En la tabla 21 se observa como durante la activación de las diferentes fases, los lechos de inundación de la llanura acumulativa son los más susceptibles a la afectación de los desbordamientos, debido sin duda a la menor pendiente del canal principal, en relación con la llanura erosiva.

El flujo a pleno bordo o gasto formativo obtenido para el curso bajo del Río Verde, mediante el método de área pendiente, se ajusta a la realidad si se compara con el flujo obtenido por Maza y García (1976), que fue de 900 m³/seg. en el modelo hidrológico, a la altura del puente.

En cuanto al gasto que da inicio a las avenidas extraordinarias, también se aproxima a lo real, sobre todo si se toma en cuenta que para la llanura erosiva el gasto crítico estimado fue de 3557.86 m³/seg. Al respecto, Maza y García (1975), reportan que a la altura del puente Río Verde, la carretera de acceso en la margen derecha, se ve rebasada por las avenidas cuyos gastos fluctúan entre 3500 y 4000 m³/seg.; deduciéndose que la llanura baja en esa sección y con los gastos señalados, se ve totalmente inundada, afectando incluso sectores de la llanura alta.

Es pertinente destacar que el canal del lecho menor del Río Verde en su curso bajo, presenta diferencias sustanciales en

su capacidad de evacuación del caudal, aun dentro de un tramo aparentemente uniforme. Lo anterior se debe a las variaciones en la pendiente y sobre todo en el área hidráulica, ya -- cuando el lecho referido se ubica en el valle erosivo, o "encajonado" entre diques naturales, o también cuando las ribe-- ras bajas coinciden con el desprendimiento de cauces antiguos activos, brazos de crecidas, vertederos de desplayamiento o - "grietas" dejadas por crecidas pasadas. Cuando el lecho me-- nor coincide con estos rasgos geomorfológicos, los desbordes ordinarios se inician aún antes de alcanzar el gasto formati-- vo estimado, como lo prueban la activación de los cauces anti-- guos durante los flujos medios.

Al comparar los resultados obtenidos mediante los métodos de área pendiente y el análisis estadístico de los gastos se tie-- nen las siguientes observaciones:

El flujo a pleno bordo o gasto formativo calculado con los -- dos métodos es semejante. Mayores diferencias son observadas en los gastos obtenidos para el inicio de avenidas extraordi-- narias; no obstante el flujo arrojado por el método de Gumbel para un período de retorno de 10 años, se ubica en el límite superior del rango estimado por Maza y García (1976), para -- los desbordamientos que ocupan la llanura baja en la sección del Puente. Es muy probable que el método de área-pendiente se vea limitado, en la medida en que las secciones de los le--

chos son más grandes debido a que la pendiente y la rugosidad de los lechos varían significativamente. Sin embargo, también nos inclinamos porque el período de retorno para alcanzar las avenidas máximas en el área de estudio es menor a los 10 años.

Para evitar la incursión en errores más graves, así como el manejo rígido de los flujos para las diferentes fases de escurrimiento; para el análisis integral de los riesgos a las inundaciones en la llanura, se manejarán datos calculados mediante los métodos, tanto de área-pendiente, como del análisis estadístico de los gastos máximos. Además, su combinación permite el manejo de los flujos en el tiempo y espacio geográfico, siendo de gran utilidad para la ordenación de las actividades en el plano fluvial, incluyendo medidas normativas que ayuden a prevenir o atenuar los efectos de las inundaciones.

6.4 Riesgos de Inundación en la llanura fluvial.

Hasta 1982, los riesgos de inundación se aproximaban a las fases del escurrimiento antes descritas. En la tabla 22 se hace una descripción resumida de los riesgos de inundación en la llanura, correlacionando las fases de escurrimiento con los gastos críticos, su período de retorno en base a los métodos de Nash y Gumbel, y su incidencia en los lechos de inundación y usos del suelo.

TABLA 22

Caracterización de los riesgos de inundación en la llanura fluvial

FASES DEL ESCURRIMIENTO	GASTOS CRITICOS				OCUPACION DE LOS LECHOS DE INUNDACION	AFECTACION DE LOS USOS DEL SUELO
	METODO DE AREA PENDIENTE		ANALISIS ESTADISTICO DE GASTOS MAXIMOS			
	q m ³ /seg	Tm en años	q m ³ /seg	Tm en años		
NIVELES BAJOS	< de 165.16 $\bar{q}=38.99$	de noviem a mayo	-	-	Canal de estiaje o Talweg.	Ocupación de depósitos arenosos sin vegetación aparente.
NIVELES MEDIOS	de 165.16 a 950.74	< 1.36	< 1010.765	< 1.4	Ocupación parcial del lecho menor.	Ocupación parcial de bancos arenosos con matorral y sauces.
	316.91		-	-	El caudal ocupa 1/3 del área hidráulica del lecho menor.	"
NIVELES ALTOS	de 231.31 a 950.74		-	-	Se inicia la ocupación de cauces antiguos activos y penetración de flujos a la llanura baja de inundación anual.	Afectación de áreas con vegetación acuática, subacuática, pastizales naturales y algunos canacoitales.
	950.74	1.36	1010.765	1.4	El caudal se aproxima al límite de contención de las riberas bajas del lecho menor; la ocupación de cauces antiguos activos y llanura baja de inundación anual es máxima.	Ocupación de bancos arenosos con matorral y sauces; inundación total de áreas con vegetación acuática, subacuática, pastizales y algunos canacoitales.

TABLA 22

(Continuación)

FASES DEL ESCURRIMIENTO	GASTOS CRITICOS				OCUPACION DE LOS LECHOS DE INUNDACION	AFECTACIONES DE LOS USOS DEL SUELO
	METODO DE AREA PENDIENTE		ANALISIS ESTADISTICO DE GASTOS MAXIMOS			
	q m ³ /seg.	Tm en años	q m ³ /seg.	Tm en años		
Niveles Altos de Desbordes	de 950.74 a 3488.03	de 1.36 a 6.82	de 1010.765 a 4017.591	de 1.4 a 10.0	Ocupación parcial o total del lecho mayor o llanura baja de inundación, con o sin cauces activos.	Afectación de cultivos anuales y perennes, pastizales, selvas bajas, canacoitales, acahuales y 2 centros de población
INUNDACIONES EXTRAORDINARIAS	> de 3488.03	> 6.82	> 4017.591	> 10.01	Ocupación progresiva del lecho mayor excepcional o llanura alta de inundación.	Afectación de actividades agropecuarias, selvas bajas y medianas, canacoitales, acahuales, infraestructura rural y 19 centros de población.

Una descripción más detallada de los riesgos para las llanuras, erosiva y acumulativa, está contenida en las tablas 20³ y 21⁴, observándose diferencias significativas en su dinámica. Los gastos medios y su período de retorno para el inicio de avenidas ordinarias y extraordinarias, sugieren que el lecho menor de la llanura erosiva presenta una mayor capacidad de evacuación de los flujos; en tanto que la susceptibilidad de la llanura acumulativa a las inundaciones es mayor, sobre todo en la llanura baja con cauces antiguos activos. Su diferencia más significativa consiste en el gasto que da inicio a las avenidas extraordinarias; en la porción erosiva presenta un período de retorno de 7.16 años, mientras que en la -- acumulativa de 6.16 años, según el método de área-pendiente.

Tomando en cuenta que los datos de las secciones corresponden a la morfología de los lechos en 1964, es de esperar que tanto los gastos medios críticos como su período de retorno, hayan experimentado una disminución, sobre todo en la llanura acumulativa, debido al creciente proceso de obliteración del lecho menor, la disminución de su pendiente, migración de margenes y ampliación del lecho, la persistencia de rasgos erosivos, dejados por las crecidas y a la erosión de diques naturales que fungían como contenedores de avenidas ordinarias menores.

TABLA 23

Caracterización de los riesgos de inundación en la llanura fluvial erosiva.

FASES DEL ESCURRIMIENTO	GASTOS CRITICOS (m ³ /seg); METODO DE AREA-PEN-DIENTE	PERIODO DE RETORNO (Tm) O EPOCA DE IN-CIDENCIA.	OCUPACION DE LOS LE-CHOS DE INUNDACION,	AFECTACION DE LOS USOS DEL SUELO.
NIVELES BAJOS	< de 165.16; $\bar{q} = 38.99$	de noviembre a mayo	Canal de estiaje o Talweg	Ocupación de depósitos - arenosos sin vegetación aparente.
NIVELES MEDIOS	de 165.16 a 966.75 de 243.66 a 966.75	de junio a octubre Tm < 1.37 años	Ocupación parcial del lecho menor. Se inicia la ocupación de cauces antiguos activos y penetración de flujos a la llanura baja de inundación.	Ocupación parcial de bancos arenosos con matorral y sauces. Afectación de áreas con - vegetación acuática sub--acuática.
NIVELES ALTOS - Flujos a ple-no bordo. - Niveles Altos - De desbordes	966.75 de 966.75 a 3557.86	Tm = 1.37 años Tm de 1.37 a 7.16 años.	El caudal se aproxima al límite de contención de las riberas bajas -- del lecho menor; su ocu-pación de cauces anti--guos activos y llanura baja de inundación -- anual es máxima. Ocupación parcial o to-tal del lecho mayor o llanura baja de inun-dación.	Ocupación de bancos areno-sos con matorral y sauces; inundación total de áreas con vegetación acuática y subacuática. Afectación de cultivos -- anuales, pastizales culti-vados, selva mediana y -- acahuales.
INUNDACIONES EX-TRAORDINARIAS.	> de 3557.86	Tm > de 7.16 años	Ocupación progresiva - del lecho mayor excep-cional o llanura alta de inundación.	Afectación de actividades agropecuarias, selvas, -- acahuales y 5 centros de población.

TABLA 24

Caracterización de los riesgos de inundación en la llanura fluvial acumulativa.

FASES DEL EXCURRIMIENTO	GASTOS CRITICOS (m ³ /seg); METODO DE AREA-PENDIEN-TE.	PERIODO DE RETORNO (Tm) O EPOCA DE INCIDENCIA.	OCUPACION DE LOS LECHOS DE INUNDACION.	AFECTACION DE LOS USOS DEL SUELO.
NIVELES BAJOS	< a 165.16; \bar{q} = 38.99	de noviembre a mayo	Canal de estiaje o Talweg.	Ocupación de depósitos arenos sin vegetación aparente.
NIVELES MEDIOS	de 165.16 a 939.54 de 216.50 a 939.54	de junio a octubre; Tm < de 1.354 años.	Ocupación parcial del lecho menor. Se inicia la ocupación de cauces antiguos activos y penetración de flujos a la llanura baja de inundación anual.	Ocupación parcial de bancos arenosos con matorrales y sauces. Afectación de áreas con vegetación acuática y subacuática, pastizales naturales y algunos canacoitales.
NIVELES ALTOS - Flujos a pleno bordo. - Niveles Altos - De desbordes	939.54 de 939.54 a 3346.36	Tm = 1.354 años Tm de 1.354 a 6.16 años	El caudal se aproxima al límite de contención de las riberas bajas del lecho menor; la ocupación de cauces antiguos activos y llanura baja de inundación anual es máxima. Ocupación parcial o total del lecho mayor o llanura baja de inundación, con o sin cauces activos.	Ocupación de bancos arenosos con matorral y sauces; inundación total de áreas con vegetación acuática, subacuática y algunos canacoitales. Afectación de cultivos anuales y perennes, pastizales, selvas bajas, canacoitales, acahuales y 2 centros de población.
INUNDACIONES EXTRAORDINARIAS	> de 3346.36	Tm > de 6.16 años.	Ocupación progresiva del lecho mayor excepcional o llanura alta de inundación.	Afectación de actividades agropecuarias, selvas bajas y medianas, canacoitales, infraestructura y 14 c. de pob.

Los riesgos de inundación en la llanura acumulativa a partir de 1983 se vieron modificados, con la construcción del bordo de protección en la margen izquierda.

Las fases de niveles bajos y medios, y los flujos a plejo --bordo, se aproximarían a los descritos en la tabla 24, aunque cesaría la actividad de los cauces antiguos por aporte fluvial en el distrito de riego.

La fase de niveles altos de desbordes y de inundaciones extraordinarias en la margen derecha experimentarían serias modificaciones. El rango de variación de los gastos para alcanzar una avenida extraordinaria se acortaría, debido a la disminución del área hidráulica y a la elevación rápida del tirante de los flujos, afectando por períodos más prolongados la estancia de las aguas en la llanura, aún en áreas que antes de la creación del bordo eran alcanzadas en períodos de retorno más largos; reconociéndose de esta manera una sola llanura de desbordes. Es evidente que al aumentar la dinámica de las avenidas, también se presentaría una mayor activación de los procesos erosivos y acumulativos, aumentando la inestabilidad de las margenes, sobre todo la de la derecha. Efectos no previstos se harían sentir en los cultivos y centros de población rural, como sucedió en septiembre de 1984.

Los efectos señalados, se prolongarían aguas abajo del bordo de protección, aumentando la susceptibilidad a los desbordes en la zona de El Zapotal, distinguiéndose solamente una llanura de inundación. Es factible que con la activación de los procesos y dada la inestabilidad de sus márgenes antes de su desembocadura, el Río Verde experimente correcciones en su curso, afectando sobre todo la porción oeste del parque nacional.

En cuanto a la zona protegida por el bordo diseñado para garantizar una avenida de $6600 \text{ m}^3/\text{seg.}$ aproximadamente presentará una vida útil de 30 años, con una seguridad del 75% de que el gasto no será mayor que el del gasto de diseño, el cual tendrá un período de retorno de 100 años. No obstante, la erosión lineal, la erosión por sofocación y la efectividad en el mantenimiento de la obra, serán variables que contribuirían a la seguridad o aumento en el riesgo de las inundaciones fluviales.

El panorama planteado se vería radicalmente modificado una vez concluidas las obras del proyecto Río Verde, incluyendo una presa derivadora, bordos de protección en ambas márgenes, canales de riego y drenes.

Los niveles bajos, medios y flujos a pleno bordo, serían regulados por la presa, no obstante, aguas abajo prevalecerían los flujos medios.

El vaso de la presa fungiría como una depresión receptora de material sedimentario arenoso, lo que debido a las tendencias de la tasa de sedimentos, implicaría un azolvamiento -- más rápido de lo previsto, disminuyendo el período de vida útil de la obra.

Durante los niveles altos de desbordes y de inundaciones extraordinarias, se incrementaría la erosión lineal entre los bordos, debido al rápido aumento del tirante de los flujos, socavando las obras de protección y aguas abajo, provocando probables modificaciones en el curso de la corriente.

Al incrementarse la acumulación de sedimentos en la presa, en el resto de la llanura se invertiría la dinámica, pasando a dominar la erosión laminar. Al cesar los aportes terrígenos, en la desembocadura es de esperarse una regularización de la línea de costa en detrimento del cordón litoral y de la población del Azufre.

Es posible también un incremento en las intrusiones salinas en terrenos por debajo de la cota de los 5 mts., degradando suelos y acuíferos básicos para el sustento de varias comunidades rurales no beneficiadas por las obras de regadío.

7. CONCLUSIONES.

En base a los resultados presentados, puede afirmarse que los objetivos fueron cubiertos en su totalidad; en tanto que la hipótesis, también fue comprobada en su mayor parte.

no es un río en su curso inferior...
comprobada en el terreno?
Se demostró que la llanura fluvial del curso bajo del Río Verde ha experimentado en los últimos años una ruptura en su equilibrio geomorfológico, principalmente en el lecho menor y sectores inmediatos de la llanura baja.

Las evidencias que apoyan este planteamiento son las siguientes: a) Avance rápido del fenómeno de la anastomosis; b) Disminución de la pendiente del río; c) Incremento en el proceso de agradación o aluvionamiento del lecho menor; d) Ampliación rápida del lecho, para mantener el equilibrio entre las relaciones del caudal, anchura y profundidad.

Se comprobó que como respuesta a los cambios geomorfológicos, también se ha sucedido un aumento en la susceptibilidad a los efectos negativos de las inundaciones, hacia las actividades humanas en la llanura. Lo anterior aunque no pudo ser reafirmado mediante datos cuantitativos, se evidencia por la probable elevación del lecho menor por encima de su llanura de inundación, la migración acelerada de las márgenes del lecho menor, erosión de diques naturales contenedores de algunos flujos ordinarios, erosión de tierras fértiles y pérdida de espacios cultivables.

Con la construcción del bordo de protección en la margen izquierda, en la llanura acumulativa, el desequilibrio geomorfológico se verá aún más acrecentado, sobre todo en la dinámica de las inundaciones debido a la disminución del área hidráulica y aumento rápido de los flujos en la margen derecha. Lo anterior se traducirá en la migración acelerada de la ribera baja opuesta al bordo, erosión de tierras fértiles, socavación del bordo, el reconocimiento de una sola llanura de desbordes y mayor pérdida de cultivos, viviendas e infraestructura rural. En ese sentido ya se registró una experiencia en septiembre de 1984.

La alteración geomorfológica del lecho menor del curso bajo del Río Verde no es un fenómeno aislado. Diferentes estudios revelan que el uso inadecuado del suelo en las cuencas altas, han provocado un mayor aporte de materiales y con ello la agradación de los lechos en los cursos bajos; teniendo entre otros casos, los del Río Papaloapan (Rosales, 1977) el Río Mezcalapa antes de la construcción del sistema de presas (West, Psuty y Thom, 1976), y los ríos Amarillo (Chun, 1972) y Jaije (Chin, 1975), en la República de China.

En el área de estudio la génesis de la problemática geomorfológica se ubica en su mayor parte en áreas externas; probablemente en zonas de la cuenca alta como la Mixteca, y los Valles Centrales de Oaxaca, donde ha sido observado un aumento rápido de los espacios erosionados.

La solución a la problemática geomorfológica e hidrológica -deberá ser integral, contemplándose la totalidad de la cuenca. Mientras que continúe la erosión acelerada en la cuenca alta por el mal uso de la tierra, el aporte de material y su tendencia también será creciente; por lo que cualquier obra hidráulica en el curso bajo para la defensa, control o mitigación de las inundaciones, sólo será una solución parcial a la problemática, disminuyendo el período de utilidad de las obras y la supuesta seguridad del área.

Debido a que la problemática en cuestión, engloba diferentes facetas, las medidas de solución no pueden ser vertidas unilateralmente por una u otra ciencia. Para ello se requiere del concurso de un equipo interdisciplinario donde se integre la visión de hidrólogos, geomorfólogos, biólogos, edafólogos, agrónomos y de las ciencias sociales, entre otras.

Tampoco podrá ignorarse el aporte del conocimiento de la población rural en el área, que es quien ha vivido la realidad de la problemática.

La geomorfología es una disciplina que ofrece métodos y técnicas que han probado su utilidad en la evaluación de los ambientes fluviales. En ese sentido, la detección de las causas y efectos de los problemas, su interrelación, así como -su ubicación temporal y espacial, a través de los lechos de

inundación, pueden aportar criterios para la ordenación de las actividades humanas en estos ambientes.

Se sostiene que las inundaciones fluviales no deben ser vistas como un enemigo del progreso, sino por el contrario, intentar una adecuación de las actividades humanas a las mismas, adoptando medidas para una planeación integral del espacio. En otras palabras, el intento de solución de la problemática a través de grandes obras hidráulicas en otras cuencas, han probado no ser tan eficiente como se esperaba, representando inversiones onerosas, y teniéndose consecuencias no previstas como el azolvamiento rápido de presas, elevación de lechos entre bordos, conversión de llanuras acumulativas a erosivas, salinización de tierras y mantos, rectificación de cursos y degradación de la línea de costa, entre otros (veáse Ortíz, 1985).

En el área de estudio, se ha comprobado que los tipos de vegetación natural y las actividades humanas, han contribuido a controlar o acelerar el avance de los procesos erosivos y acumulativos, dentro del lecho menor y en las áreas inmediatas. En efecto, la posición de las márgenes fue más estable en el período 1964-1980, cuando éstas coincidieron con áreas de selva mediana sobre diques naturales; en su defecto, la migración y pérdida de suelos fue mayor cuando las riberas bajas estaban en contacto con áreas de cultivos de ciclo corto o pastizales en la llanura baja. También las orillas que coincidieron con

cultivos perennes, fueron algo más estables que aquellas donde había cultivos anuales.

En el curso bajo del Río Verde, el conocimiento de los gastos máximos críticos mediante la combinación de métodos estadísticos y el método de área-pendiente, así como su relación con los lechos de inundación, son criterios concretos que pueden ser utilizados para normar la utilización de los diferentes ambientes de la llanura, así como al diseño de pequeñas obras de defensa o mitigación de los procesos. También pueden contribuir a crear un sistema de alertamiento de la población contra inundaciones.

Debido a que la dinámica geomorfológica del curso bajo del Río Verde, salvo algunas particularidades, en lo general se ajusta a la teoría planteada en el marco conceptual, se concluye que esta metodología junto con la inclusión de criterios hidrológicos, puede ser aplicada en la evaluación de llanuras fluviales grandes o pequeñas, sobre todo en las últimas donde no se cuenta con datos hidrométricos; siendo un procedimiento viable económicamente, en el tiempo y en cuanto a los materiales de trabajo requeridos.

8. RECOMENDACIONES.

En base a los resultados y conclusiones del trabajo, se des--
prenden las siguientes recomendaciones generales para la lla-
nura baja del curso bajo del Río Verde.

- a) Evaluar los tipos de cultivos que mejor se adapten a la di
námica de los flujos en los diferentes lechos de inundación.
procurando minimizar el avance de los procesos erosivos y
acumulativos.
- b) Evaluar la problemática geomorfológica, edáfica, hidrológi-
ca y del mal uso de la tierra en la Cuenca Alta y Media del
Río Verde y adoptar medidas de conservación de los recursos,
evitando el aporte excesivo de azolves hacia el curso bajo.
- c) Replantear con carácter de urgencia la creación de un bordo
de protección en la margen derecha, el cual se tiene contempl
ado como medida de solución para evitar las inundaciones
en ese sector; así mismo, llevar a cabo una nueva evalua--
ción contemplando problemas como la elevación del lecho en-
tre los bordos por agradación, velocidad de azolvamiento en
la presa derivadora, regulación de la costa por el cese de
aportes de material terrígeno, rectificación del cauce en -
el parque nacional, salinización de suelos y acuíferos, y -
conversión de la llanura acumulativa a erosiva.

- d) Evaluar posibles obras de dragado en la llanura acumulativa como una medida mas, para atenuar las inundaciones.
- e) Crear un sistema de alertamiento de la población contra -- inundaciones, adoptando los gastos críticos para los flu-- jos a pleno bordo y flujos que dan inicio a las avenidas -- extraordinarias; manteniéndose un contacto estrecho entre la estación hidrométrica y la población rural a través de la radio.
- f) Procurar el mantenimiento de la vegetación natural en las áreas inmediatas a las riberas bajas; así mismo crear franjas de cultivos perennes y vegetación natural arbórea, pa-- ralelas al lecho menor, sustituyendo cultivos de ciclo cor-- to y pastizales, cultivados contribuyendo a la estabiliza-- ción de las márgenes y a la fijación de materiales duran-- te los desbordamientos.
- g) Evaluar la creación de plataformas anti-inundaciones conti-- guas a las poblaciones que directamente se ubican en la -- llanura, incluyendo también las que están protegidas por el bordo, ya que el riesgo a los desbordes no ha desaparecido.
- h) Diseñar las viviendas, fábricas y otro tipo de edificacio-- nes en la llanura, sobre plataformas o estructuras tipo -- paláfitos que se eleven por encima del tirante que dan ini

cio a las avenidas extraordinarias.

- i) Así mismo, garantizar que el diseño de las vías de comunica
ción en la llanura, no obstruyan los cauces antiguos; pro-
curando obras de limpieza, para los últimos.

- j) Profundizar en el conocimiento de la dinámica de la llanu-
ra fluvial, incorporando estudios de ecología, suelos y se
dimentología, entre otros.

9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Aguilar, M. R., 1978. Aplicación de los estudios geomorfológicos a la hidrología superficial. Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, México: 128 p.
- Camargo, H. J., C. Cruickshand V. y J. A. Maza A., 1980. Estudio hidrológico y estudio hidrológico fluvial. En: Cauce de alivio Samaria-Golfo de México. Comisión del Río - Grijalva, SARH, México: 62 p.
- Comisión Federal de Electricidad, 1980. Predicción de Avenidas. Sección Hidrotecnia, Tema Hidrología. En: Manual de Diseño de Obras Civiles. Centro editorial de la C.F.E. México.
-
- _____, 1980. Avenida de diseño. Sección Hidrotecnia, Tema Hidrología. En: Manual de Diseño de Obras Civiles. Centro editorial de la C.F.E., México: 52 p.
-
- _____, 1980. Hidráulica Fluvial. Sección Hidrotecnia, Tema Hidráulica, En: Manual de Diseño de Obras Civiles. Centro editorial de la C.F.E., México: 249 p.
-
- _____, 1980. Escurrimiento a superficie libre. Sección Hidrotecnia, Tema Hidráulica. En: Manual de Diseño de Obras Civiles. Centro editorial de la C.F.E., México: 134 p.
- Chin, J., 1975. Cambios Trascendentales en el Río Jaije. -- (1a. Ed.). Edics. en Lenguas Extranjeras, Pekin: 127 p.
- Chun, J., 1972. China somete sus ríos. (1a. Edic.). Edics. en Lenguas Extranjeras, Pekin: 64 p.
- Derrauz, M., 1978. Geomorfología. (2a. Edic.). Edics. -- Ariel, Barcelona, España: 529 p.
- Domínguez, M.R., 1981. Análisis regional de tormentas y avenidas de diseño. Aplicación a la Cuenca del Papaloapan. Tesis de Maestría, UNAM, México: 119 p.
- Excelsior. Graves pérdidas al desbordarse el Río Verde en Jamiltepec, Oaxaca. México, D.F. Sep. 25, 1984.

- Facultad de Ciencias, 1977. Estudio interdisciplinario sobre la conservación y el aprovechamiento de un parque nacional "Lagunas de Chacahua", Oaxaca, con una población humana establecida. Curso de biología de campo, UNAM, México.
- _____, 1980. Estudio interdisciplinario sobre la conservación y el aprovechamiento de un parque nacional "Lagunas de Chacahua", Oaxaca, con una población humana establecida. Curso de biología de campo, UNAM, México: 465 p.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM, México: 246 p.
- González, V.F.J., 1970. Contribución al análisis de frecuencias de valores extremos de los gastos máximos en un río. Instituto de Ingeniería, UNAM, México: 24 p.
- _____, 1972. Estudio de regionalización y predicción de tormentas y avenidas de diseño. Dirección de Proyectos de Irrigación, SRH, México: 153 p.
- Guerra, P. F., 1980. Fotogeología. (1a. Edic.). Dirección General de Publicaciones, Facultad de Ingeniería, UNAM, México: 329 p.
- Kazmann, G. R., 1969. Hidrología moderna. (1a. Edic.) Cía. -- Editorial Continental, S.A., México: 420.p.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal Lagoons of México: Their origin and classification. In: Wiley, M. E. (Ed.), Estuarine Processes circulation, sediments and transfer of material in the estuary. Academic Press Inc., New York, (2): pp. 182-215.
- Leopold, B. L., M. G. Wolman y J. P. Miller., 1963. Fluvial processes in geomorphology: Editorial W. H. Freedman, San Francisco: 522 p.
- Lisley, J. R. K., M. A. Kohler y J.L.H. Paulus, 1977. Hidrología para ingenieros. (2a. Edic.). Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A., México: 386 p.
- López, M.R., 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el Estado de Tabasco y Norte de Chiapas. Universidad Autónoma de Chapingo, Centro Regional Tropical Puyacatengo, Tabasco, México.

- López, R.E., 1974. Carta geológica del Estado de Oaxaca, -- E. 1:500000 (2a. Edic.). Instituto de Geología, UNAM, México.
- _____, 1976. Carta geológica de la República Mexicana; E. 1:2000,000. (4a. Edic.). Comité de la Carta Geológica de México, México.
- _____, 1979. Geología de México. Tomo III. (2a. Edic). México: 446 p.
- Martínez, L.V.M., 1980. Los factores geomorfológicos que rigen el comportamiento de la presa "Ignacio Allende", Guajuato. En: Serie Varia, Tomo I, No. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México: 102 p.
- Maza, A.J.A. y M. García, 1976. Puente carretero sobre el Río Verde, Oax., Obras de protección y encauzamiento. S.O.P., México: 133 p.
- Méndez, L., 1981. Evaluación de tierras para la producción de maíz y algodón en la porción centro de la Costa Chica de Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias, Especialista en suelos Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Miranda, F., 1975. La vegetación del Estado de Chiapas. 1a. parte. Edics. del Gobierno del Estado, Tuxtla Gutiérrez, - Chiapas, México: 266 p.
- Organización de las Naciones Unidas, 1977. Prevención y mitigación de desastres. En: Aspectos relativos al aprovechamiento de la tierra. Vol. 5, Nueva York: 73 p.
- Ortíz, P.M.A., 1979. Fotointerpretación geomorfológica del curso bajo del Río Grande de Santiago, Nayarit. En: Boletín del Instituto de Geografía, No. 9. UNAM, México: pp. 65-91
- _____, 1985. Fotointerpretación geomorfológica del delta del Río Balsas, Michoacán-Guerrero. En: Memorias del VIII Congreso Nacional de Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia. Tomo I. Morelia, Michoacán, México: pp.203-216.
- Regalado, H.G., 1968. Análisis crítico de los métodos para el cálculo de avenidas extraordinarias. Tesis de Maestro en Ingeniería, División de Estudios Superiores, Facultad de Ingeniería, UNAM, México: 74 p.

- Rosales, M.R.F., 1977. Hidrología. En: Tamayo L.J. y E. Beltrán (eds.), Recursos naturales de la Cuéncia del Papaloapan. Tomo I. SARH-Comisión del Papaloapan, Instituto Mexicano - de Recursos Naturales Renovables. México: pp. 97-126.
- SARH-Colegio de Postgraduados, 1982. Manual de conservación del suelo y del agua, Instructivo. (2a. Edic.). Talleres Gráficos de la Nación, Chapingo, México: 248 p.
- SARH, 1977. Regiones Hidrológicas Nums. 19, 20, 21 y 22; Zona de las Costas de Guerrero y Oaxaca. En: Boletín Hidrológico No. 31, Tomos IV y V. México.
- _____, 1977. Proyecto Río Verde, Oaxaca. México: 240 p.
- SAHOP, 1981. Programa estatal de prevención y atención de - - emergencias urbanas, Estado de Oaxaca. México: 366 p.
- Secretaría de la Defensa Nacional, 1971. Cartas E. 1:100 000, Hojas Jamiltepec 14Q-1(10) y Lagunas de Chacahua 14P-C(1). México.
- Secretaría de Industria y Comercio, 1963. VIII Censo General de Población 1960. Vol. II, Hidalgo a Oaxaca. México.
- _____, 1973. IX Censo General de Población 1970. Vol. II, Hidalgo a Oaxaca. México.
- S.O.P., 1975. Análisis de Distribución, Río Verde, Oaxaca. -- Departamento de Geotécnica, México.
- Spiegel, M. R., 1984. Estadística. Serie Schaum. Editorial - McGraw-Hill. México: 357 p.
- Springall, R., 1967. Esgurrimiento en cuencas grandes. En: - Series del Instituto de Ingeniería (No. 146), UNAM, México: 40 p.
- S.P.P., 1984. Cartas topográficas (Provisionales), E. 1:50 000, Hojas E14 D74, E14 D75, E14 D84, E14 D85, D14 B14 y D14 B15, México.
- _____, 1984. Carta de uso del suelo (Provisional) E. 1:250 000 Hoja Saachila E 14-12. México.

- S.R.H., 1964. Estudios del Rfo Verde, Oaxaca, Zona Regable, Plano General E. 1: 20 000, Hojas 1, 2, 3, 4 y 5. México.
- _____, 1970. Regiones hidrológicas Nums. 19, 20, 21 y 22, Zona de las costas de Guerrero y Oaxaca. En: Boletín Hidrológico No. 31, Tomo I, II y III. México.
- _____, 1974. Elementos de escurrimiento superficial. Memorandum Técnico (No. 330). México: 225 p.
- _____, 1976. Plan Nacional Hidráulico 1975. (1a. Parte). - México: 179 p.
- _____, 1976. Plan Nacional Hidráulico 1975. (2a. Parte). - México: 242 p.
- Strahler, N.A., 1974. Geografía Física. Edics. Omega, S.A., Barcelona: 767 p.
- Tricart, J., 1969. La epidermis de la tierra. Editorial La bor, S.A., Barcelona: 179 p.
- Viers, G., 1974. Geomorfología (1a. Edic). Oikos-Tau, S.A. Edics. Barcelona: 320 p.
- West, R.C., N.P. Psuty y B.G. Thom, 1976. Las tierras bajas de Tabasco en el sureste de México. Edics. del Gobierno del Estado, Villahermosa, Tabasco. México: 326 p.

APENDICE 1.

Métodos estadísticos aplicados en el análisis de los gastos máximos del Río Verde, Oaxaca.

1. Método de Gumbel (Springall 1967; Maza y ^{García} Flores, 1976).

Para calcular un gasto máximo para un período de retorno determinado se usa la ecuación:

$$Q_{\text{máx}} = \bar{Q} - \frac{SQ}{N} \left[Y_n + \text{Loge Loge} \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right]$$

en la que

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$$

$$SQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N\bar{Q}^2}{N-1}}$$

Siendo:

N número de años de registro

Q_i gastos máximos anuales registrados, en $m^3/\text{seg.}$

\bar{Q} gasto medio, en $m^3/\text{seg.}$

SQ desviación estándar de los gastos, en $m^3/\text{seg.}$

Y_n , Y_n parámetros, función de N, ver tabla 2.3 (Maza y ^{García} Flores, 1976).

Tr período de retorno.

Loge logaritmo natural

$Q_{\text{máx.}}$ gasto máximo para un período de retorno determinado en $m^3/\text{seg.}$

2. Método de Nash (C.F.E., 1980).

El gasto correspondiente a cualquier período de retorno se de termina con la siguiente expresión:

$$q(T_m) = a + c \ln \ln \frac{T_m}{T_m - 1}$$

Siendo:

$q(T_m)$ Gasto máximo correspondiente a cualquier período de retorno.

a, c Parámetros de la función

\ln Logaritmo natural

T_m Período de retorno

Antes de obtener el gasto máximo es necesario realizar los si guientes cálculos preliminares, mismos que pueden ser resumi- dos en una tabla.

a) Los gastos máximos de n años de muestra se ordenan de ma- yor a menor y se les designa con la letra q_i ; también se - les asigna un valor r_i , que corresponde al número de orden del arreglo descrito.

b) Se estima para cada gasto un período de retorno definido - por $T_m = \frac{n+1}{r_i}$ y, sucesivamente se calcula, para cada gasto, - el cociente $\frac{t_m}{T_m - 1}$, y el logaritmo natural del logaritmo na- tural de dicho cociente, el cual se designa como - - - - -

$X_i = \ln \ln \left(\frac{T_m}{T_m - 1} \right)$. T_m es una estimación del parámetro de la distribución teórica de la población de gastos máximos.

c) Para cada gasto se calculan los cuadrados de q_i , X_i , y el producto $X_i q_i$:

d) Se hace la suma de los valores q_i , q_i^2 , X_i , X_i^2 , y $X_i q_i$, desde $r=1$ hasta $r=n$.

e) Se calculan las medias $\bar{q} = \frac{\sum q_i}{n}$ y $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$

f) Se determinan las constantes o parámetros de la función.

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i q_i) - n \bar{X} \bar{q}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2}$$

$$a = \bar{q} - c \bar{X}$$

3. Método de Lebediev (Springall, 1967).

El gasto máximo se obtiene con la ecuación:

$$Q_{\max} = Q_m (K C_v + 1)$$

Donde:

Q_m gasto medio en m^3/seg . el cual se obtiene:

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{N}$$

Cv Coeficiente de variación, que se obtiene de la ecuación:

$$Cv = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1 \right)^2}}{N}$$

K Coeficiente que depende de la probabilidad p, expresada en porcentaje de que se repita el gasto de diseño y del coeficiente de asimetría C_s (tabla 3).

P se calcula con la ecuación.

$$P = \frac{1}{T_r} \times 100$$

C_s coeficiente de asimetría; que cuando se cuenta con más de 40 años de registro se calcula con la ecuación:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1 \right)^3}{NC_v^3}$$

cuando se cuenta con pocos años de registro Lebedev recomienda tomar los valores siguientes para avenidas producidas por tormentas:

$$C_s = 3Cv$$

N Años de observación.

Q_i Gastos máximos anuales observados, en m^3/seg .

Para una aplicación sencilla y práctica del método, los valores preliminares pueden ser resumidos en una tabla.

4. Distribución Log-Pearson Tipo III (Lisley, Kohler y Paulus, 1977).

Para calcular un gasto máximo con un período de retorno determinado se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Log } X = \overline{\text{Log } X} + K \sigma_{\log x}$$

La distribución consiste en convertir la serie de datos a sus logaritmos y luego calcular los siguientes parámetros:

Media $\overline{\text{Log } X} = \frac{\sum \text{Log } X}{n}$

Desviación estandar $\sigma_{\log x} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X - \overline{\text{Log } X})^2}{n - 1}}$

Coefficiente de asimetría $g = \frac{n \sum (\text{Log } X - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1)(n-2)(\sigma_{\log x})^3}$

Donde:

$\overline{\text{Log } X}$ Media del logaritmo de la serie de caudales pico

$\sigma_{\log x}$ Desviación estandar del logaritmo de la serie de caudales pico.

g Coeficiente de asimetría.

K Factor de frecuencias cuyo valor se obtiene en la tabla 11-4 del estudio consultado, confrontando el coeficiente de asimetría y los períodos de retorno para los cuales se desea calcular el gasto máximo.

Para el cálculo del gasto máximo Q_{max} , al $\text{Lbg}X$ de la primera ecuación se le obtiene su antilogaritmo.



FACULTAD DE INGENIERIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

APENDICE 2

Estimación de caudales mediante el método de area-pendiente (Lisley, Kohler y Paulus, 1977; C.F.E., 1980).

Consiste en la determinación de la pendiente en un tramo del canal. Enseguida, obtención de la geometría de la sección transversal, hasta la marca más elevada de las aguas dejadas por la crecida. Los datos de la sección se grafican en papel milimétrico, pudiéndose calcular los siguientes parámetros (Figura A).

- a) Tirante, y , distancia de la superficie libre del agua al punto más bajo de la sección, medida perpendicular al flujo.
- b) Area hidráulica, A , es el área de la sección ocupada por el líquido.
- c) Ancho de la superficie libre, B , es el ancho de la sección medida a la altura de la superficie libre.
- d) Perímetro mojado, P , es el perímetro de la sección en contacto con el agua, sin incluir a la superficie libre.
- e) Radio hidráulico, R_H , es el cociente del área hidráulica entre el perímetro mojado.

$$R_H = \frac{A}{P}$$

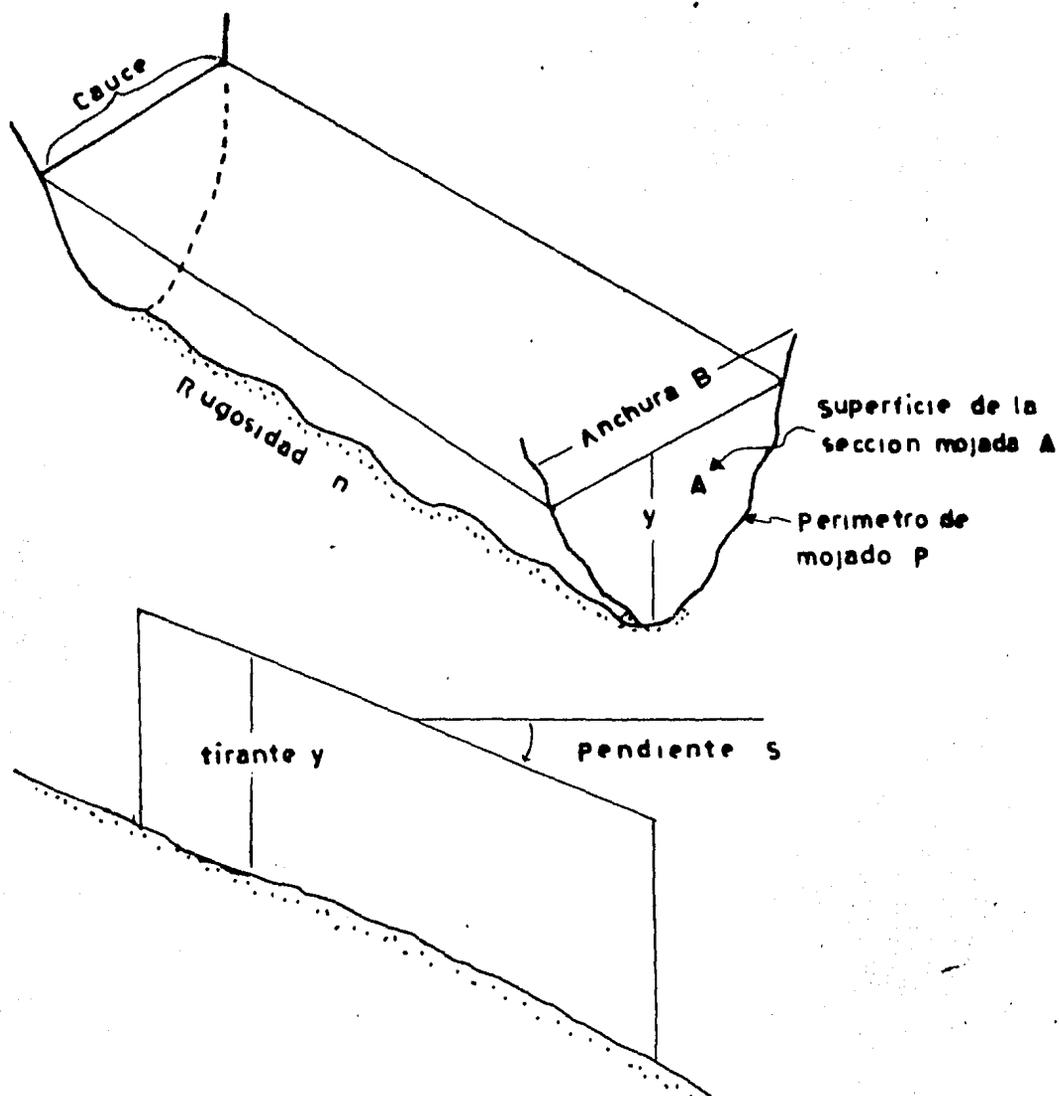


FIG.A GEOMETRIA DEL CAUCE

f) Tirante medio (también llamado tirante hidráulico), Y , es el cociente del área hidráulica entre el ancho de la superficie libre.

$$Y = \frac{A}{B}$$

g) Pendiente, S , es la inclinación de la plantilla del canal por unidad de longitud en dirección del flujo.

La inclinación de las paredes de la sección se especifica con el talud K , que es la distancia horizontal que hay -- que recorrer para ascender la unidad de longitud. También se define como:

$$K = \text{CoT } \theta$$

Donde:

θ ángulo que forma la pared del canal con un plano horizontal.

Para calcular el caudal mediante este método, la fórmula de Chézy-Manning es la más utilizada; la ecuación en sistema métrico es la siguiente:

$$q = \frac{1.0}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

q = gasto medio o caudal en m^3/seg .

La veracidad o error en los resultados al aplicar esta ecuación, radica en encontrar el coeficiente de rugosidad, n , adecuado a las características del canal o sección que se desea evaluar; los valores de este coeficiente pueden ser consultados en la Tabla III.4d. Para cauces naturales, en el "Manual de Diseño de Obras Civiles. Hidrotecnia. A.2.9. Escurrimiento a Superficie Libre" (C.F.E., 1980).

Debido a que existen dudas acerca de las modificaciones de la sección transversal medida después de una creciente, en las condiciones más favorables puede esperarse un error del 10% en los resultados (Lisley, Paulus y Kohler, 1977), aunque puede llegar hasta 15-20% (Kazmann, 1969).



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

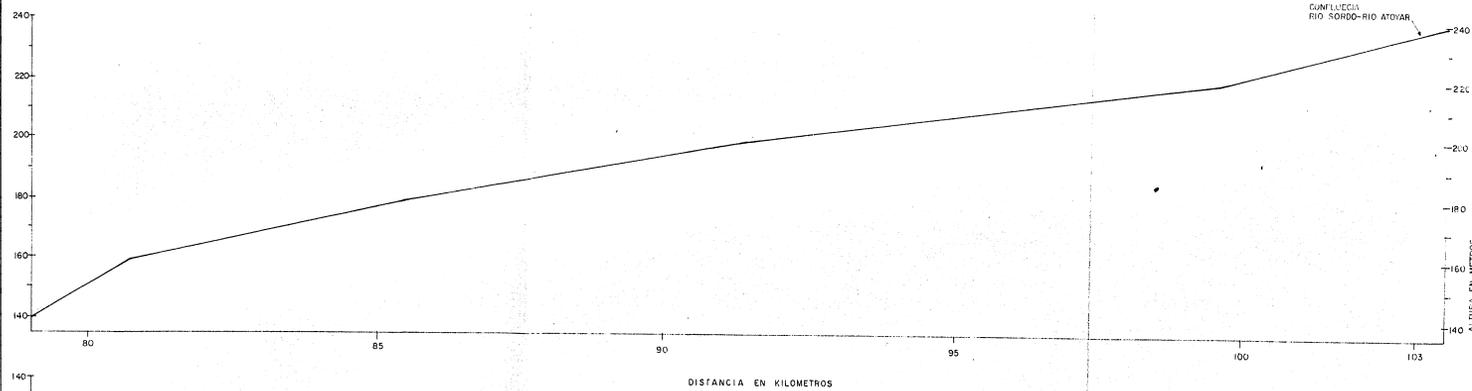
PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO VERDE, OAXACA (Confluencia de los rios Sordo y Atoyac hasta su desembocadura).

Figura: 4

SECCION SIERRA MADRE DEL SUR

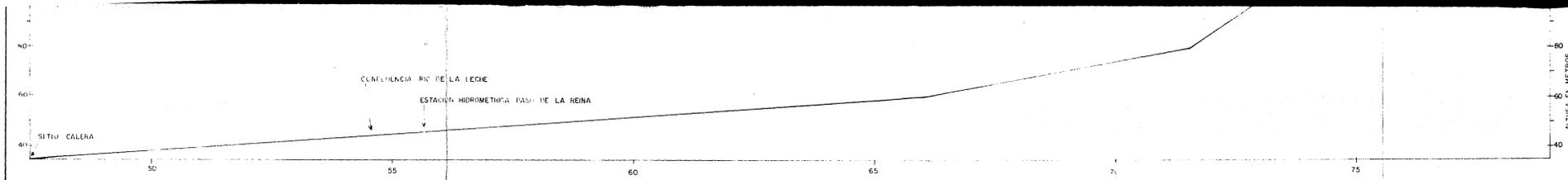
Esc. Horz 1:50,000

Esc. Ver. 1:1,000



NOTA: SE ELABORO MEDIANTE LA INTERPRETACION DE LAS CARTAS TOPOGRAFICAS PROVISIONALES, TATALTEPEC (E 14075), ACATEPEC (E 14085) y CHICO OMETEPEC (E 14084 /D14B14); E. 1:50,000 CETENAL (1982-1984).
PENDIENTE DE LA SECCION SIERRA MADRE DEL SUR = 0.366%.

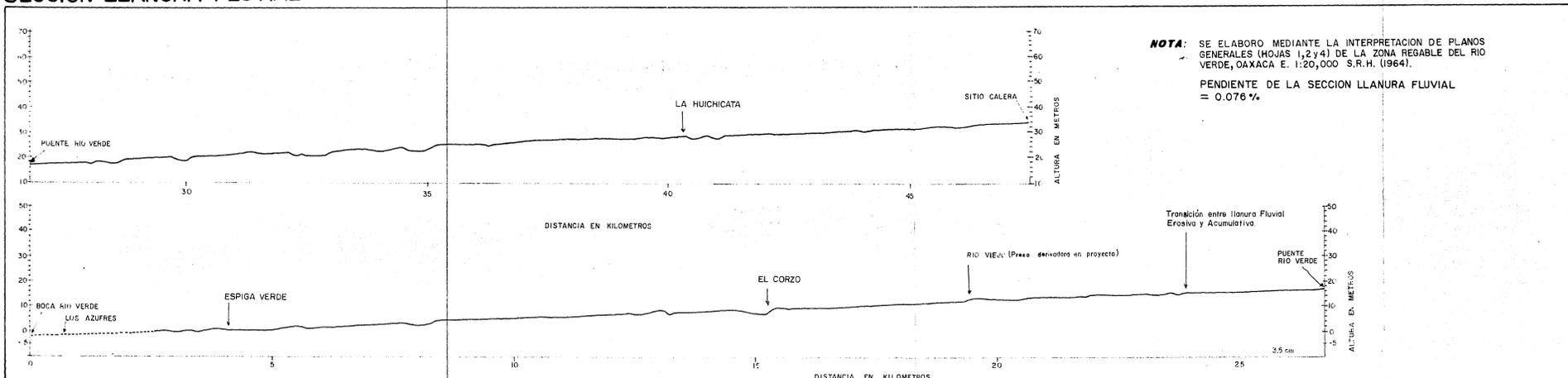




SECCION LLANURA FLUVIAL

Esc. Hoz. 1:50,000

Esc. Ver. 1:1,000

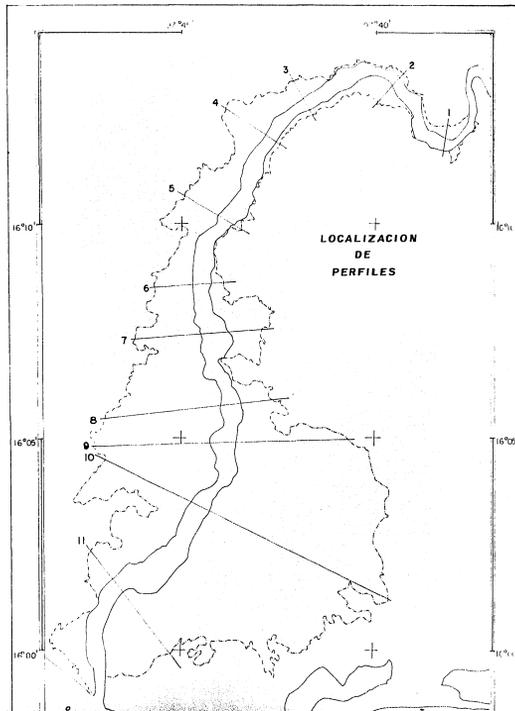


NOTA: SE ELABORO MEDIANTE LA INTERPRETACION DE PLANOS GENERALES (HOJAS 1,2 y 4) DE LA ZONA REGABLE DEL RIO VERDE, OAXACA E. 1:20,000 S.R.H. (1964).

PENDIENTE DE LA SECCION LLANURA FLUVIAL = 0.076 ‰

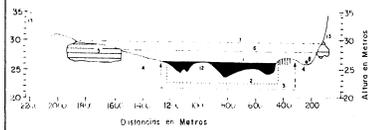
PERFILES GEOMORFOLÓGICOS

Figura: 5



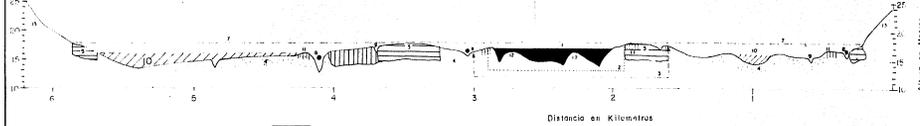
PERFILES REPRESENTATIVOS.

A. VALLE FLUVIAL EROSIVO



ESCALA VERTICAL 1:500
ESCALA HORIZONTAL 1:20 000

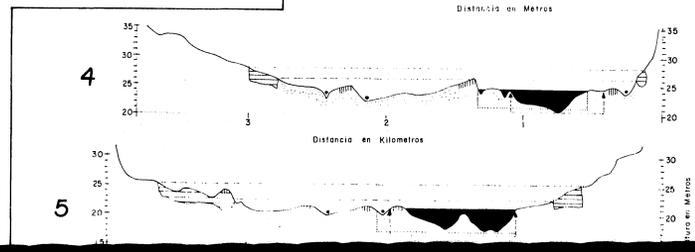
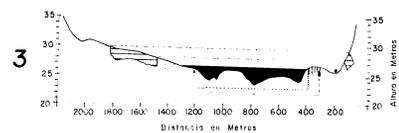
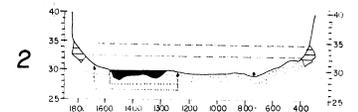
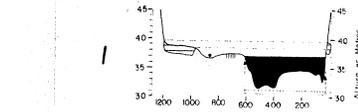
B. VALLE FLUVIAL ACUMULATIVO

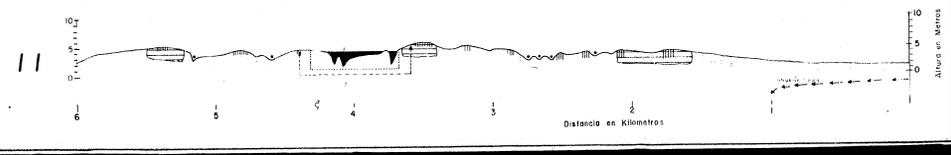
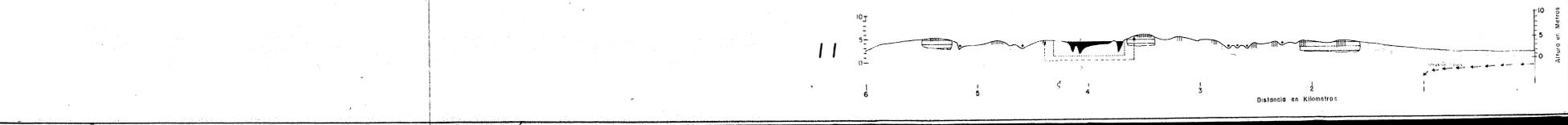
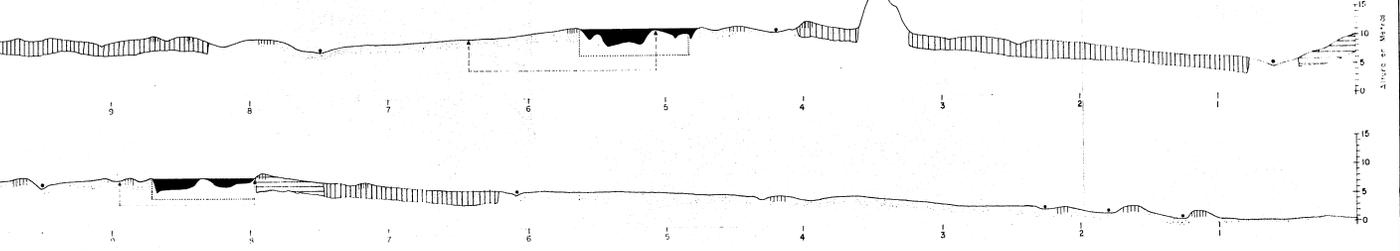
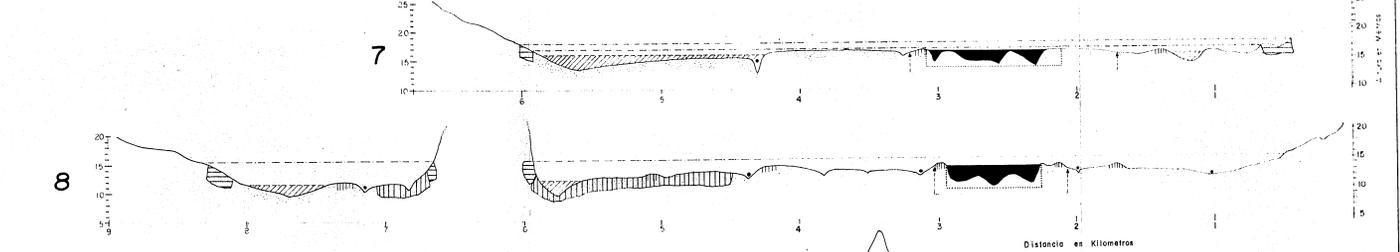


S I M B O L O G I A

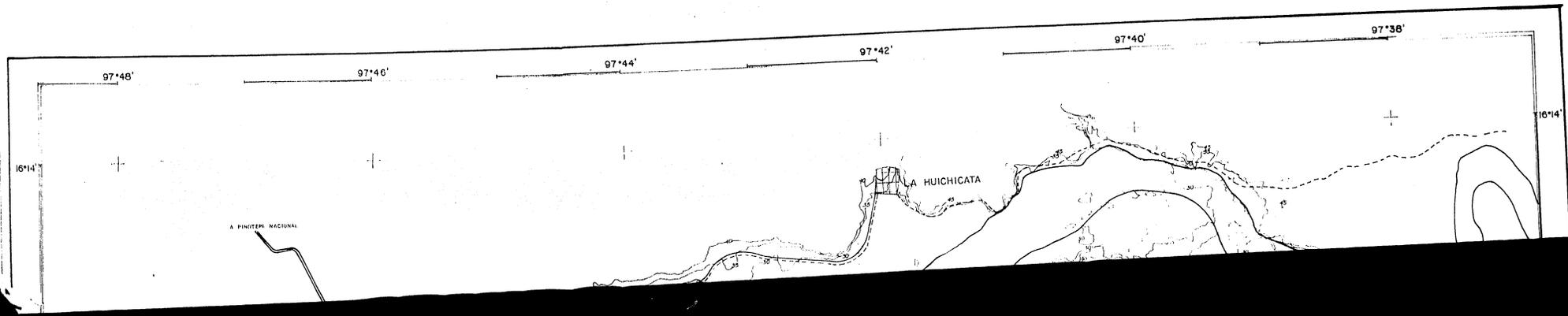
- LECHO MAYOR O CAUCE ORDINARIO
- LECHO MAYOR O LLANURA BAJA DE INUNDACION
- LLANURA BAJA CON INUNDACIONES ANUALES
- LLANURA BAJA DE INUNDACION CON ALTA DENSIDAD DE CAUCES ANTIGUOS/ACTIVOS E INACTIVOS
- LLANURA BAJA DE INUNDACION CON BAJA DENSIDAD DE CAUCES ANTIGUOS
- LECHO MAYOR EXCEPCIONAL O LLANURA ALTA DE INUNDACION.

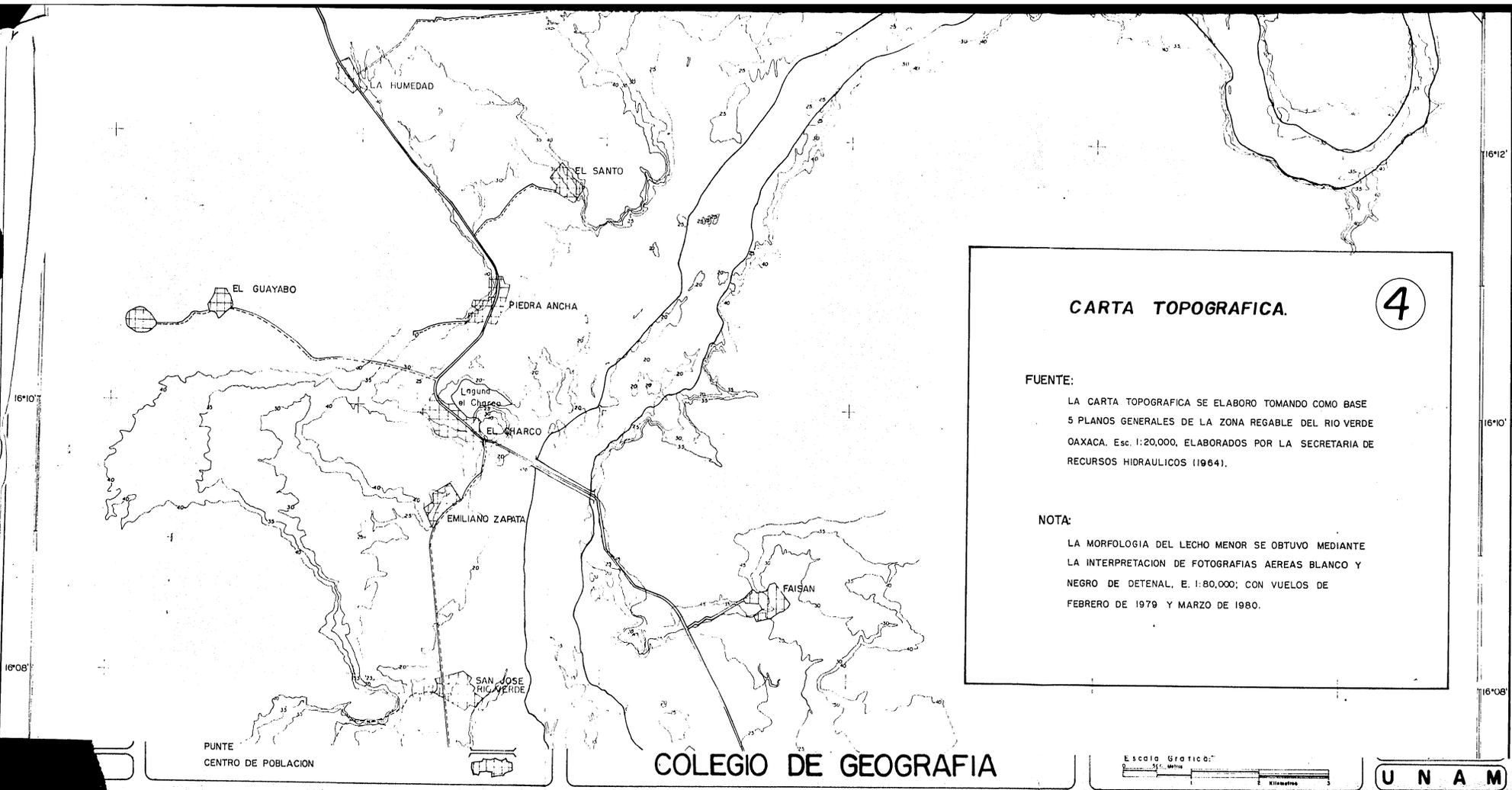
1. LECHO MENOR (1963)
2. LECHO MENOR (1967)
3. LECHO MENOR (1980)
4. LLANURA BAJA DE INUNDACION
5. LLANURA ALTA DE INUNDACION
6. TIRANTE MAXIMO DEL LECHO MENOR
7. TIRANTE MAXIMO DEL LECHO MAYOR EXCEPCIONAL
8. BRAZOS MUERTOS ACTIVOS EN CRECIDAS ORDINARIAS Y EXTRAORDINARIAS.
9. BRAZOS MUERTOS INACTIVOS EN CRECIDAS
10. CUBETA INUNDABLE ANUALMENTE
11. DIQUE NATURAL
12. BANCO ARENOSO
13. MACIZO CRISTALINO





Altura en Metros





CARTA TOPOGRAFICA.

4

FUENTE:

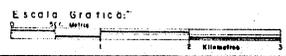
LA CARTA TOPOGRAFICA SE ELABORO TOMANDO COMO BASE 5 PLANOS GENERALES DE LA ZONA REGABLE DEL RIO VERDE OAXACA. Esc. 1:20,000, ELABORADOS POR LA SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS (1964).

NOTA:

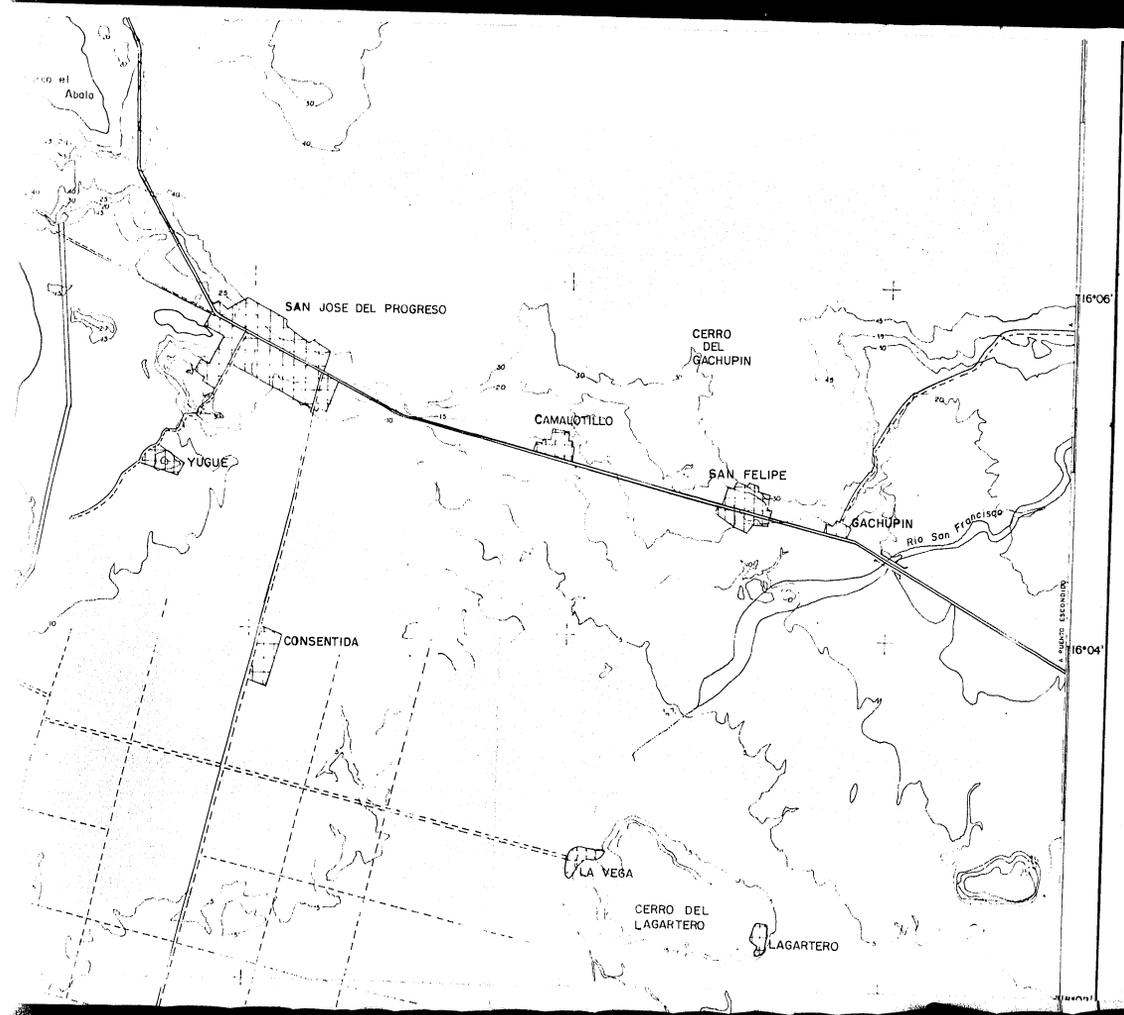
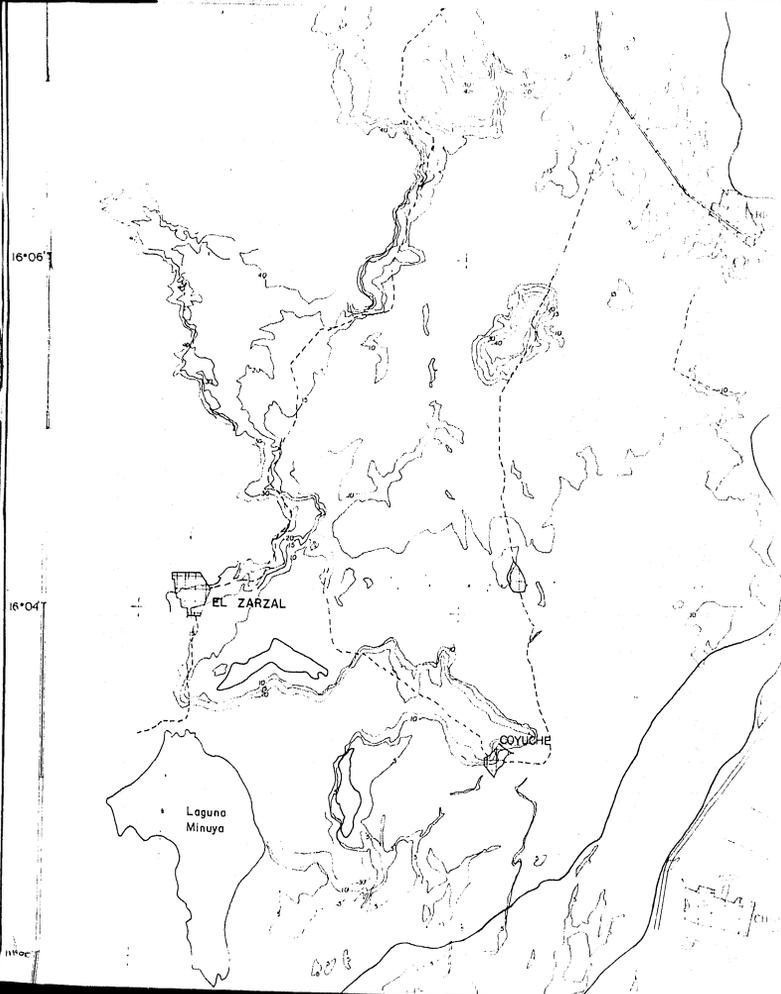
LA MORFOLOGIA DEL LECHO MENOR SE OBTUVO MEDIANTE LA INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS BLANCO Y NEGRO DE DETENAL, E. 1:80,000; CON VUELOS DE FEBRERO DE 1979 Y MARZO DE 1980.

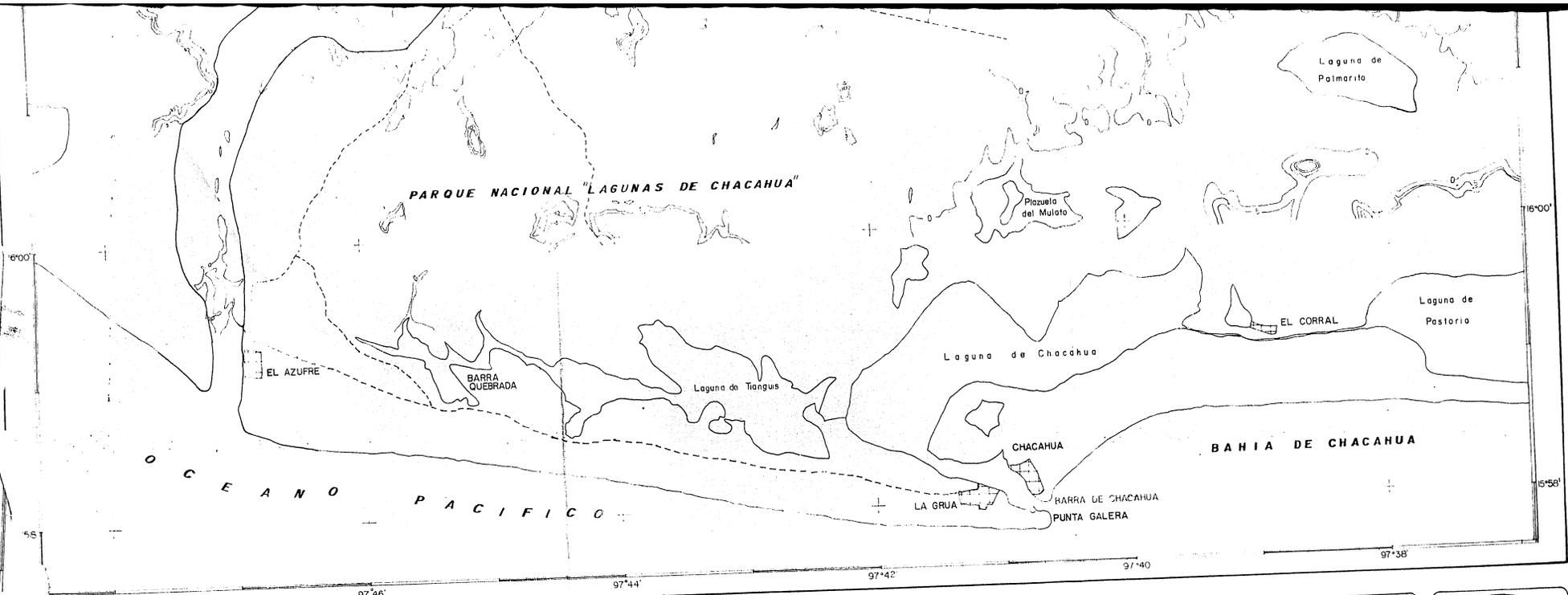
PUNTE
CENTRO DE POBLACION

COLEGIO DE GEOGRAFIA



U N A M





LOCALIZACION DE OAXACA

SIMBOLOGIA BASE	
CARRETERA PAVIMENTADA	
TERRACERIA TRANSITABLE EN TODO TIEMPO	
TERRACERIA TRANSITABLE EN TIEMPO DE SECAS	
BRECHAS	
PUNTE	
CENTRO DE POBLACION	

LLANURA FLUVIAL DEL CURSO BAJO DEL RIO VERDE, OAXACA

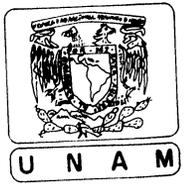
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA

CONSTRUJO JOEL ZAVALA CRUZ

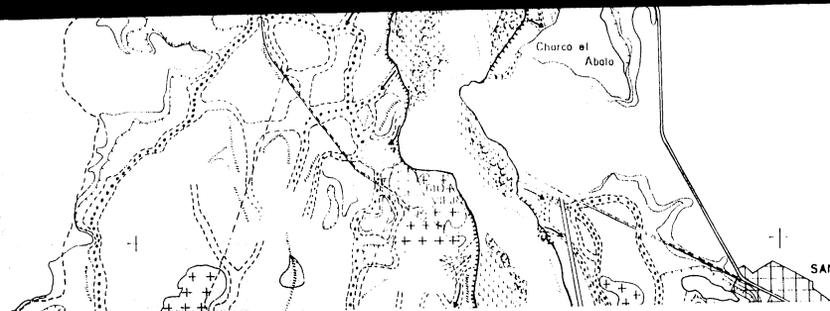
DIBUJO ALEJANDRO ESTRADA T

Escala 1:40 000
Escala Grafica



16°08'

16°08'



UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

- A. LECHO MENOR o CAUCE ORDINARIO
- B. LECHO MAYOR o LLANURA BAJA DE INUNDACION
- C. LECHO MAYOR EXCEPCIONAL o LLANURA ALTA DE INUNDACION.

FORMAS EROSIVAS.

- 1. CAUCES ANTIGUOS ACTIVOS EN CRECIDAS ORDINARIAS Y EXTRAORDINARIAS.
- 2. CAUCES ANTIGUOS INACTIVOS EN CRECIDAS
- 3. BRAZOS DE CRECIDAS
- 4. HUELLAS DE CORRIENTES POR CRECIDAS
- 5. ZOCACION ACCELERADA DE RIBERA
- 6. VERTEDERO DE DESPLAZAMIENTO.

FORMAS ACUMULATIVAS.

- 7. BANCO ARENOSO CON BOSQUE DE SALIX sp.
- 8. BANCO ARENOSO CON MATORRAL
- 9. BANCO ARENOSO SIN VEGETACION APARENTE
- 10. DIQUES NATURALES
- 11. CUBETA INUNDABLE ANUALMENTE

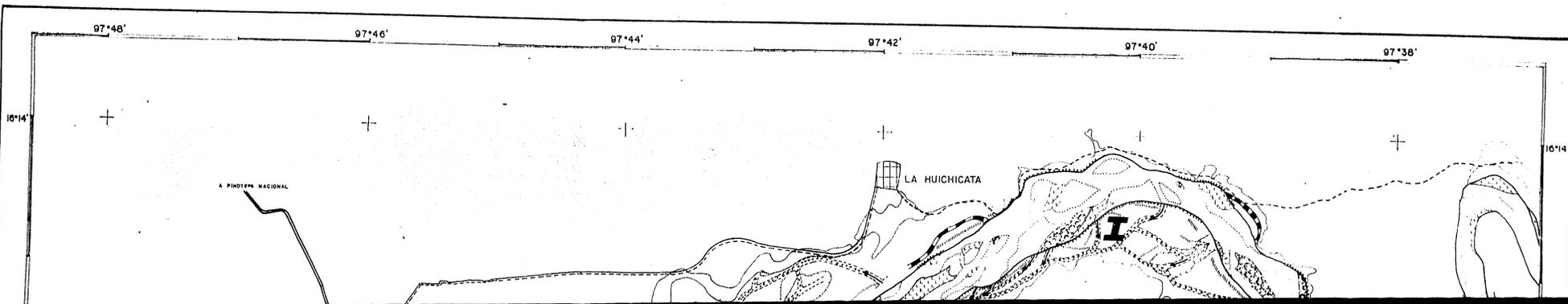
OTROS RASGOS GEOMORFOLOGICOS

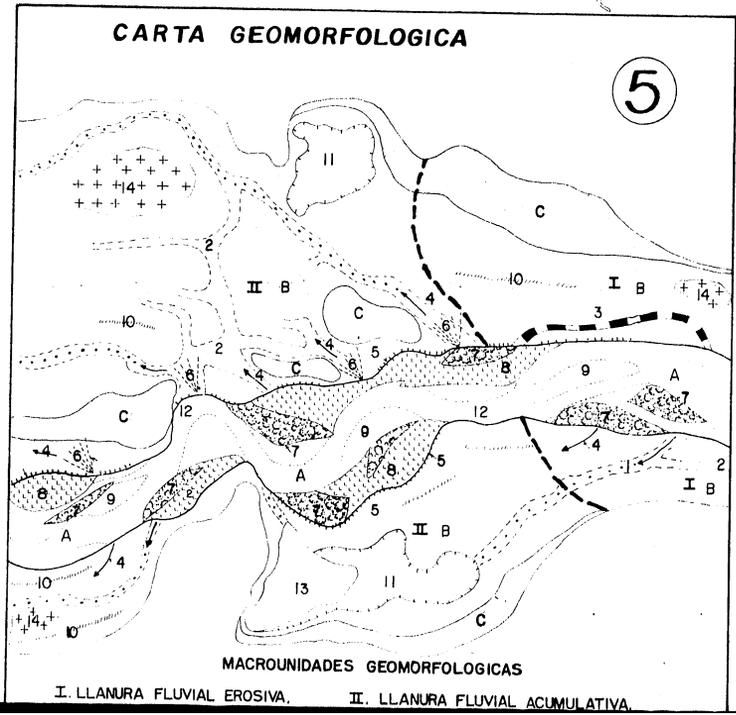
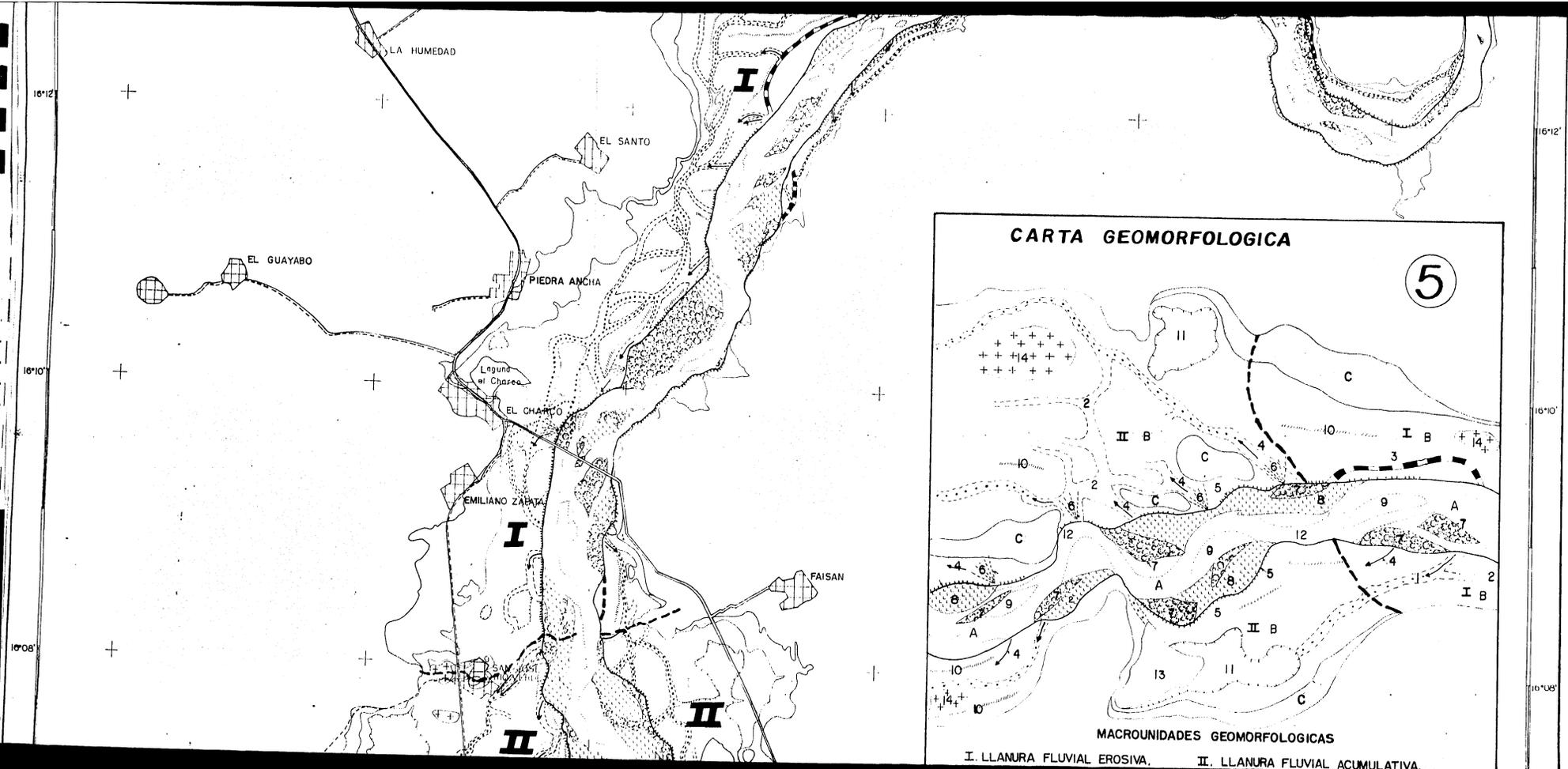
- 12. CANAL DE ESTIAJE o TALWEG
- 13. LAGUNA MARGINAL
- 14. MACIZO CRISTALINO

--- LIMITE ENTRE LA LLANURA FLUVIAL EROSIVA Y LA ACUMULATIVA.

SAN JOSE DEL PROGRESO

CERRO





16°06'

16°04'

16°02'

16°06'

16°04'

16°02'

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

- A. LECHO MENOR o CAUCE ORDINARIO
- B. LECHO MAYOR o LLANURA BAJA DE INUNDACION
- C. LECHO MAYOR EXCEPCIONAL o LLANURA ALTA DE INUNDACION

FORMAS EROSIVAS.

- 1. CAUCES ANTIGUOS ACTIVOS EN CRECIDAS ORDINARIAS Y EXTRAORDINARIAS.
- 2. CAUCES ANTIGUOS INACTIVOS EN CRECIDAS
- 3. BHAZOS DE CRECIDAS
- 4. HUELLAS DE CORRIENTES POR CRECIDAS
- 5. ZOCACION ACCELERADA DE RIBERA
- 6. VERTEDERO DE DESPLAZAMIENTO.

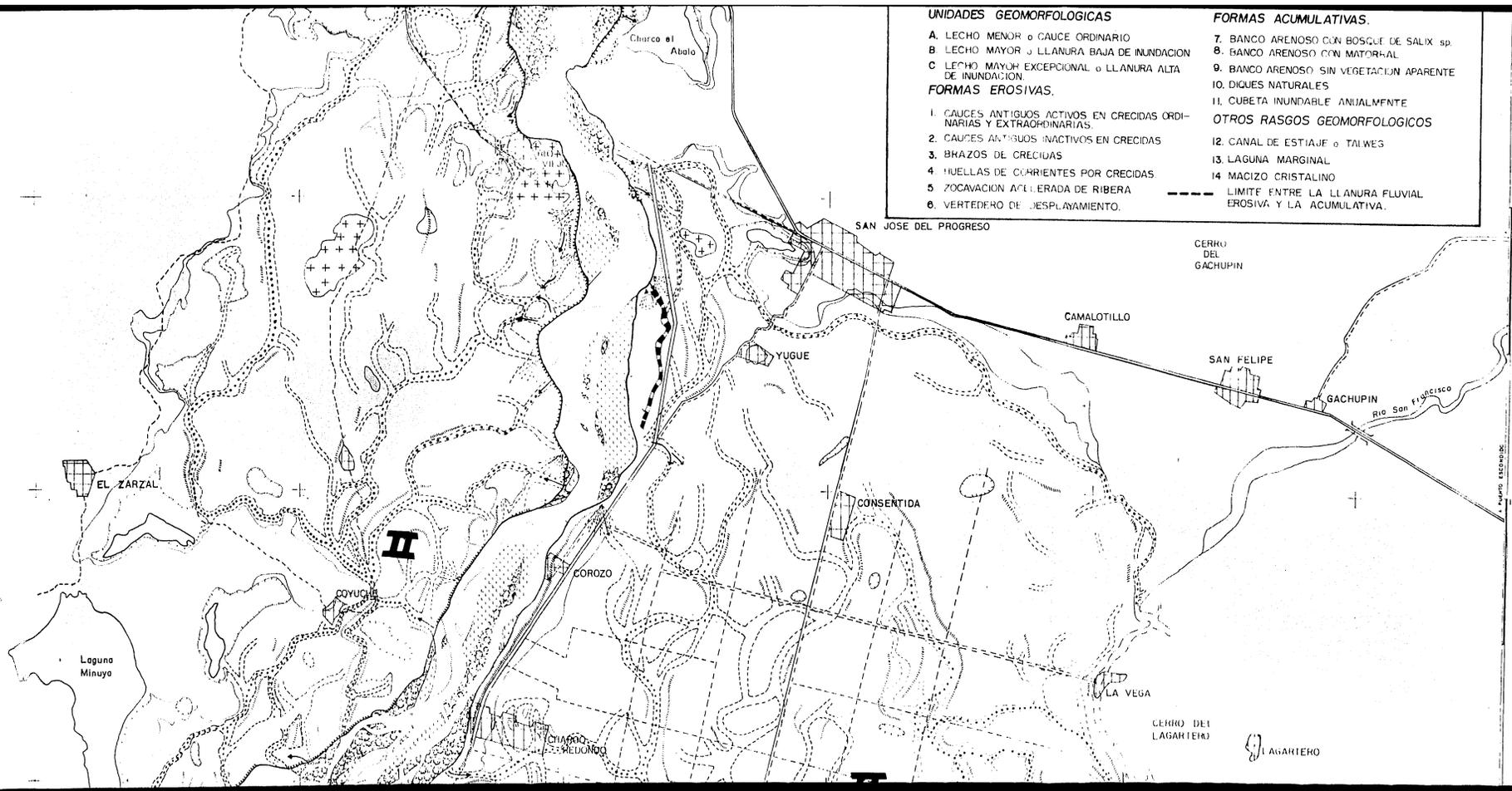
FORMAS ACUMULATIVAS.

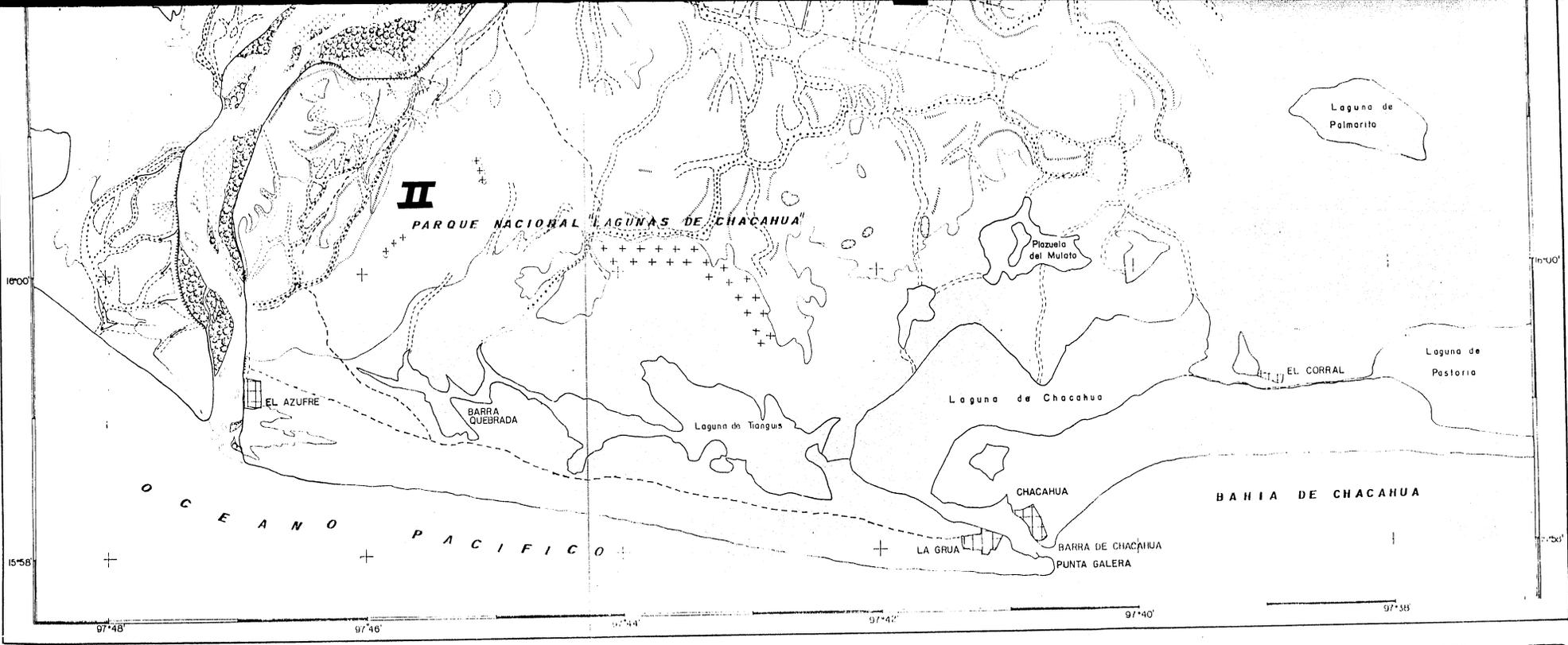
- 7. BANCO ARENOSO CON BOSQUE DE SALIX sp.
- 8. BANCO ARENOSO CON MATORRAL
- 9. BANCO ARENOSO SIN VEGETACION APARENTE
- 10. DIGUES NATURALES
- 11. CUBETA INUNDABLE ANUALMENTE

OTROS RASGOS GEOMORFOLOGICOS

- 12. CANAL DE ESTIAJE o TALWES
- 13. LAGUNA MARGINAL
- 14. MACIZO CRISTALINO

--- LIMITE ENTRE LA LLANURA FLUVIAL EROSIVA Y LA ACUMULATIVA.





PLANO DE LOCALIZACIÓN
ESTADO DE OAXACA



1985

SIMBOLOGIA BASE

- CARRETERA PAVIMENTADA 
- TERRACERIA TRANSITABLE EN TODO TIEMPO 
- TERRACERIA TRANSITABLE EN TIEMPO DE SECAS 
- BRECHIAS 
- PUNTE 
- CENTRO DE POBLACION 

LLANURA FLUVIAL DEL CURSO BAJO DEL RIO VERDE, OAXACA

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA

CONSTRUYO JOEL ZAVALA CRUZ

DIBUJO ALEJANDRO ESTRADA T

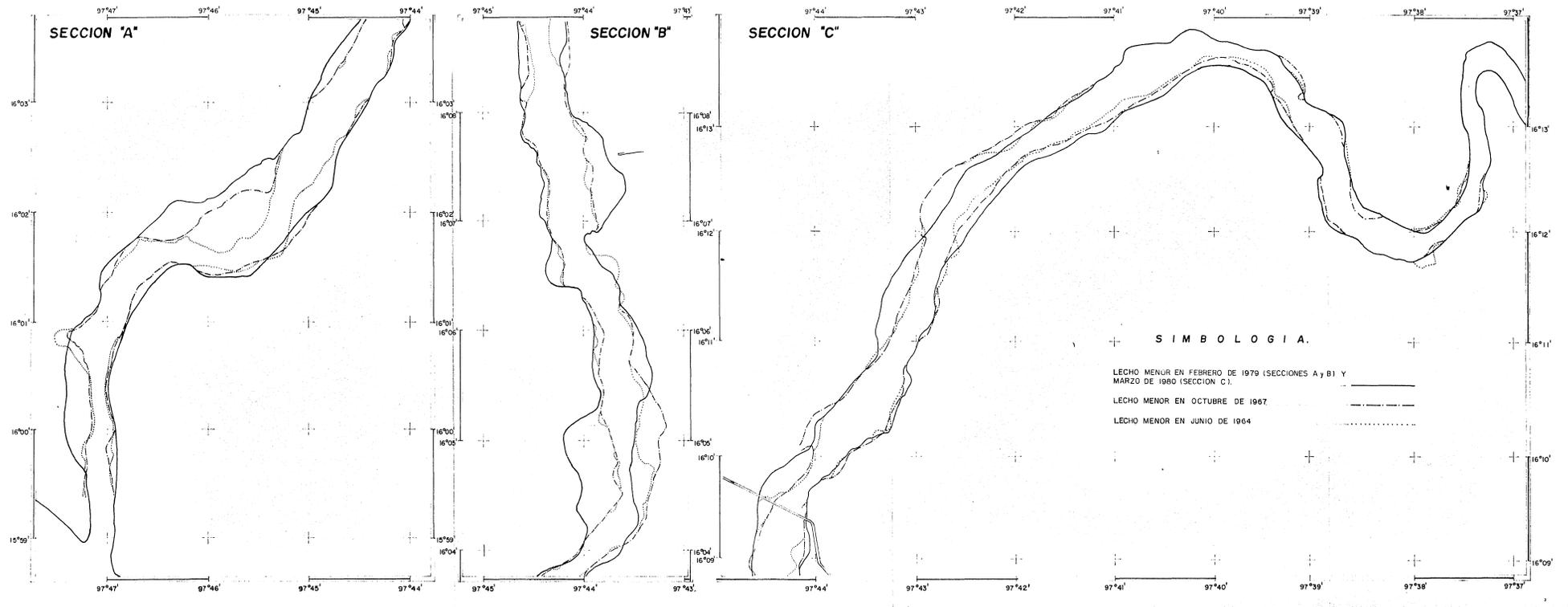
Escala 1:40 000

Escala Grafica:

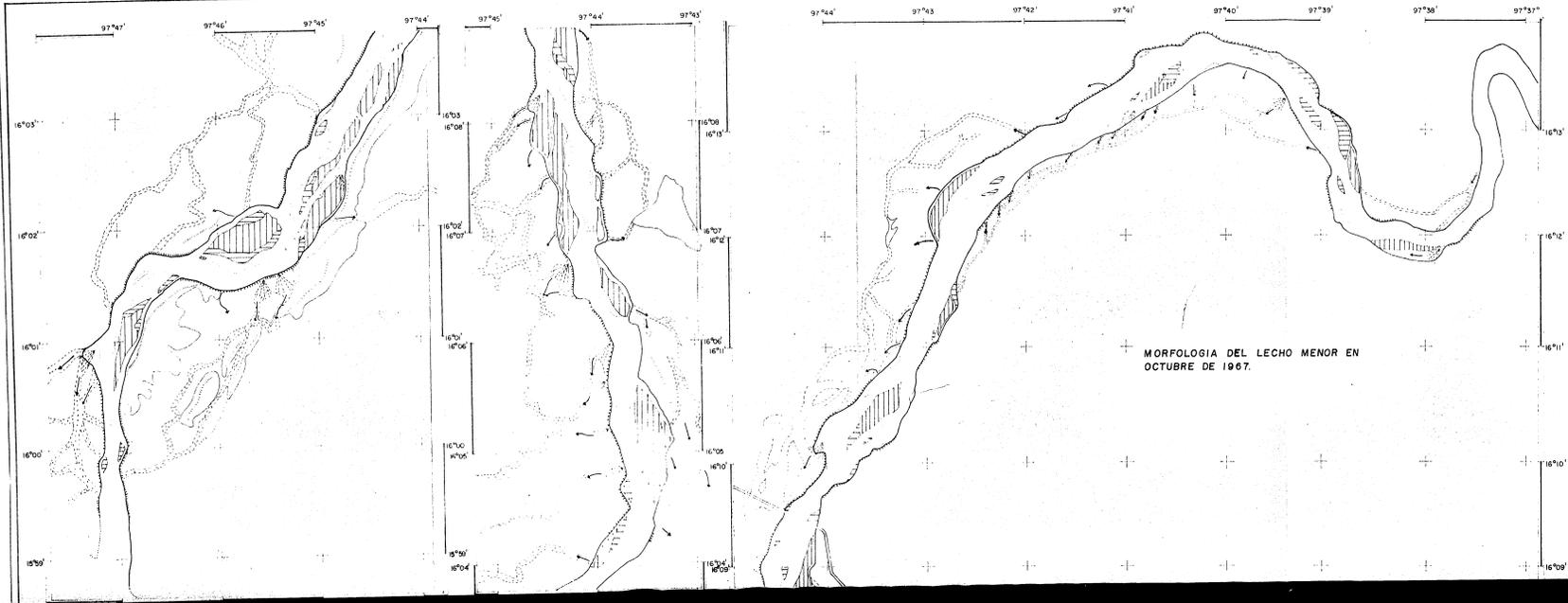


U N A M

MODIFICACIONES DEL LECHO MENOR OBSERVADAS EN DIFERENTES AÑOS



MORFOLOGIA COMPARATIVA DEL LECHO MENOR Y LLANURA DE INUNDACION INMEDIATA. EN 1967 y 1979-1980

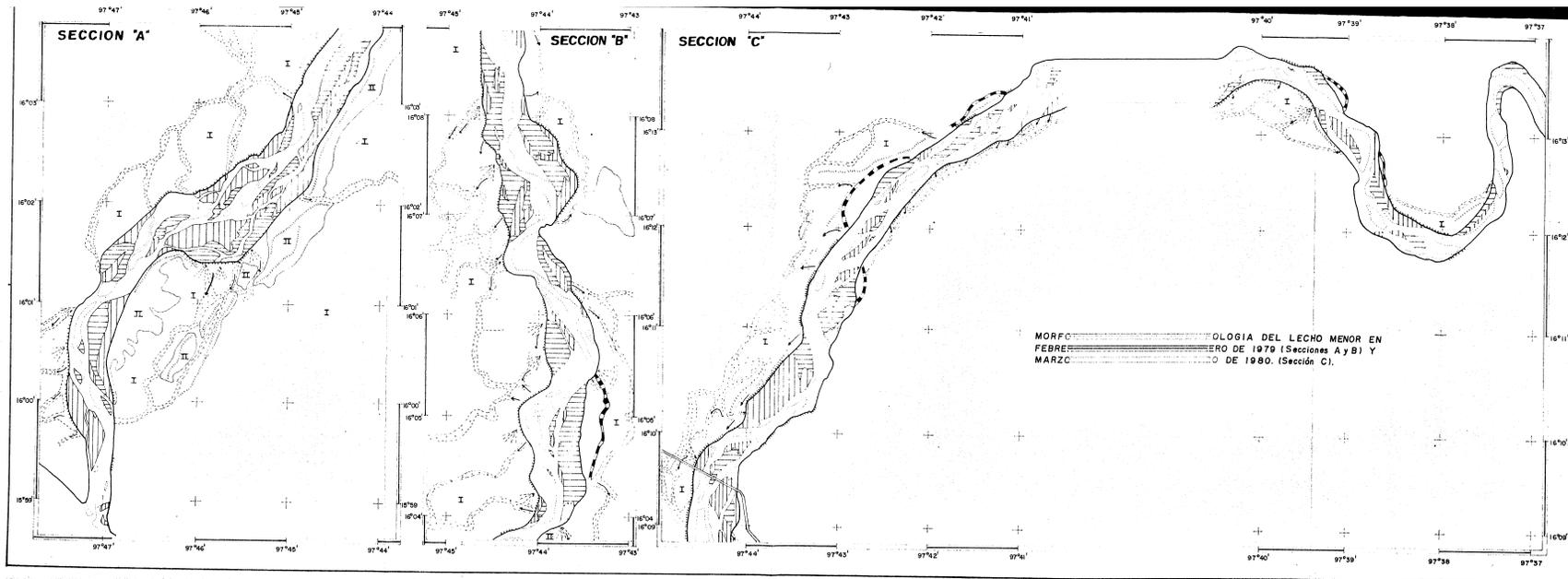


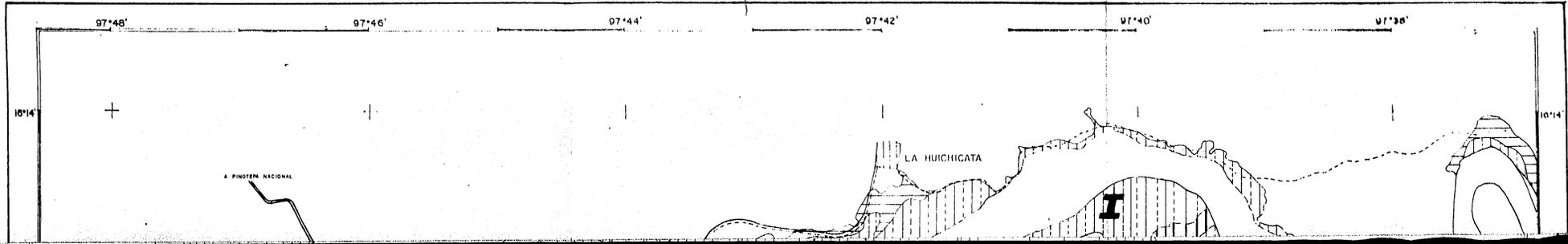
SIMBOLOGIA

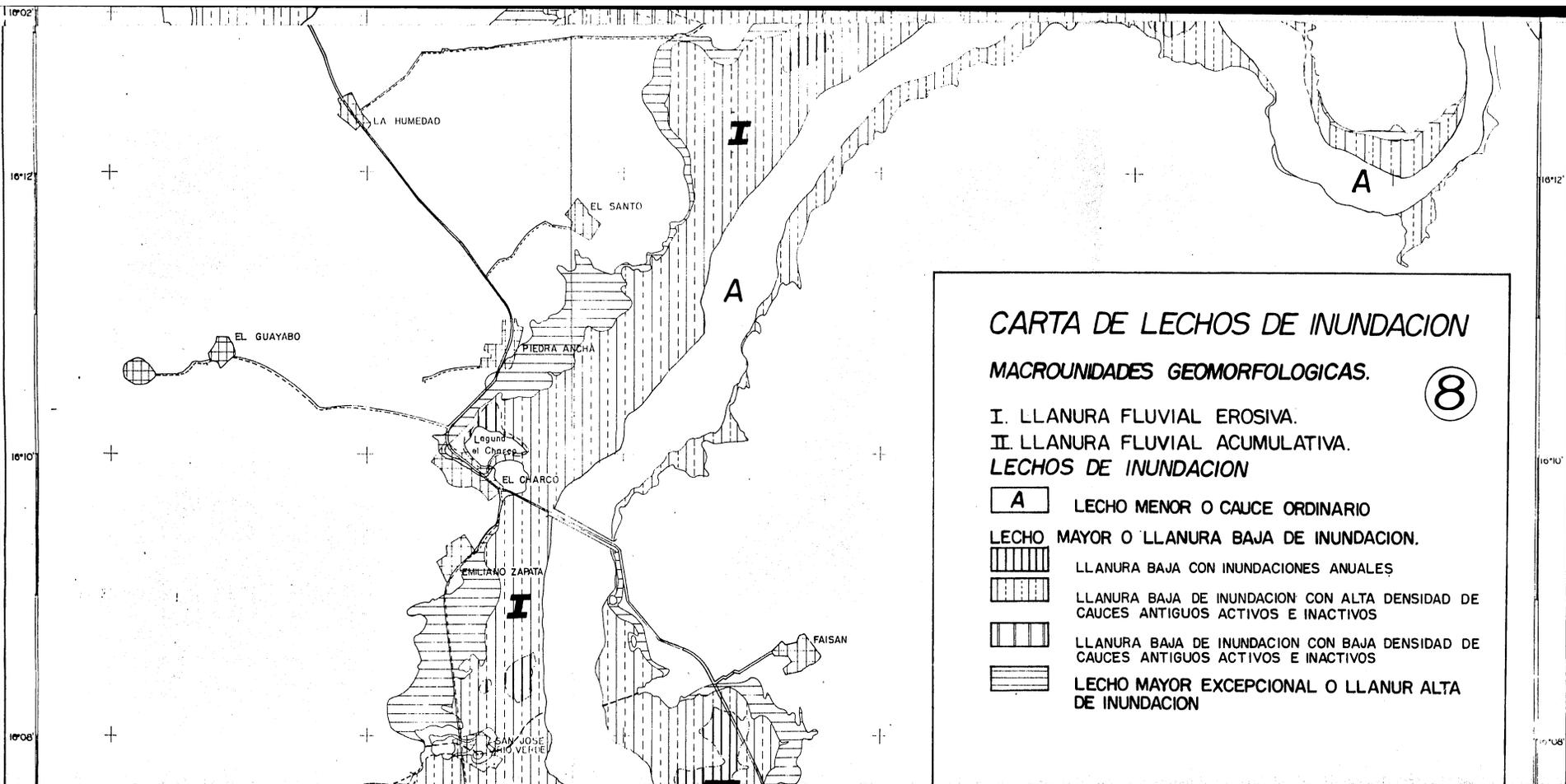
7

- MARGENES DEL LECHO MENOR
- BANCO ARENOSO CON BOSQUE DE SALIX sp
- BANCO ARENOSO SIN VEGETACION APARENTE
- LECHO MAYOR o LLANURA BAJA DE INUNDACION
- LECHO MAYOR EXORCIONAL o LLANURA ALTA DE INUNDACION
- VEDADERO DE DESPLAZAMIENTO
- BRAZOS DE CREGIDAS
- HUELLAS DE CORRIENTES DE CREGIDA
- BRAZOS MUERTOS o CTIVOS EN CREGIDAS ORGANICOS Y ESTROMONARIAS
- ZONACION ACELERADA DE RIBEIRA
- DIGES NATURALES









CARTA DE LECHOS DE INUNDACION

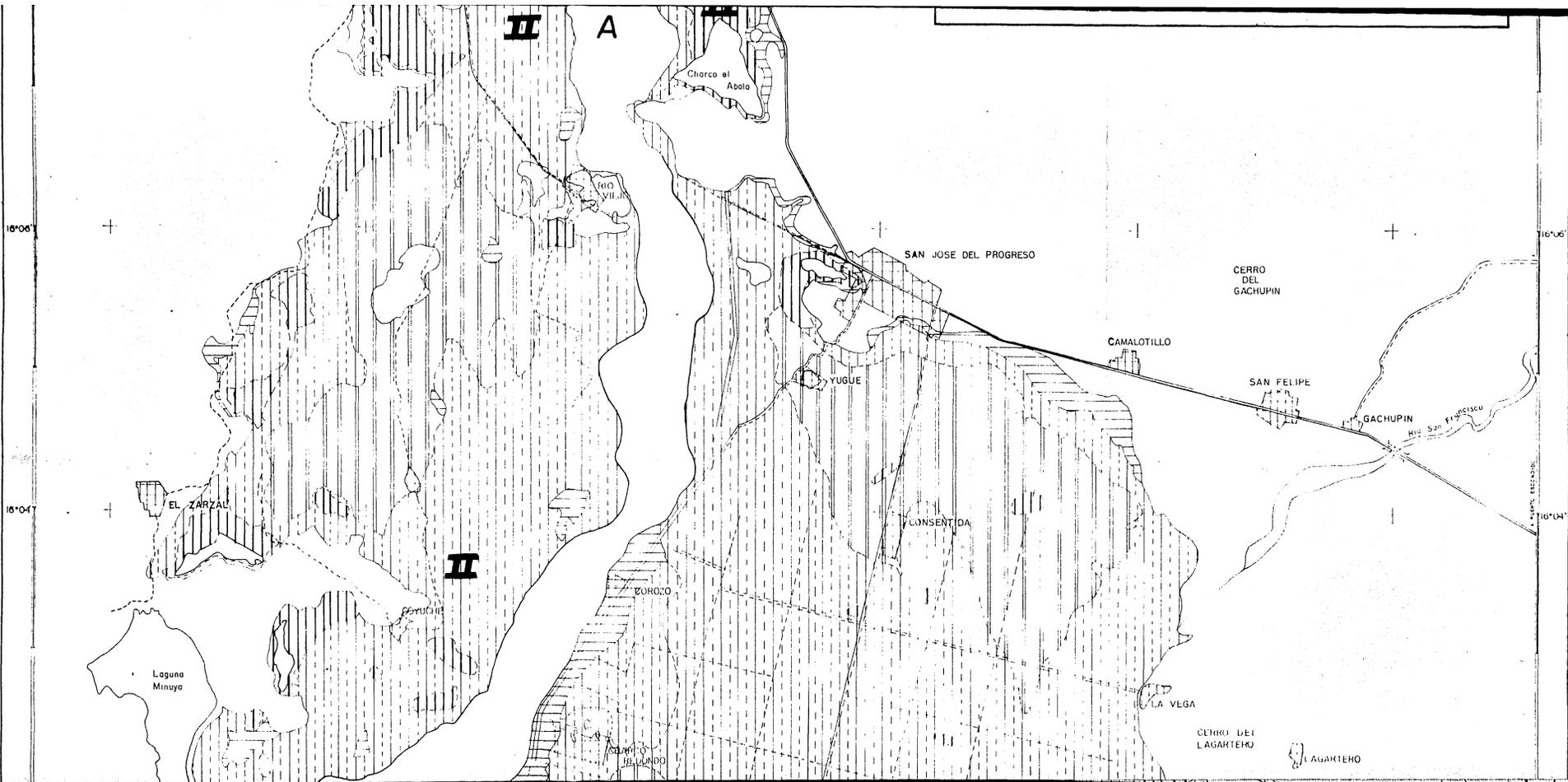
MACROUNDIDADES GEOMORFOLOGICAS.

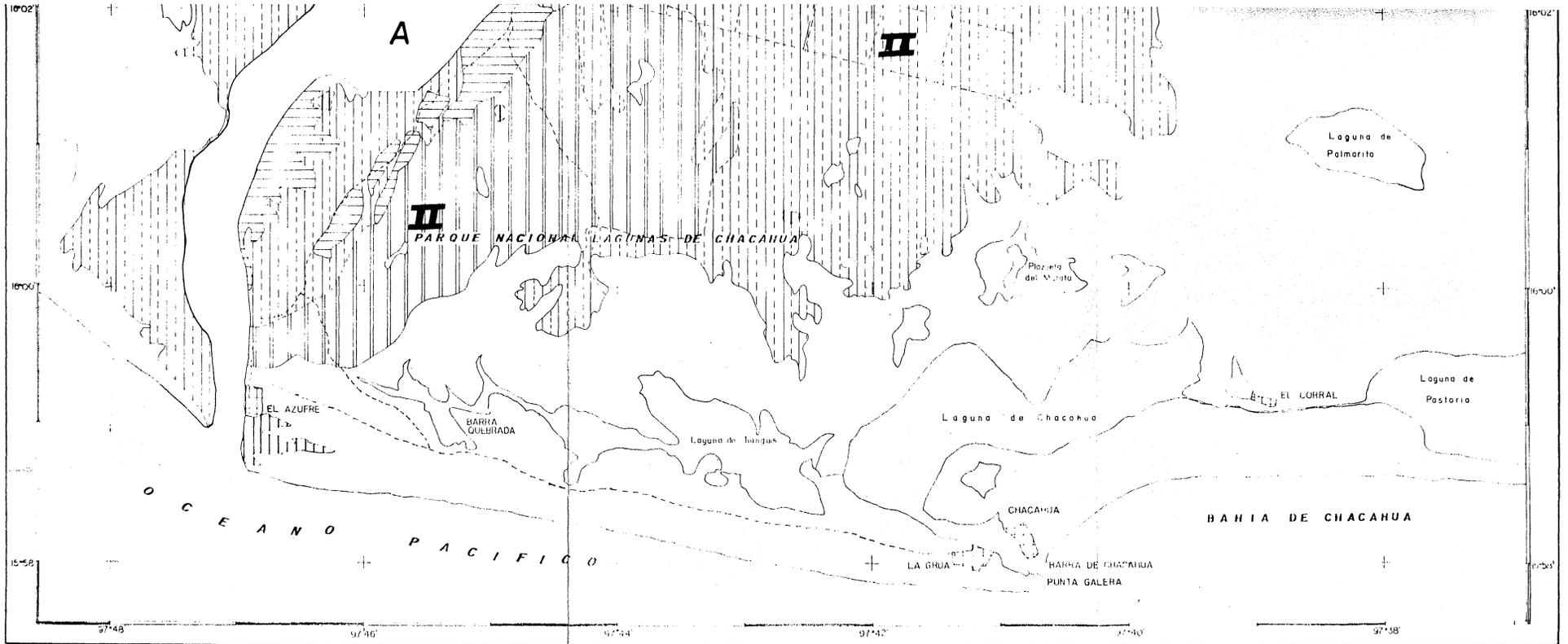
8

- I. LLANURA FLUVIAL EROSIVA.
- II. LLANURA FLUVIAL ACUMULATIVA.

LECHOS DE INUNDACION

- A** LECHO MENOR O CAUCE ORDINARIO
- LECHO MAYOR O LLANURA BAJA DE INUNDACION.
 - LLANURA BAJA CON INUNDACIONES ANUALES
 - LLANURA BAJA DE INUNDACION CON ALTA DENSIDAD DE CAUCES ANTIGUOS ACTIVOS E INACTIVOS
 - LLANURA BAJA DE INUNDACION CON BAJA DENSIDAD DE CAUCES ANTIGUOS ACTIVOS E INACTIVOS
 - LECHO MAYOR EXCEPCIONAL O LLANUR ALTA DE INUNDACION





1985

SIMBOLOGIA BASE

- CARRERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA TRANSITABLE EN TODO TIEMPO
- TERRACERIA TRANSITABLE EN TIEMPO DE SECAS
- BRECHAS
- PUNTE
- CENTRO DE POBLACION



LLANURA FLUVIAL DEL CURSO BAJO DEL RIO VERDE, OAXACA

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA

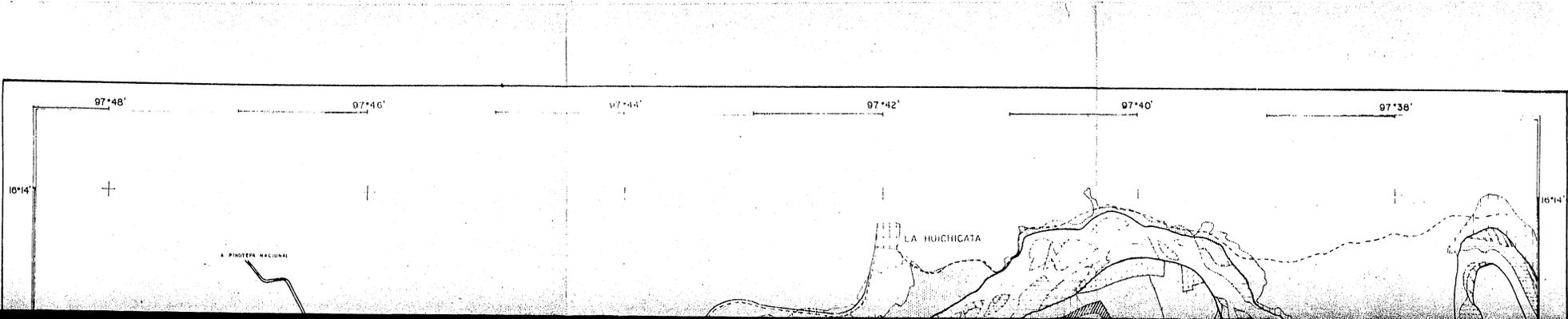
CORRESPONDIENTE: JOEL ZAVALA CRUZ

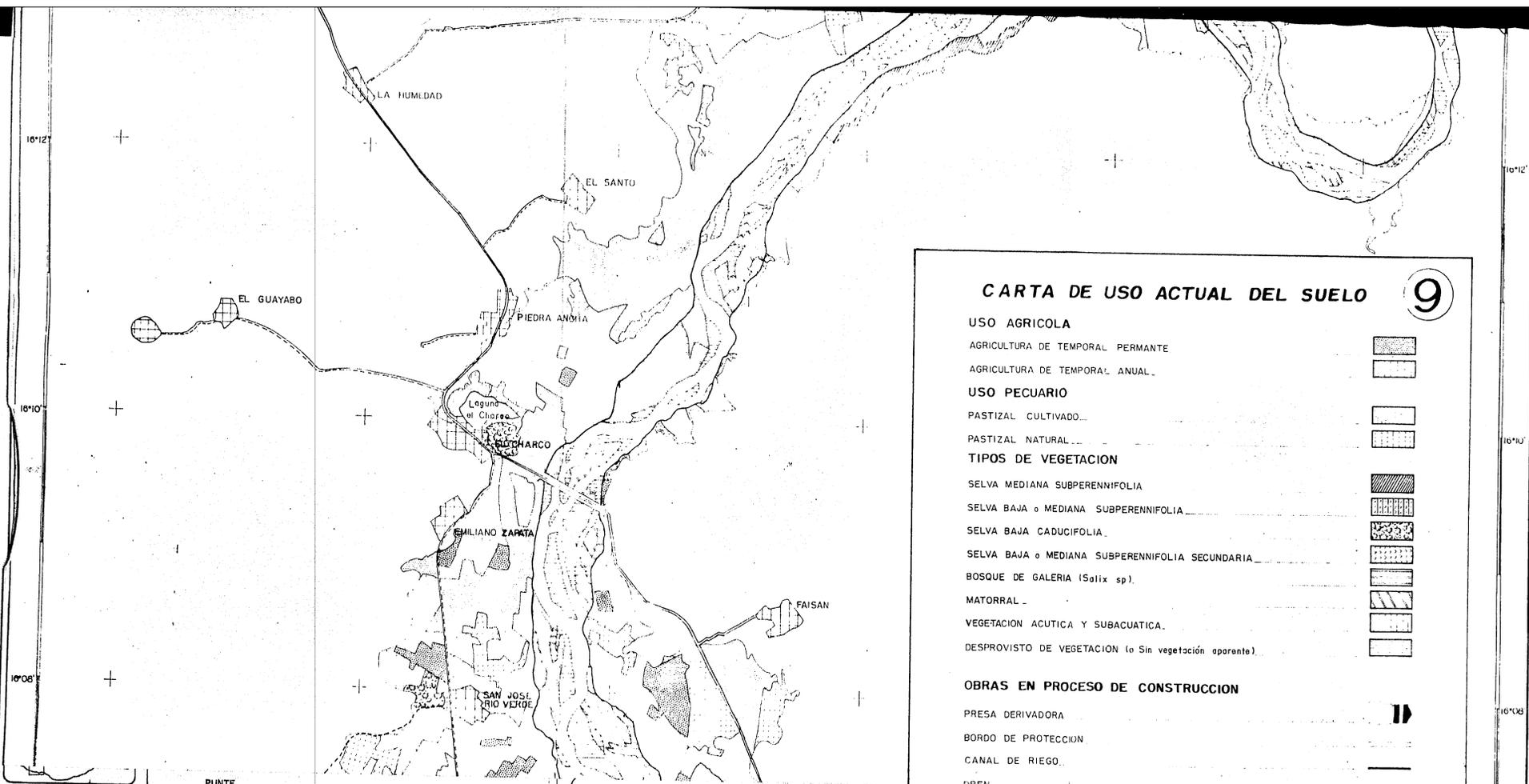
DISEÑO: ALEJANDRO ESTRADA I

Escala 1:40 000
Escala Gráfica:



U N A M





CARTA DE USO ACTUAL DEL SUELO

9

USO AGRICOLA

- AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL

USO PECUARIO

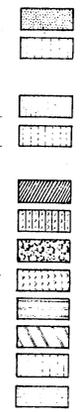
- PASTIZAL CULTIVADO
- PASTIZAL NATURAL

TIPOS DE VEGETACION

- SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA
- SELVA BAJA o MEDIANA SUBPERENNIFOLIA
- SELVA BAJA CADUCIFOLIA
- SELVA BAJA o MEDIANA SUBPERENNIFOLIA SECUNDARIA
- BOSQUE DE GALERIA (Salix sp.)
- MATORRAL
- VEGETACION ACUTICA Y SUBACUATICA
- DESPROVISTO DE VEGETACION (o Sin vegetación aparente)

OBRAS EN PROCESO DE CONSTRUCCION

- PRESA DERIVADORA
- BORDO DE PROTECCION
- CANAL DE RIEGO



PUNTE
CENTRO DE POBLACION

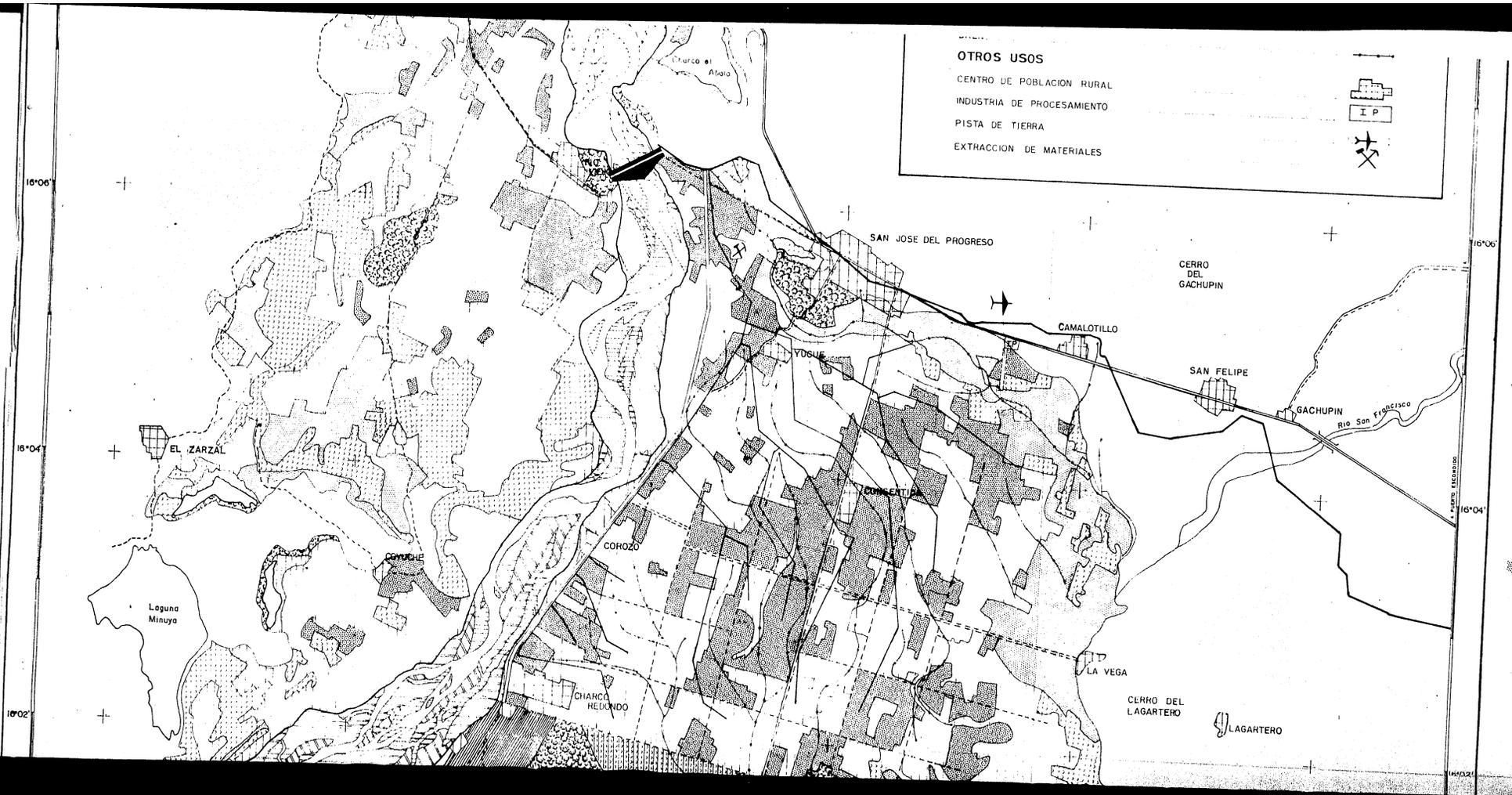


COLEGIO DE GEOGRAFIA

Escala 1:40 000
Escala Grafica:
0 50 100 METROS

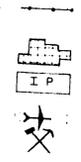
UNAM

1985



OTROS USOS

- CENTRO DE POBLACION RURAL
- INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO
- PISTA DE TIERRA
- EXTRACCION DE MATERIALES



SAN JOSE DEL PROGRESO

CERRO DEL GACHUPIN

CAMALOTILLO

SAN FELIPE

GACHUPIN

Rio San Francisco

EL ZARZAL

YDQUE

YDQUE

COROZO

COMUCHI

Laguna Minuya

CHARCO REDONDO

LA VEGA

CERRO DEL LAGARTERO

LAGARTERO

16°06'

16°06'

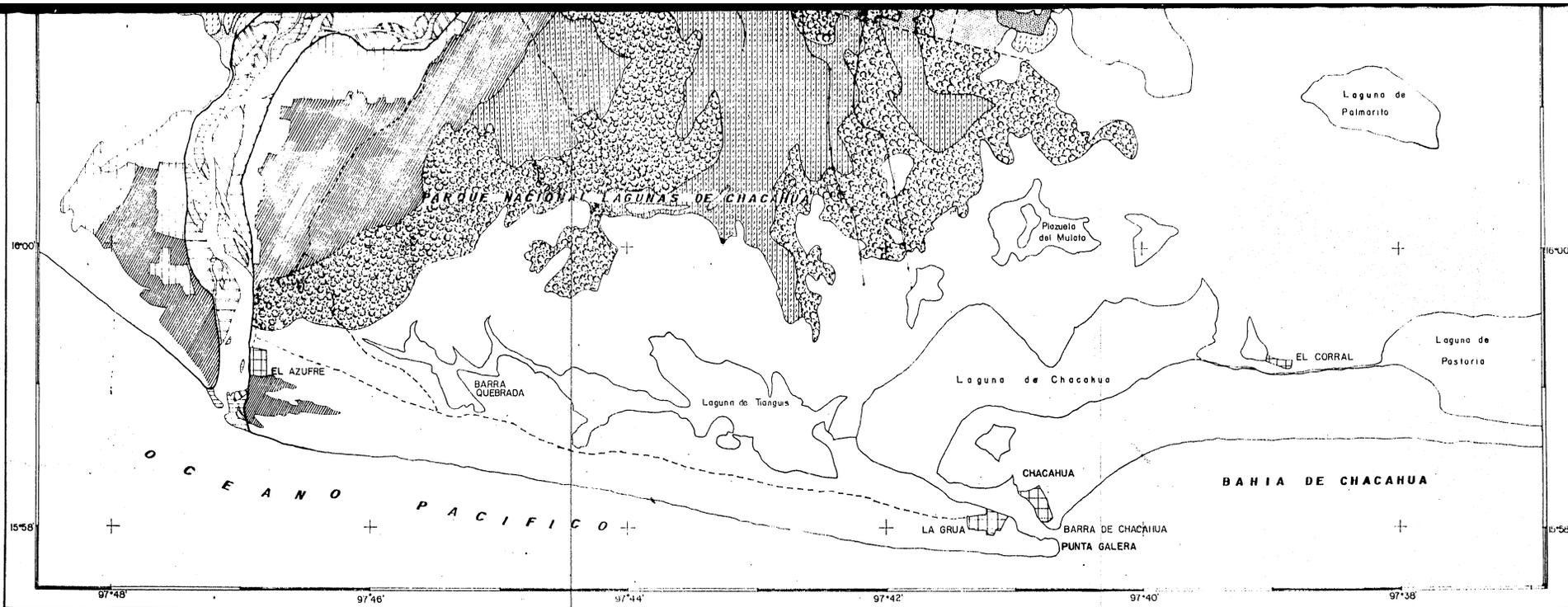
16°04'

16°04'

16°02'

16°02'

16°02' 16°04' 16°06'



1985

SIMBOLOGIA BASE

- CARRETERA PAVIMENTADA 
- TERRACERIA TRANSITABLE EN TODO TIEMPO 
- TERRACERIA TRANSITABLE EN TIEMPO DE SECAS 
- BRECHAS 
- PUNTE 
- CENTRO DE POBLACION 

LLANURA FLUVIAL DEL CURSO BAJO DEL RIO VERDE, OAXACA

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA

CONSTRUIDO JOEL ZAVALA CRUZ

DIBUJO ALEJANDRO ESTRADA T.

Escala 1:40 000

Escala Grafica:



U N A M