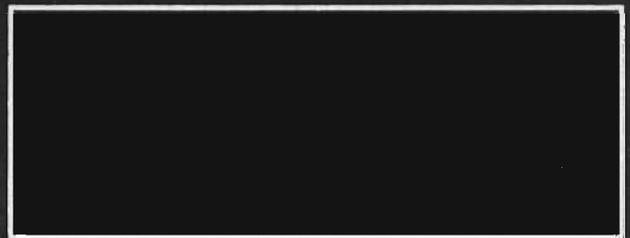




instituto de geografía

LOS FACTORES GEOMORFOLOGICOS
QUE RIGEN EL COMPORTAMIENTO
DE LA PRESA "IGNACIO ALLENDE",
GUANAJUATO.

VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA



serie varia serie varia serie varia serie varia
serie varia serie varia serie varia serie varia



instituto de geografía

**LOS FACTORES GEOMORFOLOGICOS
QUE RIGEN EL COMPORTAMIENTO
DE LA PRESA "IGNACIO ALLENDE",
GUANAJUATO.**

VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA

**Serie Varia T. 1, Núm. 6
México
1980**

LOS FACTORES GEOMORFOLOGICOS QUE RIGEN EL COMPORTAMIENTO
DE LA PRESA IGNACIO ALLENDE, GTO.
(Optimizaci3n de su uso y conservaci3n)

por V3ctor M. Mart3nez Luna*

Resumen

Este trabajo analiza los factores hidrodin3micos (clim3ticos y geomorfol3gicos) y su relaci3n operativa en la cuenca del r3o La Laja, con el objeto de apoyar el manejo de la misma y, con ello, generar soluciones y alternativas para el mejor aprovechamiento de la presa " Ignacio Allende ", Gto.

R3sum3

Cette travail analyse les facteurs hydrodynamiques, aussi climatiques que g3omorphologiques, et l'3troite relation operative qui gardent vis 3 vis du bassin de La Laja, afin d'y appuyer son maniement et a partir de celle-ci, chercher la g3n3ration des solutions et des alternatives pour l'optime utilisation du barrage " Ignacio Allende ", Gto.

Investigador del Instituto
de Geograf3a de la UNAM.

CONTENIDO

INTRODUCCION

1. CARACTERISTICAS DE LA PRESA Y DE SU CUENCA DE RECEPCION

2. EL MARCO ESTRUCTURAL

A. UNIDADES MORFOESTRUCTURALES Y TIPOS DE RELIEVE

a) Elevaciones montañosas

Zona I

Zona II

Zona III

Zona IV

b) Depresión general

Zona V

Zona VI

Zona VII

Zona VIII

3. PARAMETROS DEL BALANCE HIDRICO

A. CUANTIFICACION DE LA LAMINA DE AGUA PRECIPITADA

B. LA EVAPOTRANSPIRACION (ETP) Y SU PROBLEMA DE CALCULO

a) Los métodos

b) El método de Thornthwaite

c) Distribución de la evapotranspiración

C. EL ESCURRIMIENTO

a) La información deficiente

D. RESULTADOS

4. EL HECHO MORFOCLIMATICO

A. LAS SIERRAS

B. TALUD TRANSICIONAL

C. LA PLANICIE

5. INFLUENCIA DEL ESCURRIMIENTO EN EL EMBALSE

- A. ESCURRIMIENTO Y ACARREOS ANUALES
- B. ORIGEN E IMPORTANCIA DE LOS AZOLVES QUE ENTRAN AL EMBALSE
- C. EFECTOS DE LOS SEDIMENTOS EN LA TURBIDEZ* DEL AGUA

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

* Aun cuando el autor reconoce que el vocablo español correcto es turbiedad, en todo el trabajo se emplea turbidez, por ser éste el término que se usa comúnmente.

INTRODUCCION

En nuestro país, los programas de manejo de cuencas han sido orientados dentro del campo de la ingeniería hidráulica, a través de comisiones hidrológicas como la del río Balsas, del Papaloapan, del Pánuco, etc., de manera que dicho enfoque unívoco ha impedido que exista verdadera integración de todos los elementos que tienen relación directa con el funcionamiento de las cuencas hidrológicas. Por ello la regionalización del país, basada en una planeación por grandes cuencas, ha fracasado en lo fundamental, al no considerar el manejo óptimo de éstas como unidades operativas integrales.

Dentro de los aspectos anteriores, el conocimiento de los factores geomorfológicos de una cuenca fluvial son importantes para determinar las bases de un manejo óptimo. También, si se considera que el funcionamiento de la cuenca repercute positiva o negativamente en los cuerpos de agua naturales o artificiales, se hace imperativo el conocimiento de las características hidrológicas de dichas cuencas y los aspectos que puedan afectar en forma más directa a los embalses.

Muy necesario es, también, conocer el comportamiento hidrológico, cualitativo y cuantitativo, de las subcuencas; desgraciadamente, en este aspecto se carece de estudios específicos así como de registros hidrométricos y climáticos adecuados. Tampoco se ha concedido importancia a las estimaciones de volúmenes precipitados dentro de las subcuencas, ni a sus pérdidas representadas por escurrimiento, infiltración y evapotranspiración.

Por tanto, y dadas las condiciones planteadas, se

establece como una necesidad dar impulso a los estudios cualitativos y cuantitativos que permitan la estimación de un balance hidrológico próximo a la realidad, utilizando los pocos datos disponibles.

Ante tal perspectiva, este trabajo presenta una metodología que intenta definir el funcionamiento hidrodinámico integral, como base para determinar el uso y manejo adecuados del recurso agua.

Para el ensayo de este método se escogió la cuenca alta del río La Laja, por las siguientes razones:

- En ella se ha situado un embalse (la presa Ignacio Allende) que tiene como finalidad regular las avenidas, surtir agua para riego y usos domésticos, servir para piscicultura y para una recreación activa y pasiva.
- Existe un estudio geomorfológico de la porción noroeste de la cuenca alta del río La Laja, elaborado por el Instituto de Geografía, en el cual se analizan detalladamente los procesos de erosión, y a este respecto cabe mencionar que estos procesos causan bajas a la fertilidad del suelo pero, fundamentalmente, constituyen intensas fuentes de sedimentos que en pocos años afectarán el uso del embalse.
- Existe también una degradación de los bosques y medios ecológicos que está influyendo notablemente en el mesoclima y afecta directamente al balance hídrico, por lo que cada vez precipita menor cantidad de agua, aunque con mayor intensidad, y de ella escurre más de la que se infiltra.

- Estos fenómenos afectan las construcciones y obras humanas; canales, puentes y carreteras, así como la productividad agrícola del suelo, deterioran los pastizales en detrimento de la ganadería; crean mayores riesgos de inundación; abaten los niveles freáticos, con la consiguiente disminución de la disponibilidad de agua para usos domésticos y de riego, y alteran la evapotranspiración aumentando la tendencia a la desertización, con la consiguiente pérdida potencial de medios para uso agrícola, silvícola y pecuario.

Ante tales perspectivas se requieren estudios que tiendan a una regionalización dinámica en la que la cuenca se vea realmente como una unidad a través de sus elementos manejados interrelacionadamente.

Para apoyar tal finalidad, el presente trabajo analiza los factores que rigen el funcionamiento operativo del sistema hidrológico de la cuenca del río de La Laja. En él se esboza un lineamiento general para el manejo de la cuenca, a partir del cual puedan derivarse las posibles soluciones de la problemática operativa de la presa Ignacio Allende.

1. CARACTERISTICAS DE LA PRESA Y DE SU CUENCA DE RECEPCION.

La presa Ignacio Allende tiene un volumen de captación y de retención de 251 millones de metros cúbicos de los cuales 115 millones se destinan para riego, 101 para control de avenidas, y 35 millones para depósito de azolves.

La cortina se encuentra ubicada a los 20° 50' 56" N, 100° 49' 28" W y a una altitud de 1 834.70 m.s.n.m. (altura de la corona) con una orientación de NW a SE, a 12 Km. al SW de la ciudad de San Miguel Allende, municipio de Allende, Estado de Guanajuato.⁽¹⁾

La construcción de un embalse en la cuenca alta del río La Laja, antes de verter sus aguas a la cuenca baja, tuvo como objetivo beneficiar con riego el valle de Celaya y evitar, a la vez, perjuicios de inundaciones en las tierras bajas del valle, así como proteger a la ciudad de Celaya.

Los primeros estudios para efectuar la obra se iniciaron en 1940, por la entonces llamada Comisión Nacional de Irrigación; se realizaron reconocimientos de campo y estudios preliminares que permitieron determinar, como sitio más conveniente para la construcción de la presa, la boquilla denominada " La Begoña ", en la cañada de este mismo nombre.

Posteriormente se hicieron otros estudios que consistieron, principalmente, en el levantamiento topográfico del vaso en la evaluación de la superficie agrícola que se beneficiaría con el riego. En la boquilla La Begoña se realizaron

(1) Datos tomados del folleto Presa Ignacio Allende y Zona de Riego S.R.H. Guanajuato, Enero de 1969.

sondeos de exploración para conocer las características geológicas, y se instaló una estación de aforo para medir los caudales del río La Laja en el lugar citado; con lo anterior se determinó la capacidad del embalse en 251 millones de metros cúbicos y la extensión agrícola para irrigación en 10 125 hectáreas. La Secretaría de Recursos Hidráulicos concluyó los proyectos definitivos en 1966 y la construcción de la obra se inició en agosto del mismo año.

Como ya se expresó, el propósito de la obra es controlar las avenidas y aprovechar el agua para el riego; de esta última operación se encarga el Distrito de Riego Número 85.

La zona de riego de la presa Ignacio Allende abarca una superficie de proyecto de 10 125 hectáreas, de las cuales 1 000 corresponden a la Unidad Comonfort que toma el agua mediante el bombeo directo del río La Laja; 9 125 has son de la Unidad Celaya, que abarca de Empalme Escobedo, en el norte, hasta la carretera de Apasco a Irapuato, en el sur. De esta unidad, 8 100 has se localizan en la margen derecha del río y 1 025 en la margen izquierda.

Por lo que respecta a la cuenca de recepción, ésta se localiza entre los paralelos $21^{\circ} 33' 28''$ N, en el extremo septentrional y $20^{\circ} 48' 07''$ N, en el sur; su longitud abarca de los $100^{\circ} 35' 39''$ W, en el oriente, hasta los $101^{\circ} 30' 27''$ W en la parte occidental. El área se encuentra en la parte sur de la altiplanicie mexicana, en vecindad con el Bajío, y corresponde a la cuenca alta del río La Laja, que es una subcuenca del río Lerma (véase carta No. 1).

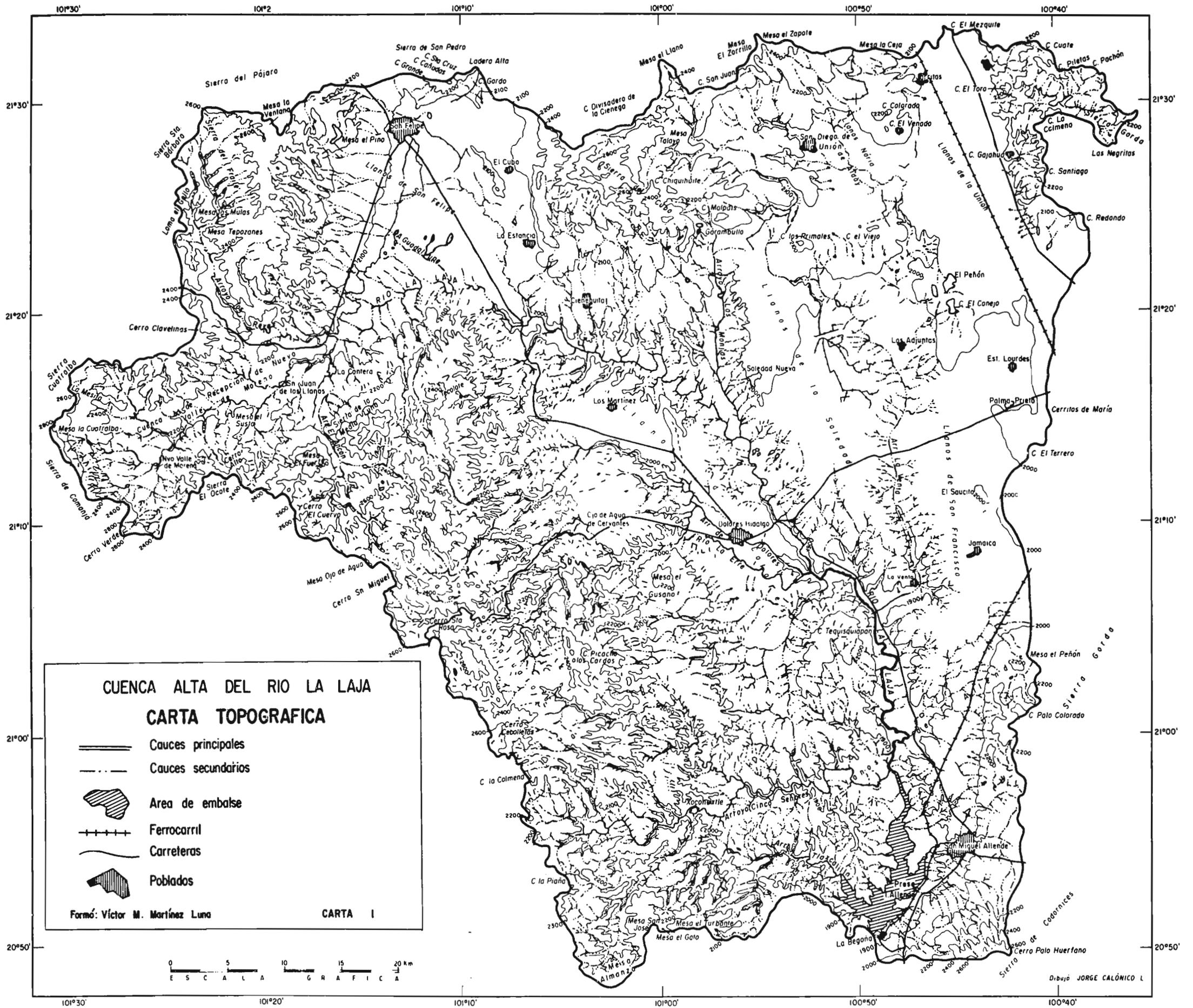
El área de la cuenca cubre una superficie de 4 796.4 Km², aunque, según los estudios de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, el área corresponde a 4 984 Km²; (2) es posible que esta diferencia se deba a que en dichos estudios, los de la S.R.H., se incluye un área mayor para el arroyo San Miguel, o de Los Cachinchis.

La mayor parte de la cuenca--según división política--se encuentra dentro del Estado de Guanajuato y comprende parcial o totalmente los municipios de San Felipe del Progreso, San Diego de la Unión, San Luis de la Paz, San José Iturbide, San Miguel Allende, Guanajuato, Dolores Hidalgo y Ocampo. Únicamente en el extremo noreste ocupa una pequeña superficie del municipio de Santa María del Río, perteneciente al Estado de San Luis Potosí.

Los límites físicos de la cuenca son los siguientes: en la parte norte la divisoria tiene una orientación de W a E y separa la cuenca del río La Laja, de la subcuenca del río Bravo, afluente del Pánuco. Dicho parteaguas, a partir del extremo noroccidental corre por la Sierra del Pájaro, norte de los llanos de San Felipe, Sierra de San Pedro, Sierra del Cubo, norte de los llanos de la Unión y las estribaciones del noroeste de la Sierra Gorda. Por el oriente el parteaguas está orientado sensiblemente de norte a sur. Corre por terrenos menos abruptos que corresponden a las estribaciones de la Sierra Gorda en su parte septentrional y siguen al sur por los llanos de La Unión y los de San Francisco y llegan, por último, a la Sierra de Codornices. Por el sur y con una orientación este-oeste,

(2) Boletín Hidrológico No. 51, 1973, tomo III, S.R.H. México.

la divisoria corre desde las elevaciones de la Sierra de Codornices hasta las estribaciones del sureste de la Sierra de Guanajuato, en la parte occidental de la cuenca. La divisoria occidental se encuentra sobre la Sierra de Guanajuato y otras serranías como las del Ocote, Comanja, Cuatralba, El Fraile, Santa Bárbara y El Pájaro.



2. EL MARCO ESTRUCTURAL

La cuenca alta del río La Laja presenta las siguientes características evolutivas:

Durante la era mesozoica, en los periodos jurásico superior y cretácico inferior, la cuenca estuvo cubierta por mares en cuyo fondo hubo depositación de materiales que originaron lutitas y calizas.

A fines del cretácico superior, hasta el eoceno, se produjo la orogenia larámide que dió lugar al plegamiento y elevación de las rocas.

Estos esfuerzos provocaron en la región cierto metamorfismo e intrusiones de rocas de composición ácida intermedia, localizadas en las sierras de Guanajuato y del Cubo, principalmente.

Al concluir la orogenia larámide se inició un vulcanismo de tipo riolítico seguido de una emersión de la zona. Esta etapa marca el inicio de la acumulación del conglomerado rojo de Guanajuato, que no aparece en la cuenca debido a que esta región se encontraba en un proceso de levantamiento, como ya quedó expresado.

Al principio del plioceno debuta una etapa de vulcanismo explosivo con su material constituido principalmente por tobas soldadas.

Hasta mediados de esta época la actividad ígnea cubrió de rocas basálticas parte del relieve existente.

Al final del plioceno, tanto en el norte como en el centro y sur del área en estudio, en lo que actualmente comprende San Felipe del Progreso, Dolores Hidalgo y las inmediaciones de San Miguel Allende, durante un periodo de quietud volcánica, existió una planicie nivelada constituida por tobas riolíticas intemperizadas, de espesor variable, y suelos desarrollados. La cantidad de lluvia fue suficiente para mantener en el lugar citado niveles freáticos cercanos a la superficie, existiendo un drenaje definido hacia el sur de la cuenca, con la consecuente acumulación de materiales clásticos, gravas y conglomerados, derivados en su mayoría de rocas volcánicas.

También en el plioceno se produjeron erupciones volcánicas al sur del área, en donde actualmente se encuentra la presa Ignacio Allende, lo que provocó el cierre natural de la cuenca, por lo que el manto freático subió de nivel, apareciendo en la superficie un conjunto de lagunas; posteriormente, al aumentar la evaporación, los niveles del agua descendieron formando capas de carbonato de calcio que actualmente se localizan en distintos horizontes, dentro de los suelos.

A. UNIDADES MORFOESTRUCTURALES Y TIPOS DE RELIEVE.

El análisis geomorfológico estructural se realizó con base en dos cartas: una altimétrico-geomorfológica y otra de zonificación geomorfológica.

La primera carta permite reconocer seis niveles en los que cada uno representa una edad relativa. Esto es, el de mayor altura representa el relieve más antiguo (sujeto a procesos denudatorios-tectónicos) y el de menor altitud represen-

ta el relieve más joven (acumulativo reciente).

Para elaborar la otra carta se trabajó con un mapa topográfico en combinación con cartas geológicas⁽³⁾. En este análisis se tomaron en cuenta las dimensiones de las formas del relieve, la pendiente, la altitud relativa, el grado de disecación y su relación en el espacio con las formas contiguas. La edad relativa se determinó con el apoyo geológico, lo que, al mismo tiempo, permitió inferir la evolución de la zona en el tiempo.

La génesis del relieve y sus tipos se concretan en el cuadro No. 1, en tanto que su zonificación se presenta en la carta No. 2.

A partir de estos documentos se pudo determinar la existencia de dos grandes unidades morfoestructurales; una correspondiente a las principales elevaciones montañosas de diferentes edades y de distinta litología, y otra representada por una depresión general más uniforme, litológica y genéticamente hablando.

Dado lo complejo de los sistemas que integran tanto las elevaciones montañosas como la depresión, se optó por establecer una zonificación de carácter altitudinal en la que está implícita la cronología relativa, como ya quedó asentado. En tales términos podemos hablar de ocho zonas, correspondiendo cuatro a cada unidad.

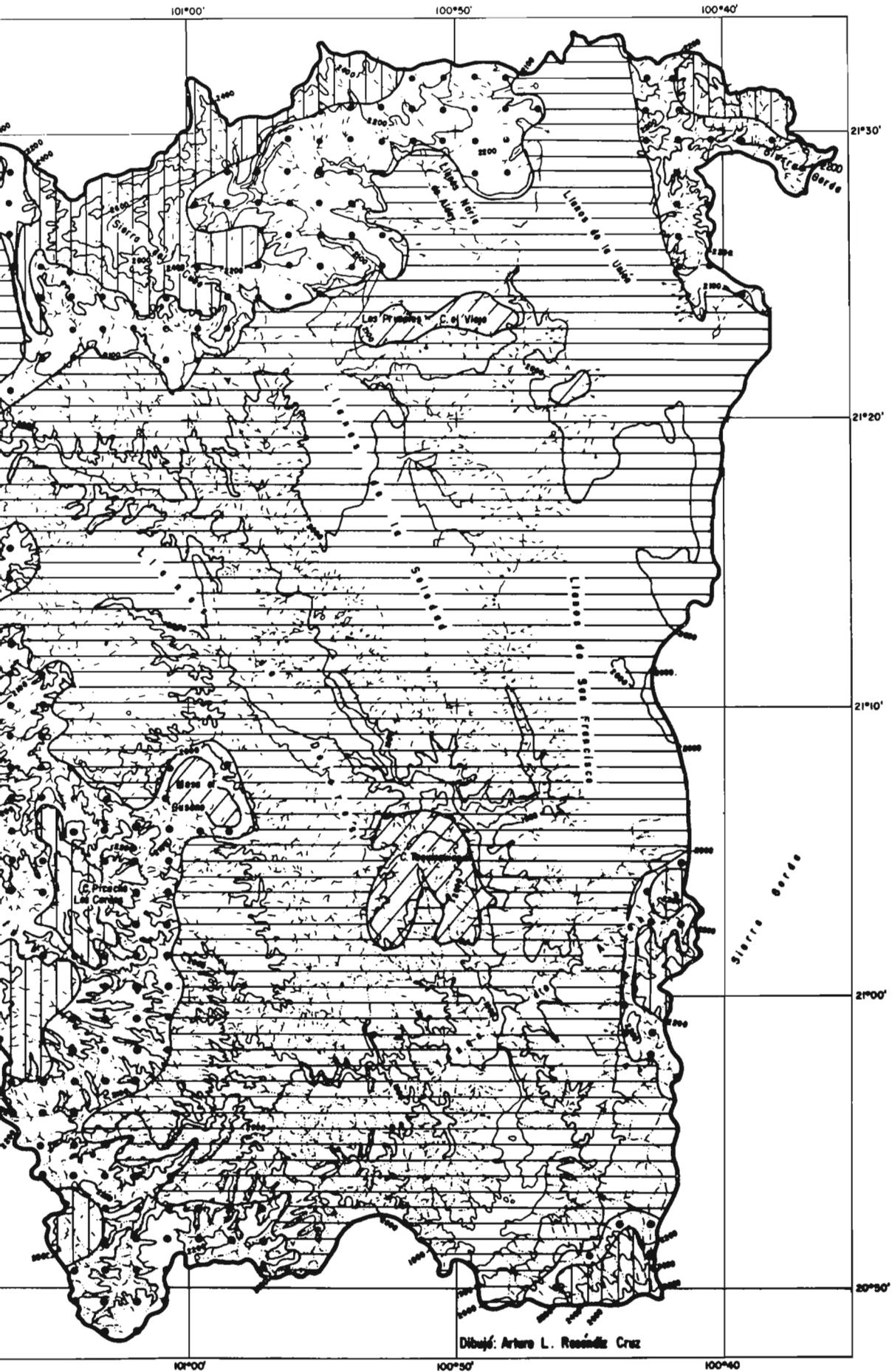
(3) - SRH-HIDROTEC 1970. Estudio geohidrológico de la cuenca grande del río La Laja, Gto. Plano Hidro-geológico. México, 1971.

- Instituto de Geología, UNAM. Carta geológica del Estado de Guanajuato. Esc. 1:500 000. México.

ZONIFICACION GEOMORFOLOGICA DE LA CUENCA ALTA
DEL RIO LA LAJA

UNIDADES	ZONAS GEOMORFOLOGICAS	TIPOS DE RELIEVE	PENDIENTE	GRADO DE DISECCION	LOCALIZACION
ELEVACIONES MONTANOSAS	I EMINENCIAS DE MAYOR ALTITUD	DENUDATORIO - TECTONICO Y EROSIVO (en montañas altas)	Fuerte	Moderada	Mesa el Fuerte y Sierra de la Media Luna
	II CUERPOS PRINCIPALES DE LAS ELEVACIONES MONTANOSAS	EROSIVO Y DENUDATORIO TECTONICO	Fuerte	Intensa	Sierras de Guanajuato, del Cubo y norte de la sierra Gorda.
	III ELEVACIONES MONTANOSAS MENORES	DENUDATORIO - TECTONICO Y EROSIVO (en montañas menores)	Moderada	Moderada	Sierra del Fraile, centro y sur de la Sierra Gorda.
	IV ELEVACIONES MONTANOSAS SECUNDARIAS	DENUDATORIO - TECTONICO	de moderada a débil	Moderada	Cerro Picacho, los Cardoso, Prietales, Tequisquiapan, mesa el Guano y el Viejo.
DEPRESION GENERAL	V TALUD TRANSICIONAL DE LAS ELEVACIONES A LA	DENUDATORIO - ACUMULATIVO Y EROSIVO	Moderada	de moderada a fuerte.	Cuenca de recepción de Nuevo Valle de Moreno y llanos de San Juan. Talud de Transición de la Sierra de Guanajuato a los llanos de Dolores y Allende.
	VI PLANICIES LEVANTADAS - EN UN PISO INFERIOR	ACUMULATIVO - LACUSTRE	Muy débil	Nula	Parte de los llanos de Dolores y de la Unión.
	VII PLANICIES LEVANTADAS - EN UN PISO SUPERIOR	ACUMULATIVO LACUSTRE - ALUVIAL	Muy débil	de débil a nula	Llanos de San Felipe de la Unión, de la Soledad y de San Francisco, Noria de Alday.
	VIII VALLES FLUVIALES	ACUMULATIVO FLUVIAL			A lo largo de los cauces principales.

Cuadro No. 1



dad de
 en la r
 ble en
 ta con
 de pro
 nerali
 rosas
 de la
 posici
 nicas
 ferent
 ras de
 de la
 to: un
 otros
 Zona I
 ra pa
 de la
 la di
 del F
 rras
 a 2 4
 sur d
 ta 2

a) Elevaciones montañosas.

Se refiere a los principales sistemas orográficos de la zona. Presentan considerable complejidad por sus diferencias en cuanto a su origen, lo mismo que su heterogénea estructura petrográfica que incluye rocas sedimentarias y metamórficas. Se extienden principalmente en los límites centro-occidental, noroccidental y norte de la cuenca, hacia la margen derecha del colector principal.

De acuerdo con la limitación de la cuenca se observa que las elevaciones circundantes son, en general, estribaciones de sistemas montañosos en vecindad con ella; sólo la Sierra de Guanajuato forma una porción muy importante de la orografía local, los otros sistemas montañosos son de orden secundario. En un esquema geomorfológico (véase cuadro No. 1), se dan cuatro formas de relieve que caracterizan a las estructuras de las elevaciones montañosas antes descritas, en las cuales predominan los tipos de relieve denudatorio-tectónico y erosivo.

Zona I (Eminencias de mayor altitud)

Representa la parte más alta de los complejos montañosos, caracterizada por alturas sobresalientes que alcanzan los 3 100 m.s.n.m. En esta zona la pendiente es fuerte y la dirección, tanto en el plano horizontal como en el vertical, es de carácter moderado.

Se localiza en la mesa El Fuerte y en la Sierra de la Media Luna. Esta constituida principalmente por rocas de basalto-andesitas, riolitas-andesitas y riolitas. En esta porción se desarrollan procesos geomorfológicos de denudación pla

nar que se manifiestan por la acción de escurrimientos que se extienden hacia el sur de las llanuras de San Felipe.

El tipo genético predominante es el denudatorio-tectónico representado por las laderas abruptas de las montañas de esta zona, en tanto que el relieve de tipo erosivo es de carácter secundario, identificado por valles fluviales de primer orden, localizadas en las laderas, formando una red fluvial de poca densidad, con amplitudes en plano vertical mayores de 200 metros.

Zona II (Cuerpos principales de las elevaciones montañosas).

La siguiente zona montañosa, con altitud menor, es la de mayor importancia debido a sus grandes dimensiones. Cubre aproximadamente el 20 % de la zona en estudio y se extiende de la cota de los 2 200 a la de los 2 900 metros, aproximadamente.

Se diferencia de la zona anterior por su mayor grado de disección y menor altitud. La disección es esencialmente intensa, aunque se reconocen variantes. Por ejemplo, las zonas de mayor intensidad se localizan en el centro y sur de la Sierra de Guanajuato, en altitudes que van de los 2 200 a los 2 500 metros, en tanto que las de menos intensidad se encuentran en la Sierra Gorda, en la porción ubicada al noroeste de la cuenca, en elevaciones que fluctúan entre los 2 300 y los 2 400 m.

Al analizar la disección en plano horizontal, se observa una configuración en la que el carácter predominante de las corrientes es rectilíneo, con cambios bruscos en su dirección.

También es posible reconocer zonas de mayor densidad de la red fluvial con un patrón dendrítico; por ejemplo, en la región situada al norte de la sierra de Guanajuato.

La disección en plano vertical también es considerable en toda la zona, y en aquellos lugares en donde se presenta con mayor intensidad alcanza entallamientos de 250 metros de profundidad, a favor, obviamente, de una pendiente fuerte generalizada. Esta zona geomorfológica abarca elevaciones montañosas como las de: Guanajuato, El Fraile, del Cubo y la porción de la sierra Gorda, localizada al noroeste, todas ellas de composición heterogénea que incluye rocas sedimentarias, volcánicas y depósitos de riolita y andesita, o sea de rocas con diferente resistencia.

En las regiones anteriores se encuentran las cabeceiras de algunos arroyos importantes tales como: el de Dolores, de La Erre y parte del Cinco Señores, en la Sierra de Guanajuato; una parte del arroyo Los Reyes, en la sierra del Fraile; y otros escurrimientos que carecen de importancia.

Zona III (Elevaciones montañosas menores)

La tercera zona geomorfológica representa la primera parte de una transición de la zona montañosa a la planicie de la cuenca, a través de un talud de pendiente suave en donde la disección es moderada. Se extiende en partes de la sierra del Fraile, en altitudes de 2 300 a 2 700 metros; en las sierras de Comanja, El Ocote y partes de la del Cubo entre 2 300 a 2 400 metros, y en ciertas porciones de la Sierra Gorda, al sur del parteaguas oriental, en altitudes que van de 2 200 hasta 2 500 m.

En general, la disección planar es moderada y de poca intensidad; en cambio, como en el caso de la Sierra del Fraile en donde es algo mayor la densidad de drenaje, la disección vertical alcanza las mayores profundidades, en el orden de 200 metros.

La estructura de esta zona está integrada principalmente por riolitas, tobas, conglomerados, basaltos y andesitas.

Los tipos de relieve más representativos son: el denudatorio-tectónico y el erosivo, los cuales forman, respectivamente, las laderas y los valles fluviales.

ZONA IV (Elevaciones montañosas secundarias)

Son estructuras menores, forman elevaciones montañosas de menor altitud, con extensiones mínimas dentro de la cuenca; sus aspectos estructurales, morfológicos y litológicos son variables y, en consecuencia, también tienen diversas pendientes y grados de disección.

En términos generales, esta zona representa un relieve denudatorio-tectónico en el que las pendientes van de moderadas a débiles, y una disección, tanto horizontal como vertical, moderada.

Se pueden distinguir dos conjuntos: uno representado por elevaciones aisladas dentro de la cuenca y otro formado por alturas que se encuentran en la línea del parteaguas. Las elevaciones aisladas más notables forman los cerros Picachos, Los Cardoso y otras formas vecinas con alturas entre 2 300 y 2 600 m, Tequisquiapan entre 2 000 a 2 100 m, la mesa El Gusano de 2 100 a 2 300 m y otras elevaciones como los cerros Pri-

males, El Viejo y la elevación localizada en los llanos de San Felipe, al oeste de la Sierra del Cubo.

Las elevaciones secundarias que más destacan son: los cerros Grande, Cañada y La Cruz, en la región que queda al norte de San Diego de la Unión, en las estribaciones de la sierra, denominada localmente de San Pedro. Otras elevaciones de este tipo, localizadas al oriente de la Sierra del Cubo, son las mesas El Zorrillo y el Zapote.

Finalmente, en el extremo suroeste del parteaguas meridional destacan las mesas El Turbante, El Gato, San José, Almanza y el cerro La Piaña.

b) Depresión general.

Esta unidad, que cubre la mayor parte de la cuenca, se extiende principalmente en las regiones orientales, en el centro noroeste y parte del sur de la misma. Sus formas de relieve abarcan desde las zonas transicionales de las elevaciones a las planicies levantadas y los valles fluviales; son de tipo complejo en cuanto a su composición litológica, morfológica y estructural.

Dentro de la cuenca forman zonas que presentan bastante similitud entre sí, especialmente porque sus altitudes varían con cierta continuidad, aunque a veces están levemente interrumpidas por pequeñas elevaciones y por los cauces de algunos arroyos. Se relacionan con las zonas planas vecinas, en especial con las de la cuenca cerrada de Laguna Seca, en el oriente; con los valles de Comonfort y Celaya en el sur y el valle de Santa María del Río hacia el norte.

En general, la distribución entre las dos unidades geomorfológicas (las elevaciones y la depresión) es muy clara desde el punto de vista topográfico y geomorfológico, y dicho umbral corresponde casi siempre a fallas y fracturas perfectamente reconocibles que van a influir enormemente en el comportamiento hidrológico.

De acuerdo con el esquema geomorfológico correspondiente a las planicies que forman la estructura de la depresión general, predomina en ella una gama de relieves tales como: denudatorio-acumulativo y erosivo, los de tipo acumulativo lacustre, el acumulativo lacustre-aluvial y, por último, el acumulativo fluvial que se presenta en los valles fluviales.

Como en el caso de la unidad anterior, y para comodidad de exposición, dividiremos a la depresión central por zonas con sus correspondientes tipos de relieve.

Zona V (Talud transicional de las elevaciones a la depresión).

Se extiende en grandes áreas desde el noroeste hasta el sureste de la cuenca, especialmente en la margen derecha del colector principal, en altitudes variables, aproximadamente entre 1 900 y 2 300 metros.

Con un relieve denudatorio-acumulativo y erosivo, está constituido por la segunda parte de las planicies de pendiente moderada en donde priva una disección que va de moderada a débil. Por la forma del relieve constituye una zona de transición entre las elevaciones (no diferenciadas) y los relieves más bajos de la depresión general.

Este tipo de relieve también se encuentra localizado

en forma ligeramente separada de la gran área continua, a manera de franjas, en la porción central, noroeste y centro oriental de la cuenca, a lo largo de casi todo el colector central y de los arroyos Las Monjas y La Venta.

La estructura litológica es muy heterogénea dado que cubre superficies muy amplias, con altitudes diferentes, pero destacan en grado de importancia los conglomerados y brechas, las riolitas-andesitas, las riolitas puras y algunas tobas y basaltos que se localizan en la cuenca de recepción de Nuevo Valle de Moreno, en los llanos de San Juan, en el talud de transición de la Sierra de Guanajuato y, en los llanos de Dolores y Allende.

Zona VI (Planicies levantadas en un piso inferior).

Con un tipo de relieve acumulativo-lacustre, esta zona se caracteriza por presentar una pendiente muy débil y una disección prácticamente nula; dentro de la depresión general, constituye áreas que carecen casi por completo de corrientes. Se localizan dentro de la cuenca principalmente en dos regiones, al centro y al oriente, a manera de franjas alargadas paralelas a los sistemas de fractura locales, sensiblemente orientadas de noroeste a sureste y de norte a sur.

Las dos áreas principales se identifican en la siguiente forma: la del centro, correspondiente a los llanos de Dolores, consta de una estructura litológica a base de conglomerados y brechas; a este relieve lo interrumpe parcialmente el de tipo denudatorio acumulativo y erosivo, correspondiente a la zona V, y el valle fluvial del arroyo Dolores, en su porción media; el área oriental, localizada entre el sur de los

Ilanos de La Unión y el este de los Ilanos de San Francisco, en altitudes de 2 000 metros, está formado por tobas; tiene una pendiente casi imperceptible y la disección es prácticamente nula.

Hay otras áreas secundarias de relieve acumulativo lacustre localizadas al norte de las dos anteriores, pero de menor extensión; presentan formas irregulares, interrumpidas y mezcladas con otros tipos de relieve, y sus estructuras están constituidas, en forma heterogénea, por riolitas, tobas, conglomerados y brechas, e incluso basaltos. Las alturas en las que se encuentran varían entre 2 000 y 2 200 metros y presentan, como toda esta zona, las mismas características de pendiente y disección.

Zona VII (Planicies levantadas en un piso superior).

En esta zona predomina un relieve del tipo acumulativo lacustre-aluvial.

Está constituida por planicies ligeramente más levantadas que la zona VI, en las cuales la pendiente es muy débil y la disección que presentan es nula o muy débil. Se reconocen dos áreas principales con características un poco diferentes entre sí; la primera al noroeste y la segunda en las partes oriental norte y centro oriental de la depresión general.

La primer área se refiere a los Ilanos de San Felipe, cuyas altitudes son ligeramente superiores a los 2 100 m, es la más alta de las que constituyen este tipo de relieve, y está formada por depósitos aluviales y lacustres cuya superficie presenta un mínimo de pendiente y una disección débil y localizada.

La segunda área de planicies lacustres-aluviales está representada por tres planicies alargadas de norte a sur, en alturas comprendidas entre 1 950 y 2 100 metros, identificadas con los llanos de La Unión, de La Soledad y de San Francisco, en donde la pendiente también es muy débil, pero la disección es nula.

Zona VIII (Valles fluviales)

Caracteriza a esta zona un relieve acumulativo que se encuentra representado en la carta en forma de franjas estrechas y alargadas que constituyen los valles fluviales a lo largo de los cauces principales, con una configuración similar al patrón dendrítico. Se localizan desde la cabecera principal, en el centro de la cuenca de captación de Nuevo Valle de Moreno y los llanos de San Juan, y a todo lo largo de los cauces principales, para finalizar en el área embalsada de la presa Ignacio Allende. Obviamente, esta zona se encuentra en las partes más bajas de la cuenca, variando su altitud entre 1 850 a 2 200 m.s.n.m.

La orientación de las franjas corresponde a la del sistema de fracturas existente en las distintas zonas de la depresión.

Este sistema presenta los dos componentes ortogonales: norte sur y este oeste, sin que se haya establecido en este estudio qué orientación es la que corresponde al sistema primario.

3. PARAMETROS DEL BALANCE HIDRICO.

Uno de los elementos principales que interaccionan modelando el relieve, es el agua en sus diferentes modalidades de origen y movimiento sobre y dentro del suelo. Desde un punto de vista geomorfológico el análisis cualitativo y cuantitativo de los fenómenos, procesos y formas que se establecen en la liberación de la energía cinética del agua (hidrodinámica), es importante para el tema que nos ocupa, pero antes es necesario cuantificar este elemento mediante el establecimiento de un balance hídrico que determine la cantidad y distribución del agua total que entra a la cuenca. En el caso de ésta, se parte de la lluvia que es la única fuente de aprovisionamiento; una vez conocido el volumen precipitado pasaremos a la valoración de la evapotranspiración y de su localización.

A. CUANTIFICACION DE LA LAMINA DE AGUA PRECIPITADA.

Los valores medios de precipitación aumentan progresivamente del NE hacia el SE, determinándose convencionalmente cinco franjas de lluvia.

Para obtener el volumen de agua de lluvia en cada área se determinó, a partir de los valores límites entre dos isoyetas, un índice de precipitación media y, para fines de interpretación, se calcularon porcentualmente los valores de lluvia y del área de cada franja y se correlacionaron entre sí, para obtener los coeficientes pluviales (véase cuadro No. 2) adimensionales con respecto a los valores medios de la precipitación, los cuales permitieron establecer cinco rangos correspondientes a

CUADRO No. 2

CONDICIONES DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA

FRANJAS DE LLUVIA	AREA Km ²	PORCENTAJE DEL AREA %	INDICE DE LLUVIA ME DIA	VOLUMEN DE LLUVIA (10 ⁵ m ³)	PORCENTAJE DE LA LLUVIA VIA (%)	COEFICIENTE PLUVIAL	ESTIMACION
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
I	283.2	5.90	0.40	113.28	3.99	0.67	MINIMA
II	2006.0	41.82	0.45	902.70	31.79	0.76	ESCASA
III	1136.0	23.68	0.60	681.60	24.00	1.01	MEDIA
IV	921.6	19.21	0.80	737.28	25.97	1.35	ABUNDANTE
V	449.6	9.37	0.90	404.64	14.25	1.52	MAXIMA

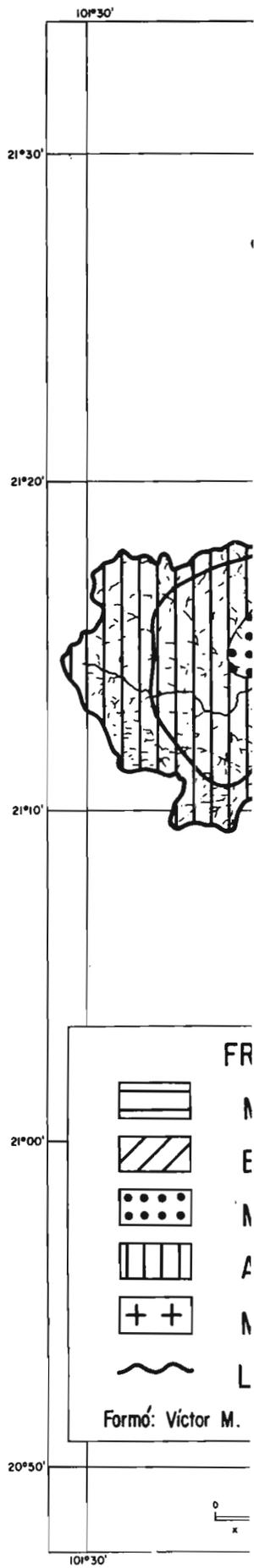
infiltración como pérdidas de energía hídrica potencial y, así, determinar la restante energía efectiva en los procesos de escorrentía y escurrimiento que se establecen en las vertientes y en las cuencas fluviales.

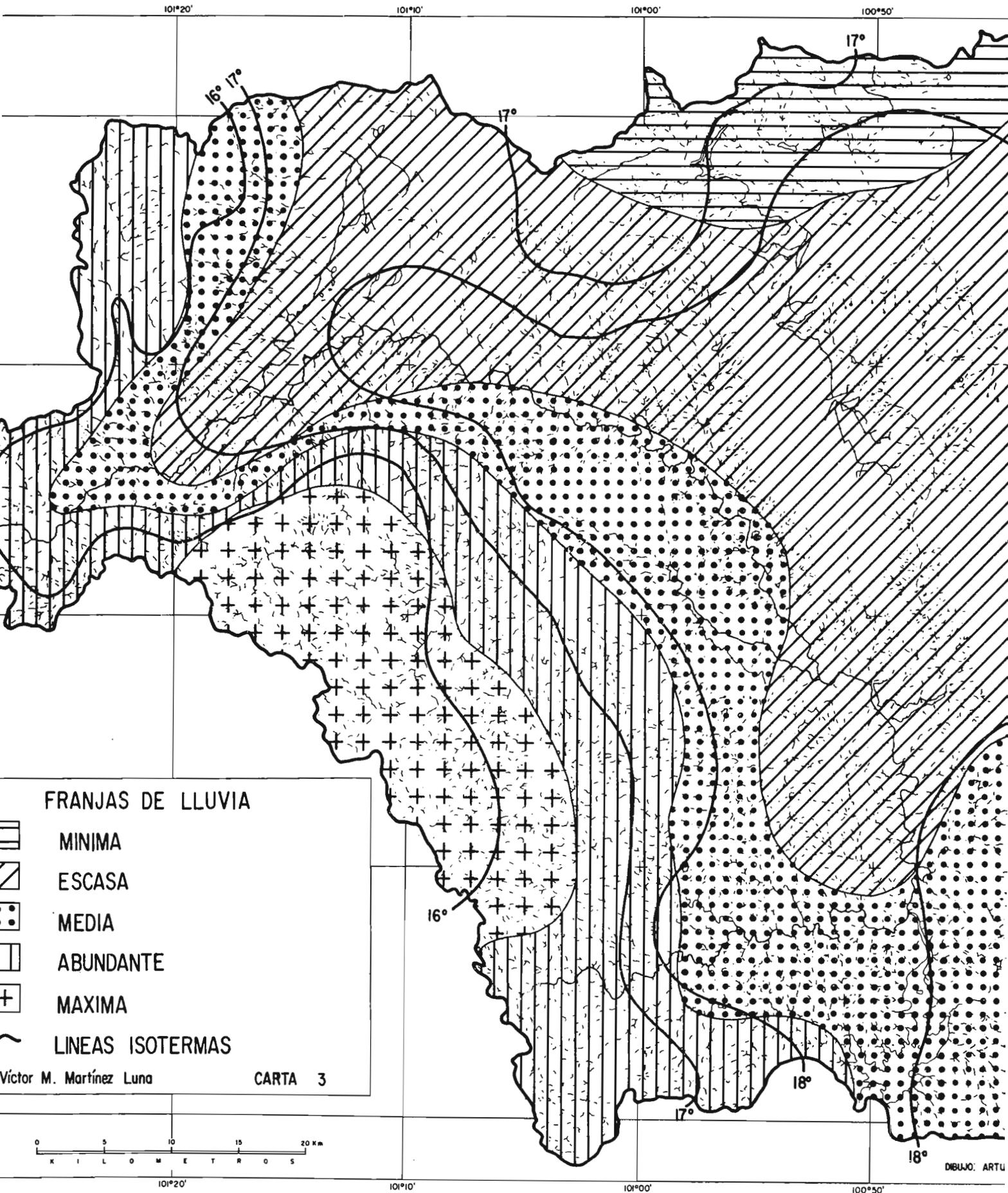
Conocido lo anterior, la localización de los diferentes mecanismos, procesos y magnitud del modelado, facilitarán la comprensión del medio. En el caso particular del embalse de la presa Ignacio Allende, el balance hídrico facilitará la cuantificación del volumen de agua disponible.

Para poder cuantificar la lámina de agua precipitada, y toda vez que la precipitación no es uniforme en toda la cuenca, hubo necesidad de determinar áreas o franjas de igual pluviosidad, por medio de las isoyetas corregidas por altitud y, además, por criterios topográficos (relieve). En tales condiciones se pudieron calcular los coeficientes de la intensidad de la lluvia para esas franjas convencionales, intensidad que corresponde a los siguientes rangos: mínima, escasa, media, abundante y máxima (véase la carta No. 3).

Estos coeficientes sirvieron para definir la distribución y comportamiento del volumen total precipitado equivalente a 2 839.5 millones de metros cúbicos, distribuidos en la siguiente forma:

La franja 1, de lluvia mínima, es la zona de la cuenca con menor superficie; recibe el 3.99 % del total de la lluvia de la cuenca, valor que se refleja en su bajo coeficiente pluvial de 0.67, determinado por su pequeña superficie y su precipitación mínima. Estas condiciones se reflejan en la casi inexistencia de escurrimientos superficiales en dicha franja.





FRANJAS DE LLUVIA

MINIMA

ESCASA

MEDIA

ABUNDANTE

MAXIMA

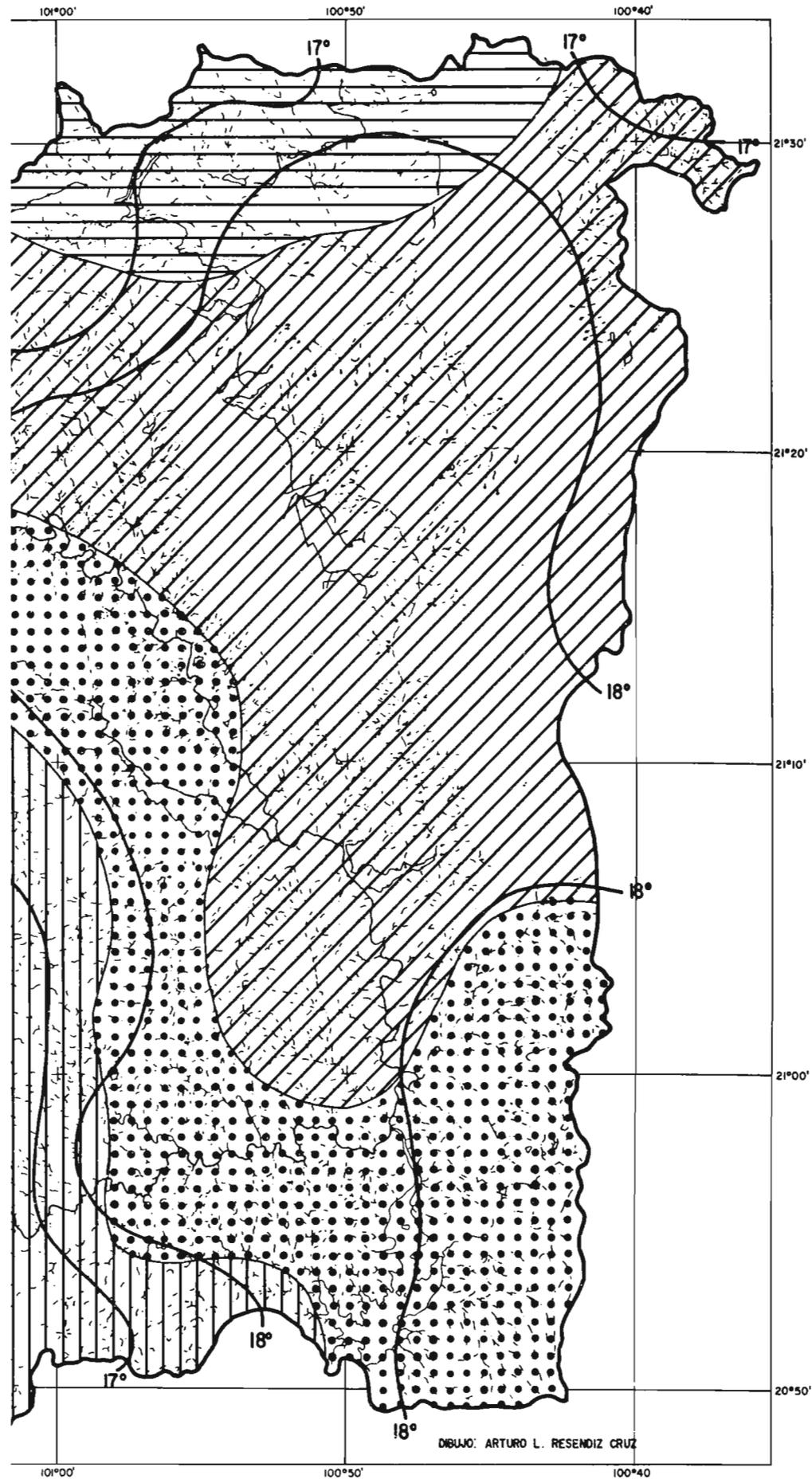
LINEAS ISOTERMAS

Víctor M. Martínez Luna

CARTA 3

0 5 10 15 20 Km
K I L O M E T R O S

DIBUJO: ARTU



encia en donde

éanse tablas
to mensual como
ilada por el mé-
estima los va-
e método no es
gráficas de es-

real, de acuerdo
a un cálculo glo-
media anual y la
ección por lati-
nocen las varia-
to de evapotrans
a lluvia anual
e evapotranspira-

al confrontar
apotranspiración,
las cifras de
luvia, lo cual
seco en casi to-
oco se tomó en
toda vez que se
cionamiento men-

infiltración
determinar
correntía y
y en las cu

Con
tes mecanis
la compren
la presa Ig
tificación

Pa
y toda vez
ca, hubo ne
viosidad, p
además, por
nes se pudie
la lluvia p
rresponde a
dante y máx

Est
ción y compe
te a 2 839.5
guiente form

La
ca con menor
via de la cu
pluvial de C
cipitación m
inexistencia

La franja II, con lluvia escasa, es la de mayor área; 41.82 % de la cuenca y, también, dada su superficie, ponde el mayor volumen de precipitación (31.79 %), pe-
ficiente pluvial es bajo, de 0.76, por lo que se in-
el volumen de agua precipitado está relacionado pro-
mente con la gran área que comprende, pero inversamen-
ntensidad de la precipitación por unidad de superficie,
ue también se comprueba por la baja densidad de los es-
tos superficiales.

A la franja III de lluvia media le corresponde el
volumen precipitado, y un coeficiente pluvial muy pró-
unidad (1.01). Indica una transición del medio árido
y es, por tanto, donde se empieza a notar mayor den-
cauces así como escurrimiento mayor.

La franja IV, de lluvia abundante, se ubica en el ta-
cional de las montañas a la depresión; aquí se nota
ento notable en el coeficiente pluvial, igual a 1.35,
la formación de lluvias orográficas en la zona, que
ás frecuentes y abundantes en el año.

En el caso de la franja V, de lluvia máxima, se obser-
i bien sólo cubre el 9.37 % del área, recibe en cambio
s de la precipitación total, por lo que tiene el coefi-
vial más alto de la cuenca (1.52); lo anterior indica
precipitación por unidad de superficie es alta y, en con-
el volumen que se precipita en el área tiene gran
a en la recarga de los acuíferos principales de la
sí como en la generación de las corrientes superficia-
ortan agua a la presa Ignacio Allende.

B. LA EVAPOTRANSPIRACION (ETP) Y SU PROBLEMA DE CALCULO

a) Los métodos

La determinación de la evapotranspiración se hizo con base en los datos de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca. Dado que dentro de la cuenca se carece de información completa de datos de evaporación y no existen los de transpiración vegetal, el cálculo de la evapotranspiración se realizó con tres métodos que sólo emplean datos de temperatura y lluvia; dichos métodos son los de Blaney-Criddle, Thornthwaite y Turc.

Al comparar los resultados obtenidos se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Las fórmulas de Turc y de Blaney-Criddle, que han resultado adecuadas en las zonas de clima de tipo mediterráneo o en regiones áridas y semiáridas,⁽⁴⁾ no fueron buenas para el área en estudio por lo siguiente:

- El método de Blaney-Criddle establece sus índices exclusivamente a partir de estudios de nutrición hídrica de las plantas en relación con los factores ambientales; determina la cantidad de agua emitida por evaporación y transpiración, por una superficie de suelo cultivado; asigna valores específicos para cada tipo de cultivo agrícola, con referencia a una latitud dada, pero se desconocen los valores para las plantas sil-

(4) Remenieras, G. 1974 Tratado de hidrología aplicada. Editores técnicos asociados. Barcelona, España.

vestres que proliferan en varias partes de la cuenca en donde no se efectúan cultivos.

- En el análisis numérico y gráfico (véanse tablas de la 1 a la 12 y gráficas de la 1 a la 11), tanto mensual como anual de los valores de evapotranspiración calculada por el método de Blaney-Criddle, se ve que el método sobrestima los valores de la ETP, por lo que se consideró que este método no es aplicable a las características climáticas y geográficas de esta zona.

- Los cálculos de evapotranspiración real, de acuerdo con la fórmula de Turc, sólo se pueden referir a un cálculo global de todo el año, con base en la temperatura media anual y la precipitación anual. Este método no incluye corrección por latitud, y presenta el inconveniente de que se desconocen las variaciones mensuales del proceso; sin embargo, el dato de evapotranspiración real anual permite su comparación con la lluvia anual y con los valores obtenidos por otros métodos de evapotranspiración potencial.

- En el caso de la cuenca en estudio, al confrontar el valor de la precipitación anual con el de evapotranspiración, obtenido con la fórmula de Turc, se observó que las cifras de ésta son sensiblemente inferiores a las de la lluvia, lo cual no es posible en la cuenca dado que el clima es seco en casi toda la extensión que cubre y, por tal razón, tampoco se tomó en cuenta este método para el balance hidrológico, toda vez que se desconoce su relación anual con respecto al funcionamiento mensual del embalse.

TABLA No. 1
 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ESTACION SAN DIEGO DE
 LA UNION, GTO. POR EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE
 (ETP = (T °C) X (1.8) + 32 XP XK X 0.254)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM.
(1) T °C	14.7	16.4	18.4	19.8	21.4	21.4	20.3	20.6	19.8	18.2	17.0	15.4	-----	18.6
(2) CORRECCION POR LATITUD P	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.15	7.54	7.57	-----	-----
(3) COEFICIENTE K PRADERA	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.64	0.35	-----	-----
(4) ETP mm	27.6	27.1	75.6	102.8	144.7	149.5	151.8	144.9	114.0	96.6	64.7	40.2	1139.5	-----

TABLA No. 2

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ESTACION SAN JUAN DE LOS
 LLANOS, GTO. POR EL METODO DE BLANEY -CRIDDLE
 (ETP = (T °C) X (1.8) + 32 X P X K X 0.254)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM
(1) T °C	13.3	14.0	16.4	18.2	20.0	19.7	18.7	18.7	17.7	16.4	14.4	13.0	-----	16.6
(2) CORRECCION POR LATITUD P	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.15	7.54	7.57	-----	-----
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.24	0.38	0.39	0.57	0.79	0.88	0.91	0.88	0.63	0.46	0.54	0.35	-----	-----
(4) ETP mm	26.4	39.9	50.6	80.8	125.2	137.5	140.8	132.5	85.5	58.7	59.5	37.3	975.1	-----

TABLA No. 3
 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ESTACION ALVARO OBREGON, GTO.
 POR EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE

$$(ETP = (T^{\circ}C) \times (1.8) + 32 \times P \times K \times 0.254)$$

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM
(1) T°C	13.4	14.9	17.4	19.4	20.4	19.5	18.3	18.1	17.5	16.0	14.5	13.6		16.9
(2) CORRECCION POR LATITUD P.	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.38	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57		
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35		
(4) ETP mm	26.5	41.1	73.4	101.6	141.0	142.2	143.8	135.3	107.0	90.7	60.0	38.0	1100.6	

TABLA No. 4

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ESTACION SOLEDAD NUEVA, GTO.
 POR EL METODO DE BLANEY - CRIDDLE.
 ($ETP = (T^{\circ}C) \times (1.8) + 32 \times P \times K \times 0.254$)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM
(1) T°C	13.4	14.9	16.9	20.3	21.4	20.4	20.1	19.9	19.0	17.0	15.8	13.7		17.7
(2) CORRECCION POR LATITUD P.	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57		
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35		
(4) ETP mm	26.5	41.1	72.4	104.0	144.7	145.6	151.0	142.1	111.6	93.4	62.5	38.1	1133.0	

TABLA No. 5

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LAS ESTACIONES UBICADAS EN
 PEÑUELTAS, GTO. POR EL METODO DE BLANEY - CRIDDLE.
 ($ETP = (T^{\circ}C) \times (1.8) + 32 \times P \times K \times 0.254$)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM
(1) T°C	12.3	13.8	16.5	19.6	20.7	20.4	19.9	19.8	19.2	16.8	24.6	12.6		17.2
(2) CORRECCION POR LATITUD P	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	18.16	7.54	7.57		
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	00.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35		
(4) ETP mm	25.5	39.7	71.5	102.1	142.1	145.6	150.2	141.7	112.2	92.8	60.2	36.7	1120.3	

TABLA No. 6
 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ESTACION RIO LAJA, GTO.
 POR EL METODO BLANEY - CRIDDLE

$$(ETP) = (T^{\circ}C) \times (1.8) + 32 \times P \times K \times 0.254$$

RIO LAJA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(1) T°C	13.0	14.5	17.1	19.4	20.9	20.2	20.1	19.3	19.2	17.0	14.8	18.4	
(2) CORRECCION POR LATITUD P	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57	
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35	
(4) ETP mm	26.1	40.6	72.7	101.6	142.8	144.8	151.0	141.7	112.2	93.4	60.6	26.5	1114.0

TABLA No. 7
 CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL, EN LA ESTACION
 DOLORES HIDALGO, GTO. POR EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE
 (ETP = (T°C) x(1.8) + 32 X P X K X 0.254)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM
(1) T °C	15.3	16.6	18.6	20.1	21.5	21.8	21.2	21.2	20.4	18.9	16.9	15.5	-----	19.0
(2) CORRECCION POR LATITUD P	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57	-----	-----
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35	-----	-----
(4) ETP mm	28.0	43.2	75.9	103.6	145.1	150.9	155.0	147.1	115.9	98.5	64.5	40.3	1168.5	-----

TABLA No. 8
 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ESTACION LA BEGOÑA, GTO.
 POR EL METODO BLANEY - CRIDDLE
 (ETP = (T °C) X (1.8) + 32 X P X K X 0.254)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM
(1) T °C	14.1	15.8	18.2	20.4	21.9	21.5	20.3	20.1	19.3	17.5	15.2	13.1	-----	17.9
(2) CORRECCION POR LATITUD P	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57	-----	-----
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35	-----	-----
(4) ETP mm	27.0	42.2	75.1	104.4	146.5	149.8	151.8	142.9	112.5	94.7	61.3	37.4	1146.3	-----

TABLA No. 9
 CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL, EN LA ESTACION
 SAN MIGUEL ALLENDE, GTO. POR EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE
 (ETP = (T °C) X (1.8) + 32 X P X K X 0.254)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL	PROM
(1) T °C	16.2	18.1	20.6	22.7	24.1	23.3	22.3	21.9	21.3	20.0	17.8	16.2	-----	20.4
(2) CORRECCION POR LATITUD P	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57	-----	-----
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35	-----	-----
(4) ETP mm	28.8	28.5	80.1	110.7	154.7	156.7	159.8	149.7	118.6	101.5	66.2	41.1	1196.8	-----

TABLA No. 10
 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ESTACION NUEVO VALLE DE
 MORENO, GTO. POR EL METODO DE BLANEY - CRIDDLE.
 (ETP = $(T \text{ } ^\circ\text{C}) \times (1.8) + 32 \times P \times K \times 0.254$)

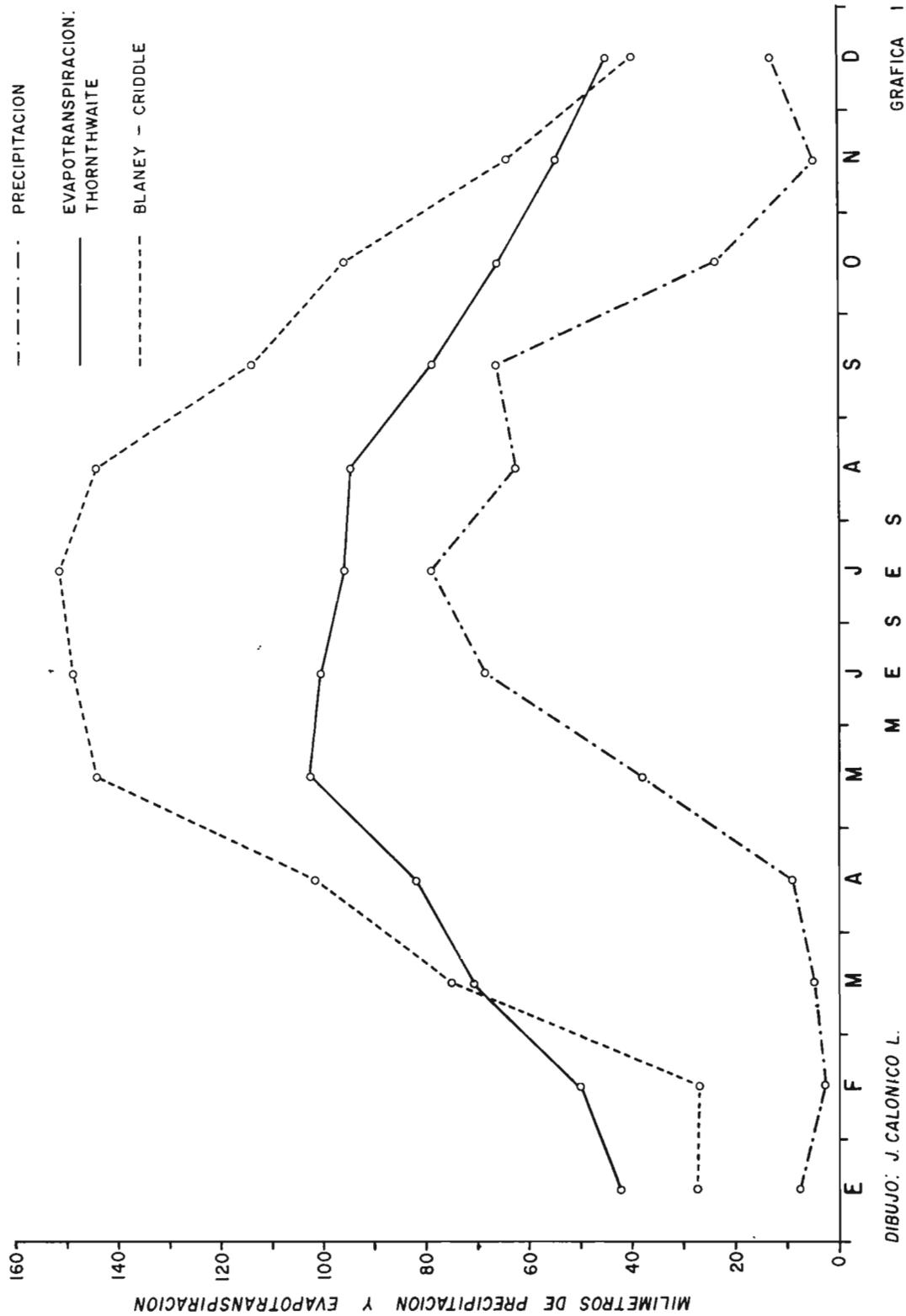
NUEVO VALLE DE MORENO		E	F	M	A	M	J	J	J	S	O	N	D	ANUAL
(1) T°C		13.4	14.2	16.1	18.6	19.71	18.6	17.5	17.6	17.3	15.7	15.0	14.0	
(2) CORRECCION POR LATITUD P		7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57	
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)		0.24	0.38	0.55	0.70	.88	.92	.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35	
(4) ETP mm		26.4	40.2	70.7	98.9	138.7	138.7	107.0	133.4	106.4	89.9	61.0	38.4	1049.4

TABLA No. 11

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA ZONA DE LA SIERRA DE GUANAJUATO,
 POR EL METODO DE BLANEY - CRIDDLE
 (ETP = T °C) + (1.8) + 32 x P x K x 0.254)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUMA	PROM.
(1) T °C	13.7	14.6	16.9	18.7	18.9	18.4	17.4	17.4	17.0	16.1	14.9	13.8	-----	16.4
(2) CORRECCION POR LATITUD P.	7.74	7.24	8.30	8.54	9.18	9.07	9.28	8.97	8.30	8.16	7.54	7.57	-----	-----
(3) COEFICIENTE K (PRADERA)	0.23	0.23	0.23	0.45	0.70	0.85	0.88	0.85	0.47	0.20	0.20	0.20	-----	-----
(4) ETP mm	25.2	24.6	30.3	64.1	107.7	127.5	131.3	122.7	72.0	25.3	22.5	21.9	765.1	-----

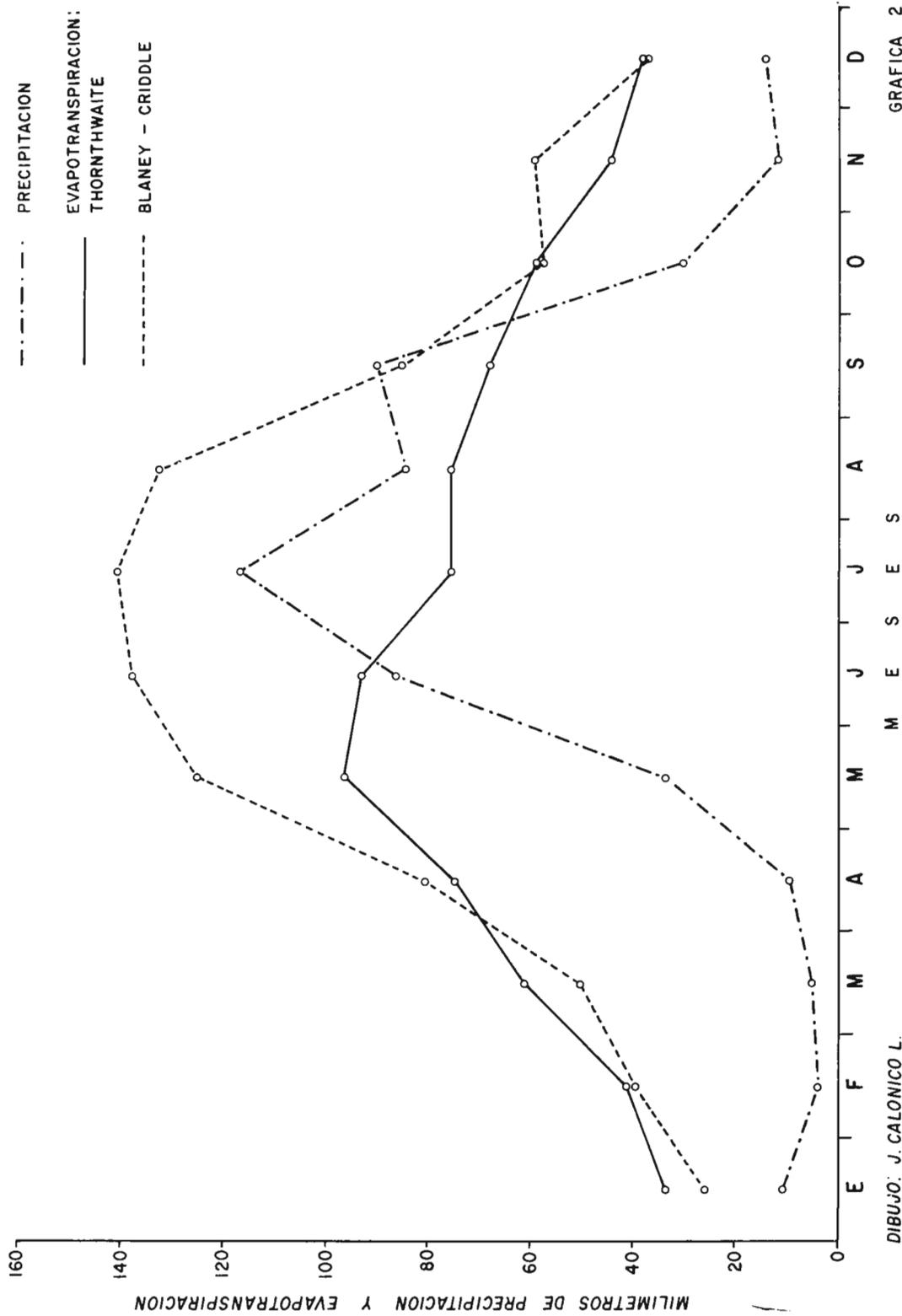
PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE SAN DIEGO DE LA UNION, GTO.



DIBUJO: J. CALONICO L.

GRAFICA I

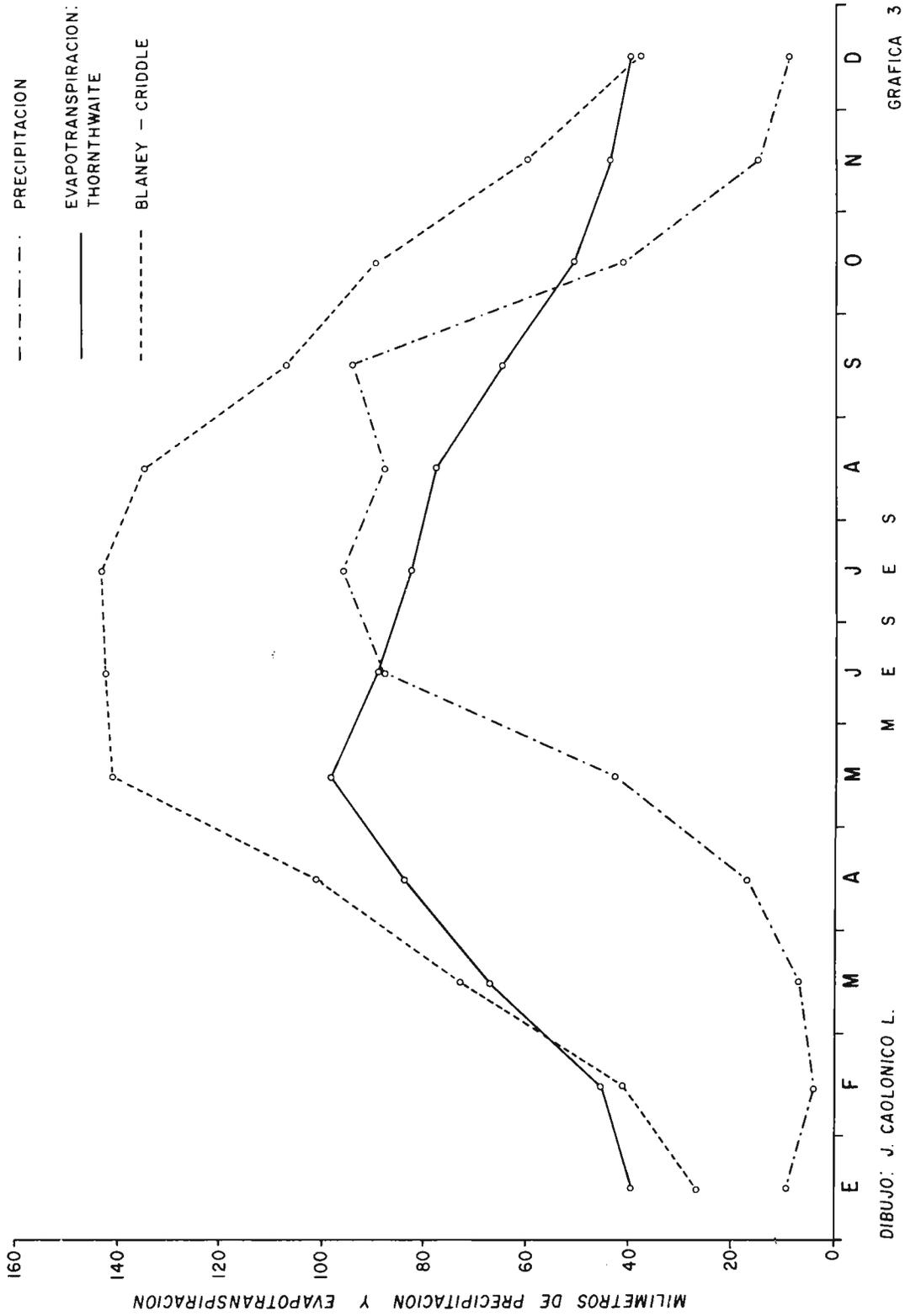
PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE SAN JUAN DE LOS LLANOS, GTO.



DIBUJO: J. CALONICO L.

GRAFICA 2

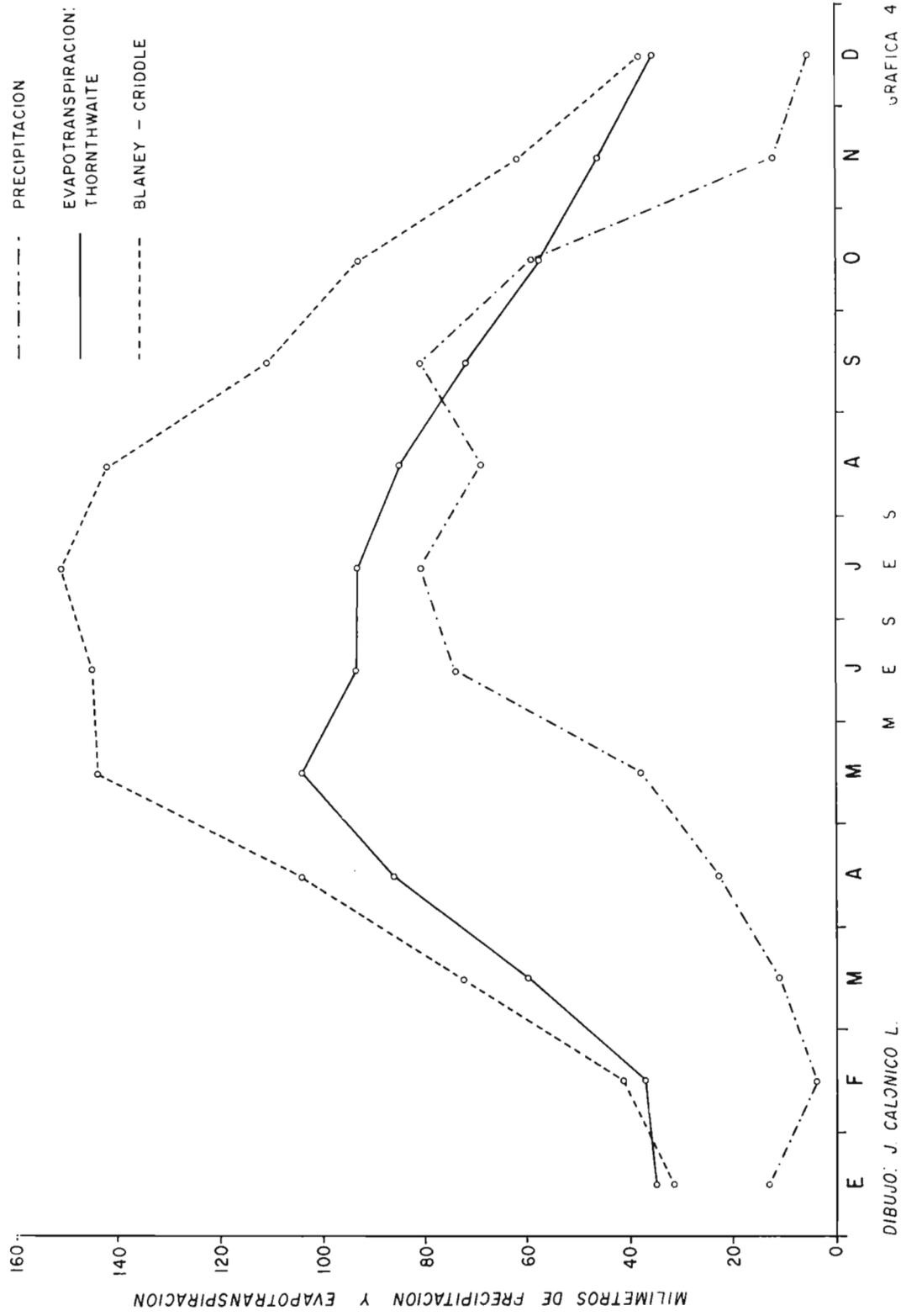
PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE LA ESTACION ALVARO OBREGON, GTO.



DIBUJO: J. CAOLONICO L.

GRAFICA 3

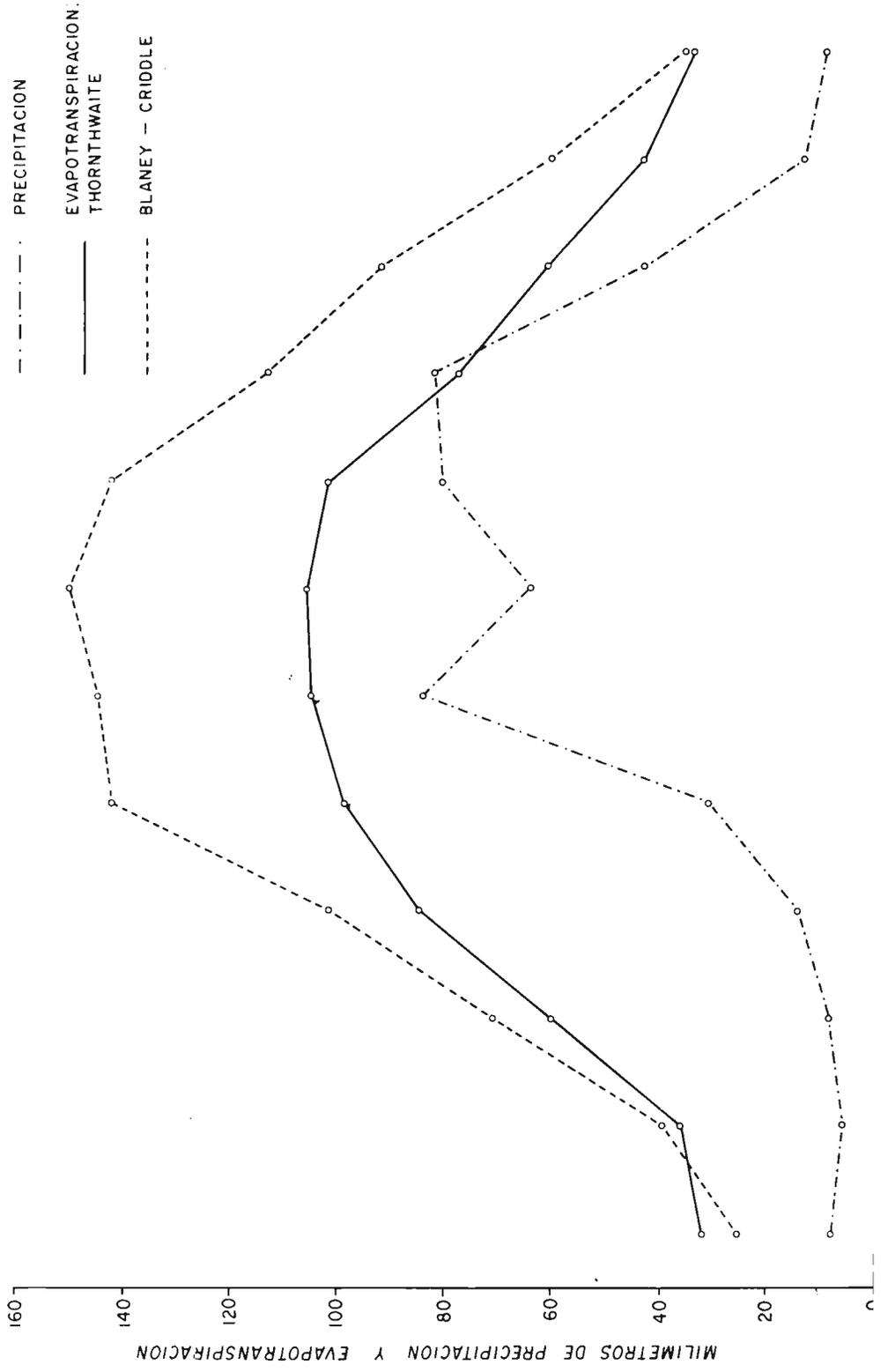
PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE SOLEDAD NUEVA, GTO.



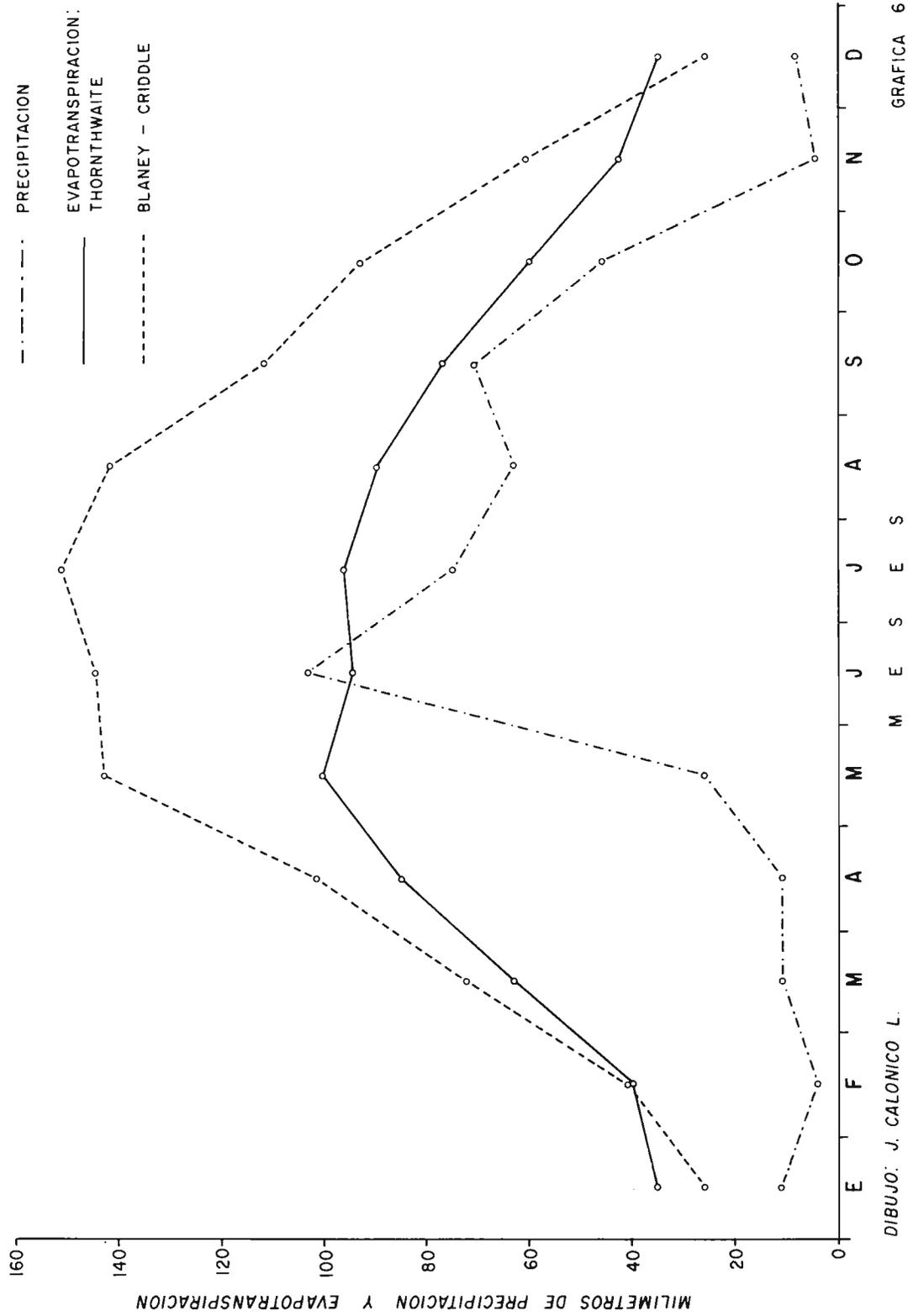
DIBUJO: J. CALONICO L.

GRAFICA 4

PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE PEÑUELITAS, GTO.



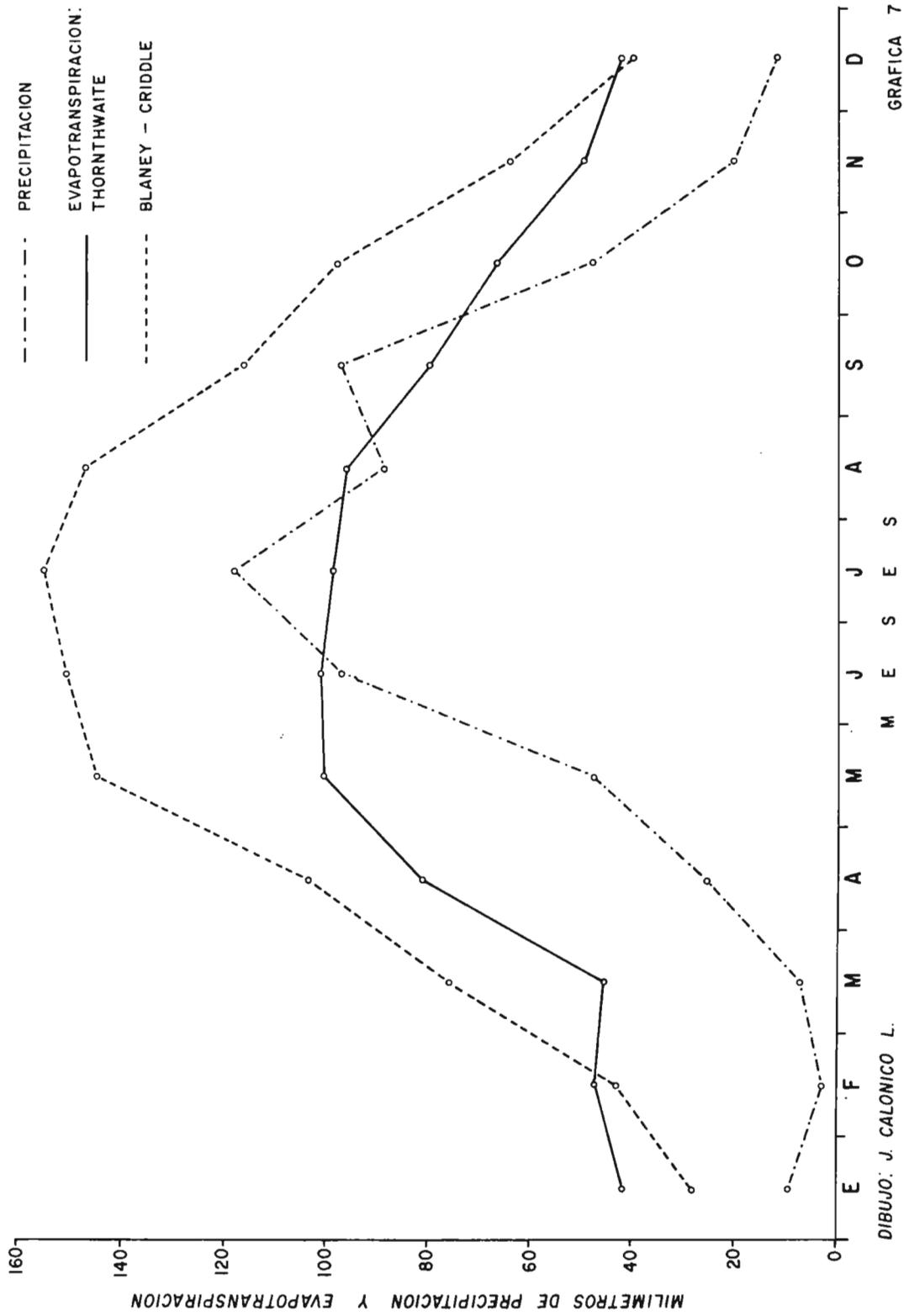
PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE LA ESTACION RIO LAJA, GTO.



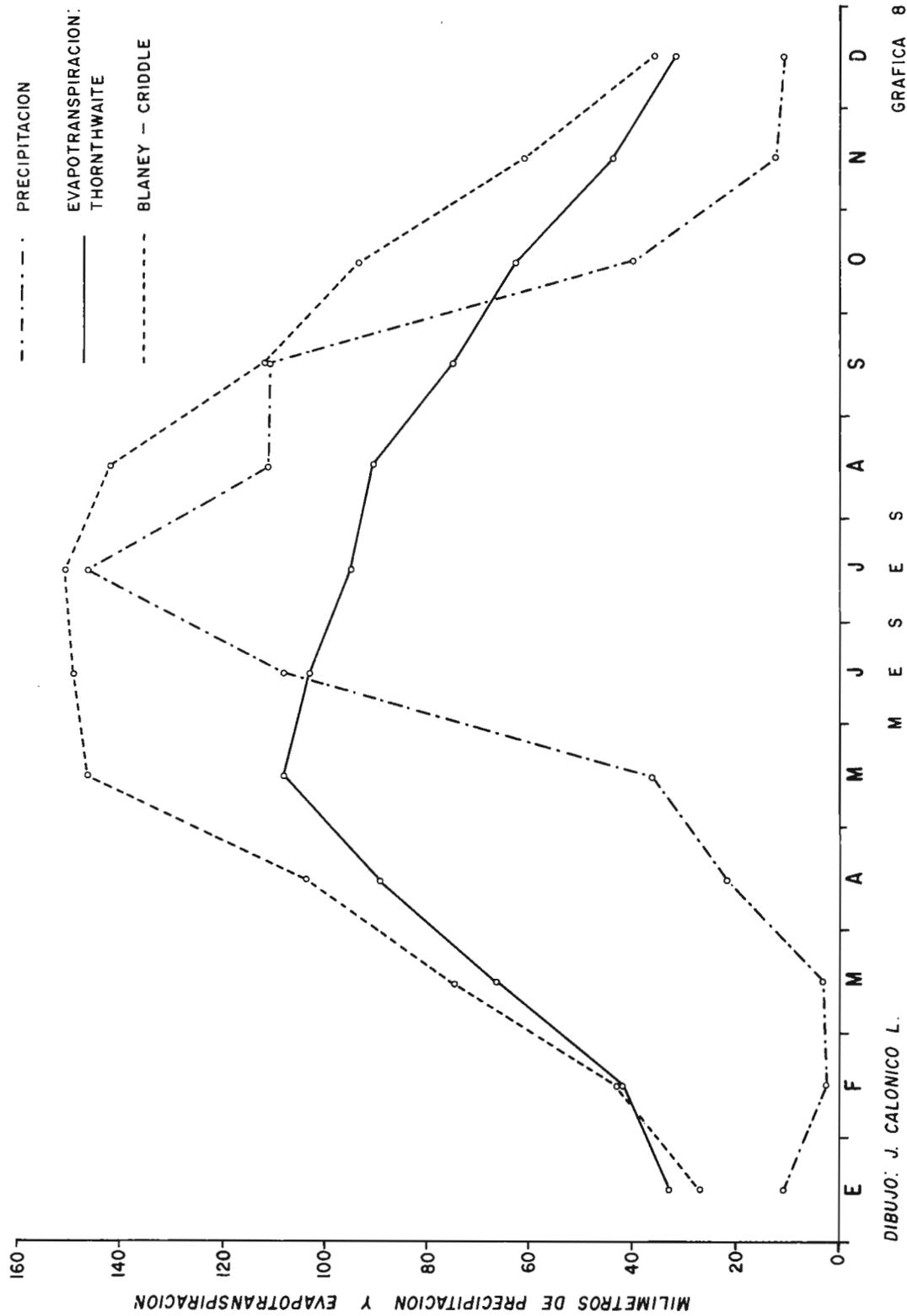
DIBUJO: J. CALONICO L.

GRAFICA 6

PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE DOLORES HIDALGO, GTO.



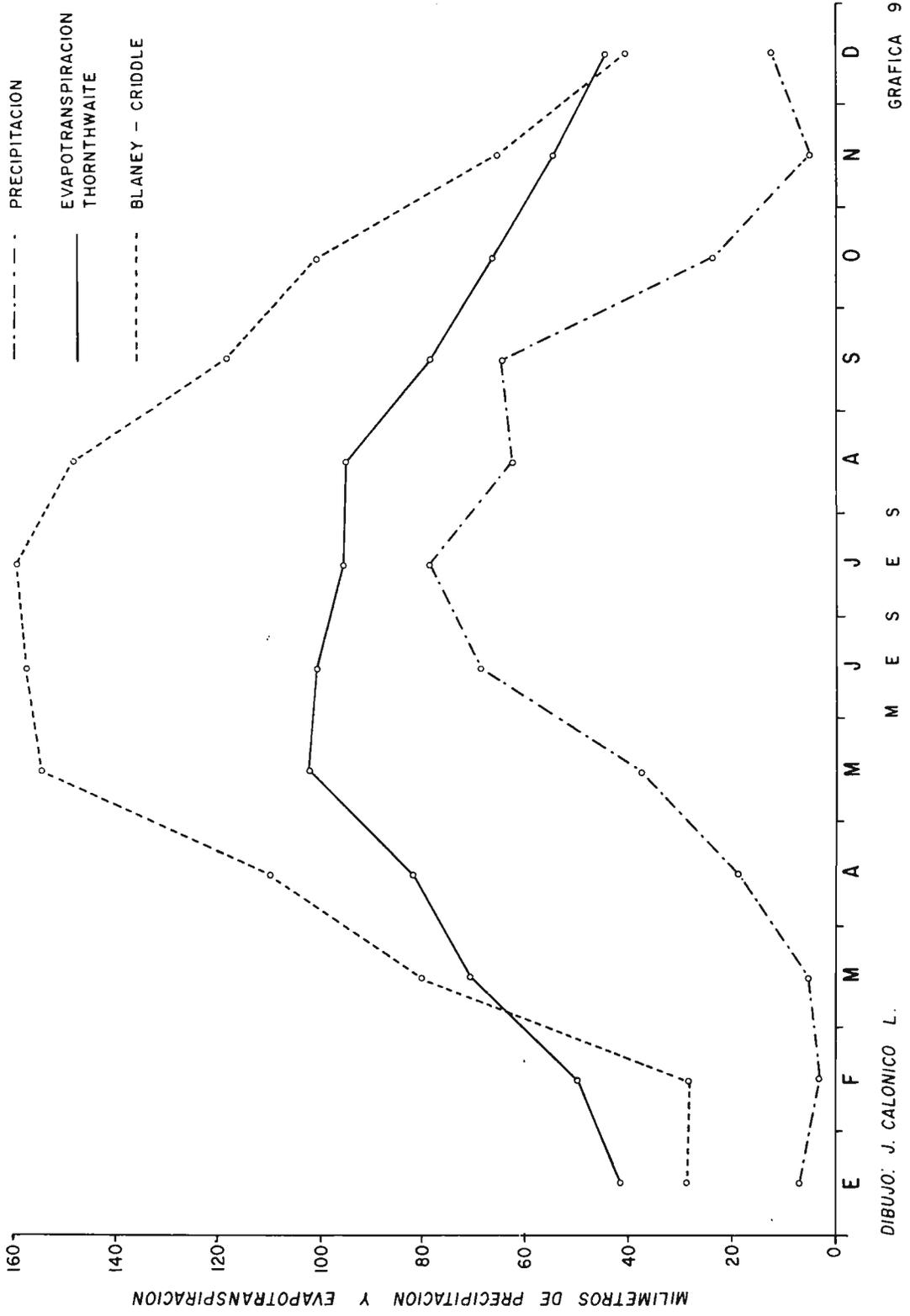
PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE LA ESTACION LA BEGOÑA, GTO.



DIBUJO: J. CALONICO L.

GRAFICA 8

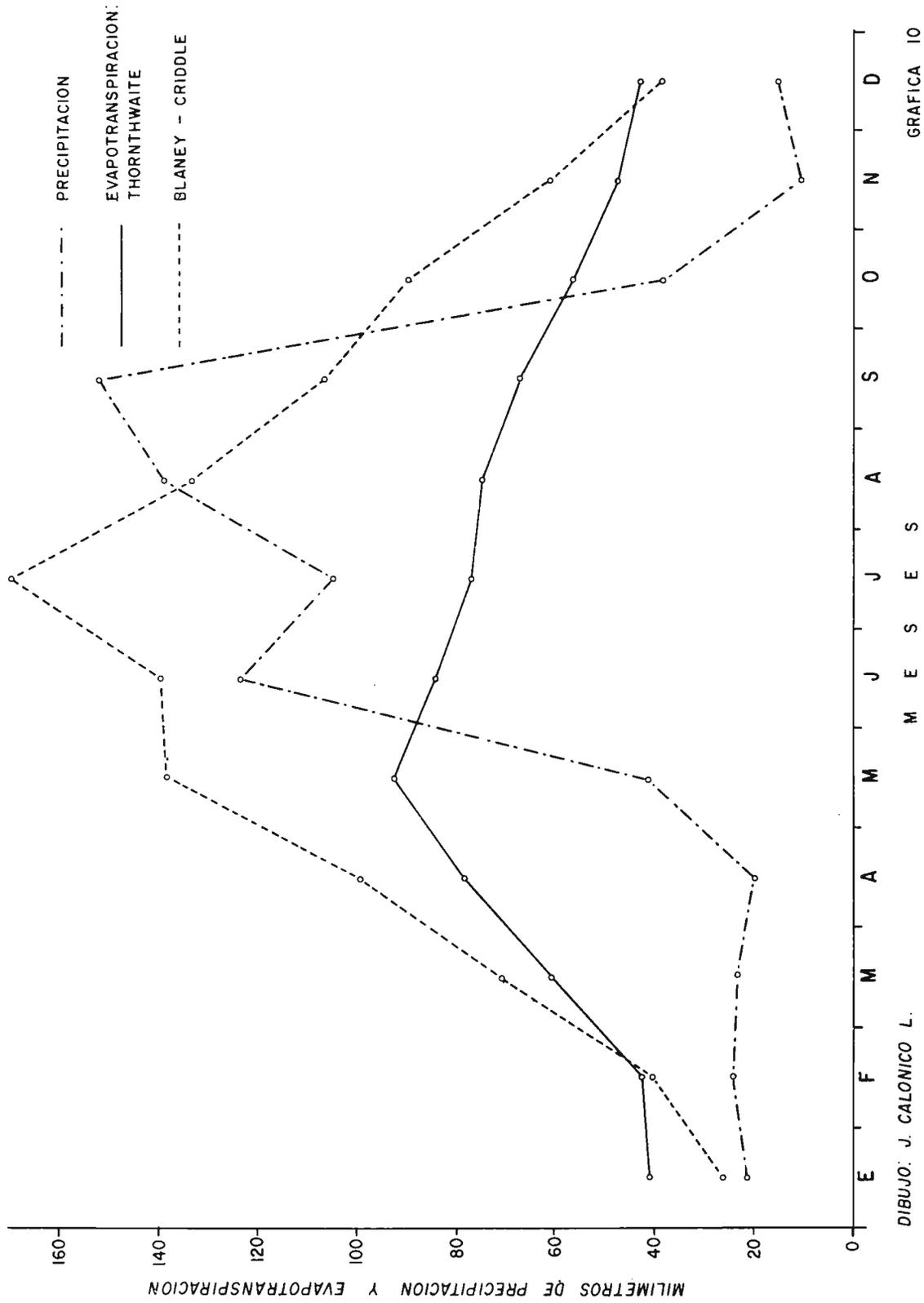
PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE SAN MIGUEL DE ALLENDE GTO.



DIBUJO: J. CALONICO L.

GRAFICA 9

PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL DE NUEVO VALLE DE MORENO, GTO.



DIBUJO: J. CALONICO L.

GRAFICA 10

GRAFICA DE PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL EN LA ZONA DE LA SIERRA DE GUANAJUATO

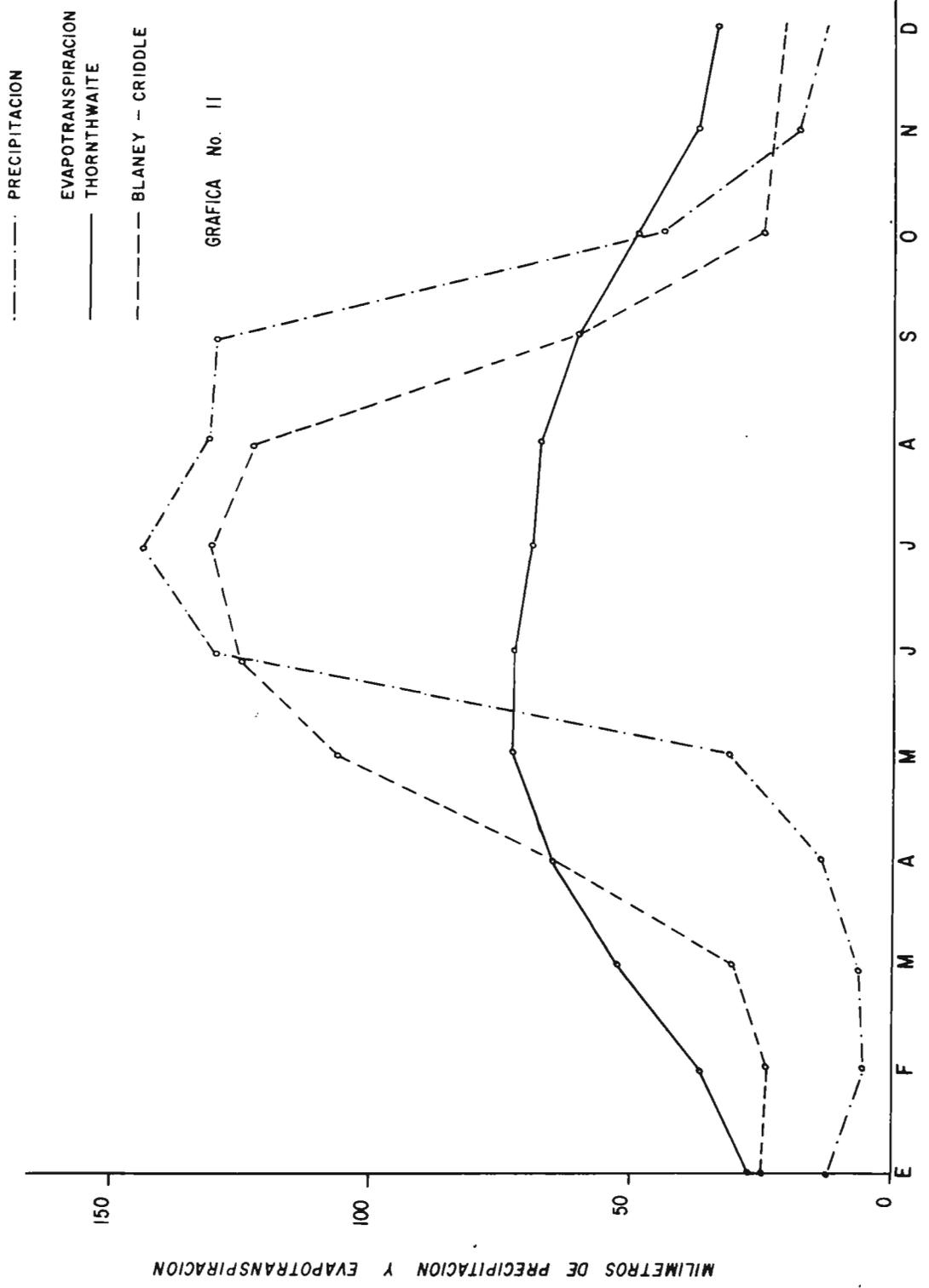


TABLA 12

DATOS DE EVAPOTRANSPIRACION MEDIA MENSUAL EN MILIMETROS,
SEGUN EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE, EN LA CUENCA ALTA
DEL RIO LA LAJA. *

MESES	PROMEDIO	PORCENTAJE
ENERO	32.1	2.6
FEBRERO	42.4	3.8
MARZO	74.5	5.9
ABRIL	102.3	8.2
MAYO	163.3	13.0
JUNIO	173.5	13.8
JULIO	180.8	14.4
AGOSTO	167.4	13.3
SEPTIEMBRE	119.6	9.5
OCTUBRE	90.6	7.2
NOVIEMBRE	63.3	5.1
DICIEMBRE	40.7	3.2
TOTAL	1254.9	100%

* De acuerdo con los datos calculados para todas las estaciones de la cuenca los cuales tienen una semejanza de valores y un mínimo de dispersión estadística.

b) El método de Thornthwaite

El método de evapotranspiración de Thornthwaite considera para su determinación la temperatura, la latitud y la insolación; emplea para ello una fórmula empírica y un nomograma de valores⁽⁵⁾ y los cálculos se pueden efectuar en cada uno de los meses del año, lo que permite apreciar las variaciones de la evapotranspiración (véanse tablas de la 13 a la 24 y gráficas de la 1 a la 11).

En el caso de la cuenca, al comparar dichos valores se observó que la precipitación anual es ligeramente inferior al valor de la evapotranspiración anual, lo cual implica teóricamente que, de tomarse estos valores anuales como absolutos, no habría agua disponible para el escurrimiento e infiltración (véase cuadro No. 3). Sin embargo, a partir del análisis gráfico y numérico mensual, se observa en varios registros que en los meses lluviosos (de junio a octubre), al mismo tiempo que se incrementa la lluvia disminuyen la evapotranspiración y la temperatura, lo que permite tener un valor excedente de la lluvia sobre el de evapotranspiración y, por tanto, disponibilidad de agua para escurrimiento e infiltración. Cabe asentar, además, que el método de Thornthwaite fue experimentado en zonas con abundante precipitación en verano con buenos resultados⁽⁶⁾.

(5) S.R.H. Dirección General de Hidrología. 1952. Instructivo para determinar la demanda neta de riego y el escurrimiento superficial por el método del uso consuntivo según el criterio del Dr. Thornthwaite. México.

(6) Domínguez G. Francisco. 1971. El riego, su implantación y su técnica. Editorial Dossat. Madrid.

TABLA No. 13
 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE THORNTWHAITE
 EN LA ESTACION METEOROLOGICA SAN DIEGO DE LA UNION, GTO.

(1)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(2) °C	14.7	16.4	18.4	19.8	21.4	21.4	20.3	20.6	19.8	18.2	17.0	15.4	18.6
(3)	4.199	5.276	6.953	8.405	9.356	9.099	8.343	8.219	7.727	6.664	5.384	4.298	83.923
(4) mm	4.5	5.6	6.9	7.9	9.1	9.1	8.4	8.6	7.8	6.7	6.0	4.9	
(5)	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	42.77	50.40	71.07	82.95	103.74	101.92	96.60	95.46	79.56	67.50	55.20	45.57	892.74
(7) mm	7.4	3.0	5.0	9.4	38.6	69.2	79.9	63.1	65.7	24.1	5.0	13.5	383.9
(8) mm-	35.37	- 47.4	- 66.07	-73.55	- 65.14	-32.72	-16.7	-32.36	- 13.86	-43.4	-50.2	-32.07	-508.84

- (1) MESES
 (2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
 (3) TEMPERATURA EFECTIVA
 (4) USO CONSUNTIVO TEORICO
 (5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION
 (6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)
 (7) LLUVIA MENSUAL
 (8) DIFERENCIA (LLUVIA - ETP)

TABLA No. 14
 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE THORNTHWAITTE
 EN LA ESTACION METEOROLOGICA SAN JUAN, DE LOS LLANOS, GTO.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(1) MESES													
(2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	12.3	14.0	16.4	18.2	20.2	19.7	18.7	18.7	18.7	17.7	14.4	13.0	16.6
(3) TEMPERATURA EFECTIVA	3.907	4.753	6.039	7.071	8.156	7.971	7.367	7.367	6.779	6.039	4.961	4.351	74.765
(4) USO CONSUNTIVO TEORICO	36.0	45.5	59.0	71.0	84.0	83.0	66.0	66.8	67.0	59.0	48.0	41.0	
(5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	33.84	40.95	60.76	74.55	95.76	92.96	75.90	75.90	68.34	59.00	44.16	38.13	760.26
(7) mm	10.1	4.0	4.9	9.5	33.2	86.3	116.9	84.6	90.4	30.9	12.4	14.5	497.7
(8) mm-23	.74	-36.95	-55.87	-65.05	-62.56	-6.66	41.0	8.7	22.06	-28.1	-31.76	-23.63	-262.6

(1) MESES
 (2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
 (3) TEMPERATURA EFECTIVA
 (4) USO CONSUNTIVO TEORICO
 (5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION
 (6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)
 (7) LLUVIA MENSUAL
 (8) DIFERENCIA (LLUVIA - ETP)

TABLA No. 15

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE THORNTHWAITE EN LA ESTACION METEOROLOGICA ALVARO OBREGON, GTO.

(1)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(2) °C	13.4	14.9	17.4	19.4	20.4	19.5	18.3	18.1	17.5	16.0	14.5	13.6	16.9
(3) M.	4.448	5.223	6.606	7.789	8.450	7.850	7.130	7.012	6.663	5.818	5.012	4.549	76.509
(4) mm	42.1	50.9	65.2	80.2	86.5	80.0	72.5	71.0	74.0	51.9	48.1	43.1	755.5
(5)	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	39.57	45.81	67.15	84.21	98.61	89.60	83.37	78.81	65.28	51.90	44.25	40.08	788.66
(7) mm	9.3	4.4	6.9	17.0	43.1	88.6	96.6	88.1	94.4	41.4	14.4	9.5	513.7
(8) mm	-38.27	-41.41	-60.25	-67.21	-55.51	-1.0	13.23	9.29	29.12	-10.0	-29.85	-30.58	-274.96

(1) MESES

(5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION

(2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

(6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)

(3) TEMPERATURA EFECTIVA

(7) LLUVIA MENSUAL

(4) USO CONSUNTIVO TEORICO

(8) DIFERENCIA (LLUVIA - ETP)

TABLA No. 16

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE THORNTHWAITE EN LA ESTACION METEOROLOGICA SOLEDAD NUEVA, GTO.

(1)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(2) °C	13.4	14.9	16.9	20.3	21.4	20.4	20.1	19.9	19.0	17.0	15.8	13.7	17.7
(3) M.	4.448	5.523	6.320	8.342	9.036	8.405	8.218	8.095	7.547	6.377	5.708	4.599	82.624
(4) mm	37.3	41.9	58.6	82.0	91.5	83.5	81.5	78.0	72.5	58.6	51.7	39.0	
(5)	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	35.0	37.7	60.3	86.1	104.3	93.5	93.7	86.6	63.9	58.6	47.5	36.2	813.7
(7) mm	13.0	4.5	11.4	23.2	38.7	74.4	81.7	69.9	81.2	59.0	12.1	5.4	474.5
(8) mm	-22.0	-33.2	-48.9	-62.9	-65.6	-19.1	-12.0	-16.7	7.3	0.4	-35.4	-30.8	-339.2

(1) MESES

(2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

(3) TEMPERATURA EFECTIVA

(4) USO CONSUNTIVO TEORICO

(5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION

(6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)

(7) LLUVIA MENSUAL

(8) DIFERENCIA (LLUVIA - ETP)

TABLA No. 17
 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE THORNTWAITE
 EN LA ESTACION METEOROLOGICA PENEJITAS, GTO.

(1)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(2) °C	12.3	13.8	16.5	19.6	20.7	20.4	19.9	19.8	19.2	16.8	14.6	12.6	17.2
(3)	3.907	4.650	6.095	7.911	8.598	8.405	8.095	8.033	7.667	6.264	5.065	4.052	78.4
(4) mm	3.45	4.05	5.85	8.10	8.75	8.50	8.40	8.35	7.68	6.15	4.72	3.68	
(5)	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	32.4	36.4	60.2	85.0	99.7	95.2	96.6	92.6	78.3	61.5	43.4	44.2	815.8
(7) mm	8.8	6.2	8.7	14.8	31.0	84.4	64.8	80.8	82.2	43.7	13.1	9.4	447.9
(8) mm	-23.6	-30.2	-51.5	-70.2	-68.7	-10.8	-31.8	-11.8	3.9	-17.8	-30.3	-24.8	-367.9

(1) MESES	(5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION
(2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	(6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)
(3) TEMPERATURA EFECTIVA	(7) LLUVIA MENSUAL
(4) USO CONSUNTIVO TEORICO	(8) DIFERENCIA (LLUVIA - ETP)

TABLA No. 18
 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE
 THORNTHWAITE EN LA ESTACION METEOROLOGICA RIO LAJA, GTO.

(1)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(2) °C	13.0	14.5	17.1	19.4	20.9	20.2	20.1	19.8	19.2	17.0	14.8	13.4	17.4
(3)	4.248	5.012	6.434	7.789	8.718	8.280	8.218	8.033	7.667	6.377	5.170	4.448	80.400
(4) mm	37.9	45.0	62.0	81.0	88.5	84.2	83.8	81.8	75.5	60.5	47.1	38.9	
(5)	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	35.6	40.5	63.8	85.0	100.8	94.3	96.3	90.7	77.0	60.5	43.3	36.1	824.4
(7) mm	11.1	4.0	10.9	11.0	26.5	3.1	75.6	63.1	71.3	46.3	4.4	8.4	435.7
(8) mm	-24.5	-36.5	-52.9	-74.0	-74.3	-91.2	-20.7	-27.6	-5.7	-14.2	-38.9	-27.7	-388.7

(1) MESES	(5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION
(2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	(6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)
(3) TEMPERATURA EFECTIVA	(7) LLUVIA MENSUAL
(4) USO CONSUNTIVO TEORICO	(8) DIFERENCIA (LLUVIA - ETP)

TABLA No. 21
 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE THORNTHWAITE
 EN LA ESTACION METEOROLOGICA SAN MIGUEL ALLENDE, GTO.

(1)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(2) °C	16.2	18.1	20.6	22.7	24.1	23.3	22.3	21.9	21.3	20.0	17.8	16.2	20.4
(3)	5.928	7.011	8.529	9.879	10.81	10.28	9.618	9.356	8.973	8.156	6.836	6.008	101.384
(4) mm	46.0	58.5	78.0	94.0	110.0	103.0	103.0	87.0	84.0	72.5	56.0	46.0	0.94
(5)	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	43.2	52.6	80.3	98.7	125.4	115.3	118.4	96.5	85.6	72.5	51.5	42.7	983.1
(7) mm	9.0	5.2	3.9	14.2	31.5	99.8	97.8	90.8	99.2	20.9	10.5	11.5	505.2
(8) mm	-33.3	-47.4	-76.4	-74.5	-93.9	-15.5	-20.6	-5.7	13.6	-41.6	-41	-31.2	-477.9

(1) MESES
 (2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
 (3) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
 (4) USO CONSUNTIVO TEORICO
 (5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION
 (6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)
 (7) LLUVIA MENSUAL
 (8) DIFERENCIA (LLUVIA - ETP)

TABLA No. 22
 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL POR EL METODO DE
 THORNTHWAITE EN LA ESTACION METEOROLOGICA NUEVO VALLE DE MORENO, GTO.

(1)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
(2) °C	13.4	14.2	16.1	18.6	19.7	18.6	17.5	17.5	17.3	15.7	15.0	14.0	16.4
(3)	4.448	4.856	5.873	7.308	7.972	7.308	6.663	6.721	6.548	5.653	5.276	4.753	73.384
(4) mm	43.0	47.0	59.0	75.0	81.0	75.7	67.5	68.2	66.5	57.0	52.7	46.9	
(5)	0.94	0.90	1.03	1.05	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92	0.93	
(6) mm	40.4	42.3	60.7	78.7	92.3	84.0	77.6	65.7	67.8	57.0	48.9	43.6	768.8
(7) mm	21.7	24.9	23.1	20.2	41.6	123.5	105.4	138.9	152.2	38.3	11.5	15.1	716.4
(8) mm	-18.7	-17.4	-37.6	-58.5	-50.7	39.5	27.8	63.2	84.4	-18.7	-36.9	-28.5	-52.4

(1) MESES
 (2) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
 (3) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
 (4) USO CONSUNTIVO TEORICO
 (5) DURACION MEDIA DE LA INSOLACION
 (6) USO CONSUNTIVO AJUSTADO (ETP)
 (7) LLUVIA MENSUAL
 (8) DIFERENCIA (LLUVIA-ETP)

CUADRO No. 3
 PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LAS FRANJAS CONVENCIONALES
 DE LLUVIA

FRANJA DE LLUVIA	AREA Km ²	INDICE PLUVIAL	VOLUMEN DE PRECIPITACION (10 ⁶ m ³)	LAMINA MEDIA PRECIPITACION mm	VOLUMEN DE EVAPOTRANSPIRACION (10 ⁶ m ³)	DIFERENCIA (ETP-P) (10 ⁶ m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) x (3)		(2)x(5) 1000	(4) - (6)
I	283.2	0.40	113.28	893.0	252.89	- 139.61
II	2006.0	0.45	902.70	795.0	1594.77	- 692.07
III	1136.0	0.60	681.60	877.0	996.27	- 314.67
IV	921.6	0.80	737.28	768.0	707.78	29.50
V	449.6	0.90	404.64	845.0	379.91	24.73
SUMAS	4706.4	- -	2839.50	- -	3231.62	-1022.12

CUADRO No. 4

DATOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA DE JUNIO A OCTUBRE SEGUN EL METODO DE THORNTHWAITE EN LAS FRANJAS CONVENCIONALES DE LLUVIA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO LA LAJA

FRANJA DE LLUVIA	AREA (Km)	JUNIO mm	EVAPOTRANSPIRACION JULIO mm	AGOSTO mm	MEDIA SEP. mm	MENSUAL OCT. mm	SUMAS mm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
I	283.2	101.9	96.6	95.5	79.6	67.5	441.1
II	2006.0	92.8	87.4	83.5	71.4	57.7	392.8
III	1136.0	103.6	102.4	93.6	79.6	65.8	445.0
IV	921.6	84.0	77.6	75.7	67.8	57.0	362.1
V	449.6	71.7	70.1	66.6	61.2	51.0	320.6



TABLA No. 25
 TABLA COMPARATIVA DE EVAPOTRANSPIRACION DE REGISTROS Y
 CALCULOS MEDIOS DE ESTACIONES UBICADAS EN LA CUENCA ALTA
 DEL RIO DE LA LAJA
 SEGUN LOS METODOS DE THORNTWAITE, BLANEY-CRIDDLE Y TURC.

ESTACION	T.M.A.*		P.M.A.*		ETP. THORNTWAITE		ETP. BLANEY-CRIDDLE		ETP. TURC.	
	°C	mm	mm	mm	mm anuales	mm anuales	mm anuales	mm anuales	mm anuales	mm anuales
1 S.D. DE LA UNION	18.6	383.9	383.9	392.7	392.7	1 139.5	379.2			
2 S. J. DE LOS LLANOS	16.6	497.7	497.7	760.3	760.3	975.1	458.5			
3 ALVARO OBREGON	16.9	493.2	493.2	788.6	788.6	1 100.6	457.6			
4 SOLEDAD NUEVA	17.7	474.5	474.5	313.7	313.7	1 133.0	449.1			
5 PEÑELITAS	17.2	447.9	447.9	315.8	315.8	1 120.3	425.7			
6 RIO LAJA	17.4	435.7	435.7	324.4	324.4	1 114.0	417.2			
7 DOLORES HIDALGO	19.0	577.7	577.7	855.1	855.1	1 168.5	534.3			
8 LA BEGOÑA	17.9	651.2	651.2	846.4	846.4	1 146.3	549.5			
9 S. M. ALLENDE	20.4	505.2	505.2	983.2	983.2	1 196.8	488.9			
10 N. V. DE MORENO	16.4	716.4	716.4	768.8	768.8	1 049.4	586.4			
11 ZONA SIERRA GTO.	16.0	900.0	900.0	772.5	772.5	3 012.5	638.9			

* Tomadas de los registros del Servicio Meteorológico Nacional y de E. García.

y se determinaron los coeficientes de ellas (% de volumen de ETP/% del área) con los que se establecieron los valores máximos y mínimos, de 0.81 a 1.12, de los cuales se dedujeron tres rangos arbitrarios de estimación de la ETP: baja, media y alta (véase cuadro No. 6).

Así, los valores alto y medio de la evapotranspiración en las franjas I, II y III concuerdan con los coeficientes de menor precipitación de las zonas más bajas; en cambio, en las franjas IV y V se tiene una estimación baja, en concordancia con las zonas de mayor altitud de la cuenca y con los coeficientes más altos de lluvia.

Por último, queremos consignar que, debido a las condiciones de la cuenca, la determinación de los valores de ETP por este método, contiene, en alto grado, valores de evaporación física y, en forma secundaria, los de transpiración biológica.

C. EL ESCURRIMIENTO

a) La información deficiente

Los cálculos para determinar la lluvia y la evapotranspiración se hicieron en forma global de acuerdo con las franjas convencionales establecidas; en el caso del escurrimiento, éste no pudo determinarse en la misma forma dado que las subcuencas hidrográficas no coinciden con las franjas convencionales.

Así, pues, para cuantificar los volúmenes de agua del escurrimiento de toda la cuenca, se analizaron los valores registrados en la estación hidrométrica La Begoña localizada en la salida de la cuenca y ubicada, antes de la construcción de la



TABLA No. 26
 DATOS DE LOS VOLUMENES MEDIOS ANUALES DE ESCURRIMIENTO Y
 DEL MATERIAL DE ACARREO EN SUSPENSIÓN DE LA ESTACION
 HIDROMETRICA LA BEGOÑA, GTO.*

AÑOS	ESCURRIMIENTO (MILLONES DE m ³)	MATERIAL EN SUSPENSIÓN (MILES DE m ³)
1940	151.1	- - -
1941	284.0	- - -
1942	182.3	- - -
1943	256.7	- - -
1944	306.8	- - -
1945	93.2	263.915
1946	78.0	243.710
1947	181.2	540.064
1948	161.1	577.190
1949	91.6	387.650
1950	98.7	467.311
1951	131.1	621.856
1952	144.8	476.996
1953	173.1	690.738
1954	104.8	367.575
1955	399.0	1470.312
1956	167.2	436.770
1957	61.4	137.705
1958	314.2	718.876
1959	206.9	403.877
1960	89.3	- - -
1961	90.9	26.931
1962	117.5	43.933
1963	91.1	20.916
1964	150.7	44.537

PROMEDIOS

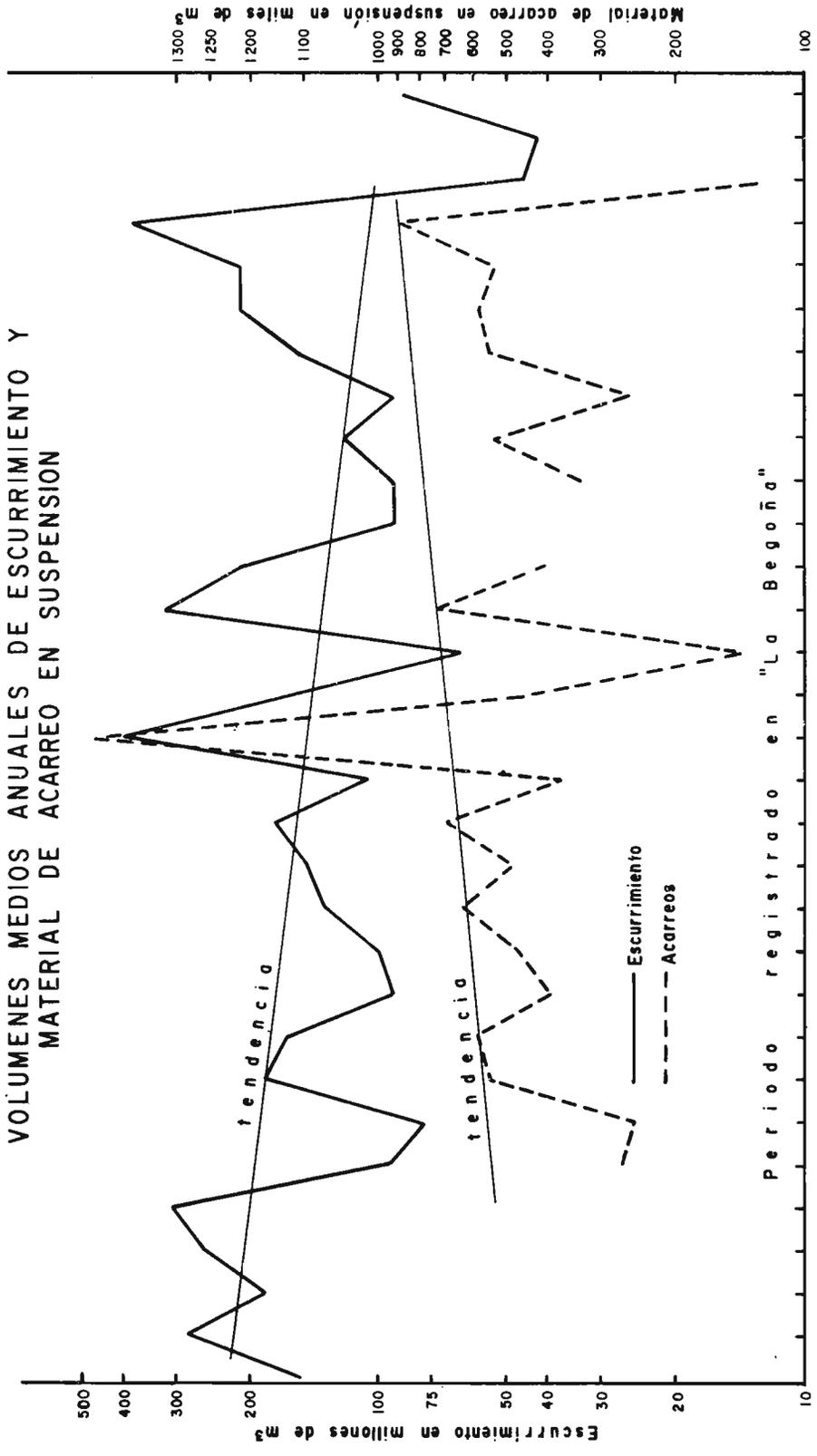
VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO DE AGUA 165.095 MILLONES DE METROS CUBICOS.

VOLUMEN MEDIO ANUAL DE MATERIAL DE ACARREO EN SUSPENSIÓN 0.496 862 MILLONES DE METROS CUBICOS.

* Fuente: Tomado y extractado del Boletín No. 51. S.R.H. 1973.

Grafica No 12

VOLUMENES MEDIOS ANUALES DE ESCURRIMIENTO Y MATERIAL DE ACARREO EN SUSPENSION



infiltraciones iniciales y al manejo experimental de la presa. Sin embargo, sí se puede apreciar cómo es el escurrimiento medio anual del embalse durante el transcurso del año (véase tabla No. 27), el cual se estima en 151.3 millones de metros cúbicos de agua.

Los datos proporcionados por ambas estaciones se pueden comparar entre sí, lo que también sirve para confrontar los escurrimientos naturales del río y los que emite la presa. Lo primero que se observa, con dicha comparación, es que existe una diferencia negativa de 13.8 millones de metros cúbicos, lo que representa una disminución de 8.35 % del escurrimiento registrado cuando existían condiciones naturales.

Este déficit de volumen del escurrimiento se puede atribuir, como ya se indicó, a que el agua una vez que permanece en el embalse sufre pérdidas cuyo origen es la evaporación que ocurre en la superficie acuática, o, bien, se infiltra en las paredes y lecho del vaso de la presa.

Para hacer comparaciones objetivas de los escurrimientos medios mensuales y de la precipitación media mensual, se trazó la gráfica No. 13.

Lo primero que se observa en ella es la gran diferencia entre los valores máximos y mínimos que van de la época lluviosa a la seca, respectivamente.

En condiciones naturales los escurrimientos mínimos ocurren durante siete meses seguidos, de noviembre a mayo, aumentando en forma muy notable de junio a septiembre (mes en que alcanzan su máximo valor), para iniciar, de inmediato, su disminución entre octubre y noviembre; aquí se observa que el 83.79 %

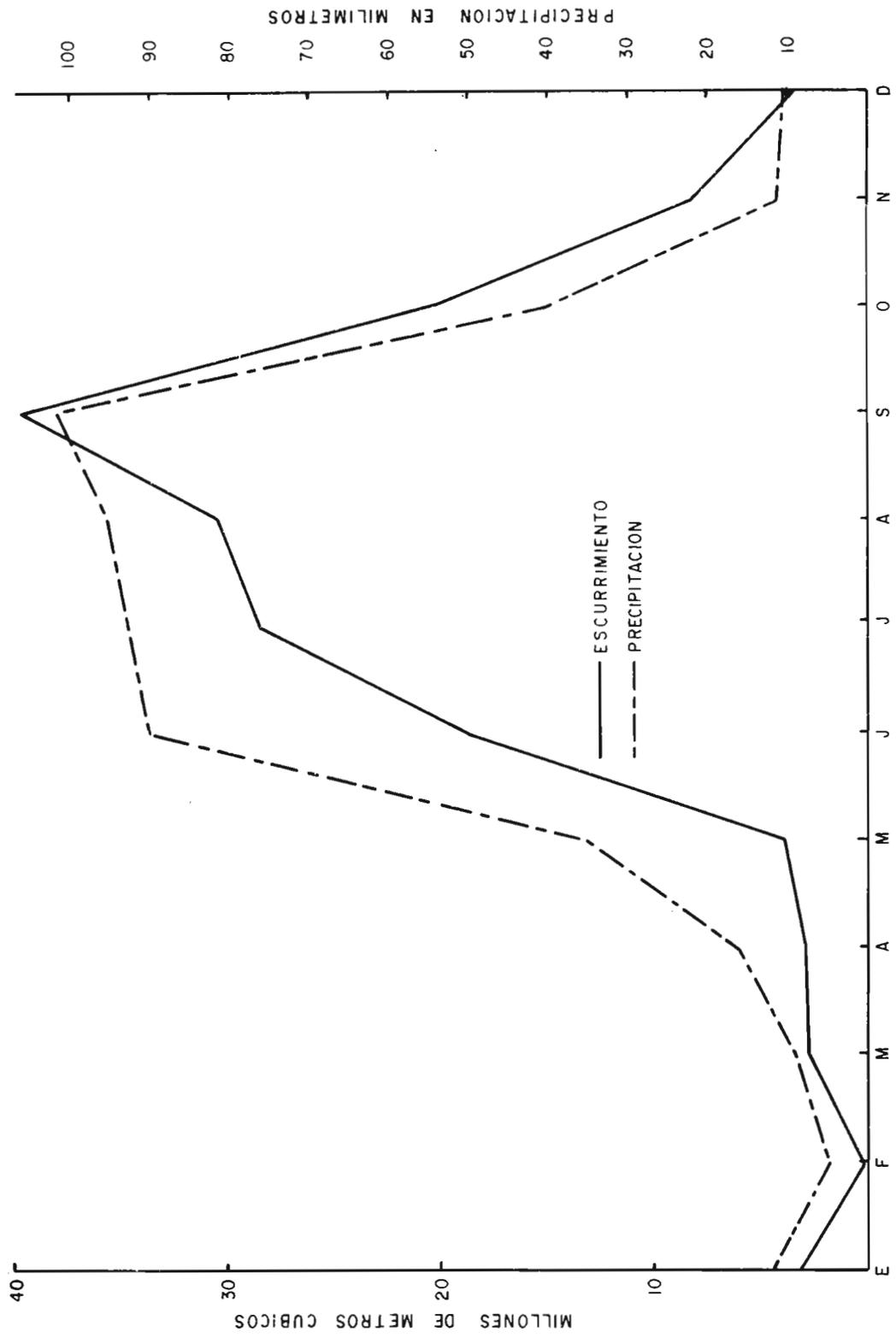
TABLA No. 27

ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL DE LAS ESTACIONES
HIDROMETRICAS LA BEGOÑA Y LA BEGOÑA II.*

MESES	LA BEGOÑA		LA BEGOÑA II	
	Volumen (10 ⁶ m ³)	Porcentaje (%)	Volumen (10 ⁶ m ³)	Porcentaje (%)
Enero	3.3	1.99	4.7	3.0
Febrero	2.8	1.69	4.6	3.0
Marzo	2.8	1.69	6.2	4.0
Abril	2.9	1.75	5.6	3.5
Mayo	3.8	2.30	4.8	3.1
Junio	18.9	11.44	7.2	4.7
Julio	28.4	17.20	9.8	6.4
Agosto	30.7	18.59	30.9	20.0
Septiembre	39.4	23.86	41.8	27.4
Octubre	20.1	12.70	25.4	17.0
Noviembre	7.7	4.66	4.6	3.0
Diciembre	3.6	2.18	5.2	3.4
TOTAL	165.1	100.00	151.3	100.0

* Fuente: Tomado y extractado del Boletín Hidrológico No. 51. S.R. 1973.

VOLUMENES MEDIOS MENSUALES DE AGUA DE ESCURRIMIENTO REGISTRADOS EN LA ESTACION
 HIDROMETRICA LA BEGONA GTO. Y PRECIPITACION MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA



Gráfica No 13

del volumen de escurrimiento (137.5 millones de metros cúbicos), se concentra en 5 meses del año, o sea el 41.66 % del tiempo anual. En cambio, con los datos de la estación hidrométrica La Begoña II, que indican el volumen de escurrimiento del agua bajo control, se aprecia que únicamente son cantidades notables las de los meses de agosto, septiembre y octubre, con un total de 98.1 millones de metros cúbicos, que significa el 65.84 % en un 25 % del tiempo anual.

La misma gráfica muestra la existencia de una correlación estadística que presenta claro paralelismo entre la precipitación y el escurrimiento, ya que su desfase es mínimo, lo que nos indica que existe poco almacenaje de agua en la red de drenaje de la cuenca y que su funcionamiento es torrencial.

Por lo que se refiere al comportamiento de los acuíferos marginales, se considera que los volúmenes aportados por éstos se producen tanto por aporte directo, que ocurre en la época de lluvias, como por el flujo subsidiario que se mantiene durante el estiaje.

Además del hecho marcado por la concentración de las lluvias en un lapso relativamente corto, la recarga de los acuíferos no ocurre con igual velocidad, lo que se traduce por mayores volúmenes de escurrimientos estacionales y pocos escurrimientos posteriores a la época de lluvias.

Hasta antes de la construcción de la presa Ignacio Allende, la estación La Begoña registraba un flujo permanente en época de secas, a pesar de que aguas arriba los cauces permanecían secos. La existencia de dicho flujo hace suponer que

el río La Laja constituye el dren principal de las aguas subterráneas de la región, a la vez que el de las superficiales. En síntesis, se puede afirmar que el proceso natural de drenaje de la cuenca está influido por la superficie, forma y pendiente de la misma, y condicionado por el volumen, intensidad y distribución regional de las lluvias, la cubierta vegetal y las actividades que realizan los habitantes de la cuenca, modificando su funcionamiento normal.

D. RESULTADOS

Concluyendo, podemos expresar que la cuantificación de los diferentes parámetros del balance hídrico son:

Precipitación	(P)	2 839.50 = 100 %
Evapotranspiración	(ETP)	1 896.10 = 66.78 %
Escurrimiento	(Q)	165.10 = 5.81 %
Infiltración*	(I)	778.30 = 27.41 %

* Deducida por diferencia. $P - (ETP + Q) = I$

Considerando que la capacidad de la presa es de 251 millones de m^3 , y que en la actualidad su capacidad de almacenamiento mínimo tiende a conservar un promedio de 80 millones de m^3 que al sumarse a los 165.10 millones de m^3 del escurrimiento aportan un volumen total de 245.10 millones de m^3 de promedio anual, podemos concluir que, por término medio, faltarían 5.9 millones de m^3 por año para llenar la presa, valor que por el rango de variabilidad que presenta hasta el momento denota buen funcionamiento de la obra, porque en años lluviosos este volumen se supera en más de 50 millones de m^3 mientras que en años secos el déficit es de menos de 40 millones de m^3 .

Por último, los fuertes valores de ETP y el carácter del régimen torrencial de los escurrimientos sugieren la tendencia a la desertización del área en la que progresivamente disminuirán los volúmenes precipitados, y, con ello, el agua disponible para el embalse, pero, al mismo tiempo, la torrencialidad de los escurrimientos se acentuará, de manera que progresivamente la recarga que se pueda hacer en los acuíferos tendrá mayor importancia en los aportes de agua al río principal y al embalse.

4. EL HECHO MORFOCLIMATICO

La identificación de las unidades morfoclimáticas se hizo necesaria para encontrar la correspondencia funcional que existe entre el clima, el suelo y la vegetación, respecto de la morfogénesis, y la expresión conjunta que todos estos elementos determinan en el paisaje. Las unidades morfoclimáticas son, por tanto, unidades funcionales sintéticas que ayudan a entender el funcionamiento integral del medio natural.

Desde el punto de vista climático notamos que el incremento de aridez de la zona, como consecuencia de una oscilación climática a nivel nacional, se encuentra parcialmente amornado por las condiciones orográficas, puesto que la altitud y posición de los sistemas montañosos propician la captación de masas de aire de altura y, en consecuencia, la variación del régimen termopluviométrico entre los llanos y las montañas. Este mismo factor determina una paulatina variación térmica que pasa de cálida en los llanos, a menos cálida conforme se recorre la zona de transición, hasta llegar a las partes más altas de las montañas en donde existen condiciones templadas.

Dicha variación térmica produce cambios en el ambiente natural que se traducen por el avance del ambiente ecológico desértico hacia las sierras, situación que casi está a punto de estrangular el ecosistema templado del bosque.

Los cambios pluviales tienen también un carácter topográfico; dado que la lluvia se produce debido a la barrera topográfica que detiene al viento húmedo en las alturas, o incluso por el enfriamiento adiabático que sufren las masas de aire que cruzan sobre el llano, las masas de aire ascienden por la lade-

ras y dan origen a precipitación en las partes más altas de las montañas.

La región de mayor precipitación es, entonces, la que abarca las regiones más altas de la Sierra de Guanajuato que puede considerarse como reguladora que evita, en gran parte, la completa aridez de los llanos.

A partir de lo anterior se pueden establecer desde un punto de vista ecológico, aunado a la presencia topográfica, tres unidades morfoclimáticas fundamentales: las sierras, un talud transicional y la planicie (véase de nuevo la carta No. 2). Lo anterior coincide a grandes rasgos con la división morfoestructural preestablecida que identifica claramente tres tipos de relieve: una región de elevaciones montañosas (la sierra), una zona de transición (el talud) y una depresión general (la planicie).

A. LAS SIERRAS

Están formadas por las cadenas orográficas que rodean la cuenca; destacan por su altura las del occidente, de origen principalmente volcánico y petrología ácida con intercalaciones de material básico.

Debido a procesos de fracturas, afallamientos y manifestaciones volcánicas recientes, se han modificado en diferentes regiones las características originales del relieve. Una buena parte de las grandes unidades se ha dislocado, siendo la consecuencia la conformación agreste de la Sierra, por lo que existe abundancia de macizos rocosos fracturados, crestas, quebradas angostas, barrancas profundas, taludes amplios y cornisas elevadas.

Estas regiones montañosas, profusamente fracturadas y afalladas, son lugares de recargas importantes de los acuíferos colgantes o de los profundos que ahí se originan hasta llegar a los llanos. Lo anterior permite la formación de pequeños manantiales que perduran hasta mediados del invierno, alimentando arroyos que en la primavera sólo se manifiestan por aguas subálveas.

En condiciones naturales la permeabilidad es buena, por tanto, la escorrentía difusa carece de importancia morfogenética; pero en aquellos lugares donde el tapiz vegetal es raquítico, el ataque hídrico se produce en las fracciones finas, así que en las épocas lluviosas la decapitación de los suelos es de mayor importancia.

Otra característica morfogenética provocada por la acción hídrica son los torrentes originados por los escurrimientos encauzados que bajan vertiginosamente al talud de transición y al llano, afectando el drenaje de la parte baja. En las regiones altas parte de la energía de estos torrentes se controla por la estructura litológica, a través de las diaclasas y fracturas por donde penetran importantes volúmenes de agua.

Por lo anterior, queda establecido que los torrentes se originan principalmente en el contacto entre las partes superiores y un talud transicional en donde hay afloramiento y venarios que surten un caudal importante.

Por cuanto a las acciones gravitacionales, éstas se manifiestan por deslizamientos y desprendimientos de las rocas afectadas por el intemperismo físico, en regiones donde el material está descubierto y reposa sobre pendientes fuertes, por lo que sobre los cauces se originan desplomes de clastos gruesos

que, al formar bancales, originan problemas graves de erosión por tracción en los lechos.

Las partes más bajas de las sierras son las más afectadas por la acción antrópica, de manera que tienen muy graves problemas de erosión. Son las áreas de mayor deforestación y, en consecuencia, las que presentan carencias de humedad, mayores temperaturas y fuerte decapitación de los suelos.

Constituye pues, la parte más inestable del equilibrio mesoecológico, aunque es susceptible de cierta regeneración.

El suelo de estos lugares es sòmero y de tipo residual, descansando sobre un sustrato denso constituido por tobas compactas poco permeables; se denuda constantemente por la acción de escorrentías concentradas, y con frecuencia se forman alveolos que paulatinamente evolucionan a suelos estriados o leprosos; en estos alvéolos la cubierta vegetal se caracteriza por una transición de las plantas originales por otras secundarias de un medio más árido. La pendiente es variable, en promedio, inferior a los 15°.

B. TALUD TRANSICIONAL

El talud de comunicación con la sierra constituye pequeñas áreas formadas por depósitos coluviales y aluviales depositados al pie de las sierras durante las diferentes etapas de actividad tectónica. Aquí se encuentran suelos que originalmente fueron evolucionados y yacen sobre un material tobáceo fuertemente cementado y compactado; en la actualidad son muy delgados debido a la decapitación por escorrentía que se ha venido sucediendo a través de los años.

En estas áreas, originalmente cubiertas de pastos, los suelos prácticamente han desaparecido como consecuencia, además de la escorrentía, de un intenso sobrepastoreo que impide la regeneración de la cubierta vegetal.

En el estudio geomorfológico que cubre el noreste de la cuenca alta del río La Laja⁽⁷⁾, se hicieron registros cuantitativos de la erosión, identificándose un predominio sobresaliente de suelos leprosos, lo cual " es la manifestación de una profunda crisis en el área afectada, que la lleva a una erosión total del suelo " .

Por lo que se refiere a la erosión producida por escurrimientos concentrados, ésta tiene menor importancia por superficie dado que sólo afecta al basamento y provoca múltiples incisiones profundas, como acaravamientos simples en superficies pequeñas.

De acuerdo con el estudio mencionado se observa que en los lugares ubicados a menos de 2 400 metros es en donde existe mayor coeficiente de erosión.

C. LA PLANICIE

En esta unidad se incluyen las áreas planas que ocupan toda la parte central de la cuenca y que descansan sobre un basamento derivado de gruesos estratos coluviales y fluviolacustres que continúan hacia el sur de la cuenca del río La Laja.

(7) R. López R. y otros. 1973 Estudio geomorfológico de la cuenca alta del río La Laja. Edit. SRH e Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.

El piso lacustre se disecó profusamente en el cuaternario reciente y se formaron extensas terrazas fluviales en la actualidad apenas retocadas por la dinámica geomorfológica.

La zona de la planicie está inclinada ligeramente de norte a sur, con una pendiente que varía entre uno o dos grados, inclinación que aumenta en los rebordes de las terrazas, en el contacto entre la planicie y la sierra, donde el material del talud reposa con diferentes valores angulares, y en el contacto con algunos elementos volcánicos aislados que rompen la monotonía de la planicie.

El carácter paleoevolutivo de las formas indica que la morfogénesis actual carece de intensidad suficiente para reacondicionar el medio y sólo se efectúa un retoque de las formas. Los suelos existentes son testigos de ese carácter paleoevolutivo y son de consistencia suelta, de baja permeabilidad y frágiles al embate de la poca escorrentía que se forma durante las lluvias, por lo que están sujetos a erosión laminar.

La base de estos suelos, constituida por material tobáceo arcilloso o arcilloarenosos, tiene consistencia dura y es poco permeable.

Por último, cabe señalar que, en la región de los llanos de San Felipe el régimen hídrico funciona por arroyos similares a los uadis⁽⁸⁾ de las zonas desérticas.

(8) Ouad (oued, wad, wadi): En los desiertos de Arabia, valles secos de paredes abruptas, por lo que sólo corre el agua después de lluvias intensas, y por poco tiempo. A menudo constituyen todo un sistema. Tomado de: Diccionario Rioduero. Geograffa. Ediciones Rioduero, Madrid. 1974.

5. INFLUENCIA DEL ESCURRIMIENTO EN EL EMBALSE.

A. ESCURRIMIENTO Y ACARREOS ANUALES

Al analizar los datos del volumen de escurrimiento y del material de acarreo en suspensión, se observó que tienen correlación entre sí.

A fin de establecer en forma más clara dicha correlación, se trazó la gráfica No. 12, ya citada, con los datos anuales disponibles (1940-1970). En las ordenadas, sobre dos escalas semilogarítmicas, una a la izquierda y otra a la derecha, se llevaron los datos del volumen de escurrimiento y de los azolves en suspensión, de modo que, en términos generales, se cuenta con un sistema paralelo de valores dentro del periodo de registros correspondientes a la estación " La Begoña" (En las abscisas se llevaron los años correspondientes a la serie 1940-1970). En la gráfica que une los valores de los volúmenes medios anuales de escurrimiento y del material de acarreo en suspensión, se puede observar la relación de los años lluviosos y secos a través de los valores máximos y mínimos, pero en la línea de escurrimiento se nota una propensión general a un decremento continuo que interpretamos como tendencia a la desertización, que ya se sospechaba a partir del análisis sinóptico del clima. De esto se deduce, también, que el alto valor de la recarga que ocurre en la Sierra de Guanajuato ya no influye de manera importante en la alimentación freática de los ríos de su vertiente, lo que se refleja en el estiaje tan marcado de los mismos e incluso en la desaparición de caudal, tal como ocurre con los tributarios que vierten por el lado norte y oeste del embalse. De lo anterior se deduce la existencia de una infiltración profunda en la Sierra de Guanajuato, posiblemente relacionada con fracturas profundas que rigen la estructura y que,

incluso, casi han separado como una continuidad geohidrológica la cuenca de captación alta que va de Nuevo Valle de Moreno a San Felipe, de la parte amplia de la depresión que cubre la cuenca baja.

En la misma gráfica puede observarse que el volumen del material de acarreo en suspensión tuvo propensión a aumentar en el transcurso del tiempo, aumento que es congruente con la ligera tendencia a la disminución del volumen de escurrimiento que se manifiesta parcialmente al aumentar la carga de sedimentos por unidad de volumen, lo que obedece al régimen de los ríos que tienden a comportarse en forma torrencial, típica de los medios hidrológicos áridos.

En condiciones naturales (véase tabla No. 28) el arrastre medio anual de sedimentos era de 0.496 862 millones de metros cúbicos aportados por una superficie de 4 796.4 Km², de lo que se obtiene una tasa de erosión de 103.59 m³/Km² por año, como promedio. Esta cifra, sin embargo, no es representativa de la erosión de toda la cuenca puesto que, como se verá más adelante, se pudo comprobar que, en realidad, la mayor parte de los sedimentos se originan en el sector sur, donde las condiciones litológicas, edáficas y de uso del suelo permiten un alto grado de erosión laminar ya que, de hecho, contribuyen con un aporte de 90 % del volumen total de sólidos en suspensión que llega al embalse.

B. ORIGEN E IMPORTANCIA DE LOS AZOLVES QUE ENTRAN AL EMBALSE.

Al observar la gráfica del volumen medio mensual de material de acarreo en suspensión, comparada con la correspondiente a la precipitación media mensual de toda la cuenca (véa-

TABLA No. 28

PROMEDIOS MENSUALES DEL VOLUMEN DE MATERIAL
DE ACARREO EN SUSPENSION
DETECTADO EN LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS
LA BEGOÑA Y LA BEGOÑA II, GTO.*

MESES	LA BEGOÑA (1945-1964)		LA BEGOÑA II (1965-1970)	
	VOLUMEN (miles de m)	PORCENTAJE (%)	VOLUMEN (miles de m)	PORCENTAJE (%)
Enero	0.015	0.003	0.039	0.013
Febrero	0.000	0.000	0.064	0.022
Marzo	0.063	0.012	0.390	0.137
Abril	2.255	0.453	0.082	0.028
Mayo	8.737	1.758	0.407	0.143
Junio	113.665	22.876	22.801	8.043
Julio	132.362	26.639	46.319	16.339
Agosto	108.868	21.911	84.564	29.830
Septiembre	74.458	14.985	87.519	30.873
Octubre	51.232	10.311	41.262	14.555
Noviembre	5.183	1.043	0.014	0.004
Diciembre	0.021	0.004	0.014	0.004
TOTAL	496.859	----	283.477	----

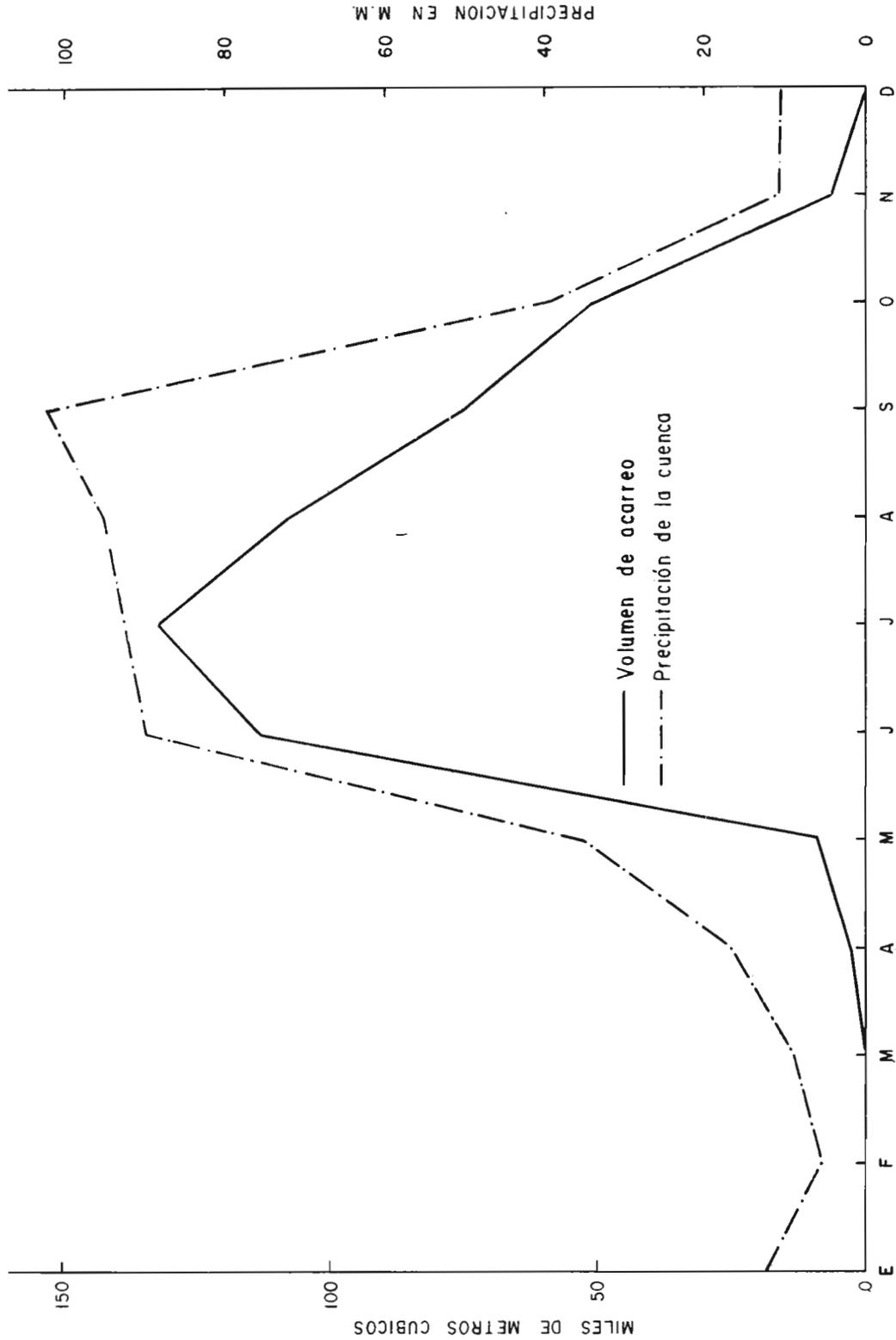
* Fuente: Tomado y extractado del Boletín Hidrológico No. 51. S.R.H. 1973.

se gráfica No. 13 bis), se observó que no había relación exacta de valores en forma total, puesto que, como ya se indicó, los mayores azolves identificados, en suspensión, tienen lugar únicamente con las primeras lluvias, por lo que se supone que este comportamiento está determinado por las lluvias que se presentan principalmente en la parte sur de la cuenca y, de ellas, básicamente las que se concentran en las subcuencas de las corrientes Tlaxcalilla y San Damián; paradójicamente, estas precipitaciones no son las más abundantes ni las de mayor duración en la cuenca, puesto que sabemos que las que caen sobre la parte alta, especialmente las del sector oeste, son las más importantes.

Esta situación se observa claramente al comparar las diferentes gráficas de precipitación de las estaciones de la cuenca; en ellas resalta que las estaciones de la cuenca alta tienen dos máximos de precipitación, siendo el segundo el de mayor importancia, y como ocurre en los meses de septiembre y octubre, se infiere que son provocados por la influencia de la circulación ciclónica que entra francamente por el este de la cuenca, atraviesa la parte central norte, para chocar con la Sierra de Guanajuato, y deja los mayores volúmenes precipitados en el sector oeste. En la parte central de la cuenca o cuenca media, las gráficas muestran también dos máximos de lluvia equilibrados, en junio y en septiembre, pero menores que los de la cuenca alta por el hecho de que las estribaciones del SE de la cuenca provocan una sombra climática que disminuye la intensidad de la circulación ciclónica del SE y la equilibra con la circulación normal de los alisios del NE.

Por último, las gráficas de las estaciones de la parte sur o cuenca baja, ya no muestran la influencia de la circu-

VOLUMENES MEDIOS MENSUALES DE MATERIAL DE ACARREO EN SUSPENSION DETECTADO EN LA ESTACION HIDROMETRICA LA BEGONA, GTO. Y PRECIPITACION MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA



GRAFICA No. 13 Bis

lación tropical y en ellas el segundo pico no existe, de manera que su régimen pluviométrico sólo se debe a la penetración de los alisios que, provenientes del NE, precipitan al chocar con las estribaciones de la Sierra de Guanajuato en este sector. Otro hecho importante que indica la falta de influencia directa sobre el embalse, de toda la parte central y norte de la cuenca, es el que se refiere al aporte de sólidos en suspensión que no corresponde al gasto del río La Laja, determinado por las precipitaciones máximas de la cuenca, toda vez que el gasto máximo se presenta en los meses de septiembre y octubre; y, lógicamente, por la magnitud de agua que se mueve sobre las vertientes, la cantidad de material que arrastrarían dichas corrientes debería corresponder con este periodo. Sin embargo, como ya se dijo, esto no ocurre debido a que el mayor volumen de sólidos entra en el mes de julio, con más del 60 % de los sólidos totales que ocurren en el periodo de lluvias de junio a octubre, meses a partir de los cuales el decremento en aporte de sólidos baja sensiblemente hasta alcanzar un mínimo en los meses siguientes, justamente cuando acaba de entrar a la presa el mayor volumen de agua.

Con el análisis anterior y ponderando los aportes de sólidos mensuales con el arrastre potencial deducido a partir del volumen precipitado, determinamos la cantidad porcentual de azolve que proviene de diferentes lugares de la cuenca, para llegar a determinar un área principal y dos secundarias (véase carta No. 4). La principal se localiza en el sector sur y aporta más del 60 % de sólidos en suspensión, básicamente durante los meses de junio-julio, en tanto que el área secundaria, en la parte central sur, aporta 30 % de los sólidos durante el mes de julio. Por último, el área secundaria, de menor importancia

aunque ocupe la mayor porción de la cuenca, proporciona apenas el 10 % de azolves que penetran a la presa en los meses de agosto y septiembre.

Por lo anterior, se nota claramente que las precipitaciones más fuertes y abundantes que caen en la Sierra de Guanajuato y en otras áreas de la cuenca alta no son las más importantes ni afectan con azolves la estabilidad de la presa Ignacio Allende. Por el contrario, las lluvias poco intensas que ocurren en la parte sur son las de mayor efecto morfogenético propiciado por la elevada erodabilidad potencial de los suelos del sector sur que, con las actividades humanas, condicionan el fuerte grado erosivo que es la causa principal de la respuesta tan grande de azolves aportadas por este sector. Estos azolves sí afectan a la presa.

Finalmente, de acuerdo con el valor medio anual del material en suspensión, antes citado, se ha calculado que en los 9 años que tiene de funcionar la presa debe haber un total de 4.464 millones de azolve*. Anualmente la distribución temporal de los mismos se concentra durante el lapso comprendido de junio a octubre, que es cuando penetra el 96.72 % del total anual, valor relacionado directamente con la época de mayor precipitación de toda la cuenca. En cambio, durante los 7 meses restantes el material de acarreo en suspensión es mínimo o casi nulo.

* Este dato es aproximado, ya que anualmente se permite la salida de azolves por la parte inferior de la cortina, por lo que disminuye la concentración de los mismos en el embalse. Valores de salida que, por otra parte, son desconocidos.

C. EFECTO DE LOS SEDIMENTOS EN LA TURBIDEZ DEL AGUA

La penetración de sedimentos en el embalse se correlaciona directamente con la transparencia y turbidez del agua en el mismo; así, dentro del nivel de la zona eufótica⁽⁹⁾ de la presa, la fluctuación de la turbidez del agua (véase tabla No. 29), tomada 15 cm bajo la superficie,⁽¹⁰⁾ varía del mes de junio, con 52 F.T.U. (Fotometric Turbidity Units) como valor mínimo, hasta 300 F.T.U. durante el mes de junio que es cuando se presenta mayor volumen de sólidos en suspensión, para decaer en el mes de septiembre, ascender ligeramente en octubre y, a partir de este mes, disminuir paulatinamente durante los meses siguientes, hasta el mínimo de junio (véase gráfica No. 14).

Este régimen de turbidez se ha interpretado en la siguiente forma: aunque las lluvias se inician desde el mes de mayo, sus aportes no se manifiestan en el embalse, lo que ocurre por el hecho de que las precipitaciones iniciales caen en un medio totalmente seco que absorbe o evapora de inmediato el poco volumen caído, lo que genera pocos escurrimientos cuya intensidad no alcanza la potencia suficiente para llevar hasta el embalse volúmenes importantes de sedimentos. Sin embargo, a partir de junio, cuando se establece plenamente el periodo de lluvias, las condiciones de mayor humedad e impermeabilidad del

(9) Estrato superficial del agua con suficiente penetración luminosa, de acuerdo con Odum. E. P., 1972. Ecología. Ed. Interamericana. pp:14, 332 y 363.

(10) Fideicomiso para el desarrollo de la fauna acuática. 1975 (FIDEFA) SIC. Informe técnico de la presa Ignacio Allende, Gto. México.

TABLA No. 29

DATOS DE TURBIDEZ DEL AGUA DE LA PRESA IGNACIO ALLENDE,
GTO. DURANTE EL PERIODO 1974-1975

MESES	F.T.U.*
Enero	90
Marzo	58
Abril	79
Junio	52
Julio	300
Septiembre	75
Octubre	130
Diciembre	120

* Unidades fotométricas de turbidez de muestras de agua tomadas en la superficie.
Fuente: FIDEFA. Informe Técnico de estudios de la presa Ignacio Allende, Gto. México, 1975.

TABLA

DATOS DE TURBIDEZ DEL AGU GTO. DURANTE EL PERIODO

MESES

Enero

Marzo

Abril

Junio

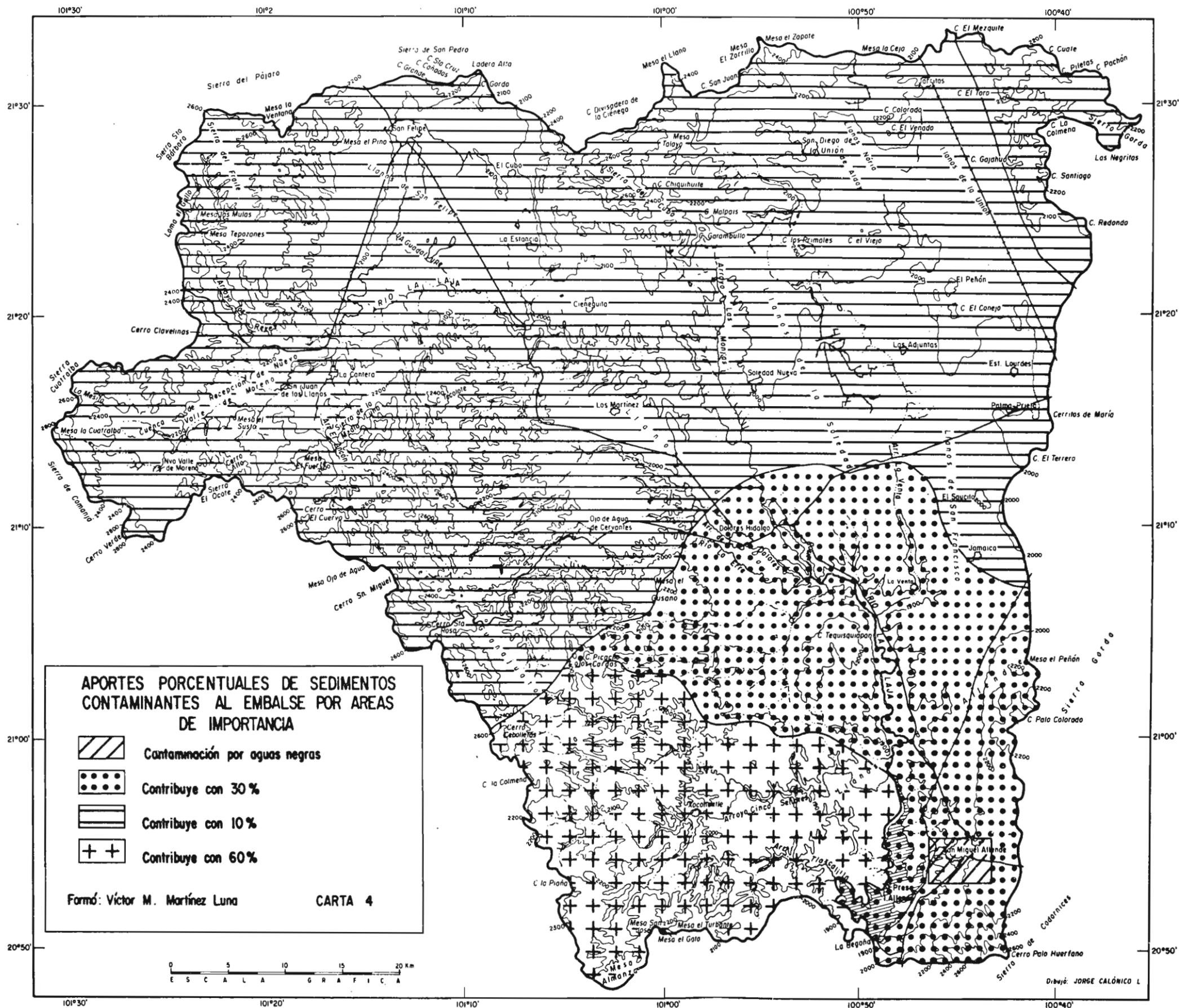
Julio

Septiembre

Octubre

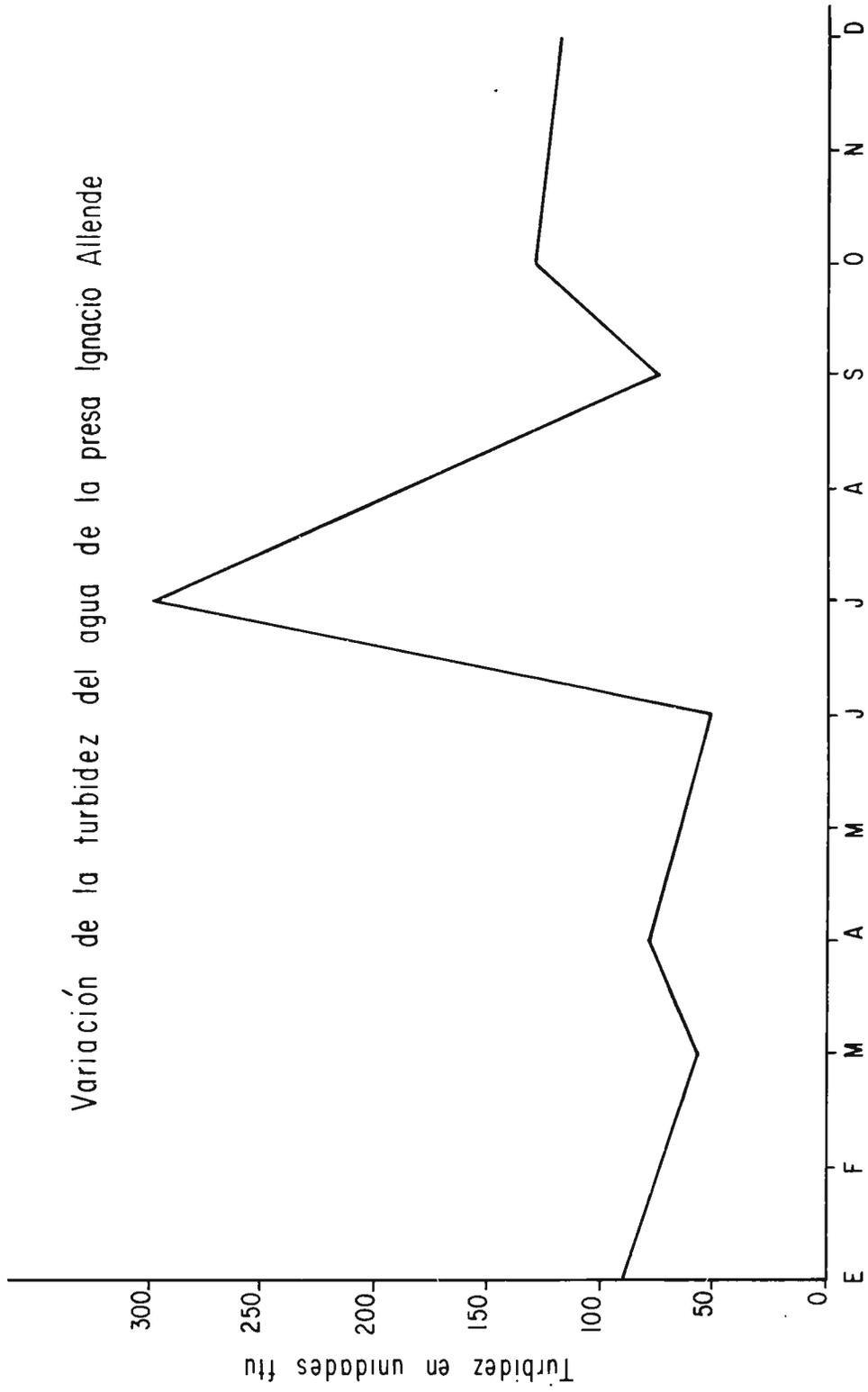
Diciembre

* Unidades fotométrica de agua tomadas en l Fuente: FIDEFA. Info la presa Ignacio All



GRAFICA No 14

Variación de la turbidez del agua de la presa Ignacio Allende



suelo generan escurrimientos mayores que penetran rápidamente a los cauces y transportan hasta el embalse importantes volúmenes de material en suspensión, lo que determina los altos valores de turbidez de julio.

A partir de este valor máximo, el decrecimiento paulatino indica que las lluvias propiciadas por perturbaciones tropicales caen en un medio tan humedo que, a pesar de su intensidad, con máximos de 100 mm en octubre, no arrastran importantes volúmenes de sólidos en suspensión en el agua. Además, el agua de estas lluvias debe ser más fría y, por tanto, más densa, de modo que su penetración al embalse debe ocurrir a cierta profundidad de la superficie, así que la turbidez que teóricamente debiera aumentar en octubre, queda estable hasta diciembre y decrece en enero.

De lo anterior se puede concluir que los mayores volúmenes de sólidos en suspensión se producen en los meses de junio y julio, con la entrada de las precipitaciones, justamente cuando las condiciones de un suelo: seco y suelto favorecen el transporte de material fino y muy fino, de tal modo que en el periodo comprendido de junio a octubre, el 99.6 % de los sedimentos entra al embalse, correspondiendo el 90 % a los meses de junio y julio, lo que desde el punto de vista biótico afecta a la piscicultura que se realiza en el embalse, toda vez que disminuye la transparencia y aumenta la demanda de oxígeno, lo que, en consecuencia, afecta al plancton y al bentos que sirven de fuente de alimento a los peces.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez determinados los factores más importantes que influyen en el funcionamiento del embalse de la presa Ignacio Allende, se concluyó lo siguiente:

A pesar de que el área de la cuenca de recepción es tan grande, los volúmenes captados y canalizados al embalse no responden al volumen de captación potencial que implica un área de tal magnitud, lo que se debe básicamente a:

1) La situación climática con tendencia a la aridez, de más de las tres cuartas partes del área de la cuenca, que determinan bajos coeficientes de escurrimiento tanto por la poca cantidad de lluvia como por el elevado coeficiente de evapotranspiración que impiden tener volúmenes adecuados de agua corriente.

2) La fuerte fractura de las sierras del sector oeste y noroeste de la cuenca favorecen la infiltración profunda de los grandes volúmenes de precipitación que ocurren en el área y que se pierden en las fracturas profundas que circunscriben estas unidades. Además, del hecho de que ya hayan desaparecido o estén en vías de desaparecer mantos de regolita y de suelos en los flancos de las sierras, elementos que actuaban como acuíferos superficiales, también ha disminuido el aporte de volúmenes surgentes de origen hipodérmico y subsuperficial que daban escurrimientos importantes posteriores a la época de lluvias y aminoraban el estiaje del río.

Con todo, sigue siendo el área de la sierra la que mayor volumen de agua aporta al gasto del río, pero este volumen está ligeramente desfasado en el tiempo, y a pesar de

ser un área de fuerte pendiente debería esperarse un almacenamiento que en los cauces fuera mínimo y en la curva de escurrimiento respondiera casi al mismo tiempo que la de precipitación. Como esto no ocurre, ya que el aporte máximo proveniente de la sierra tiene lugar durante el mes de octubre, se nota que esta unidad todavía cumple más o menos adecuadamente su papel de captación, almacenamiento y aportación con cierto equilibrio, lo que no sucede en la parte baja de la cuenca donde, a pesar de la alta densidad de la red del drenaje, el almacenamiento no existe y el régimen se hace torrencial, de manera que, a pesar de que se presentan menores volúmenes de precipitación, éstos determinan elevados volúmenes de escurrimiento de respuesta instantánea.

Esta torrencialidad arrastra la mayor cantidad de sólidos en suspensión que afectan al embalse (tanto por el volumen de sólidos precipitados como por la contaminación del agua) y en este aspecto los causantes son básicamente los arroyos que provienen de la parte central y sur de la cuenca.

Por lo anterior, se concluye que la red de drenaje de toda la parte plana de la cuenca y de las sierras limítrofes por el norte y noreste, no obedece a la cantidad de lluvia ni a la hidrodinámica que se establece en la cuenca, de manera que el parámetro morfométrico no indica nada con respecto a las condiciones actuales de funcionamiento de la cuenca, sino que es básicamente el parámetro hidrodinámico apoyado por el balance hídrico el que permitió definir cuáles son los factores principales que rigen el comportamiento de la presa y, a través de ello, poder explicar toda una serie de procesos y hechos morfogenéticos aparentemente antagónicos. Gracias a esto ahora podemos señalar que la cuenca, tanto desde el punto

de vista morfoclimático como morfoestructural, presenta etapas transicionales que la sitúan, en el primer caso, dentro de características de zonas áridas y templadas, y, en el segundo, dentro de una reactivación neotectónica que en este campo influye en el tipo de relieve y en la captación mayor de infiltraciones profundas.

Esta neotectónica es la que explica los fuertes depósitos aluviales y coluviales que le dan amplitud excesiva a los cauces, a pesar de su potencial hídrico, lo mismo que el elevado grado de disección de las corrientes efímeras que en otras condiciones provocarían una incisión mínima en el terreno. En general, éstos y otros aspectos están en un proceso de cambio por lo que no acaban de adquirir una característica definitiva, razón por la cual la cuenca se comporta como un geo-complejo con etapas disímiles de evolución. Sin embargo, y por los objetivos particulares de este trabajo, lo que más importa es lo que sucede en la parte baja y especialmente en el sector suroeste, por ser esta área, como antes se indicó, la que afecta al vaso regulador de la presa; en virtud de esto se puede concluir que las políticas de conservación y manejo de la cuenca, a plazo inmediato, deben circunscribirse a esta área (definida en la carta No. 4), por lo que respecta al control de azolves. En cambio, para la captación de mayores volúmenes de escurrimiento, las políticas de manejo, a plazo mediano, deben establecer un sistema de vasos de captación continua en la unidad de las sierras del sector oeste y noroeste.

Toda vez que se piensa que la presa cumple funciones piscícolas y recreativas, además de las de riego y control de avenidas, se recomienda, además, lo siguiente:

Obras de manejo y conservación de suelo para evitar la erosión diluvial en las subcuencas de los arroyos Tlaxcalilla y San Damián, así como en las partes media y baja del arroyo La Erre y de otros escurrimientos menores de la parte media y del oriente, cercanos a la presa. Para ello se requiere la instalación de parcelas experimentales que propendan a la detección de la erodabilidad y erosibilidad del suelo por erosión diluvial, con el fin de definir las formas más adecuadas para corregir y atenuar el fenómeno de azolves al embalse. Conjunto con esto se requiere de obras de captación de suelo y agua en los cauces, que si bien determinarían pérdidas temporales del volumen de captación del embalse, terminarán a la larga por regularizar sus aportes con aguas, con un grado mínimo de azolves. Estas acciones permitirán que la siembra de peces que se realiza en el embalse aumente la supervivencia durante los meses de mayo, junio, julio, cuando las aguas son más transparentes y menos contaminadas, lo que favorece el desarrollo del plancton.

Aunadas a estas prácticas, se deben tomar medidas de control del uso del suelo que favorezcan las políticas de manejo de cuencas. Un punto importante es el de la contaminación por agentes químicos y aguas negras que llegan al embalse y que lo afectan en grado creciente. En el caso de los primeros se requieren medidas de control del uso de fertilizantes en toda la cuenca y fundamentalmente en la depresión general, para lo cual es indispensable la coordinación con elementos de extensión agrícola a fin de conocer la dosis y uso óptimo de fertilizantes y evitar, con ello, su excedente en el suelo que se traduce por una lixiviación de sales de fosfatos y nitratos. En cuanto a las aguas negras, éstas provienen de la

ciudad de San Miguel Allende, distante 3 Km del embalse al que se vierten por el arroyo Cachinchis.

Se sugiere, por tanto, que al drenaje de San Miguel Allende se le dé un tratamiento primario y secundario de decantación de sólidos y oxidación de materia orgánica, a fin de reducir los aportes y la eutroficación en el área del embalse y favorecer la demanda de oxígeno de los peces; se requiere, también, la canalización adecuada del arroyo Cachinchis, con una penetración profunda dentro del embalse, para impedir la difusión de los contaminantes en las márgenes del mismo.

Por último, para el manejo operativo del agua de la presa, se deberán tomar en cuenta los tres aspectos básicos: riego, piscicultura y recreación, de manera que realmente la presa cumpla una función integral.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- CHOW, VEN TE, (Editor-in-Chief), Handbook of applied hydrology
A compendium of Water-Resources Technology.
Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1964.
- GARCIA, Enriqueta, Modificaciones al sistema de clasificación
climática de Köppen. Instituto de Geografía
UNAM, México, 1973.
- JAUREGUI, Ernesto, W. Lauer y D. Klaus, 1977 " Estimación de
la evaporación y evapotranspiración potencial
en la región central de México ". Revista Recur-
sos Hidráulicos. Organó Oficial de la S.R.H.
Vol. 6 No. 1, México, 1977
- LELIAVSKY, Serge, Introducción a la hidráulica fluvial. Edi-
ciones Omega, Barcelona, 1964.
- LINSLEY, Ray E. y Joseph B. Franzini, Ingeniería de los recur-
sos hidráulicos. Compañía Editora Continental,
S.A. Quinta reimpression, México, 1974.
- LEOPOLD, Luna B., Gordon Wolman y John P. Miller. Fluvial
Processes in Geomorphology. W. H. Freeman and
Company. San Francisco, U.S.A., 1964.
- LOPEZ CADENAS DE LLANO, Filiberto y Martín Blanco Criado,
Aspectos cualitativos y cuantitativos de la
Erosión Hídrica y del transporte y depósito de
materiales. Ministerio de Agricultura. Instituto
Forestal de Investigaciones y Experiencias.
Madrid, 1968.
- PLAN LERMA ASISTENCIA TECNICA (PLAT), Nacional Financiera, Ban-
co Interamericano de Desarrollo, " Meteorología".
Boletín No. 2. Guadalajara, Jal. México, 1966.
- PLAN LERMA ASISTENCIA TECNICA (PLAT), Nacional Financiera, Ban-
co Interamericano de Desarrollo, "Meteorología".
Boletín No. 5 " 30 años de lluvia en la región
Lerma-Santiago". Guadalajara, Jal. México, 1970.

PLAN LERMA ASISTENCIA TECNICA (PLAT), Nacional Financiera, Banco Interamericano de Desarrollo, " Interrelación entre los recursos suelo y agua para la programación de su mejor aprovechamiento en la cuenca alta del río de La Laja y cuenca cerrada de Laguna Seca, Estado de Guanajuato ". Primera y segunda partes. Documentos Nos. 282 y 283. Guadalajara, Jal. México, 1970.

S.R.H. Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Boletín Hidrológico No. 51. Región Hidrológica Núm. 12. (Parcial). Tomos I, III y V. México, 1978.

SPRINGALL, G. R., Escurrimiento en cuencas grandes, Instituto de Ingeniería, UNAM. Publicación Núm. 146. México, 1967.

**Esta publicación ha sido dictaminada por
la Comisión Dictaminadora del Consejo
Editorial del Instituto de Geografía.**

**El contenido y forma de esta publicación
son responsabilidad del autor.**