

01059
1ej. 2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
COLEGIO DE GEOGRAFIA**



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA MORFOMETRIA BASICA
DE DOS CUENCAS HIDROGRAFICAS**



T E S I S

QUE PRESENTA :

VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA

**FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
SERVICIO DE POSGRADO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN GEOGRAFIA**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F., ABRIL DE 1982



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INTRODUCCION

El crecimiento demográfico del país genera una mayor demanda de agua, lo cual a su vez origina nuevos problemas con respecto a su disponibilidad y aprovechamiento. A partir de este planteamiento se establece como postulado inicial la necesidad de prestar una mayor atención hacia los recursos acuáticos continentales, los cuales están en mayor relación con los asentamientos y actividades humanas. Al respecto, se reconocen los esfuerzos que se han venido haciendo para conocer el funcionamiento hidrológico de las cuencas mexicanas, por parte de diferentes dependencias gubernamentales. Así, la mayor parte de las grandes cuencas de México cuentan con un buen número de estaciones meteorológicas e hidrométricas y bastantes años de registros de datos (Orive Alba, 1970). Con esta información es posible conocer muchos aspectos hidrológicos de tipo cuantitativo, especialmente en las grandes cuencas del país.

Sin embargo, aún es incompleta la detección de datos específicos de las subcuencas que forman las cabeceras de las grandes zonas en donde se inicia la captación y escurrimiento de agua. La carencia de estos antecedentes impide, en cierta forma, conocer en muchas ocasiones la disponibilidad y comportamiento de los caudales de subcuencas pequeñas. Lo anterior se justifica plenamente debido a la existencia de un número muy grande de subcuencas en las cabeceras - muchas de ellas inaccesibles - y porque el escurrimiento particular de cada una es mínimo; además, en ocasiones, se considera que no vale la pena encausar esfuerzos, equipos y gastos para conocer estos caudales. Este criterio está plenamente justificado para muchas subcuencas de diferentes zonas del país.

La carencia de estaciones hidrométricas para conocer el escurrimiento

y la respuesta hidrológica de subcuencas pequeñas marcó el precedente para desarrollar métodos que permitan determinar los caudales correspondientes de una manera indirecta (Springal, 1969). Otros procedimientos se basan en cálculos de predicción estadística, tales como regresiones y modelos matemáticos (Kalinin, 1969); algunos más, se apoyan en los índices de infiltración y escurrimiento (Capella y Sánchez, 1967). Uno de los métodos más empleados consiste en determinar el escurrimiento por medio de una estimación basada en las dimensiones de las áreas de las subcuencas (Secretaría de la Presidencia, CETENAL, 1976).

Para realizar el método anterior, se recomienda tomar como referencia los datos hidrométricos de una cuenca aforada y efectuar, según el caso, inter o extrapolaciones con respecto al área de la cuenca que carezca de información. Se establece como requisito que ambas cuencas estén cercanas y tengan características generales semejantes en clima, área, vegetación, litología, suelos, etcétera, pero se observa que en estas comparaciones no se incluyen parámetros de la morfometría fluvial. Sin embargo, con base en los datos de estos parámetros, se efectúan las comparaciones de las cuencas y se establece un coeficiente de escurrimiento. De acuerdo con este dato se determinan los volúmenes de agua que puede aportar una cuenca no aforada.

El planteamiento anterior únicamente es correcto en apariencia y en muchas ocasiones se da por sentado que el volumen de escurrimiento de agua determinado por dicho método, es válido para efectuar balances hídricos, conocer aportes de un afluente a un colector, determinar la disponibilidad para riego, uso doméstico, etcétera. Sin embargo, cuando estos planteamientos se profundicen podrán detectarse algunas equivocaciones y por tanto determinar que la información generada es incompleta o falsa.

Con base en lo expuesto anteriormente se establece la hipótesis del presente trabajo. Esta consiste en afirmar que la morfometría y el funcionamiento hidrológico de las cuencas fluviales son siempre diferentes, aun cuando éstas sean de las mismas dimensiones, estén localizadas en una misma cuenca de mayores dimensiones, se encuentren próximas entre sí, dentro en la misma región fisiográfica y tengan el mismo tipo de clima y vegetación. En consecuencia, la forma de concentración del escurrimiento, sus volúmenes correspondientes y la respuesta hidrológica serán siempre distintos. Lo antes expuesto se puede comprobar tomando como punto de partida la medición y comparación cuantitativa de algunas características de la morfometría lineal de las cuencas hidrográficas.

La hipótesis del trabajo se apoya en una de las tendencias actuales de los estudios geomorfológicos, la cual consiste en efectuar mediciones de los distintos aspectos inherentes a las cuencas y redes hidrográficas y tratar de obtener expresiones matemáticas para emplearlas como marco de referencia en otras investigaciones (Schumm, 1977). La demostración de la utilidad que representa la morfometría es obvia en la mayor parte de los casos. Las ventajas que se pueden obtener son básicamente tres. En primer término las expresiones numéricas evitan las interpretaciones exclusivamente apreciativas, las cuales se establecen generalmente de acuerdo con el criterio y la experiencia de cada investigador (Strahler, 1974). La segunda ventaja es que las mediciones de la geometría del relieve permiten obtener una descripción del mismo que se puede manifestar mediante cantidades perfectamente definidas; lo cual a su vez permite unificar los diferentes criterios con respecto a las redes y relieves de las cuencas hidrográficas. La tercera ventaja radica en el hecho de poder establecer correlaciones o comparaciones por medio de series estadísticas correspondientes a los datos morfo-

métricos. Esto permite determinar semejanzas y diferencias entre los mismos parámetros obtenidos en distintas cuencas. Lo mismo se puede afirmar con respecto a otro tipo de información inherente a las cuencas; por ejemplo, con los datos climáticos e hidrométricos.

Lo anterior implica que, al considerar los elementos de la morfometría fluvial se pone de manifiesto, en alguna medida, la necesidad de tomarlos en cuenta para introducir una modificación en las estimaciones de los escurrimientos o incluso de otros aspectos hidrológicos.

En primer lugar, se puede establecer que para mejorar la comparación de diversas cuencas, es necesario conocer sus aspectos morfométricos lineales, superficiales y volumétricos. En segundo lugar se requiere saber hasta qué punto es válido un grado de semejanza establecido mediante una comparación de los datos numéricos aportados por la morfometría fluvial. El tercer aspecto al que se puede referir son las diferencias de la concentración hidrológica, determinado por las características de la red hidrográfica de las cuencas.

Ello permite destacar la importancia de las expresiones numéricas de parámetros lineales de una cuenca y por consiguiente disponer de una base más sólida para efectuar comparaciones estadísticas y correlaciones de diversos tipos, de acuerdo con el método inductivo de concordancia.

Para lograr la comprobación de la hipótesis de este trabajo, se diseñó un método consistente en los siguientes pasos:

1. Se seleccionó una cuenca que sirve de referencia y en donde se tiene in formación hidrométrica disponible. En este caso se escogió la cuenca del río Tlaxcalilla, afluente del río La Laja. Se le determinó exclusivamente su área, 131 km², para estar en condiciones de encontrar o deli

mitar otra cuenca con las mismas dimensiones. De momento se omitió efectuar cualquier tipo de mediciones inherentes a la morfometría de esta misma cuenca.

2. Con base en el área, se buscó una cuenca de comparación que también perteneciera a la cuenca alta del río La Laja. Se procuró que estuviera cercana y en las mismas laderas vertientes; en ambos casos las subcuenas se ubican en la parte occidental de la Sierra de Guanajuato. La cuenca que se eligió para llevar a cabo la comparación, corresponde a la cabecera noroeste, denominada como cuenca del Arroyo Grande con una superficie de 127 km². Supuestamente esta zona debía tener las mismas características o por lo menos un mínimo de variaciones.
3. En ambas cuencas se efectuaron las mediciones y cálculos morfométricos lineales y superdiciales más representativos de la red hidrográfica, de acuerdo con el criterio de A.N. Strahler (1974). En primer término se delimitaron las cuencas por medio de su divisoria en cartas topográficas en escala 1:50 000 de la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Se remarcaron y clasificaron los cauces de acuerdo a su número de orden. Se detectaron, en algunos casos, omisiones de segmentos de primer orden, mismos que se trazaron con base en las curvas de nivel, incluyéndose dentro de los aspectos a cuantificar.
4. Una vez conocida la estructura de la red hidrográfica en las dos cuencas se efectuaron los conteos, mediciones y cálculos de la morfometría lineal. Las longitudes de los segmentos de cauces se midieron por medio de un curvímetro que incluye la escala 1:50 000 en su diagrama de lecturas. El sistema de medición se hizo en forma global para cada orden, de tal modo que las lecturas de longitudes fueron acumulativas.

5. A partir de las curvas de nivel y la estructura de la red hidrográfica se trazaron las divisorias correspondientes a las subcuencas internas. Las áreas delimitadas de acuerdo con su número de orden se midieron planimétricamente y en conjunto, por medio de polígonos trazados sobre papel milimétrico. Se consideró que este método presenta más exactitud para los fines de trabajo, razón por la cual se excluyó el uso del planímetro. También en este caso las mediciones fueron en forma acumulativa y a partir de los resultados se calcularon sus parámetros geomórficos superficiales.
6. Para completar los aspectos inherentes a la superficie de las cuencas se recurrió a las cartas temáticas de la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional a la misma escala. En estas cartas se delimitaron y midieron las áreas correspondientes a la cobertura litológica, edafológica y de uso del suelo, existentes dentro del área de cada cuenca. Por supuesto se aplicó la misma técnica de medición de áreas.
7. Con los datos obtenidos se elaboraron las tablas de concentraciones de datos numéricos de una manera sistemática. Debido a la complejidad que algunas presentaron y por no considerarse de interés para el presente trabajo se omiten datos de tipo general. Asimismo, se simplificaron lo más posible todos los datos, a fin de facilitar tanto los cálculos de semejanza, como la presentación del trabajo.

A continuación se hace mención de la base teórica del estudio comparativo con respecto a dos partes de la superficie terrestre. Se estableció la semejanza existente entre las dos cuencas de acuerdo con el significado que esta palabra tiene en el sentido de ponderación y comparación. En primera instancia un estudio comparativo como el presente presupone una deter-

minación común con uno o más elementos (Kreyszing, 1979). Las cuencas hidrográficas, en general, tienden a presentar la misma forma, aunque varíen sus dimensiones; al respecto, habría que considerar que los elementos existentes dentro de las cuencas están sujetos a variaciones cuantitativas, por ejemplo la longitud de los cauces y las áreas por número de orden (Schumm, 1972).

También se consideraron los hechos por los cuales las cuencas pueden ser semejantes o diferentes entre sí. Estos aspectos dependen de otras cualidades que existen independientemente de las de su superficie, pero que son comunes a las dos cuencas estudiadas. Un ejemplo muy claro son las mediciones climáticas de ambas zonas. Por lo tanto, en el presente estudio comparativo se tomaron en cuenta tanto las propiedades morfométricas, cuyas cualidades de semejanza podrían ser más numerosas, como las cualidades de diferencia. No importa que los valores representativos de éstas últimas se hayan obtenido a partir de datos estadísticos (Guenther, 1977).

Obviamente, un estudio comparativo que toma los valores numéricos de las características morfométricas, permite establecer un grado de semejanza cuando existe una relación de término a término. En el presente trabajo las comparaciones fueron hechas de este modo, especialmente con respecto a las características que, en conjunto, se presentan por número de orden.

Para determinar el grado de semejanza entre las cuencas se recurrió al uso de un índice de comparación (Guenther, 1977), a fin de analizar los valores de las diferentes características morfométricas. El índice en cuestión se indica mediante la expresión:

$$C = \frac{N_2 - N_1}{N_2} \times 100$$

en donde, el valor de comparación, c , de dos números se establece teniendo a N_1 , como referencia y N_2 el que se va a comparar. La multiplicación por cien es para obtener el resultado como un porcentaje de comparación. La aplicación de la fórmula a las características de las cuencas consiste en tomar los valores numéricos del río Tlaxcalilla como N_1 y los del Arroyo Grande como N_2 .

Para complementar el criterio de comparación se estableció otra expresión:

$$S = \frac{N_2 \times 100}{N_1}$$

en donde se considera a las características de la cuenca de referencia, N_1 , como un total expresado en 100% y se desea saber qué semejanza, s , se tiene con la que se compara, N_2 , en forma porcentual.

Se establecieron cuatro categorías para estimar el grado de semejanza de una cuenca con respecto a la otra; de acuerdo con el siguiente criterio son: de 0 a 45, ninguno; de 46 a 65, bajo; de 66 a 85, mediano; mayores de 86, alto.

Sin embargo, debido a la distribución aleatoria de los valores de los parámetros, habrá situaciones en las cuales los índices de comparación o de semejanza sobrepasan el cien por ciento, ya sea con signo positivo o negativo. En estos casos la estimación de semejanza es regresiva con respecto al número 100; esto implicó la necesidad de establecer otros límites de tolerancia con respecto a este último valor. Así, para considerar un alto grado de semejanza se establece una variación entre 115 y 120%, y mediano de 120 a 135%. Cuando los valores sobrepasan a esta última cifra se considera que las cifras dejan de ser significativas dentro de los límites de tolerancia estimados para comparar la semejanza de las cuencas. Así, los valores

establecidos como umbrales guardan cierta proporción de alejamiento con el conjunto de valores inferiores al número 100, mismos que definen a cada categoría.

Los cálculos descritos se aplicaron a cada uno de los parámetros o propiedades morfométricas y de esta manera se pudieron apreciar diferencias y semejanzas para realizar el estudio en cuestión. Al final, de una manera general, se efectuó una evaluación subjetiva de la semejanza; se realizó de esta forma debido a que se desconoce la diferente ponderación que tiene cada uno de los aspectos morfométricos dentro del conjunto. Sin embargo, se considera que el peso global que estadísticamente tienen es bastante representativo.

Por otra parte, cabe mencionar que al efectuar la revisión bibliográfica y documental existente, al menos en lo referente a México, no se encontró otro trabajo o investigación alguna que trate el tema con este enfoque.

CAPITULO I

CUENCAS DE ESTUDIO: RIO TLAXCALILLA Y ARROYO GRANDE

El río Tlaxcalilla y el arroyo Grande forman parte de la cuenca alta del río de La Laja, afluente importante del río Lerma dentro del Estado de Guanajuato (mapa 1). La cuenca alta del río La Laja, considerada hasta la cortina de la presa "Ignacio Allende" (Martínez 1980), se localiza entre los paralelos $21^{\circ}33'28''$ N en el extremo septentrional y $20^{\circ}48'07''$ N, en la porción sur. En lo referente a la longitud con respecto a Greenwich se encuentra entre los meridianos $100^{\circ}35'39''$ W, hacia el oriente y $101^{\circ}30'27''$ W en la parte occidental. Esta cuenca se sitúa en el centro-sur del país, en la parte austral de la Altiplanicie Mexicana; la sierra de Guanajuato sirve de límite por el occidente y el sur, con la región del Bajío; en esta última zona es donde se desarrolla la cuenca baja del río La Laja hasta desembocar el río Lerma.

La cuenca alta del río de La Laja, donde se encuentran las subcuencas a estudiar, presenta una forma semejante a un trapecio cuya divisoria de aguas tiene, como límite natural, las siguientes características: al norte la orientación general del umbral es de oeste a este y constituye el límite con la subcuenca del río Bravo, afluente del río Pánuco el cual a su vez, pertenece a la vertiente del Golfo de México. La línea divisoria de las aguas recorre, de oeste a este, la sierra del Pájaro, así como las pequeñas elevaciones ubicadas en los llanos de San Felipe, prosigue por la sierra de San Pedro, la sierra del Cubo y el lomerío de los llanos de La Unión hasta entroncar con las estribaciones del noroeste de la sierra Gorda.

Los límites de la parte oriental tienen una orientación aproximada de norte a sur en donde el relieve es menos abrupto, dado que en una parte lo

integran las estribaciones de la sierra Gorda, por el norte, lomeríos de los llanos de La Unión y San Francisco; únicamente en la porción sur hay algunas elevaciones notables correspondientes a la sierra de Codornices. Destaca en esta parte el cerro El Picacho, con 2 870 m.s.n.m.; a partir de esta elevación se forma el parteaguas sur, con una orientación general de este a oeste; la divisoria de las aguas se localiza en las estribaciones de la sierra de Codornices hasta entroncar con las montañas del sureste de la sierra de Guanajuato, en el extremo sur occidental de la cuenca. El límite occidental se inicia a partir de este último lugar, tiene una orientación de sursureste a nornoroeste y se desarrolla sobre las partes altas de la sierra de Guanajuato, siguiendo los pequeños sistemas orográficos denominados El Ocote, Comanja, Cuatralba, El Fraile y de Santa Bárbara.

Los parteaguas más abruptos y elevados de la cuenca alta del río La Laja, se ubican en la parte occidental y meridional, en correspondencia con las laderas occidentales de la sierra de Guanajuato. Es precisamente en estas regiones en donde se localizan las dos subcuencas en estudio (mapa 2), la de referencia, del río Tlaxcalilla se encuentra en la porción centro-sur, vertiendo sus aguas directamente a la presa Ignacio Allende. La cuenca en comparación, la del arroyo Grande se ubica en una porción que sobresale en la parte de noroeste.

Localización geográfica de la cuenca del río Tlaxcalilla es la siguiente:

- 1) Latitud extrema norte $20^{\circ}56'29''$ N, en la cabecera del arroyo El Salitre, a 1 990 m.s.n.m.; latitud extrema sur $20^{\circ}50'32''$ N, cerca de la cabecera del arroyo La Cañada, a 2 180 m.s.n.m.
- 2) Longitud extrema oriental $100^{\circ}50'00''$ W.S., al NE, de la cabecera de la

cuenca, a 1 910 m.s.n.m., en la cabecera oriental de un afluente del arroyo El Salitre; longitud extrema occidental 101°01'00" W.G., en la mesa San José, cabecera del arroyo El Turbante, a 2 400 m.s.n.m.

- 3) Las coordenadas del punto considerado como límite inferior del cauce del río Tlaxcalilla y desembocadura al vaso de captación de la presa Ignacio Allende, Gto. son: latitud 20°53'29" N; longitud 100°50'55" W.G., y altitud 1 835 m.s.n.m.

La cuenca del río Tlaxcalilla presenta una forma alargada sensiblemente rectangular en el oriente y semielíptica en el poniente con una orientación aproximada de WSW a ENE, de las partes altas de su cabecera hacia las planicies próximas a la desembocadura. Siguiendo este eje alcanza un largo máximo de 20.5 km.

Por la forma de la cuenca, la anchura tiende a ser uniforme en la parte oriental; oscila entre 6.5 km a 8.0 km. En el occidente alcanza una anchura máxima de 10 km disminuyendo paulatinamente hacia la cabecera.

Clima

Para indicar el clima existente en esta cuenca se recurrió a las cartas de clima de la zona en estudio (García, 1973) y al estudio local de la cuenca (Martínez, 1980). En las cartas correspondientes a este aspecto (mapa 3), se observan las siguientes características generales.

Con respecto a la temperatura la línea isoterma de 17° cruza a la cuenca del río Tlaxcalilla, en la porción que se localiza hacia la parte occidental, en la zona del talud de transición. Este temperatura puede considerarse como representativa de toda la cuenca.

La precipitación de la cuenca del río Tlaxcalilla se encuentra indicada por las líneas isoyetas de 700 y 800 mm. La primera se localiza hacia

la porción noreste en coincidencia con la planicie próxima a la desembocadura. La isoyeta de 800 mm cruza la parte occidental de la cuenca en la zona del talud de transición y en la proximidad de las montañas.

Los tipos de climas existentes en la cuenca del río Tlaxcalilla son dos de acuerdo con estudios de Enriqueta García (1973); el seco e estepario, BS, localizado en las partes centrales y orientales. Cubre aproximadamente dos terceras partes del área total, coincide básicamente con una parte del talud de transición y con las planicies de la cuenca. En la zona occidental de la cuenca correspondiente a las partes altas, el clima es templado subhúmedo C (w_1) y comprende partes del talud de transición y de las zonas montañosas.

Las formas del relieve de acuerdo con el criterio de regionalización fisiográfica para el Estado de Guanajuato, dado por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (1980), la porción septentrional de la cuenca del río Tlaxcalilla se localiza en la porción sureste de la región denominada Mesa del Centro. La parte meridional de dicha cuenca se encuentra muy próxima a las laderas del norte del Sistema Volcánico Transversal, cuyas estribaciones forman las laderas del sur de la cuenca del río Tlaxcalilla. Las cabeceras más altas, ubicadas en la parte occidental de la cuenca, se localizan en coincidencia con una zona de mesetas de la sierra de Guanajuato. Las cabeceras laterales, tanto de las márgenes izquierda y derecha pertenecen a la parte norte y sur, respectivamente y se forman en zonas de lomeríos de la Mesa Central.

La cuenca del río Tlaxcalilla (mapa 4) se localiza en el extremo suroeste de la cuenca alta del río La Laja y su parte aguas meridional se encuentra sobre las partes más altas (2400 m.s.n.m.) del sureste de la sierra de Guanajuato; a partir de estas elevaciones va descendiendo paulatina-

mente hacia el norte en donde se localizan otras subcuencas y planicies del centro de la cuenca del río La Laja (1850 m.s.n.m.). Las laderas del norte tienen poca elevación y su divisoria correspondiente se desarrolla en lomeríos de formas suaves, en donde se forman las cabeceras de sus subcuencas. El sistema fluvial de esta última parte de la cuenca tiene poca importancia debido a que en gran parte, su ubicación corresponde a la planicie del centro sur de la cuenca del río La Laja, a menor altura y con menos captación de lluvias.

En cuanto al relieve inherente a la cuenca del río Tlaxcalilla se pueden observar en términos generales cuatro zonas: la zona montañosa, el talud de transición, los lomeríos y las elevaciones aisladas.

Las montañas principales forman el parteaguas que circunscribe a la cuenca y alcanzan hasta 2 500 m.s.n.m. en la cabecera, localizada en la porción sureste. A partir de este sitio las elevaciones montuosas van disminuyendo hasta llegar a lomeríos que en la desembocadura tienen 1 850 m.s.n.m. La diferencia de alturas es de 650 m entre las partes más elevadas y las de menor altitud.

Conviene mencionar que, de las montañas que forman la divisoria de aguas, la parte más abrupta se localiza en las laderas de las partes ubicadas al occidente; las otras montañas que forman el parteaguas tienden a presentar formas suaves. Es precisamente en las zonas montañosas de más altitud en donde se puede observar un alto grado de densidad de cauces de primer orden y en donde la red hidrográfica presenta mayor definición. A partir de los escurrimientos de esta zona se forman los cauces principales, mismos que se definen de quinto orden en el colector principal. En esta misma zona de montañas, la disección fluvial es bastante marcada por barrancos de mayor pendiente y algo de profundidad.

La zona del talud de transición se localiza entre los 2100 y 1900 m.s.n.m.; estrictamente hablando sólo se presenta alrededor de las montañas más altas localizadas al suroeste y en el centro norte. En el talud se encuentran cauces que tienen menos pendiente, y en el mapa correspondiente se puede apreciar cómo disminuye la densidad.

En cuanto a los lomeríos, éstos se pueden distinguir claramente en dos porciones, una se encuentra ubicada hacia el centro sur de la cuenca, en el lugar donde se forma el arroyo La Cañada; la otra parte se localiza en el extremo oriental de la cuenca en donde se ubica el arroyo El Salitre. Estos arroyos constituyen los principales afluentes del río en cuestión.

En la primera zona de lomeríos se puede apreciar una menor densidad de drenaje, aunque los cauces tienden a presentar una disección vertical notable. En la zona del arroyo El Salitre los lomeríos son menores, por lo cual esta subcuenca se puede considerar como una pequeña peniplanicie y puede apreciarse una baja densidad de drenaje, con una disección vertical poco marcada.

Finalmente, se encuentran las elevaciones aisladas relacionadas orográficamente con las montañas que forman la divisoria general, las cuales en algunos casos tienen mayor altitud. Entre estas elevaciones destaca la Mesa del Turbante, de cerca de 2 500 m.s.n.m. localizada en el suroeste, a partir del cual se forma un pequeño sistema de drenaje radial, cerca de la cabecera de la cuenca. Existen otras elevaciones aisladas dentro del área, aunque son de poca importancia por su altura, por lo que afectan en forma mínima al desarrollo del sistema hidrográfico interno.

Litología

En lo que se refiere a la litología de la cuenca del río Tlaxcalilla (mapa 5), se observan varias coberturas de rocas. Destaca la predominancia

de dos materiales; el primero está constituido por tobas y abarca 62 km², mismos que representan el 47.3% del área total. El material tobáceo se localiza en las partes centro y sur de la cuenca, en coincidencia con las montañas un poco más altas y parte del talud de transición.

En segundo término se tiene la superficie cubierta por areniscas conglomeráticas en una área de 53 km², equivalentes al 40.7% del área total. Esta agrupación litológica se localiza hacia las porciones orientales de la cuenca y en el extremo noroeste; coincide con las zonas montañosas menos elevadas y se extiende hacia las partes bajas de la cuenca.

Existen otras áreas cubiertas con otros materiales pero son muy pequeñas en comparación con las anteriores. Así se tiene la superficie de materiales aluviales, los cuales se localizan únicamente en las partes correspondientes al cauce principal con una mayor acumulación en la proximidad de la desembocadura. También se presenta una pequeña área de basaltos localizada, en la parte suroeste, en coincidencia con la mesa El Turbante. Las rocas ígneas extrusivas ácidas, del tipo de la riolita, también se encuentran en algunos lugares de esta misma zona. Finalmente se tiene una pequeña superficie en donde afloran lutitas arenísticas; éstas se localizan en la cabecera lateral izquierda y se extienden hasta la proximidad del cauce principal.

Suelos

Con respecto a la cubierta edáfica de la cuenca del río Tlaxcalilla, es poco lo que se puede indicar. En el mapa de suelos (mapa 6) se observa la existencia de una uniformidad edáfica. Predominan los suelos de tipo feozem que abarcan 103.8 km². Los litosoles se encuentran únicamente a lo largo de los afluentes localizados en el centro sur de la cuenca y cubren una superficie de 22.4 km². En lo referente a los fluviales, éstos sólo se

manifiestan en una pequeña área localizada en el colector principal.

Como simple observación se tiene el hecho de que en algunos sitios los suelos tienen una distribución aparentemente sin relación con la cobertura litológica.

Uso del Suelo

En relación con la edafología se tiene el uso que se le da al suelo, lo cual es importante para detectar posibles aspectos que pueden afectar de alguna manera el ciclo hidrológico local. Así se tiene que, debido a las condiciones topográficas y edafológicas, en la cuenca del río Tlaxcalilla predomina el uso pecuario, cuya base son los pastizales, en 82 km². En el mapa de uso del suelo (mapa 7) se puede observar que la actividad ganadera se distribuye prácticamente en toda la cuenca, incluso en algunas partes montañosas. Después se tienen las zonas dedicadas al uso forestal, con base en la explotación arbórea, en 27 km². Estas áreas se localizan principalmente en las partes montañosas de la cabecera, en el extremo suroeste, así como a lo largo de algunas cañadas bastante amplias ubicadas en el centro occidental de la cuenca. Las superficies dedicadas a la agricultura cubren únicamente 17 km²; se encuentran distribuidas casi totalmente a lo largo del colector principal, en particular en las partes planas y bajas. También se tienen actividades agrícolas en las mesas próximas al parteaguas y en algunas de las elevaciones menores.

También, es conveniente mencionar, la existencia de superficies desprovistas de vegetación; algunas de estas áreas se localizan cerca de la cabecera central, tanto en las partes altas como en las pequeñas cañadas en donde se encauzan los escurrimientos iniciales. La ausencia de vegetación se debe tanto a causas naturales como a las inducidas por el hombre. Entre las primeras se tienen las sequías prolongadas, las arroyadas que ocu-

rran en la zona de captación y los incendios naturales. En los aspectos inducidos se tiene el proceso de roza, tumba y quema efectuado para ampliar las áreas agrícolas y además la ganadería de caprinos y ovinos que se practica en la región.

Red Hidrográfica

La red hidrográfica del río Tlaxcalilla (mapa 8) presenta un avenamiento de tipo denchrítico en la mayor parte de la superficie de la cuenca; este aspecto suele presentarse en los lugares donde existe poca variación litológica. Sin embargo, se puede apreciar una tendencia a un avenamiento pinnado en la porción meridional de la cuenca, originado posiblemente por influencia litológica. El colector principal se localiza hacia la parte norte de la cuenca y la red hidrográfica no presenta simetría con respecto a la forma de la cuenca ni con las divisorias. El colector principal se define en un tramo relativamente corto, comprendido entre la cabecera central y el lugar donde se inicia y continua como cauce de quinto orden.

Procesos Geomorfológicos

Los procesos de la dinámica geomorfológica únicamente se mencionan en términos generales, por no corresponder al carácter de la investigación; sin embargo, se reconoce la importancia que en un momento dado podrían tener en una comparación de carácter cualitativo. En las partes de las montañas se detectan procesos de erosión hídrica de ligera a fuerte, en función de la litología local y del grado de pendiente. También se observan movimientos de masa, principalmente coluviamiento y algunos derrumbes. En algunas áreas en donde la densidad de la cubierta vegetal es baja tienden a presentarse procesos de erosión edólica.

Subcuencas Internas

Se considera que es conveniente tener una idea del desarrollo de las subcuencas, tanto del río Tlaxcalilla como del arroyo Grande a fin de establecer y observar la distribución de la red hidrográfica y la manera como se va integrando. Para este fin se hace una descripción de cómo se van presentando los conjuntos de subcuencas por orden jerárquico.

Al analizar el mapa de las subcuencas de primer orden, ubicadas dentro de la cuenca del río Tlaxcalilla, se observa la distribución de las áreas que contribuyen con su escorrentía inicial a la formación de los cauces de primer orden (mapa 9). Destaca claramente la continuidad de subcuencas de esta jerarquía localizadas en la divisoria septentrional; esto representa una mayor disección en la cabecera lateral, originada por las características orográficas, de geformas suaves y por la presencia de un material de mediana resistencia a la erosión, como son las areniscas y los conglomerados.

En cambio, el parteaguas sur tiene discontinuidades; aquí las subcuencas se desarrollan sobre tobas, las elevaciones son mayores y el relieve es más abrupto; sin embargo, la disección lineal es semejante a la que se detecta en zona norte. En la cabecera central, que es la más alta, localizada en la porción suroccidental, las subcuencas de primer orden presentan un conjunto pequeño, pero continuo, el cual se desarrolla en materiales basálticos y de rocas ígneas como la riolita. Las longitudes de los cauces de primer orden correspondientes a estas subcuencas se aprecian en el mapa ligeramente mayores. Hacia el centro del área en estudio las subcuencas de primer orden siguen la alineación de los cauces principales, pero sin formar una continuidad. Es conveniente indicar que éstas últimas son subcuencas de primer orden perfectamente definidas y no se pueden considerar como

interfluvios.

Las áreas de las subcuencas de primer orden, son de 0.10 km^2 en promedio. En el mapa correspondiente se puede observar la existencia de algunas diferencias en sus dimensiones aunque no tan marcadas como en otros órdenes. Las subcuencas de la cabecera central, formadas sobre materiales volcánicos presentan las mayores dimensiones en comparación con las de otros lugares, incluso cercanos. Otras subcuencas de esta misma jerarquía pero de superficies un poco más grandes en extensión, se localizan en la porción central sobre materiales tobáceos; algunas de este mismo tipo se encuentran en el extremo noroeste de la cuenca del río Tlaxcalilla.

Las subcuencas próximas a la divisoria meridional presentan dimensiones medias. Las subcuencas próximas al parteaguas del centro-norte son, en comparación con las que anteceden, de menores dimensiones; se desarrollan sobre areniscas y conglomerados en relieves de formas suaves. Hacia el centro del área en estudio, las dimensiones de las subcuencas de primer orden y la continuidad que tienen, presenta un aspecto bastante heterogéneo, lo cual se debe a la variación de la litología, de la pendiente y cambios en el relieve local.

Por lo expuesto anteriormente, sólo se puede afirmar que un conjunto de subcuencas de primer orden, con mayores dimensiones, corresponde a zonas de relieve suave y de poca altitud, independientemente del tipo de litología. El segundo conjunto de subcuencas de mayor extensión corresponde a materiales volcánicos asociados a un relieve más abrupto.

De los conjuntos de subcuencas de primer orden y los interfluvios adyacentes se integran las subcuencas de segundo orden. En la distribución espacial correspondiente a esta jerarquía (mapa 10) se aprecia la integración del escurrimiento con respecto a las áreas de captación. Es notable

la continuidad de subcuencas en el parteaguas del norte y en la cabecera central, localizada al occidente. En cambio, en la divisoria meridional, las subcuencas de segundo orden se presentan en forma aislada. Hacia el centro de la cuenca del río Tlaxcalilla generada por las elevaciones aisladas se aprecia otro conjunto de subcuencas, mismas que forman uno de los afluentes notables del colector central.

En cuanto a las dimensiones de las áreas que abarcan las subcuencas de segundo orden se aprecia una heterogeneidad. El conjunto de superficies es variable en cuanto a su área, por lo que el promedio, de 0.57 km^2 , no puede considerarse representativo. Las mayores subcuencas de este orden se localizan al noreste y sureste aunque también hay algunas en la parte central. Las áreas correspondientes a los afluentes principales, dentro de este segundo orden, permanecen algo indefinidas como superficies de escurrimiento hacia algunos cauces. Obviamente conforme se incrementa el área de las subcuencas, la variación de la cobertura litológica dentro de ellas empieza a ser mayor, aunque en esta jerarquía no se aprecia una definición exacta.

En el mapa de subcuencas de tercer orden (mapa 11) continúa la definición de áreas de escurrimiento hacia los cauces principales. Las superficies medias tienen un valor de 3.19 km^2 y tiende a presentar menor oscilación con respecto a los dos primeros órdenes, esto es, se presenta una tendencia estadística más definida.

Destacan como grandes subcuencas las que se encuentran en el occidente y en el extremo noreste. En estas áreas la disección es menor y los cauces de esta jerarquía tienden a una longitud mayor; es posible que esto se deba a una influencia litológica que controla parcialmente a la disección.

Las subcuencas de tercer orden que tienen menores dimensiones corres-

ponden, en parte a zonas de materiales con menor resistencia a la erosión y con cierto grado de permeabilidad. Debido a lo anterior existe una mayor disección fluvial y en consecuencia se originan subcuencas de tercer orden en forma abundante, mismas que abarcan áreas de poca extensión.

Se considera conveniente mencionar que a partir del tercer orden las superficies de las subcuencas abarcan partes muy diversas de la cuenca del río Tlaxcalilla. Lo mismo se les localiza en las montañas que en el talud de transición o en la planicie, aspecto que casi no se presenta en las de primero y segundo orden. Esto se justifica por el crecimiento de las áreas de captación.

Finalmente, se tienen las subcuencas de cuarto orden (mapa 12), que en conjunto con los interfluvios restantes integran finalmente a la cuenca en estudio que corresponde al quinto orden. En este mismo mapa se aprecian con bastante claridad las subcuencas que integran tanto a las de cuarto como a las de quinto orden que engloba a todos los interfluvios. Las confluencias de las principales subcuencas-vertientes se tienen hacia la porción del centro norte, en donde se encuentran la cabecera central y define al colector de más importancia. Se observa que dicha cabecera abarca una amplia zona del parteaguas, tanto del suroeste como de la parte occidental.

Es notable la diferencia de las subcuencas de este orden, ya que la segunda presenta dimensiones bastante menores con respecto a la que antecede. Además se observa que es una superficie cuyos escurrimientos se generan en el interior de la cuenca, sin aportaciones hídricas desde el parteaguas general, por lo tanto, debe tener un escurrimiento menor. La confluencia de las subcuencas de cuarto orden se encuentra aproximadamente a un tercio de la distancia existente de la cabecera a la desembocadura y va

recibiendo los escurrimientos de las otras cuatro subcuencas de cuarto orden. Las dimensiones de éstas últimas son bastante variadas, por lo que estadísticamente no son representativos.

Para finalizar se puede decir que el quinto orden de jerarquía, asignado a toda la cuenca de referencia, alcanza su desarrollo de una manera normal. Esto último puede afirmarse de acuerdo con el análisis de la recta trazado en función de la relación de áreas correspondiente a esta cuenca; en ella puede observarse la tendencia de los puntos a formar una alineación definida (gráfica 6).

Ciclo Hidrológico

1) Precipitación

Con base en los estudios de la cuenca alta del río La Laja (López R., 1973; Martínez L., 1980) se estima que el valor de la precipitación media anual de la cuenca del río Tlaxcalilla es de 750 mm. Esta lámina de lluvia cubre una superficie de 131 km² y genera un volumen pluvial de 98.3 millones de metros cúbicos.

2) Escurrimiento

Como antes se indicó, la cuenca del río Tlaxcalilla fue tomada como referencia entre otras cosas por contar con registros de escurrimiento.

Los datos del aforo de la cuenca se tomaron de los registros hidrométricos de la estación González (SRH, 1973). Esta última estuvo localizada a 10.5 km al WSW de San Miguel Allende y a 4.3 km aguas arriba de la confluencia que formaba el río Tlaxcalilla con el río La Laja. En la actualidad este lugar se encuentra cubierto por aguas, en un brazo del área embalsada por la presa Ignacio Allende.

La estación hidrométrica González se instaló a fin de conocer el régimen hidrológico del río Tlaxcalilla, cuyas aguas fluyen hacia el río La

Laja y así contribuir en los estudios y proyectos para la construcción de la presa Ignacio Allende. Los registros de esta estación hidrométrica comprendieron un lapso relativamente corto, las lecturas empezaron el 1 de septiembre de 1961 y se suspendieron en septiembre de 1968, un poco antes de iniciarse la retención de aguas en la presa. Los aforos se complementaron con detecciones de sólidos en suspensión.

Conviene indicar que para este trabajo sólo se analizó el funcionamiento de la estación hidrométrica González con base en los registros de años completos. Esto fue con el propósito de unificar las series estadísticas. Los datos incluidos en los cuadros estadísticos comprenden únicamente los seis años de registros completos, de 1962 a 1967.

La primera tabla numérica de concentración de datos se refiere a los volúmenes de escurrimiento medio mensual (tabla 1), en miles de metros cúbicos y se complementa con la gráfica número uno.

La tabla 2 muestra los gastos medios mensuales detectados en la estación, en metros cúbicos por segundo, también complementada con la gráfica 2.

En promedio, el volumen de escurrimiento medio anual es de 10.8 millones de metros cúbicos.

En lo referente a los volúmenes de escurrimiento puede observarse la variación que tiende a ocurrir en el transcurso del año. En los primeros meses se parte de cero. Los escurrimientos comienzan realmente en junio como respuesta a las primeras lluvias que se presentan en la región y alcanzan el 15.7% del total anual. Inmediatamente se presenta una ligera disminución, al 12.8%, en el mes de julio, volviéndose a incrementar hasta alcanzar los valores máximos en septiembre. En este mes el escurrimiento asciende en promedio a 2.9 millones de metros cúbicos, equivalentes al 26.8% del

total anual. Después se inicia una declinación bastante marcada hasta que cesan completamente los escurrimientos en el mes de noviembre; este último comportamiento se prolonga hasta mediados de mayo.

Otra observación que se pone de manifiesto en las tablas es la irregularidad del escurrimiento, lo mismo mensual que anual. Se tienen variaciones muy notables en las cifras correspondientes a los seis años durante los cuales funcionó la estación.

En estos datos se pueden observar variaciones notables, así por ejemplo, el año de 1962 fue bastante lluvioso, por lo cual el gasto y el escurrimiento registrados tienen valores altos. Estas últimas cifras casi cuadruplican a los valores correspondientes al año de 1963. Sin embargo, a pesar de lo escaso del conjunto numérico y las variaciones que se presentan se puede tener una idea del fenómeno, aunque no necesariamente para tenerla como base en el estudio comparativo.

Al analizar los datos de los gastos y de los volúmenes medios de escurrimiento se observa en términos generales que durante seis meses el río Tlaxcalilla tiene un verdadero funcionamiento. También destacan notablemente las grandes oscilaciones que tienen los caudales, desde el estiaje hasta los máximos escurrimientos. En el hidrograma anual (gráficas 1 y 2) se puede observar que, después de iniciado el escurrimiento, se alcanza un primer pico en el mes de junio. Según los datos estadísticos sigue una disminución parcial en julio para después alcanzar el máximo en septiembre. También se nota que, a partir de este último mes, los valores decrecen rápidamente hasta ser completamente nulos entre noviembre y abril.

La tabla y la gráfica correspondientes a los gastos medios mensuales de escurrimiento (m^3/seg) de la cuenca del río Tlaxcalilla presentan, como es obvio, un paralelismo con sus correspondientes volúmenes de escurrimien-

to. Se nota claramente que los caudales son de poca importancia y nulos en algunos meses. En promedio los mayores gastos, hasta de $2.27 \text{ m}^3/\text{seg.}$, se presentan con más frecuencia durante los meses de agosto y septiembre, con cierta prolongación hasta la primera quincena de octubre.

Cabe indicar que durante los años en que funcionó la estación González se detectaron, en 1962, gastos excepcionalmente elevados. En el mes de junio de ese año incluso se alcanzan $3.091 \text{ m}^3/\text{seg.}$, que es el valor máximo de los gastos registrados durante el lapso estudiado. En julio de 1962 se tuvieron $1.045 \text{ m}^3/\text{seg.}$, cifra bastante alta en comparación con las registradas en esos mismos meses durante los siguientes años.

Evapotranspiración

La evapotranspiración media anual se determinó con base en los datos de la temperatura y precipitación medias anuales de la zona: estos valores están indicados por las líneas isotermas e isoyetas de las cartas de climas que cubren el área de la cuenca alta del río La Laja (Martínez, L., 1980). Para el cálculo de la lámina de evapotranspiración media anual se recurrió a la fórmula de Turc (Remenieras, 1974). Se considera que dicha expresión es adecuada para las condiciones geográficas de esta zona del país.

De acuerdo con la fórmula:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{(P)^2}{L^2}}}$$

En la que:

E = Lámina de evapotranspiración en milímetros.

P = Precipitación media anual en milímetros.

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$

En donde:

T = Temperatura media anual en grados centígrados.

En el área de la cuenca del río Tlaxcalilla se tiene una temperatura media anual de 17°C y una precipitación de 750 mm anuales por lo que al substituir queda:

$$E = \frac{750}{\sqrt{0.9 + \frac{(750)^2}{L^2}}}$$

En donde:

$$L = 300 + (25) (17) + (0.05) (17)^3$$

Por lo tanto la lámina de evapotranspiración estimada para la cuenca del río Tlaxcalilla es:

$$E = 614.75 \text{ mm}$$

Esta lámina corresponde a 80.5 millones de metros cúbicos.

Infiltración

El cálculo exacto del volumen de infiltración no es factible, dado que se carece de registros piezométricos dentro de la zona. Tampoco es factible realizar una estimación general debido a la variedad litológica y edáfica que se presenta en la superficie de la cuenca.

Sin embargo, es conveniente indicar que la infiltración que existe en la cuenca del río Tlaxcalilla es alta debido a que el 47.3% de su área está cubierta por tobas. Este material presenta características de porosidad que le permiten una absorción muy alta de agua. Además en un 40.7% del área, se tienen las areniscas conglomeráticas, las cuales tienen menor capacidad de infiltración, con respecto a las tobas, sin embargo también es considerable. En la parte correspondiente al balance hidrológico se determina en forma indirecta el volumen medio anual de infiltración.

Balance Hidrológico

La expresión más simple del balance hidrológico tiene como base a la

expresión:

$$P = Q + E + I$$

en donde la precipitación (P), representa el ingreso de agua a la cuenca y el escurrimiento (Q), la evapotranspiración (E) y la infiltración (I), constituyen los egresos de agua hacia afuera de la cuenca a través de la desembocadura. No se consideraron otros aportes como los manantiales ni posibles almacenamientos subterráneos.

La infiltración se determinó a partir de la precipitación, el escurrimiento y la evapotranspiración: $I = P - (Q + E)$.

Con base en lo anterior se tienen las siguientes cantidades de agua en millones de metros cúbicos y el porcentaje correspondiente.

Volumen	P	Q	D	I
	98.3	10.8	80.5	7.0
Porcentaje	100.0	10.9	81.9	7.1

De acuerdo con las cifras anteriores los volúmenes medios de cada proceso pueden considerarse válidos; de éstos, los verdaderamente determinados instrumentalmente por observaciones son únicamente la precipitación y el escurrimiento. Aunque los períodos de observación no sean exactamente los mismos y a pesar de que los volúmenes de evapotranspiración comprendan las cuatro quintas partes de los egresos de agua, esta cantidad puede considerarse aparentemente normal en una zona árida (Kalinin, 1969).

CUENCA DEL ARROYO GRANDE

Localización

La cuenca del arroyo Grande se encuentra ubicada en el extremo noroeste de la cuenca alta del río La Laja. Su divisoria occidental corresponde en esta zona a las partes más elevadas de la sierra de Guanajuato, algu-

nas de las cuales casi llegan a 3 000 m.s.n.m. Debido a la posición geográfica y a la orografía, esta cuenca posee una cabecera muy amplia, en forma de media luna, cuya divisoria sigue un arco que se inicia en la parte centro-norte, dirigiéndose, en sentido inverso, hacia el centro-oriente por las partes altas de la sierra de Guanajuato. Desde estas montañas se inician los principales escurrimientos que confluyen hacia la planicie de Nuevo Valle de Moreno.

Debido a que los límites de la parte baja se establecieron de manera convencional, el área de captación de la cuenca del arroyo Grande tiene su forma un poco distinta a la que presentan la mayoría de las cuencas. El área delimitada está constituida por dos subcuencas de quinto orden, teniendo como límite inferior al punto donde confluyen sus respectivos cauces. La subcuenca del arroyo San Antonio abarca la parte septentrional, tiene aproximadamente 10 kilómetros de largo entre su cabecera y la desembocadura; la anchura es variable, con 7 kilómetros por término medio. La otra subcuenca del arroyo La Cardona, se ubica en la parte sur del área en estudio; tiene 10 kms de largo y 9 de ancho.

Una vez integrada la cuenca del arroyo Grande por las dos subcuencas antes mencionadas, se obtuvieron las siguientes dimensiones: 12 kilómetros medidos de este a oeste, de la cabecera a la desembocadura; 17 kilómetros del extremo norte al extremo sur. No existe una coincidencia de largo y ancho con el desarrollo de la cuenca, desde las partes altas a la desembocadura.

En cuanto a la posición geográfica, la cuenca del río Tlaxcalilla tiene las siguientes coordenadas.

- 1) Latitud extrema norte 21°18'00" N, al NE del caserío La Frontera, a 2 610 m.s.n.m.; latitud extrema sur 21°09'19" N, al sur del caserío

Derramadero, a 2 400 m.s.n.m.

- 2) Longitud extrema oriental 101°22'30" WG, en el cerro sin nombre en la sierra El Ocote, a 2 620 m.s.n.m.; longitud extrema occidental 101°30'45" WG, en la mesa La Cuatralba, a 2 810 m.s.n.m.

En lo referente a la temperatura media anual de la cuenca del arroyo Grande (mapa 13) se observa la isoterma de 16°C. El trazo de esta línea si gue sensiblemente el contorno de las laderas y montañas que forman las vertientes de la parte occidental y sur de la cuenca. Por la posición geográfica que sigue la línea isoterma es factible considerar a la temperatura de 16°C como representativa de toda la cuenca. Este valor es un grado centígrado menor con respecto a la temperatura media representativa de la cuenca del río Tlaxcalilla.

Esta disminución se debe a que las vertientes del arroyo Grande se encuentran, en términos generales, a una mayor altitud en comparación con las de la otra cuenca.

A pesar de lo anterior, en la cuenca del arroyo Grande se tiene una menor precipitación, indicada por la isoyeta de 700 mm, localizada en la parte centro este de la cuenca. No se detectaron valores más altos hacia las partes de mayor altitud, pero se considera que debe existir un incremento de precipitación y se estima que la precipitación media anual representativa de esta cuenca es un poco más alta, semejante a la detectada en la cuenca del río Tlaxcalilla, esto es, se puede adoptar el valor de 750 mm.

En lo referente a los climas, también existen los mismos tipos: BS₁ y C (W₁). El primero, por su grado de humedad es seco estepario, aunque es el menos seco de este grupo y de acuerdo con su temperatura es templado. Este clima se localiza básicamente al norte de la cuenca y se extiende aproximadamente en dos tercios de la superficie total; estas condi

ciones, de acuerdo con la determinación que se hizo cubren las partes altas de las montañas, las elevaciones secundarias y el talud de transición, mismas que forman las laderas vertientes orientadas hacia el sur. Este último hecho tal vez contribuya a las condiciones de semisequía que predominan en esta cuenca.

El clima templado subhúmedo $C(W_1)$, se localiza en la porción meridional de la cuenca, en coincidencia con las montañas y laderas que forman las vertientes orientadas hacia el norte. Aquí el relieve es un poco más bajo en comparación con el que se localiza en la porción del oeste por lo cual sigue existiendo una aparente contradicción en lo que concierne a la precipitación.

Relieve

El relieve de la cuenca del arroyo Grande (mapa 14) presenta en términos generales tres zonas: las montañas, el talud de transición y la planicie de recepción. De esta manera se pone de manifiesto cierta diferencia con respecto a la cuenca del río Tlaxcalilla en la cual se tienen, como ya se indicó, otras características zonales.

Las elevaciones montañosas de la cuenca del arroyo Grande comprenden básicamente desde los 2 400 a los 3 000 m.s.n.m. y cubren aproximadamente el 65% de la superficie de la cuenca, por lo cual significa que en las cabezeras existe un predominio de relieve montañoso, el cual es algo más notable que el existente en la cuenca del río Tlaxcalilla. Algunas de las elevaciones de la divisoria alcanzan un poco más de 3 000 m.s.n.m. y van disminuyendo hasta los 2 200 m.s.n.m. en la desembocadura; lo anterior implica una diferencia de únicamente 800 m de desnivel en toda la extensión de la cuenca.

La parte más abrupta de la divisoria se localiza hacia el centro-oc

cidente y al sur, en correspondencia con la cabecera del arroyo La Cardona. La zona de formas menos abruptas y con menor densidad de drenaje se encuentra en el sureste. Cabe destacar que en la cuenca del sur la red hidrográfica presenta una mayor definición que la del arroyo San Antonio y se considera que este aspecto se debe en gran parte al tipo de relieve predominante en cada subcuenca. También se observa que la disección vertical es menos marcada en la cuenca del arroyo Grande, en comparación con la del río Tlaxcalilla. Otra ligera diferencia que se presenta en el área de la cuenca del arroyo Grande es la existencia de un conjunto de elevaciones aparte de las que forman la divisoria.

Con respecto a la zona establecida como talud de transición de la cuenca del arroyo Grande, se puede afirmar que ésta se encuentra, aproximadamente, entre los 2 400 a los 2 250 m.s.n.m. Está constituida por las laderas y cauces que presentan menor pendiente. En las cartas topográficas consultadas se observa, en algunos casos, una mayor disección vertical, por ejemplo, en varios arroyos de la parte septentrional.

En cuanto a la zona de la planicie, ésta constituye un amplio valle intermontano, en el cual el escurrimiento fluvial está perfectamente bien delimitado y encausado hacia los dos colectores principales, lo cual le da el carácter de cuenca de recepción.

Litología

De las características que constituyen la superficie de la cuenca del arroyo Grande se tiene en primer término la litología, la cual presenta poca variación (mapa 15). Está constituida por conjuntos de rocas ígneas extrusivas, tobas y material aluvial. En el mapa litológico de este lugar se puede observar el predominio de material de origen ígeno, el cual cubre 71 km², representando el 56% de la superficie de la cuenca. Este tipo de

rocas se encuentra en casi todas las montañas que circunscriben a la cuenca y forman la divisoria y cabeceras. También se les localiza en algunas elevaciones aisladas en la cabecera central, en la porción sur.

La cobertura de tobas, con 48 km², representa el 38.3% del área total. El material tobáceo cubre casi toda la superficie restante de la cuenca; su localización coincide con el talud de transición y la cuenca de recepción. Únicamente se encuentran tobas en las elevaciones ubicadas hacia la parte del suroeste.

Los materiales aluviales, cubren únicamente 7 km², es decir, el 5.7% del área total. El material aluvial se localiza a lo largo de los valles fluviales desde los sitios en donde los ríos alcanzan el tercer orden, prosiguiendo su cobertura con poca discontinuidad hasta las zonas próximas a la desembocadura.

Como comentario asociado a la litología, puede considerarse que es un aspecto singular, debido a que los tres tipos de rocas tienen prácticamente un alto grado de permeabilidad; en consecuencia la infiltración en la cuenca del arroyo Grande es muy marcada y constituye una zona de recarga importante, aspecto que a su vez se manifestará en el funcionamiento del ciclo hidrológico local y en los volúmenes de escurrimiento.

Suelos

La edafología de la cuenca del arroyo Grande (mapa 16), a diferencia de la del río Tlaxcalilla, presenta una mayor variación en los tipos de suelos, además de encontrar los valores de sus áreas bastante variados. En primer lugar se presentan los suelos feczem, en una superficie de 37.1 km² la mayor área en comparación con las que cubren los otros tipos, por lo mismo tienen una mayor difusión en diferentes partes de la cuenca. Se localizan principalmente en la porción norte y centro de la cuenca, especial-

mente en las zonas correspondientes a las montañas y el talud de transición.

Después se tienen las áreas cubiertas por litosoles y planosoles, ambos cubren casi la misma área, 24.5 y 24.1 km² respectivamente. Los litosoles cubren principalmente la zona montuosa de la parte occidental y una pequeña porción del noreste. Los suelos planosoles se localizan básicamente en la porción central de la cuenca, cubren desde las zonas de montañas del occidente hasta la porción noreste de la cuenca de recepción.

Por otra parte se tienen los vertisoles que cubren 21.2 km² y se localizan únicamente en el sur, en montes de poca elevación. En seguida se tienen los cambisoles, cubriendo una superficie de 10.4 km²; se encuentran en la porción del sureste, en las laderas norte que vierten hacia la cuenca de recepción. Los luvisoles se localizan en pequeñas áreas principalmente hacia la porción sur de la cuenca. Por último en superficies verdaderamente pequeñas existen los fluvisoles, localizados exclusivamente en la parte más baja de la cuenca de recepción.

Uso del Suelo

Asociado a la edafología se tiene la distribución espacial de los distintos usos del suelo en la cuenca (mapa 17), enfocados a tres actividades principales cuyas superficies tienen áreas semejantes. Dedicados al uso agrícola se tienen 44.4 km², al uso forestal 43 km² y a las actividades pecuarias 39.6 km². Debido a las condiciones topográfica y edáficas las áreas dedicadas a cada uno de los tres aspectos no tienen mucha continuidad; se encuentran distribuidas superficialmente de una manera indefinida en la mayor parte de los casos. Únicamente algunas de las áreas dedicadas a las actividades agrícolas tienden a localizarse a lo largo de los colectores principales y en las partes planas, ubicadas en la proximidad de la de-

sembocadura de esta cuenca.

Las áreas desprovistas de vegetación son mínimas; la más notable se localiza al sureste de la planicie de recepción, en vecindad con las áreas agrícolas mencionadas anteriormente.

Red Hidrográfica

La red hidrográfica presenta un avenamiento de tipo dendrítico, como puede observarse en el mapa de cauces clasificados por número de orden (mapa 18). Sin embargo, en algunos sitios pueden apreciarse confluencias que tienden a mostrar ángulos rectos. Este aspecto es típico de avenamientos de enrejado o espaldera, originados por los diferentes afloramientos de rocas con distinta resistencia a la erosión en cuencas algo escarpadas. En el caso de la cuenca del arroyo Grande es muy posible que estas condiciones se cumplan únicamente en forma parcial y de esta manera sólo se observen manifestaciones muy localizadas del avenamiento mencionado.

Procesos Geomorfológicos

En las partes más altas que circunscriben a la cuenca del arroyo Grande se tienen elevaciones montañosas de origen tectónico y volcánico, en las cuales la pendiente es fuerte, aunque la disección es moderada debido a la resistencia litológica.

Los principales movimientos de masas que se manifiestan en algunos sitios, consisten en derrumbes. También existen procesos de coluviamiento hacia la parte del talud de transición. En algunas laderas se aprecian suelos leprosos y formaciones de cárcavas. Obviamente los procesos van disminuyendo conforme cambia la pendiente y el relieve hacia el centro de la cuenca. En este último sitio se encuentran planicies levantadas con disección fluvial considerable, manifestándose relieves de tipo tanto erosional como acumulativo.

Subcuencas Internas

En lo referente a otros aspectos inherentes a la superficie de la cuenca, se tienen las delimitaciones de las subcuencas internas de acuerdo con su jerarquía. En el mapa correspondiente a las de primer orden del arroyo Grande (mapa 19) se puede observar la distribución de las superficies que con su escorrentía contribuyen inicialmente a la formación de los cauces de primer orden. La distribución de estas subcuencas presenta cierta separación a lo largo del parteaguas; únicamente en la porción occidental, en coincidencia con las mayores alturas, existe una mayor continuidad en comparación con otros lugares de la línea divisoria de las aguas.

Las subcuencas de primer orden se desarrollan en general sobre rocas ígneas extrusivas, del tipo de la riolita. Hacia las partes internas de la cuenca se localizan algunos conjuntos de subcuencas de este mismo orden, estos siguen la alineación de los pequeños sistemas montañosos localizados a lo largo de los colectores principales, su desarrollo en estos lugares es sobre materiales constituidos principalmente por tobas.

En cuanto a las dimensiones de las subcuencas de primer orden se puede apreciar en estas una tendencia a una mayor uniformidad, de 0.25 km^2 en promedio. La homogeneidad que presentan las áreas es bastante notable, en comparación con los valores más dispersos que se presentan en las subcuencas, de esta misma jerarquía, en el área de captación del río Tlaxcalilla. En el mismo mapa, también se aprecian pocas cuencas de este orden que destacan por su mayor o menor área dentro de todo el conjunto. Algunas subcuencas de dimensiones un poco mayores se localizan en el extremo norte, sobre rocas ígneas extrusivas y tobas; otras más se ven en la porción sur, también sobre rocas ígneas pero en relieves de formas más suaves. En las partes internas de la cuenca, el desarrollo de subcuencas ligeramente más

grandes ocurre sobre tobas y materiales aluviales. En este caso, las subcuencas de áreas menores no presentan una distribución definida.

Con base en lo anterior se puede afirmar que las dimensiones de las áreas de escorrentia están en función del relieve lo que manifiesta una influencia ligera del control litológico.

Por otra parte, al observar la distribución de las subcuencas de segundo orden (mapa 20) se aprecia una notable estructuración de áreas más amplias. Sin embargo, en estos casos las dimensiones de dichas subcuencas no presentan una tendencia bien definida. Destaca la continuidad de las subcuencas de esta jerarquía en la parte occidental, en tanto que en la zona correspondiente a la divisoria oriental, en la proximidad de la desembocadura se nota la ausencia de subcuencas de este número de orden. También se nota que las subcuencas existentes hacia el centro están ligadas con las ubicadas en la divisoria occidental, a manera de una prolongación, sin que existan subcuencas de segundo orden en forma aislada.

En lo referente a las dimensiones de estas subcuencas, su área es de 1.49 km^2 en promedio, aquí se puede observar nuevamente la tendencia a presentar áreas semejantes, con una mínima variación con respecto al valor medio. Sin embargo, las pocas excepciones que se presentan se caracterizan por ser subcuencas bastante amplias, en especial las que se localizan en el extremo noroeste, el centro y centro-sur de la cuenca del arroyo Grande. Igualmente pueden apreciarse subcuencas de dimensiones menores, aunque son muy pocas; éstas últimas se localizan en diferentes partes de la cuenca, sin que su localización obedezca aparentemente a algún factor común.

En la siguiente jerarquía de las subcuencas de tercer orden, las áreas tienen un valor medio de 5.33 km^2 , en este aspecto presentan superficies mayores con respecto a las detectadas en el río Tlaxcalilla. La mayo-

La mayoría de estas subcuencas se localizan y desarrollan en la zona de montañas y parte del talud de transición (mapa 21) una de ellas cubre por sí sola la cuenca de recepción, localizada en la parte central, la que destaca por sus dimensiones y por tener su desarrollo principalmente en superficies de rocas ígneas extrusivas. En esta misma cuenca se puede apreciar visualmente que el grado de disección es más bajo, comparado con el detectado en el río Tlaxcalilla. Estas diferencias se deben, obviamente, a los distintos elementos líticos que varían de una cuenca a otra.

En lo referente a las subcuencas de la cuarta jerarquía (mapa 22), en el área del arroyo Grande se tienen cinco subcuencas de cuarto orden a partir de las cuales se originan los dos cauces de la siguiente jerarquía fluvial (quinto orden). El área media que presentan es de 18.7 km², y se puede apreciar que cuatro de ellas son muy semejantes. La única subcuenca que es diferente se encuentra ubicada en el extremo norte, en donde se inicia el colector principal, definido ya como de quinto orden.

Las cuatro subcuencas en cuestión tienen su cabecera en la línea del parteaguas y sus escurrimientos se dirigen hacia la zona de la planicie. El desarrollo de las subcuencas, con respecto a las áreas, se tratará en la parte correspondiente a las comparaciones morfométricas.

CAPITULO II

MÉTODOS DE INTERPRETACION Y COMPARACION DE LA MORFOMETRIA

Asfin de presentar un panorama general de los aspectos morfométricos lineales y superficiales de las cuencas del río Tlaxcalilla y arroyo Grande se hizo una concentración de datos en los cuadros del 1 al 4. En la primera parte, la información cuantitativa se presenta con base en el número de cauces por orden y del conjunto de parámetros que se midieron y detectaron en el material cartográfico, complementados con otros datos calculados a partir de las mediciones anteriores.

En los cuadros 1 y 2 se muestran: número de cauces, relación de bifurcación, longitud de cauces, longitud acumulativa, longitud media, relación de longitud, frecuencia de cauces y densidad de drenaje. Aunque estos dos últimos parámetros no tienen un carácter absolutamente lineal y se determinan por la relación del número y longitud de cauces con respecto al área total de las cuencas, se incluyen porque permiten apreciar las dos propiedades lineales que constituyen la base de la disección fluvial. El sistema de comparación de las propiedades lineales de las cuencas se establecen posteriormente a partir de todos los parámetros mencionados.

En cuanto a las expresiones numéricas de las propiedades superficiales, éstas se presentan en los cuadros 3 y 4, en donde se tiene una concentración cuantitativa tanto de áreas obtenidas en los mapas como de otros datos calculados a partir de las primeras mediciones realizadas. La información referente a las áreas comprende: área total de subcuencas, áreas medias, relación de áreas, frecuencia de cauces parcial por número de orden y la densidad de drenaje parcial, también por jerarquía de cauces. Al igual que en las propiedades lineales, a partir de los datos anteriores se esta-

blece el sistema de comparación entre ambas cuencas.

El cuadro 3 referente a las características de la morfometría superficial de la cuenca del río Tlaxcalilla permite observar el desarrollo de las superficies de la escorrentía y escurrimiento hacia los cauces que integran su red hidrográfica. Lo anterior puede complementarse con la observación de los mapas que muestran los límites de las subcuencas internas.

En este mismo cuadro se nota que las áreas totales de las subcuencas, por su carácter parcial no presentan una secuencia de crecimiento, en comparación con el que tienen las áreas medias; en cambio, entre la primera y cuarta jerarquías el crecimiento se presenta normal pero de ésta última a la de quinto orden la variación es muy grande, es posible que este aspecto deba a la acumulación numérica de los valores de las áreas de interfluvios a lo largo del colector principal. La frecuencia de cauces muestra disminuciones muy rápidas en la expresión numérica del primero al segundo orden y del cuarto al quinto, lo cual puede ser consecuencia de la variación de la disección, mayor en las cabeceras y con disminución hacia la parte baja de la cuenca. La densidad de drenaje presenta, a diferencia del parámetro anterior, una secuencia de menor variación y en cierta forma es el resultado de la distribución más uniforme de la longitud de los cauces tanto en las partes altas como en la planicie.

Los datos morfométricos superficiales correspondientes a la cuenca del arroyo Grande (cuadro 4) presentan características un poco diferentes a las del río Tlaxcalilla. En primer término se observa que el área total de las subcuencas tiende a incrementarse conforme aumenta el número de orden, aspecto que también ocurre con las áreas medias. La relación de crecimiento muestra una mínima variación de valores, la cual oscila entre 3.58

y 3.40 entre el segundo y el quinto orden. Únicamente es más alta, de 5.96 de la primera a la segunda jerarquía.

Con base en estas referencias se puede afirmar que el crecimiento de las áreas de las subcuencas de esta cuenca tiene un desarrollo con mayor proporcionalidad que las subcuencas del río Tlaxcalilla, tomada como base de comparación.

La frecuencia de cauces parcial, por número de orden, muestra un alto valor en la primera categoría, con un rápido descenso en el segundo, a partir del cual presenta menos variación. Paralelo a lo anterior se tienen los valores de la densidad de drenaje; en el primer orden son altos, pero no disminuyen tan marcadamente hacia el segundo, a partir del cual la disminución es regularmente proporcional de una jerarquía a otra.

Comparaciones de parámetros lineales

Número de cauces por jerarquía

En el cuadro número 5 se establece la primera comparación, ésta se refiere a la cantidad de cauces que, por orden de jerarquía, forman las redes hidrográficas de ambas cuencas. De inmediato se pone de manifiesto las diferencias del número de segmentos, a pesar de que las áreas de ambas cuencas son casi iguales. Las cifras más altas corresponden al río Tlaxcalilla, excepto en el quinto orden, el cual no debe considerarse como representativo en sus valores.

De acuerdo con la secuencia de jerarquía de cauces, el número de segmentos de primer orden del río Tlaxcalilla, de 678, es casi dos veces y media mayor que el correspondiente al arroyo Grande, lo cual indica una diferencia notable de los valores en la disección fluvial, especialmente en las cabeceras. Según estos datos puede afirmarse que el porcentaje de dife-

erencias va disminuyendo conforme aumenta el número de orden, lo cual permite suponer un incremento en la semejanza numérica mientras más se desarrolla la red hidrográfica de las cabeceras hacia el talud y la planicie.

El grado de semejanza estimado, de acuerdo con los valores de las columnas (5) y (6) es nulo para los dos primeros órdenes pero tiende a ser mayor en las categorías de grado bajo y mediano en los de tercero y cuarto órdenes. Sin embargo, al llegar al quinto orden las cifras no son significativas, lo cual se debe a que la cuenca del río Tlaxcalilla tiene únicamente un cauce de este orden, en tanto que dentro del área que abarca la cuenca del arroyo Grande se tienen dos cauces de esta misma categoría. Con respecto al total de cauces, se observa una diferencia bastante notable, por lo cual, en este aspecto, el grado de semejanza entre ambas redes hidrográficas es nulo.

Dentro del mismo cuadro, en la columna (5), correspondiente al porcentaje de comparación, se observa la forma como va disminuyendo la proporción de cauces conforme aumenta el número de orden, desde 245.9 en la primera jerarquía, hasta -40.0% en la cuarta; únicamente en el quinto orden presenta un valor positivo y corresponde a la presencia de los dos cauces de este último orden en la cuenca del arroyo Grande.

Relación de bifurcación

Con base en el número de cauces de cada orden se establece la relación de bifurcación y puesto que este parámetro permite conocer el desarrollo de las redes hidrográficas de un número de orden a otro se tienen dos formas para establecer la comparación. Por una parte se dispone de los cálculos de dicha relación en el cuadro número 6 y por otra mediante su expresión geométrica correspondiente (gráfica 3).

Los valores más altos de bifurcación corresponden en todos los órdenes al río Tlaxcalilla y no presentan secuencia numérica alguna. Los correspondientes al arroyo Grande son menores y tienden a disminuir en su expresión numérica conforme aumenta la jerarquía de los cauces. Lo anterior implica una mayor disección en la cuenca del río Tlaxcalilla, misma que se manifiesta en gran parte de su área, como puede observarse en el mapa de la red hidrográfica. Incluso entre el cuarto y quinto orden se tiene el valor de bifurcación más alto, de 7.0, lo cual puede interpretarse como la condición de un buen número de cauces para constituir el colector detectado de un orden máximo. En cambio, en la cuenca del arroyo Grande la disección más marcada tiende a encontrarse en las cabeceras, localizada en la zona de montañas, disminuyendo hacia el talud de transición y en la cuenca de recepción.

Los cálculos numéricos manifiestan cierto grado de semejanza en los tres primeros órdenes, a pesar de que en el cuadro 5 existen diferencias notables en el número de cauces por orden de jerarquía. Este aspecto se explica en virtud de que en los valores numéricos absolutos se tiene cierta proximidad y poca diferencia, pero realmente los valores que integran cada conjunto muestran bastante diferencia. Al interpretar la columna de comparación se observa que entre el primero y segundo órdenes, la bifurcación del arroyo Grande es menor en un 42% con respecto al río Tlaxcalilla y disminuye rápidamente del segundo al tercero, para volver a aumentar de éste último al de cuarta jerarquía y en forma notable del cuarto al quinto orden. Al respecto se establecieron grados de semejanza: mediano en los tres primeros órdenes; ninguno entre los de cuarto y quinto; y bajo en el valor medio correspondiente a las dos cuencas. Esta última estimación representa una

diferencia aproximada en dos tercios, del arroyo Grande con respecto al río Tlaxcalilla.

Complementa lo anterior la expresión geométrica de las relaciones de bifurcación de ambas cuencas en la gráfica 3. En ésta última se localizaron los puntos correspondientes a los valores del número de orden y número de cauces, en un sistema de coordenadas semilogarítmicas. Al analizar la gráfica se observan los siguientes aspectos:

1) La alineación de los puntos tiene bastante aproximación a las rectas, por lo cual el desarrollo de las redes hidrográficas con respecto a sus afluentes tiende a presentarse prácticamente normal dentro de los límites del parteaguas. Lo anterior se comprueba además con los valores del ajuste de las rectas, los cuales son de -0.99825 para el río Tlaxcalilla y de -0.99769 para el arroyo Grande. Estas cifras son bastante próximas a -1 , valor óptimo para el coeficiente de correlación, determinado por la expresión $R = \frac{m\sigma_x}{\sigma_y}$, en donde X se identifica con el número de orden y la Y con el número de cauces por jerarquía.

2) A simple vista se observa un notable desarrollo paralelo entre ambas rectas, lo cual implica que a pesar de la diferencia de valores del número de segmentos de cada red, se tiene un desarrollo hidrográfico semejante, lo expuesto anteriormente puede demostrarse con la similitud de los valores matemáticos de las pendientes, los cuales se calcularon en base a la fórmula:

$$m = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}$$

En donde X representa los valores de los números de orden y la Y el número de cauces.

Los valores obtenidos fueron, para el río Tlaxcalilla $m = -1.5863$ y para

el arroyo Grande $m = -1.5135$. En cuanto a la distancia al origen b , se determina por la expresión

$$b = \frac{\sum y - m \sum x}{N}$$

En donde X y Y representan a los mismos parámetros mencionados. Lo anterior permitió obtener los valores $b = 8.079$ para el río Tlaxcalilla y $b = 7.633$ para el arroyo Grande. En este caso, la diferencia de 0.446 es mínima si se considera que los distintos números de cauces por número de orden son en cambio muy marcados.

De acuerdo con los datos anteriores se establecieron las ecuaciones que determinan las rectas de regresión; para el río Tlaxcalilla se tiene $y = -1.58 X (8.07)$ y para el arroyo Grande $y = -1.51 X (7.63)$, mismas que tienen cierta semejanza entre sí.

Longitud de los cauces

La longitud de cauces (cuadro 7) se expresa en kilómetros y presenta algunos aspectos notables en su comparación. Las cifras más altas de la longitud corresponden a la cuenca del río Tlaxcalilla, tanto por número de orden como en el valor total; al respecto puede afirmarse nuevamente que la red hidrográfica del arroyo Grande presenta menor disección en comparación con la primera. Se aprecia en ambos casos una disminución del valor de la longitud conforme aumenta el número de orden aunque no existe, en términos absolutos, una razón matemática de regresión descendente.

Así, en el desarrollo de la red hidrográfica del río Tlaxcalilla se tiene una disminución de 3.4 veces el kilometraje del primero al segundo orden, de 1.3 del anterior al tercero, de 3.1 de la tercera a la cuarta jerarquía y de 1.2 de ésta última a la de quinto orden. En la red hidrográfica del arroyo Grande la disminución del primero al segundo y de éste al

tercero es de 2.1 y 2.3 respectivamente, en tanto que del tercero al cuarto y de éste al quinto, es en ambos casos de 1.6. Como puede apreciarse las cuencas tienen distintas relaciones de longitud total de cauces y sus diferencias, en términos absolutos son marcadas. En la primera y tercera jerarquías el río Tlaxcalilla tiene prácticamente el doble de kilómetros que el arroyo Grande. En el valor total y en el quinto orden la diferencia es intermedia, ya que el arroyo Grande tiene aproximadamente entre tres quintos y dos tercios de la cuenca del río Tlaxcalilla. Las menores diferencias porcentuales se tienen en el segundo y cuarto órdenes y en apariencia no existe un factor común que lo justifique, únicamente puede afirmarse que la mayor semejanza de valores corresponde a la cuarta jerarquía que es el orden máximo en el cual ambas cuencas tienen un paralelismo en su red hidrográfica. En términos generales las diferencias que presenta este parámetro son notables y en consecuencia la semejanza de una cuenca con otra es baja en este aspecto.

Derivadas de las longitudes absolutas por número de órdenes, se tienen las longitudes acumulativas. En el cuadro B, correspondiente a este parámetro y en lo que atañe al arroyo Grande, puede observarse que el número de kilómetros lineales entre el primero y el quinto orden, son menores con respecto al río Tlaxcalilla, a excepción del quinto orden en donde la progresión se invierte; en lo que respecta al crecimiento, se carece de una progresión definida al aumentar el número de orden.

Las diferencias en los valores de las longitudes acumulativas de una cuenca a otra son marcadas, tanto en términos absolutos como relativos. En el primer orden existe una diferencia de comparación muy amplia, de 96.27%, cifra superior al resto de las que tienen los otros órdenes, las cuales oscilan entre 71.89 y 77.13%. Estos últimos valores ofrecen, en ter

minos generales, cifras muy parecidas tanto en la comparación como en la semejanza, resultan grados de semejanza estimada iguales, aunque pertenecen a la categoría denominada baja.

De acuerdo con el número de cauces y la longitud total se estableció la longitud media de los cauces por número de orden. Este parámetro, al igual que el análisis de la relación de bifurcación puede compararse a partir de los valores asentados en los cuadros numéricos, así como complementarse con la expresión geométrica (gráficas 4 y 5) correspondiente a la relación de longitud. El cuadro 9 permite observar que las longitudes medias de los cauces en ambas cuencas tienden a presentar un incremento acorde al aumento del número de orden; únicamente en los datos del arroyo Grande se aprecia una disminución en la última categoría. En lo que respecta al crecimiento de los cauces, la proporción del aumento se aprecia en las gráficas 4 y 5, de relaciones de longitud, para las dos cuencas.

En cuanto al predominio de valores de la longitud media, no existe secuencia regular; así se tiene que en los dos primeros órdenes las cifras más altas corresponden al arroyo Grande y superan en casi el doble a la longitud media del río Tlaxcalilla. En el tercer orden los valores están más próximos, por lo cual es la única jerarquía en donde existe un grado alto de semejanza estimada. En el cuarto orden se retorna a la situación inicial ya que el arroyo Grande tiene mayores longitudes medias con respecto a las que se presentan en la otra cuenca. En el quinto orden la diferencia es notable, ya que los cauces del río Tlaxcalilla presentan una longitud media con un valor equivalente al triple del que tiene el arroyo Grande y por tanto el porcentaje de semejanza de 200, supera los límites de tolerancia. En lo que respecta al valor de las longitudes medias totales se obtie

ne un grado de semejanza mediana, pese a que el valor correspondiente al arroyo Grande es 45.1% mayor que el del río Tlaxcalilla.

Derivadas de las longitudes medias, por número de orden, se tienen las longitudes medias acumulativas, expuestas en el cuadro 10. En éste, se observa cómo los valores de la acumulación son mayores en la cuenca del arroyo Grande y menores en la correspondiente al río Tlaxcalilla, excepto en el quinto orden; el incremento de valores en cada una de las cuencas sigue una razón aritmética misma que se describe en la gráfica de la relación de longitud, en cambio la sucesión del crecimiento dada por la diferencia de valores no sugiere secuencia alguna, únicamente se incrementa el valor absoluto conforme aumenta la jerarquía de los cauces entre el primero y cuarto de los cauces. Por lo que se refiere a los porcentajes de comparación la diferencia negativa de -72.19% en el quinto orden pone de manifiesto la mayor longitud de un solo cauce, el del río Tlaxcalilla, en oposición a los dos cauces cortos de la misma jerarquía existentes en el área del arroyo Grande. El valor absoluto del porcentaje de comparación es semejante en los dos primeros órdenes, de 174.36 y 188.35; de igual forma en los correspondientes al de tercero y cuarto con 126.35 y 124.82 respectivamente. Sólo el valor de la quinta jerarquía se encuentra completamente desfasado.

En los porcentajes de semejanza de los dos primeros conjuntos se carece de valores significativos, ya que son más altos que los de tercero y cuarto órdenes. Lo anterior indica una aparente convergencia del valor de la longitud lineal a partir del tercer orden, lo cual coincide además con la mayor semejanza de las longitudes medias en la tercera jerarquía de cauces. La longitud acumulativa disminuye en el quinto orden dentro de la cuenca del arroyo Grande, en tanto que es notable el incremento, en el cau-

ce de este orden, en el río Tlaxcalilla.

Relación de longitud

Con base a las longitudes medias se establece la relación de longitud (cuadro 11). Este parámetro establece la correspondencia que tienen la longitud media de los cauces de un orden dado con la longitud media que tienen los cauces de un orden inmediato superior o inferior. Al comparar las cifras de este parámetro de cada cauce, columnas (2) y (3) del cuadro 11, se manifiesta una indefinición de valores absolutos por orden jerárquico. Entre otras cosas no se aprecia una secuencia numérica de un orden a otro, tampoco se nota una definición matemática del incremento de la relación de longitud conforme aumenta el número de orden. De una cuenca a otra se percibe una alternancia de valores superiores e inferiores; así, entre la primera y segunda jerarquías la cifra menor corresponde a la cuenca del río Tlaxcalilla y sucesivamente los valores se van alternando con respecto a la otra cuenca. Sin embargo, se llega a estimar un grado de semejanza alto en los valores de la relación de longitud.

Por otra parte, la expresión geométrica de la relación de longitud del río Tlaxcalilla (gráfica 4) permite establecer una recta, cuyo ajuste es acorde con la tendencia a la alineación de puntos. Los aspectos estadísticos para encontrar las funciones son los mismos que se emplearon para las relaciones de bifurcación. En los tres primeros órdenes se observa una secuencia notable, pero a partir del cuarto los valores se alejan de la línea de tendencia; en este punto de la gráfica el valor tiende a disminuir con respecto a la tendencia por lo cual se encuentra abajo de la recta. Esto implica una disminución de las longitudes medias, posiblemente por influencia litológica en el talud de transición. Sin embargo, el ajuste matemáti-

co presenta un valor próximo a la unidad, de 0.9701529, lo cual permite inferir un desarrollo relativamente normal.

En el quinto orden los valores demuestran un incremento, el punto correspondiente a esta jerarquía de cauces está ubicada arriba de la línea de tendencia. Esto implica el alargamiento de los cauces de este orden en el río Tlaxcalilla en la zona de la planicie, lo cual ocurre al surcar entre materiales menos resistentes a la disección fluvial y tener una mayor definición hidrográfica.

La expresión geométrica de la relación de longitud del arroyo Grande (gráfica 5) también muestra una recta que sigue la tendencia a incrementar la longitud media conforme aumenta el orden. Comparada con la gráfica anterior, la del río Tlaxcalilla, se aprecia que los puntos presentan menos desviaciones con respecto a la línea de tendencia general. El grado de ajuste tiene más aproximación a la unidad, de 0.997421, en comparación con el valor de la otra cuenca. Lo anterior implica que el crecimiento de las longitudes medias del arroyo Grande sigue una secuencia más formal, esto de nota que la longitud de los cauces que forman la red hidrográfica, guardan una buena proporción de desarrollo de un orden a otro.

De sobreponerse las gráficas de relación de longitud de ambas cuencas se podría observar que las líneas de regresión se cruzan en el tercer orden debido a la diferencia de pendientes. Para el río Tlaxcalilla se tiene un valor de $m = 0.87$ y para el arroyo Grande de $m = 0.49$, lo cual obviamente significa, un desarrollo distinto. Inicialmente se observa una convergencia hasta alcanzar el vértice en el tercer orden, a partir del cual se inicia la divergencia. Esto se debe a que los valores de la relación de longitud y la longitud media son más altos en el arroyo Grande entre el primero y segundo órdenes y los del río Tlaxcalilla menores. En la tercera jerar-

quía los valores tienen una gran aproximación, por lo cual forman el vértice a partir del cual existe una inversión en la relación de valores correspondientes a cada cuenca. Cabe observar que la divergencia está condicionada principalmente por los valores altos de las longitudes medias del arroyo Grande en el cuarto orden con respecto a los del río Tlaxcalilla, ya que al pasar al quinto orden se regresa nuevamente a la situación que tienen los valores en las primeras jerarquías.

Frecuencia de cauces y densidad de drenaje

A fin de conocer la disección fluvial en ambas cuencas y de una manera más completa se procedió a su análisis con base en la frecuencia de cauces y la densidad de drenaje. Al respecto se efectuó la comparación en dos formas, primero de una manera total, esto es, considerando la superficie total de la cuenca y después utilizando las áreas de las subcuencas en su orden de esta forma se puede tener una idea del número de segmentos respectivos, de cada orden, que en promedio sería posible encontrar en un kilómetro cuadrado.

En lo que respecta a la frecuencia de cauces total del río Tlaxcalilla (cuadro 12), ésta presenta los valores más altos entre la primera y cuarta jerarquías; únicamente en el quinto orden existe una diferencia, con una cantidad ligeramente menor. El valor de la densidad de drenaje total del arroyo Grande es bastante inferior con respecto a la otra cuenca. Las expresiones numéricas de este parámetro en el primer orden son altas en ambas cuencas y a la vez determinan con una mayor ponderación la densidad de drenaje total, ya que en los otros órdenes las cifras son bajas y casi no influyen en el resultado total.

A partir del segundo orden los valores presentan una disminución muy marcada, aunque muestran una secuencia más uniforme en el decremento que si

guen. Las diferencias entre los valores de la frecuencia de cauces también son muy marcadas en el primer orden y en la densidad total, ya que en estas dos categorías el río Tlaxcalilla tiene el triple de densidad con respecto a la cuenca del arroyo Grande. Entre el segundo y el cuarto orden las diferencias son menos marcadas, como puede corroborarse en los porcentajes de comparación del mismo cuadro 12; únicamente en el quinto orden se carece de un valor significativo. También se observa que el porcentaje de comparación disminuye de igual forma que los valores de densidad, en tanto que en el porcentaje de semejanza se carece de una secuencia determinada.

Con base en la clasificación de las corrientes en ambas redes hidrográficas y conocidos los valores de las áreas de las subcuencas por jerarquía, se calculó la frecuencia de cauces en forma parcial. El cuadro 13 muestra las características y comparación de este parámetro; en primer término los valores parciales correspondientes al río Tlaxcalilla son superiores a los de la cuenca del arroyo Grande, del primero al tercer orden y sólo en la cuarta jerarquía se invierte dicha situación. También puede observarse que el valor total está determinado primordialmente por los cauces de primer orden sin aportaciones significativas por parte de otros de mayor jerarquía. La diferencia de frecuencias es bastante marcada en los dos primeros conjuntos de cauces, así en el primero y segundo órdenes la frecuencia de cauces parcial del río Tlaxcalilla es casi dos veces y media mayor que la del arroyo Grande; situación parecida ocurre en el valor total.

En el porcentaje de comparación de la frecuencia de cauces, la oscilación de los valores se puede apreciar numéricamente en la diferencia que existe en cada uno de los órdenes mencionados. En cuanto al grado de semejanza de corrientes se observa que ésta, en términos generales, es bajo o

ninguno, incluso no es significativo para el quinto orden. En síntesis, se puede decir que en este parámetro no existe una verdadera semejanza.

En lo referente a la densidad de drenaje total (cuadro 14) sus valores expresan aspectos interesantes para los efectos de comparación. Se observa que la densidad de cauces del río Tlaxcalilla es mayor que la del arroyo Grande en casi todos los órdenes y en el valor total. En la cuarta jerarquía de las corrientes de los valores son exactamente iguales, de 0.13 km/km^2 , por lo cual no existe ni diferencia ni porcentaje de comparación, de tal modo que la semejanza al tener un porcentaje de 100% se convierte en igualdad. Los valores de la densidad de drenaje disminuyen, obviamente, conforme aumenta la jerarquía de órdenes. Las diferencias numéricas de estos valores son bastante marcadas en el primero y tercer órdenes donde el arroyo Grande tiene la mitad de la densidad hidrográfica que la determinada para el río Tlaxcalilla. También existe diferencia en el quinto orden y en los valores totales.

Los porcentajes de comparación manifiestan grandes oscilaciones, desde cero hasta -90.5, por lo cual puede considerarse la existencia de una gran dispersión de valores generada por las diferentes características litológicas en cada cuenca. Sin embargo, pese a lo anterior, es posible observar un grado de semejanza en todos los órdenes, sin presentarse estimaciones nulas o cifras no significativas, como se presentan en los cuadros correspondientes a otros parámetros.

Al analizar el cuadro 15, correspondiente a la comparación de la densidad de drenaje parcial por número de orden, se tienen las siguientes observaciones. Inicialmente los valores de este parámetro tienden a disminuir en ambas cuencas, conforme aumenta la jerarquía de los órdenes. Los valores más altos corresponden en todos los casos a la cuenca del río Tlax-

calilla; las cifras del arroyo Grande tienden a ser inferiores en algo más de la tercera parte en el primero, segundo y quinto órdenes. Las diferencias más marcadas corresponden al valor total -1.31 y al primer orden -1.05, en tanto que la mayor semejanza está asignada a la cuarta categoría de corrientes, en la cual ambas densidades de drenaje tienen valores más semejantes, 0.19 y 0.17 km/km².

Por otra parte, de acuerdo con los datos analizados se puede afirmar que el valor total de la disección fluvial del río Tlaxcalilla queda determinada por las cifras significativas de los dos primeros órdenes, de 3.84 y 1.17 km/km². En cambio, en el arroyo Grande, la mayor ponderación se debe al primer orden con 2.79 km/km². Todo lo anterior implica las áreas de subcuencas correspondientes a los de primer orden y en parte a los de segundo; presentan una alta disección generada por las longitudes de los cauces correspondientes a estos mismos órdenes. Con respecto al valor total, la mayor disección corresponde al río Tlaxcalilla y supera a la otra cuenca en dos terceras partes.

Comparación de parámetros superficiales

Para establecer la comparación de las áreas de las subcuencas por número de orden se consideró conveniente efectuarlo tanto en términos absolutos como relativos. En el primer caso (cuadro 16) se estableció la comparación con base en las áreas expresadas en kilómetros cuadrados, considerando que las superficies totales de ambas cuencas son casi iguales, 131 km² para el río Tlaxcalilla y 127 km² para la del arroyo Grande, por lo cual su diferencia es mínima. La segunda forma de comparación se efectuó con base en las cantidades porcentuales de cobertura (cuadro 17), a fin de unificar el criterio de comparación.

En el cuadro 16, con unidades de superficie, se observa para la cuenca

del río Tlaxcalilla, la inexistencia de un incremento secuencial del valor de las áreas conforme aumenta el número de orden. Los valores, de acuerdo con la jerarquía de las corrientes, presentan algunas variaciones mínimas. Así, en el segundo y cuarto órdenes, los valores de las superficies disminuyen con relación a las que les anteceden. También se puede observar en términos numéricos la existencia de dos grupos de valores parecidos; el conjunto inicial se forma por el primero y segundo órdenes con 68.5 y 65.0 km². El otro conjunto lo constituyen la tercera y cuarta jerarquías de cauces con 92.5 y 92.3 km². Lo anterior determina la falta de secuencia de valores progresivos de un orden a otro, pero al mismo tiempo logra aportar una idea del incremento de las áreas de las subcuencas conforme aumenta su número de orden, aunque sea otro tipo de secuencia.

En cambio en la cuenca del arroyo Grande, los valores de las áreas de las subcuencas tienen un aumento progresivo con una secuencia bastante definida. Esto significa que las subcuencas del río Tlaxcalilla están afectadas por las condiciones litológicas, por lo cual tienen mayor variación que las existentes en el arroyo Grande.

Por lo que se refiere a las diferencias numéricas, la más notable corresponde al conjunto de primer orden, de 20.5 km², en tanto que en la cuarta jerarquía la diferencia es mínima, de solamente 1.0 km². Sin embargo a pesar de estas diferencias puede afirmarse que, en conjunto, el desarrollo de las superficies es bastante similar, de acuerdo con los porcentajes de comparación y de semejanza, como otra forma de comparar las áreas de las subcuencas por orden jerárquico y con respecto a las superficies totales.

En el cuadro 17 se efectúa la detección del grado de semejanza, por carácter proporcional del área que incluyen. Igualmente las relaciones de

los porcentajes presentan casi las mismas características que el cuadro anterior, en lo que se refiere a la evolución de valores con respecto al incremento del número de orden. En el mismo cuadro 17 en la columna correspondiente a la diferencia de porcentajes se nota en forma más clara la desigualdad proporcional de las áreas, manifestándose el valor máximo de -14.5 en el primer orden, esta cantidad es aproximadamente la séptima parte del total. La diferencia disminuye paulatinamente hasta el cuarto orden y se presenta nula en el quinto.

De acuerdo con los porcentajes de comparación y de semejanza obtenidos con este criterio se observa cierta afinación con respecto al cuadro anterior; en esta equiparación se establece un rango más alto en el segundo orden, a diferencia del grado de semejanza mediano que se presenta en la comparación efectuada con base en las áreas expresadas en kilómetros cuadrados. Como conclusión parcial y de acuerdo con lo que antecede, se puede afirmar que esta forma de cotejar los datos permite establecer mayor precisión para detectar el grado de semejanza, el cual resultó más alto en un caso. También destaca el hecho de que en el quinto orden se elimina la comparación, dado que su carácter abarca toda el área, por identificarse con el cien por ciento de semejanza.

Con los datos del cuadro 18 se establece la comparación de las áreas medias de las subcuencas clasificadas por número de orden. En este aspecto las superficies correspondientes al río Tlaxcalilla presentan, entre el primero y el cuarto orden, áreas medias de menor valor con respecto al arroyo Grande. El río Tlaxcalilla tiene un área media de 131 km², casi el doble del que tienen las subcuencas de la misma jerarquía que integran la superficie del arroyo Grande, a las que corresponden, 63.5 km² por término medio. Este hecho es notable por lo que presenta un desfase en el desarrollo

y una alternación en la estadística, por lo cual se carece de similitud.

En el mismo cuadro se observa que para los valores de ambas cuencas existe un incremento secuencial de las áreas medias al aumentar la jerarquía de los órdenes de las subcuencas. Así mismo, las diferencias de valores tienen un notable incremento conforme aumenta el número de orden; la brecha de separación va siendo cada vez más amplia en términos absolutos. Al efectuar la comparación porcentual, que es positiva en la mayoría de los casos, indica las variaciones de los valores de las superficies, las cuales son bastante notables. Esa variación comprende el 29.31% hasta el 61.74% de incremento en los valores de las áreas medias del arroyo Grande, siempre con base a las que presenta el río Tlaxcalilla. En forma similar se tiene un porcentaje de semejanza y aunque se tienen los casos del primero y quinto orden, que presentan una variación muy grande se consideran carentes de significado como para poder establecer un grado de semejanza.

Uno de los parámetros más importante referente a las propiedades superficiales es el correspondiente a las relaciones de áreas de un orden a otro (cuadro 19). Estas propiedades y su comparación respectiva permiten conocer el desarrollo que manifiestan las superficies de escurrimiento y de captación de una cuenca con respecto a la otra.

Los datos de los valores de las relaciones de áreas en la cuenca del río Tlaxcalilla muestran inicialmente una cifra muy baja, de 0.60, en comparación con los otros datos numéricos que le siguen. A partir del segundo orden las cifras presentan valores más altos, pero aparentemente sin seguir una secuencia, pues entre el tercero y cuarto órdenes se nota una disminución a 4.13 y nuevamente un incremento entre la cuarta y quinta jerarquía, en las cuales alcanza 9.93. Lo anterior carece, hasta cierto punto, de significado excepto que podría atribuirse a la influencia del control litológico

co y al relieve existente dentro del área de esta cuenca.

En cuanto a los valores de la relación de áreas correspondiente al arroyo Grande, éstos tienden a presentar aparentemente una secuencia de cifras más definidas y parecidas entre sí. Entre el primero y segundo órdenes se encuentra el valor más alto, de 5.96 precisamente en donde la cuenca del río Tlaxcalilla tiene su mínimo valor de relación de área, por lo cual el grado de semejanza puede ser muy bajo o incluso carecer de significado. En la misma cuenca del arroyo Grande se observa, a partir de la segunda jerarquía, una secuencia numérica que tiende a una disminución de valores, los cuales únicamente oscilan de 3.58 a 3.40. Lo anterior implica la existencia de un desarrollo anormal del valor de las áreas de las subcuencas conforme aumenta el número de orden, aspecto que también se manifiesta en la red hidrográfica.

Las diferencias de las relaciones indicadas en la columna (4) del mismo cuadro 19 presentan oscilaciones heterogéneas; alcanzan sus mayores diferencias entre el cuarto y quinto orden, así como del primero al segundo, pero en sentido opuesto. Esto último se justifica por el alto valor de relación que se presenta en las dos primeras jerarquías de cauces correspondientes al río Tlaxcalilla, situación numérica inversa en la última categoría. Asimismo, derivada de esta situación se establece que la semejanza de estos parámetros sólo existirá en las dos categorías intermedias, con una mayor aproximación entre el tercero y cuarto órdenes. Por último cabe mencionar que en las categorías existentes en los extremos no se tiene grado alguno de semejanza.

En la expresión geométrica de la relación de áreas (gráfica 6) se muestra la tendencia del incremento del valor de las superficies de las sub

cuencias, por número de orden, conforme es mayor la jerarquía de éstas. La recta correspondiente al río Tlaxcalilla presenta una alineación notable con respecto a la posición de los puntos, excepto en el cuarto orden; su grado de ajuste es de 0.9974418 bastante próximo a la unidad, lo cual representa un crecimiento normal de las superficies. En cambio, la alineación de los puntos del arroyo Grande presenta una mayor dispersión, particularmente en el primero y quinto orden; en consecuencia el grado de ajuste de la recta es de 0.996774, cifra ligeramente inferior a la correspondiente al río Tlaxcalilla.

También se nota una pequeña divergencia en las rectas al aumentar la jerarquía de las subcuencas, originada por la diferencia de valores en sus pendientes. Así para el río Tlaxcalilla se tiene $m = 1.36$ y en la del arroyo Grande $m = 1.74$. La diferencia de lo anterior implica que las áreas medias de la primera cuenca se incrementan menos conforme aumenta el número de orden, en tanto que las de la segunda presentan superficies ligeramente mayores al incrementarse las jerarquías de las subcuencas.

En forma independiente de todos los parámetros inherentes a la misma naturaleza de las cuencas fluviales se tienen otros aspectos referentes a las superficies; éstos se forman con los valores de las diversas áreas de cobertura litológica, edafológica y de uso del suelo. Aunque estos factores constituyen partes indirectas de la morfometría fluvial, su inclusión es importante debido a que en varios aspectos son los que determinan ciertas características de la red hidrográfica o influyen sobre el desarrollo de ésta. Por lo anterior se consideró necesario llevar a cabo la comparación de las áreas mencionadas, ya que esto mismo permite tener una idea, por ejemplo, de la resistencia de las rocas a la disección fluvial, de las

posibilidades de infiltración y de la retención de agua.

En primer lugar se tiene el aspecto meramente litológico; esto es, sin considerar dentro del estudio la antigüedad geológica de las rocas. En los cuadros 20 y 21 se manifiesta de inmediato una gran diferencia en las coberturas y características litológicas de la superficie de las cuencas.

La zona que abarca la cuenca del río Tlaxcalilla tiene mayor variedad de rocas, aunque en proporciones superficiales muy diferentes. En primer lugar predominan las tobas; éstas cubren 62 km^2 , lo cual representa el 47.3%. Después se tienen las superficies cubiertas por areniscas conglomeráticas en 53.29 km^2 , equivalentes a dos quintas partes del área total. Finalmente se encuentran parajes pequeños, con respecto a las grandes áreas que anteceden cubiertos por material aluvial, basalto, rocas ígneas extrusivas ácidas y lutitas arenísticas.

La cuenca del arroyo Grande presenta una superficie con menor variación litológica; predomina la cubierta de rocas ígneas extrusivas ácidas en 71 km^2 , lo cual representa algo más de la mitad del área total, el 56%. En segundo término se tiene la cubierta de toba, con 48.7 km^2 equivalentes a cerca de dos quintas partes del área de esta cuenca. El resto de la superficie, unos 7.0 km^2 , que corresponden al 5.7% de la cuenca, se encuentran cubiertos por material aluvial localizado principalmente en depósitos existentes a lo largo de los valles fluviales.

En la gráfica 7 se puede apreciar claramente la distribución de las áreas de las distintas cubiertas litológicas, tanto en superficie como en porcentaje. A través de esta gráfica se establece de una manera objetiva la comparación de la litología existente en ambas cuencas.

El predominio de tobas en la cuenca del río Tlaxcalilla, implica la

existencia de una recarga acuífera poco importante; esto se debe a que los materiales tobáceos tienden a un grado de permeabilidad bajo y por tanto existe una mayor disección fluvial. Sin embargo, cabe señalar, que dicho grado depende del contenido de arcilla, ya que conforme éste aumenta la permeabilidad será menor. En segundo término se tienen las áreas cubiertas por areniscas conglomeráticas que tienen un grado que va de poco a medianamente permeable, debido al tipo de empaque del material. En este caso la recarga es ligeramente mayor que en las tobas y por tanto la disección fluvial en esas superficies es un poco menor.

En la cuenca del arroyo Grande predominan las rocas ígneas extrusivas ácidas, como es la riolita. En este material se pueden distinguir dos tipos de permeabilidad continua localizada, las cuales a su vez tienen grados de permeabilidad diferentes. La permeabilidad continua se lleva a cabo en los poros formados al mismo tiempo que la roca intercomunicados entre sí. Se puede considerar que el grado de permeabilidad varía de poco a medianamente permeable.

La permeabilidad localizada es la que se presenta por los sistemas de juntas y fracturas originadas posteriormente a la formación de la roca o por la acción del intemperismo. En este caso el grado de permeabilidad es muy alto y por tanto tiende a presentarse una disección fluvial menor. La cubierta de basalto que predomina en la cuenca del arroyo Grande se encuentra más avocada a este último caso y puede considerarse como una zona de recarga acuífera de consideración.

En el caso de los aluviones, localizados principalmente a lo largo de algunos de los cauces de ambas cuencas, puede decirse que representan áreas en donde se tiene una permeabilidad continua. Estos sitios pueden considerarse como zonas de recarga importantes especialmente los que están ubica-

dos en las partes planas y tienen mayor amplitud.

A continuación se destacan algunos aspectos obtenidos al comparar los valores de los distintos aspectos edafológicos existentes en las cuencas. En el cuadro 22 se puede observar de inmediato una diferencia bastante notable, tanto en los tipos de suelo existentes en cada una de las cuencas, como en la extensión que abarcan superficialmente.

Dentro del área correspondiente al río Tlaxcalilla se tienen dos grandes áreas edáficas: a) una amplia superficie de 108.76 km² cubierta por suelos feozem, la cual abarca el 83% del área de la cuenca (gráfica B0, b) la cubierta de litosoles, con una extensión de 22.4 km², equivalentes al 16.9% de la superficie. Existe además, una área muy pequeña comparada con las dos anteriores, cubierta por fluvisoles; éstos cubren únicamente el 0.18% y carecen de importancia.

La cuenca del arroyo Grande presenta una mayor variabilidad de suelos, tanto en lo referente a tipos como a la extensión superficial que cubren. En esta zona se detectan siete tipos de suelos; destacan por su extensión los feozem, con 37.1 km², equivalentes al 29.2% del área, la cual carece de semejanza con la que cubren estos mismos suelos en la cuenca del río Tlaxcalilla.

En segundo término se tienen los litosoles con una superficie de 24.5 km² ocupando el 19.3% del total. En este caso el grado de semejanza es alto ya que en ambas cuencas se tienen superficies similares y con una diferencia mínima entre sí. Otra gran semejanza se tiene en el caso de los fluvisoles, los cuales ocupan áreas muy pequeñas en ambas cuencas. La cobertura de los otros tipos de suelo - cambisol, planasol, luvisol y vertisol - existentes en la cuenca del arroyo Grande carecen de cualquier comparación por no encontrarse dentro de la cuenca del río Tlaxcalilla.

Para finalizar las comparaciones de las características relativas a las superficies de las cuencas se tiene el uso del suelo. Este es un parámetro inducido por la actividad humana; en las cartas consultadas combina algunos aspectos referentes a la vegetación natural. También conviene considerar que el uso del suelo, en la mayor parte de los casos, es función de las características naturales.

Al analizar el cuadro 23 y la gráfica 9 correspondientes al uso del suelo en las cuencas en estudio se aprecian las diferencias existentes en tres aspectos básicos; agrícola, forestal y pecuario. En la gráfica se observa de manera muy objetiva la predominancia de las actividades pecuarias dentro del área del río Tlaxcalilla. En cambio, en lo que respecta a la del arroyo Grande se manifiesta una notable proporcionalidad en los tres usos básicos. En lo que se refiere a la primera cuenca, la superficie dedicada a la ganadería tiene una gran difusión en varios lugares. Cubre áreas que en conjunto suman 82.4 km^2 , un poco más de tres quintas partes de su área, el 62.9%. En segundo término las áreas clasificadas como boscosas, abarcan una quinta parte del total y finalmente las superficies dedicadas a la agricultura, en conjunto representan una octava parte, el 12.17% de la cuenca. En un plano bastante secundario están las áreas desprovistas de vegetación, únicamente son 5.0 km^2 , equivalente al 3.8% con respecto al área total.

La cuenca del arroyo Grande presenta un panorama distinto en lo que se refiere al uso del suelo. Como antes se indicó existe una proporcionalidad inherente al valor de las áreas correspondientes a los tres usos básicos del suelo. De hecho cada uno de éstos le corresponde un tercio de la superficie, como si mantuviera un equilibrio en este aspecto. Las áreas dedicadas a la agricultura predominan ligeramente en un 34.56%, después la

cubierta forestal con 32.6% y finalmente las superficies dedicadas a la ganadería en un 30.0%. Las áreas desprovistas de vegetación son mínimas, 3.5 km², equivalentes al 2.75% de la superficie de la cuenca del arroyo Grande; esta última valoración es similar a la que presenta la cuenca del río Tlaxcalilla.

Al efectuar la comparación de los datos referentes al uso del suelo se encontraron algunos rasgos notables. En primer lugar la superficie dedicada a la agricultura que se practica en la cuenca del arroyo Grande es casi el triple que la existente en la del río Tlaxcalilla. Este aspecto es importante porque implica una mayor capacidad de infiltración debido al manejo del suelo. Asimismo, estas superficies tendrán una mayor evapotranspiración comparada con la que tendría la cobertura vegetal en caso de no haber sido modificada, dado que está formada por plantas del tipo de las xerófilas, matorrales espinosos y arbustivas. Los aspectos anteriores obviamente afectan al funcionamiento del ciclo hidrológico en lo que respecta a los volúmenes de infiltración y evapotranspiración. Respecto al uso pecuario predominante en la cuenca del río Tlaxcalilla, cabe hacer notar que su área, el 62.9%, cubre una superficie que es casi el doble de la que tiene el arroyo Grande, el 30.0%. Obviamente el grado de semejanza es bajo, pero implica que dentro de la cuenca del río Tlaxcalilla existen mayores posibilidades de destrucción de pastos, así como el incremento de la erosión. La trascendencia de este aspecto se reflejará obviamente en los procesos de escurrimiento e infiltración, aunque de una manera diferente a la que se presenta en la cuenca del arroyo Grande.

En lo que se refiere a las áreas dedicadas a las actividades forestales puede observarse que la diferencia es menos marcada de una cuenca a otra. En este sentido las áreas de bosques es de 41.5 km² existentes en

las partes altas del arroyo Grande muestran un mayor grado de conservación. Este hecho también es importante dentro del ciclo hidrológico porque presenta dos aspectos básicos, por una parte existe mayor retención de agua, pero por otra, en forma simultánea, se tiene una superficie con mayor capacidad de evapotranspiración. En conjunto ambas fases tendrán un efecto en el escurrimiento dentro del balance hidrológico de las dos cuencas.

Finalmente en lo que concierne a las pequeñas superficies desprovistas de vegetación, aunque tienen una diferencia mínima ponen de manifiesto la mayor degradación que existe en la cuenca del río Tlaxcalilla; lo anterior se justifica porque tiene una mayor proporción de áreas sin cobertura vegetal con respecto a la cuenca del arroyo Grande, en mejor estado de conservación.

Una vez presentado el conjunto de parámetros de las dos cuencas es conveniente efectuar varias consideraciones al respecto.

1. En primer término se carece de una tendencia general perfectamente definida en las comparaciones, ya que se muestran grados variables de una heterogeneidad de características en las superficies de ambas cuencas.
2. El análisis comprende sólo una forma de evaluación, idéntica para todo el conjunto de parámetros pero efectuado en forma particular en cada uno de ellos, lo cual da por resultado un panorama completamente simplificado ya que cada uno de los aspectos morfométricos se presenta como si todos tuvieran la misma ponderación para determinar el grado de semejanza entre las dos cuencas. Este procedimiento se adoptó debido a que se desconoce hasta qué punto puede influir cada uno de los aspectos morfométricos como elemento comparativo.
3. Al no efectuarse una ponderación significativa del valor de cada dato se podría dar el caso de llegar a interpretaciones equivocadas. Sin

embargo, teniendo en cuenta que los resultados particulares tienden a mostrar bajos grados de semejanza es factible concluir que los valores de los parámetros comparados pueden considerarse satisfactorios (Campbell, 1981).

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis morfométrico efectuado a lo largo de esta tesis y con el auxilio de algunas observaciones de campo, se llegó a la conclusión general de que: las cuencas estudiadas aunque tienen una superficie prácticamente igual son distintas entre sí y por lo tanto no se pueden extrapolar los datos de escurrimiento de una a la otra. Si bien por falta de información hidrológica no se pudo demostrar este hecho por medio del volumen de escurrimiento, en cambio fue factible notarlo al tratar el elemento precipitación.

A continuación se hacen las observaciones particulares de la conclusión total.

- En términos generales las dos cuencas estudiadas presentan un grado de conservación relativamente alto. El área correspondiente al arroyo Gran de tiene menos alteración, según los datos del uso del suelo. En la cuenca del río Tlaxcalilla se manifiestan mayores áreas desprovistas de vegetación y dedicadas a la agricultura.

Con base en lo anterior se establecen dos aspectos básicos relacionados con la morfometría. En primer término las mediciones efectuadas reflejan condiciones naturales con un mínimo de alteración, aunque diferentes de una cuenca a otra. En segundo lugar, debido a las diferencias de los grados de conservación - o de alteración en su caso - los valores de las dimensiones obtenidas pueden presentar mayores diferencias al efectuar la comparación.

- Debido a las alteraciones y diferencias morfométricas de las cuencas, se tendrán efectos distintos en el comportamiento hidrológico. Así, en el escurrimiento se tendrán variaciones en la forma de concentración hacia

los cauces; en los volúmenes de escurrimiento y de la cantidad de sólidos en suspensión; en los tiempos de respuesta en las desembocaduras; en la retención de agua y en general en lo concerniente al balance hídrico.

- Las redes hidrográficas de las dos cuencas presentan diferente desarrollo sobre la superficie. El sistema fluvial del arroyo Grande presenta una mejor proporcionalidad del número y longitud de cauces por orden jerárquico. La red hidrográfica del río Tlaxcalilla presenta ligeras anomalías en el cuarto orden, debidas principalmente a la influencia litológica.

- En cuanto a la comparación entre las longitudes medias y el número de cauces de ambas cuencas se obtuvo que los cauces del río Tlaxcalilla son más numerosos con respecto al área y de corta longitud, en tanto que los cauces del arroyo Grande son menos abundantes, pero en cambio tienen mayor longitud, con respecto a la cuenca de referencia. Esto permite establecer un grado de disección fluvial, siendo la cuenca del río Tlaxcalilla más afectada por dicho proceso. Este aspecto se puede relacionar con la litología y el clima predominante; esto es, se trata de materiales un poco menos resistentes a la erosión y sobre los cuales cae una mayor precipitación.

- Por lo que respecta a las relaciones de áreas, se observó que las diferencias existentes son más marcadas del primero al segundo orden y del cuarto al quinto. La mayor semejanza en el crecimiento de las subcuencas se presenta en la fase intermedia, entre el tercero y cuarto órdenes. Al parecer, por las cifras encontradas en la comparación, existe una dispersión de valores de la relación de bifurcación de una cuenca a otra. Esto último pone de manifiesto la influencia de las diferencias del suelo y de los materiales líticos sobre la morfometría de las cuencas.

- Asociado al punto anterior, se concluye que: debido a la existencia de las características y condiciones litológicas y edafológicas, diferentes

en ambas cuencas, la comparación de las áreas de cobertura es un parámetro donde se presentaron las mínimas semejanzas. Las diferencias que existen en las expresiones numéricas correspondientes son muy grandes, particularmente en lo referente a rocas ígneas extrusivas ácidas. Las diferencias que presentan son muy grandes, tanto en kilómetros cuadrados como en porcentaje, por lo tanto la comparación carece absolutamente de un grado de semejanza. Únicamente en el caso de las tobas y del material aluvial existe una aproximación de semejanza, pero no es significativa con respecto al proceso hidrológico.

- Al sintetizar los diferentes resultados de los grados de semejanza, tanto lineales como los inherentes a las superficies, se detectó la comprobación de la hipótesis. Las dos cuencas son bastante diferentes en dichos parámetros a pesar de encontrarse en un mismo sistema montañoso, con la misma orientación y clima. No es posible que se pueda realmente encontrar el valor del escurrimiento con base exclusivamente en el conocimiento de las áreas de las cuencas.

- Se considera que existe cierta similitud y proporcionalidad en lo referente a los volúmenes de precipitación e infiltración calculados para las dos cuencas. Con base en este aspecto se puede inferir la existencia de un comportamiento semejante del ciclo hidrológico en ambas cuencas. Por tanto, si las condiciones existentes en la superficie de éstas fueran semejantes, sería obvio esperar un comportamiento hidrológico superficial común a las dos; asimismo, el balance hídrico tendría las mismas proporciones. Sin embargo, conocidas las diferentes condiciones de las superficies y de la morfometría se infiere que tanto la infiltración como el escurrimiento serán diferentes. En síntesis, para el caso de las cuencas estudiadas se pierde la posible semejanza de una parte del ciclo hidrológico a par

tir de las características terrestres.

Discusión de resultados

- Con base en la hipótesis planteada se demuestra la necesidad de emplear aspectos morfométricos que permitan tener cierto rigor matemático y no solamente depender de apreciaciones superficiales.

- Se considera que la investigación realizada es una aportación nueva al conocimiento geográfico. Es una forma diferente de aplicación de los mapas, de la morfometría y de un sistema de comparación enfocado al estudio y evaluación del agua, como recurso natural de las cuencas.

- Aún cuando se desconocen muchos de los aspectos reales de las cuencas, se tiene la certeza de que este método sienta las bases para formular otros procedimientos de investigación. Cuando éstos últimos surjan, obviamente se efectuarán las modificaciones y ajustes pertinentes. Es posible que algunos aspectos de la morfometría empleada resulten equivocados; lo mismo puede ser para el procedimiento utilizado para calcular el grado de semejanza. Es probable que en un momento dado se llegue a conocer el grado que tienen por sí mismos cada uno de los parámetros, y por lo tanto, se puede realizar una comparación más aproximada a la realidad.

- En lo que respecta a las comparaciones efectuadas con base en las cifras porcentuales se llega a la conclusión de que aportan resultados de mayor precisión. Tienen como ventaja que presentan cifras unificadas al grado de proporción que existe dentro de las cuencas. Uno de los ejemplos más claros es el que se refiere a las áreas de las subcuencas. En este caso la apreciación comparativa resulta más adecuada, aspecto que no ocurriría en caso de haberse hecho únicamente con los valores expresados en kilómetros cuadrados.

- Según la escala empleada en los mapas, 1:50 000, es el grado de precisión obtenido en las mediciones. Se considera pertinente indicar que tanto la densidad de drenaje como la frecuencia de cauces hidrográfica deben tener valores un poco más altos. Lo anterior es en virtud de que las dimensiones de los cauces deben ser de mayor longitud, pero sin alcanzarse a medir con exactitud por apreciación cartográfica o por el grado de error del curvímetero. Asimismo, los valores de las dos variables expresados por orden de jerarquía, deben también ser un poco más altos a partir del segundo orden porque en la suma de áreas se incluyen las de los interfluvios.

- En cuanto a la evaluación del escurrimiento medio anual en la estación hidrométrica y la evapotranspiración, es conveniente aclarar que la estación climatológica La Begoña, funciona desde el año de 1941, por lo cual su estadística cuenta con una amplia población numérica. Basado en sus datos de temperatura media anual y de la precipitación anual, se apoyaron los trazos de las líneas isotermas e isoyetas de las cartas climáticas consultadas. Esta información se empleó a su vez para el cálculo de la evapotranspiración en las dos cuencas, para establecer el balance hídrico. En cambio, la población numérica de los escurrimientos de la Estación González, abarca únicamente seis años. Por medio de sus registros se determinó el volumen de escurrimiento medio anual. Debido a la inexistencia de información de los tres parámetros en los mismos 5 años no se pudo efectuar el cálculo correspondiente al mismo lapso. El resultado es obviamente un desfase estadístico, hasta cierto punto inadecuado para el establecimiento de los balances hídricos.

Sugerencias

Una vez que se han obtenido las conclusiones y efectuado una breve discusión de resultados, se cree conveniente manifestar varias sugerencias

al respecto.

- Inicialmente se considera conveniente insistir sobre el grado de precisión obtenido de acuerdo con la escala en que se trabajó. Los datos obtenidos son adecuados para las dimensiones de las cuencas. Sin embargo, para obtener un grado de mayor precisión en las mediciones y en consecuencia en la comparación respecto a la semejanza, es recomendable el uso de cartas en escalas menores. Una prueba comparativa, sería el análisis de los datos obtenidos en una misma zona, pero partiendo de diferentes escalas. De esta manera es factible conocer las desviaciones que van teniendo las mediciones.

- Se estima conveniente dar más atención a la estadística, ya que ésta sirve de base a algunas comparaciones y cálculos morfométricos. Así sería factible conocer, de manera más completa, la morfología fluvial y de las cuencas, lo cual redundará en el grado de precisión para la equiparación de cuencas y su aplicación en estudios específicos. Por ello es importante disponer, en un estudio determinado, de un universo de números integrado más racionalmente. También se sugiere que las mediciones, tanto lineales como superficiales, se registren en forma particular y se les ordene de acuerdo con su valor, la información permitirá efectuar otros cálculos estadísticos tales como frecuencia, moda, clases, etc. Derivado de lo expuesto se tendrían nuevos y más amplios elementos de comparación entre las propiedades morfométricas de las cuencas.

- A fin de complementar los aspectos de comparación es conveniente realizar otro estudio de este tipo en el cual se efectúen mediciones lineales y superficiales particularmente en las diversas regiones con diferentes características existentes en las cuencas. Así por ejemplo, sería interesante conocer la longitud media de los cauces de primer orden cuando éstos se

desarrollan en diferentes materiales líticos; igualmente se podría hablar de la densidad de drenaje en dichos materiales. Otro aspecto sería, la determinación de los parámetros morfológicos fluviales con respecto a las montañas, talud y planicies de una cuenca. De esta forma se complementarían las formas de comparación y además se podría conocer más a fondo el desarrollo de las redes hidrográficas y de las cuencas en general.

- Otra sugerencia es la ampliación del número de parámetros para efectuar las comparaciones. Al respecto deben tomarse los aspectos morfométricos relacionados con las propiedades volumétricas tales como la altura media, pendientes, altitud media, coeficientes orográficos, etc., para obtener mayor definición en cuanto las equiparaciones. También es posible que después de varios estudios se lleguen a determinar cuáles son los parámetros más representativos para efectuar comparaciones. Este tipo de determinaciones permitirá efectuar una selección y evitar todo un sistema de cálculos poco representativos, no sólo en los aspectos volumétricos sino también en los de tipo lineal y superficial.

- Por otra parte se considera adecuado iniciar algo relacionado con la experimentación. Lo ideal sería disponer de información compilada en cuencas representativas o experimentales, así como de datos de laboratorio. Infortunadamente se carece de dicha información y no existe a nivel regional. Sin embargo se sugiere seguir realizando estudios morfométricos en diferentes cuencas de distintos lugares del país. Con dicha información es factible efectuar nuevos estudios comparativos para observar las tendencias de la morfometría con respecto a las diversas regiones geomorfológicas, climáticas, etc.

- Por último, en relación con las determinaciones del escurrimiento se estima conveniente efectuar comparaciones morfométricas de cuencas ya afora

das. De esta manera es posible que se lleguen a encontrar las relaciones existentes entre el escurrimiento y las características morfométricas de las cuencas. Incluso tal vez se llegue a determinar una explicación o expresión numérica adecuada a cada conjunto de parámetros con respecto al escurrimiento y determinarlo indirectamente con suficiente aproximación a la realidad.

RELACION DE MATERIAL ANEXO

I. Lista de mapas elaborados.

- 1) Localización de la cuenca del río Lerma, Santiago.
- 2) Cuenca alta del río La Laja.

Mapas de la cuenca del río Tlaxcalilla

- 3) Climas.
- 4) Topografía.
- 5) Litología.
- 6) Suelos.
- 7) Uso del suelo.
- 8) Número de orden de los cauces de la red hidrográfica.
- 9) Límites y áreas de las subcuencas de primer orden.
- 10) Límites y áreas de las subcuencas de segundo orden.
- 11) Límites y áreas de las subcuencas de tercer orden.
- 12) Límites y áreas de las subcuencas de cuarto y quinto órdenes.

Mapas de la cuenca del arroyo Grande

- 13) Climas.

II. Lista de cuadros numéricos con los datos morfométricos calculados.

- 1) Principales datos morfométricos lineales de la cuenca del río Tlaxcalilla, Gto.
- 2) Principales datos morfométricos lineales de la cuenca del arroyo Grande, Gto.
- 3) Principales datos morfométricos areales de la cuenca del río Tlaxcalilla, Gto.
- 4) Principales datos morfométricos areales de la cuenca del arroyo Grande.
- 5) Comparación del número de cauces por orden de jerarquía entre la red hidrográfica del río Tlaxcalilla y la del arroyo Grande.
- 6) Comparación de la relación de bifurcación.

- 7) Comparación de las longitudes de cauces por número de orden.
- 8) Comparación de las longitudes acumulativas (km) de los cauces.
- 9) Comparación de las longitudes medias (km) de cauces por número de orden.
- 10) Comparación de las longitudes acumulativas de los cauces (km) por número de orden.
- 11) Comparación de las relaciones de longitud (km) de los cauces.
- 12) Comparación de la frecuencia de cauces (cauces/km²) por número de orden.
- 13) Comparación de la frecuencia de cauces (cauces/km²) parcial, por número de orden.
- 14) Comparación de las densidades de drenaje totales (km/km²).
- 15) Comparación de la densidad de drenaje parcial (km/km²) por número de orden.
- 16) Comparación de las áreas (km²) de las subcuencas por número de orden.
- 17) Comparación porcentual de las áreas de las subcuencas por número de orden.
- 18) Comparación de las áreas medias (km²) por número de orden.
- 19) Comparación de las relaciones de áreas.
- 20) Comparación de las superficies litológicas (km²).
- 21) Comparación porcentual de las superficies litológicas.
- 22) Comparación de las superficies edafológicas (km²).
- 23) Comparación de las superficies de uso del suelo (km²).

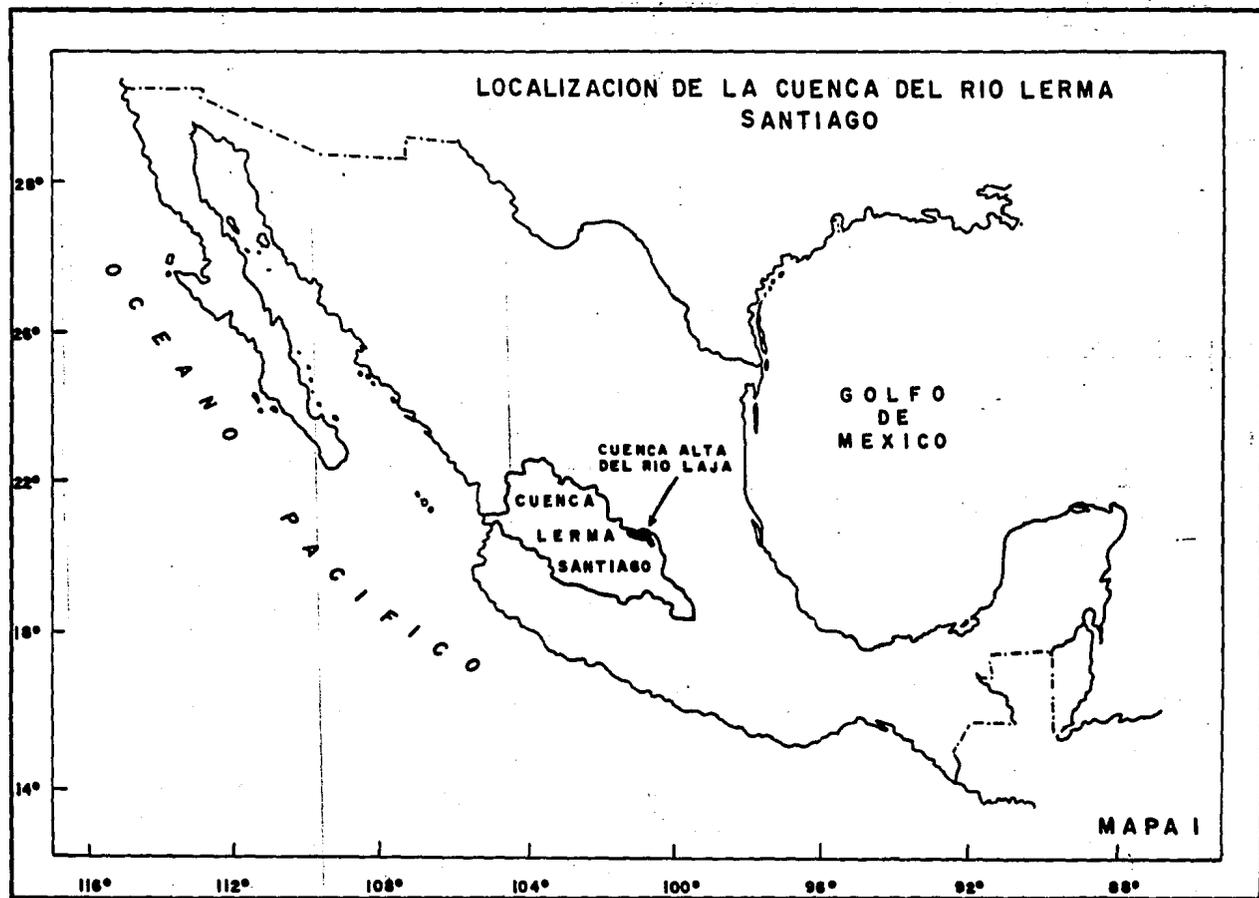
III. Lista de tablas de datos hidrométricos

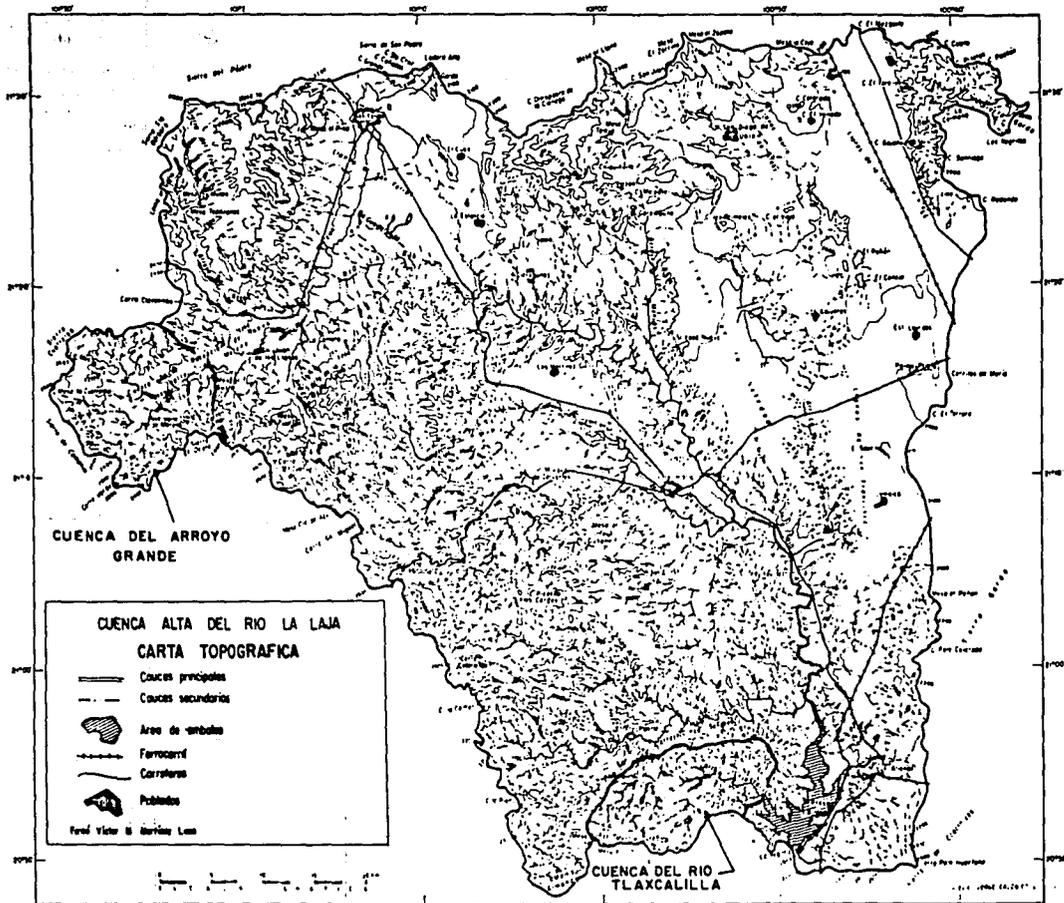
- 1) Volúmenes de escurrimiento mensual (miles de metros cúbicos) del río Tlaxcalilla, en la estación hidrométrica González, Gto.
- 2) Gastos medios mensuales (m³/seg) del escurrimiento del río Tlaxcalilla en la estación González, Gto.

IV. Lista de gráficas elaboradas

- 1) Volúmenes de escurrimiento medio mensual del río Tlaxcalilla.
- 2) Gastos medios mensuales del escurrimiento del río Tlaxcalilla.

- 3) Relación de bifurcación del río Tlaxcalilla y del arroyo Grande.
- 4) Relación de longitud del río Tlaxcalilla.
- 5) Relación de longitud del arroyo Grande.
- 6) Relación de áreas por número de orden del río Tlaxcalilla y del arroyo Grande.
- 7) Comparación porcentual y areal de las superficies litológicas en las cuencas del río Tlaxcalilla y arroyo Grande.
- 8) Comparación porcentual y areal de las superficies edáficas en las cuencas del río Tlaxcalilla y arroyo Grande.
- 9) Comparación porcentual y areal de las superficies de uso del suelo en las cuencas del río Tlaxcalilla y arroyo Grande.

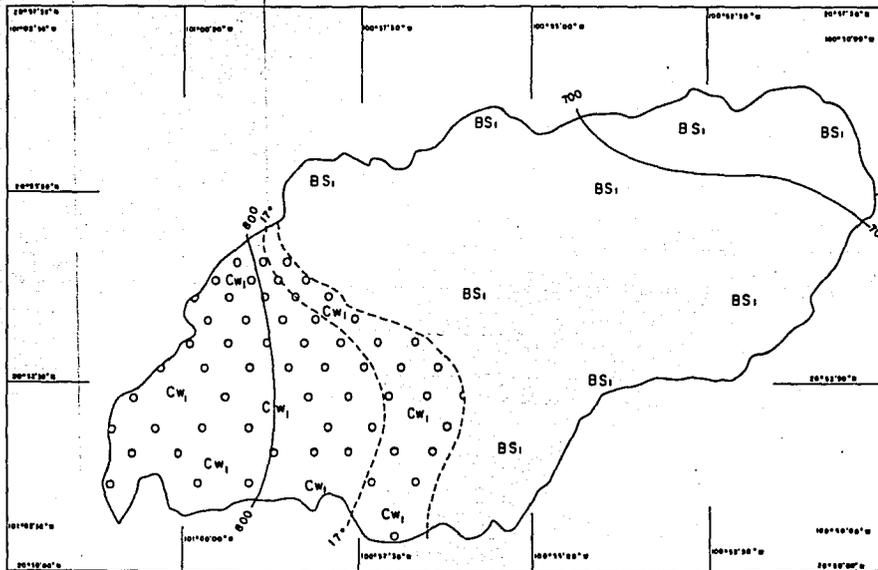




Fuente: MARTINEZ LUNA VICTOR MANUEL. Los factores Geomorfologicos que rigen el Comportamiento de la Presa Ignacio Allende, Gto.

MAPA 2

MAPA DE CLIMAS DE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA



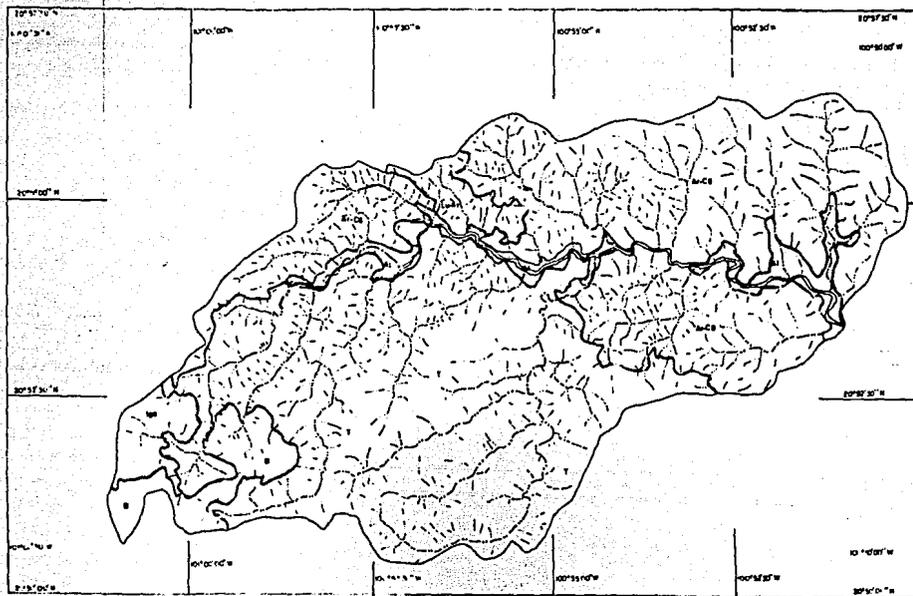
CLAVE

	Línea isoterma
	Línea isoyeta
	BS ₁ CLIMA TEMPLADO SECO
	CW ₁ CLIMA TEMPLADO SUBHÚMEDO

ESCALA 1:50 000

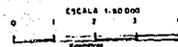
U	FACULTAD FILOSOFIA
N	Y LETRAS
A	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA

MAPA DE LA LITOLOGIA DE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA



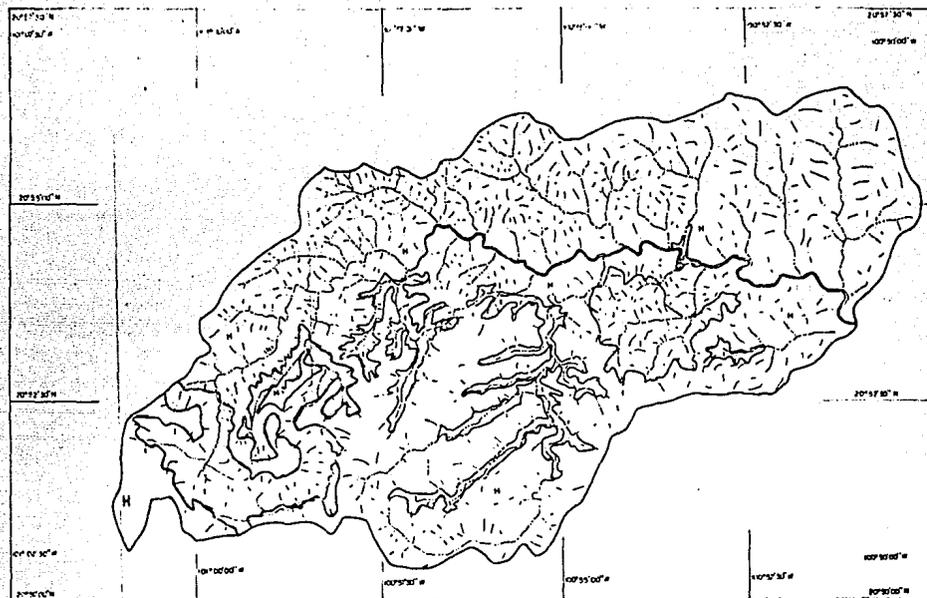
MAPA 5

S I M B O L O S I A	
	T Toba
	B Basalto
	Al Aluvial
	Ar-Cg Arenisca-Conglomerado
	Lu-Ar Lutita-Arcilla
	Ige Yeso



U	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS.
N	COLEGIO DE GEOGRAFIA
A	
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA

MAPA DE SUELOS DE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA



S I M B O L O G I A	
	H FELZEM
	I LINDOL
	J FLUVIOL

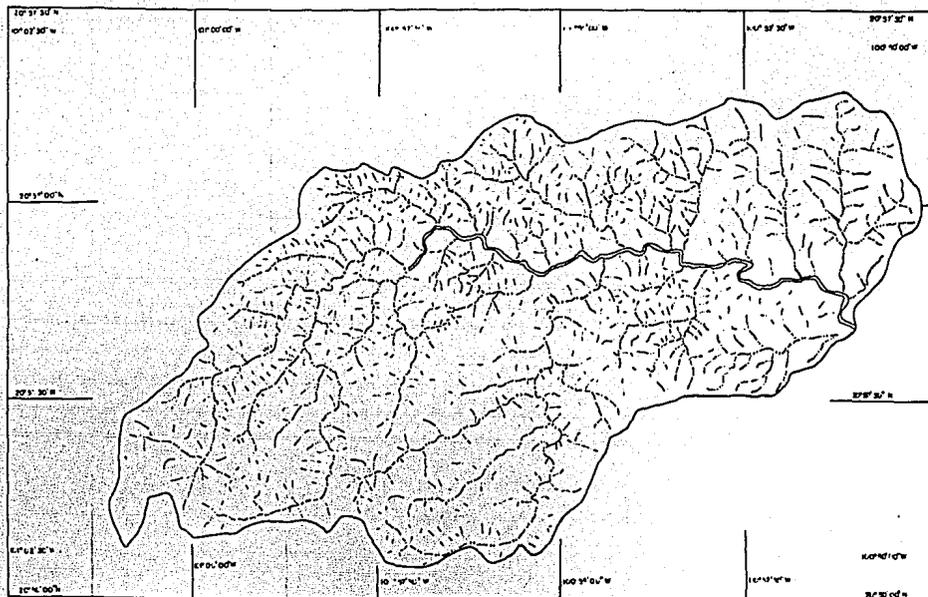
ESCALA 1:50 000

0 1 2 3 4
Kilometros

MAPA 6

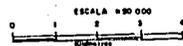
U	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS.
N	
A	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MARIANO MARTINEZ LUNA

MAPA DEL NUMERO DE ORDEN DE LOS CAUCES DE LA RED
HIDROGRAFICA DE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA



SIMBOLOGIA

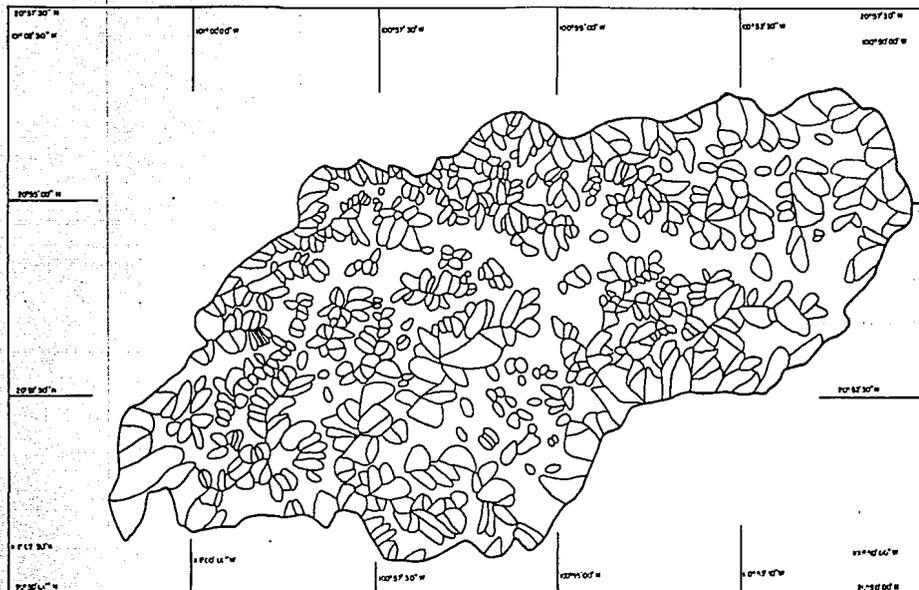
	Cauces de Primer Orden
	Cauces de Segundo Orden
	Cauces de Tercer Orden
	Cauces de Cuarto Orden
	Cauces de Quinto Orden



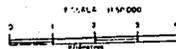
MAPA 6

U	FACULTAD. FILOSOFIA Y LETRAS.
N	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MARIJEL MARIJEL I. NA

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE PRIMER
ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA

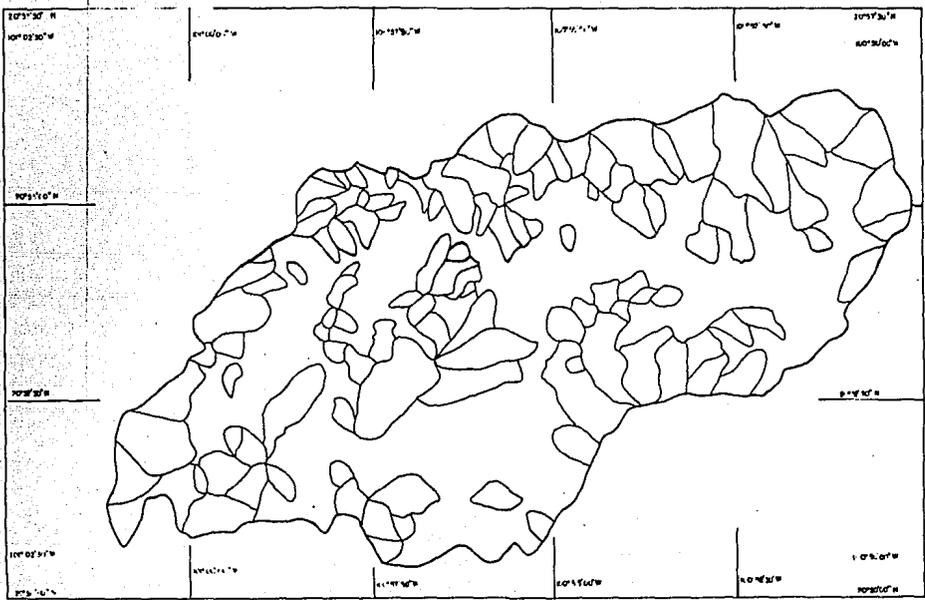


MAPA 9

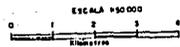


U	FACULTAD. FILOSOFIA Y LETRAS.
N	COLEGIO DE GEOGRAFIA
A	
M	VILTOR MANUEL MARTINEZ LLINA.

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE SEGUNDO ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO TLAXCALLA

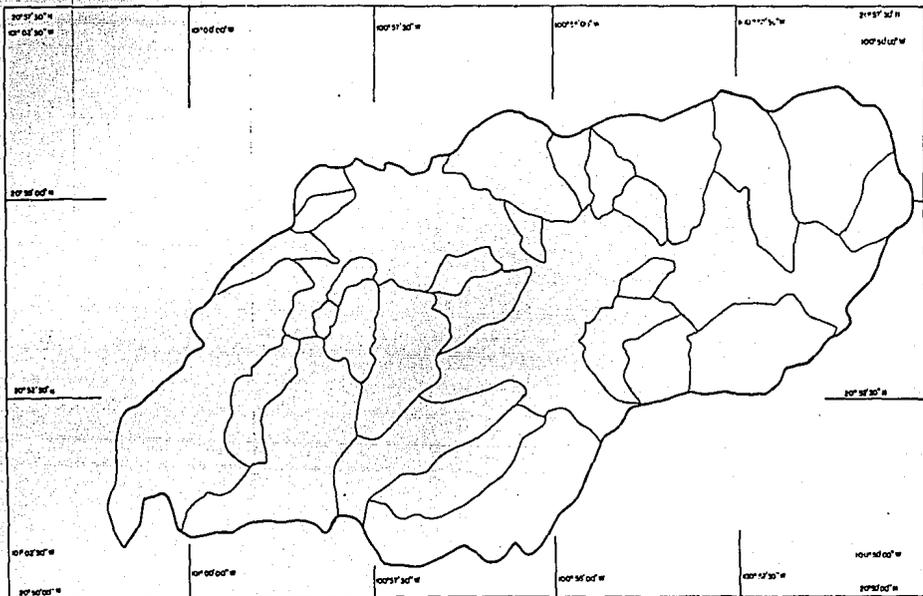


MAPA 10

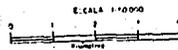


U	FACULTAD. FILOSOFIA Y LETRAS.
N	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUIA

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE TERCER
ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA

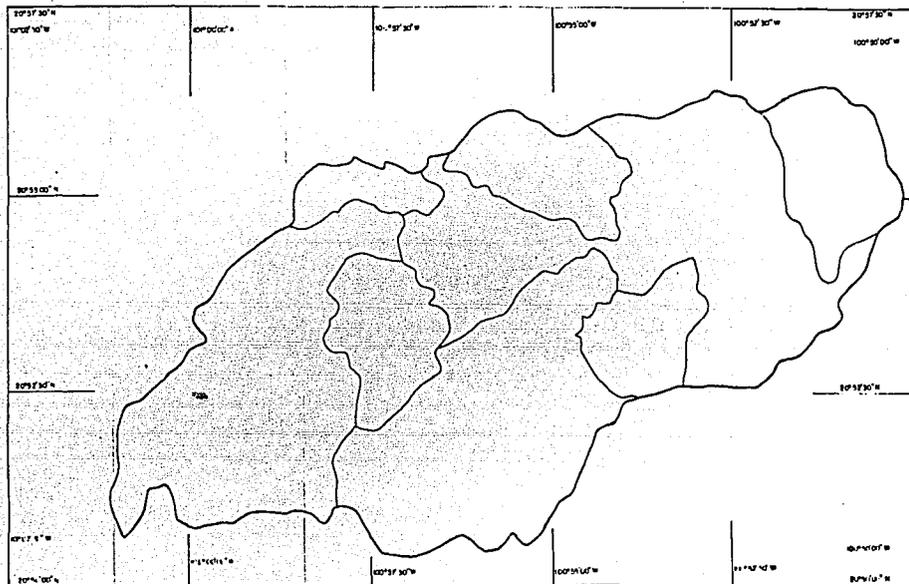


MAPA II

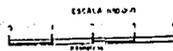


U N A M	FACULTAD. FILOSOFIA Y LETRAS
	COLEGIO DE GEOGRAFIA
	VICTOR MANUEL MARTINEZ LIPILA

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE CUARTO
Y QUINTO ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA

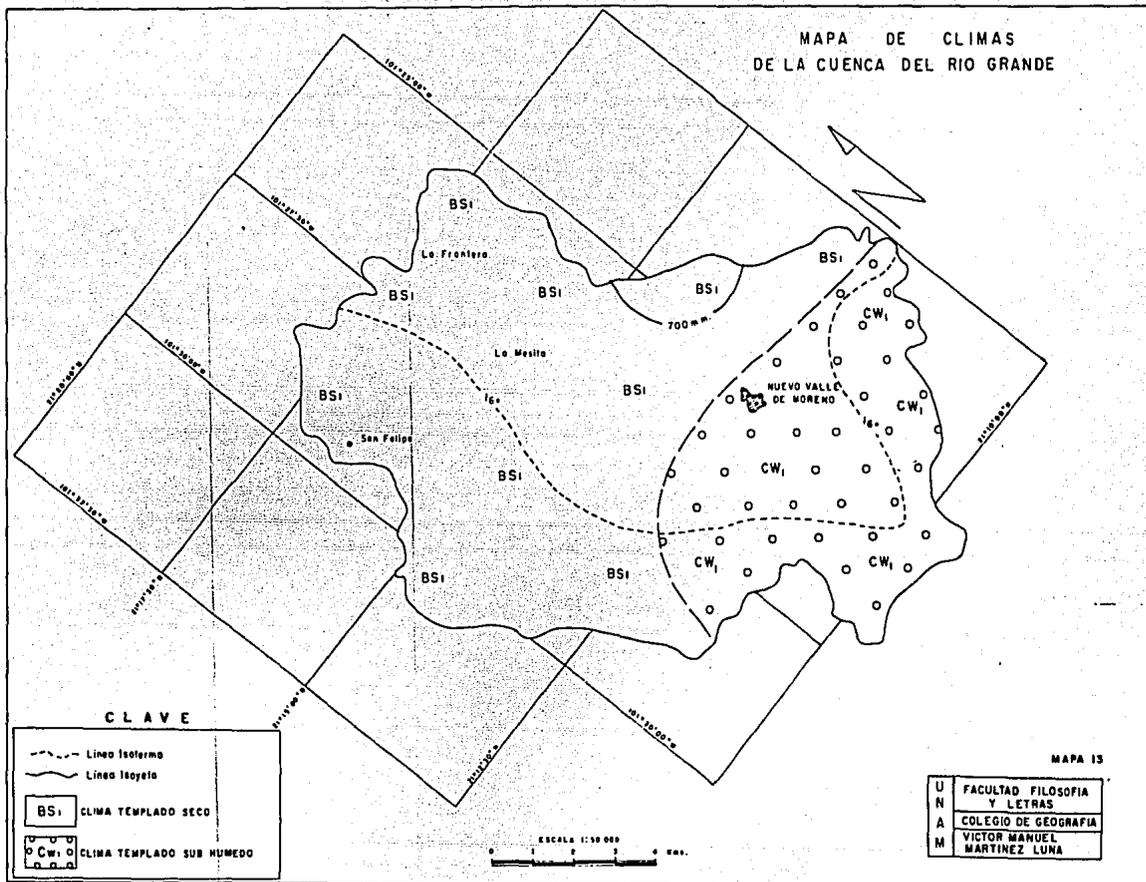


MAPA 12



U	FACULTAD. FILOSOFIA Y LETRAS.
N	
A	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUÑA

MAPA DE CLIMAS
DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE



CLAVE

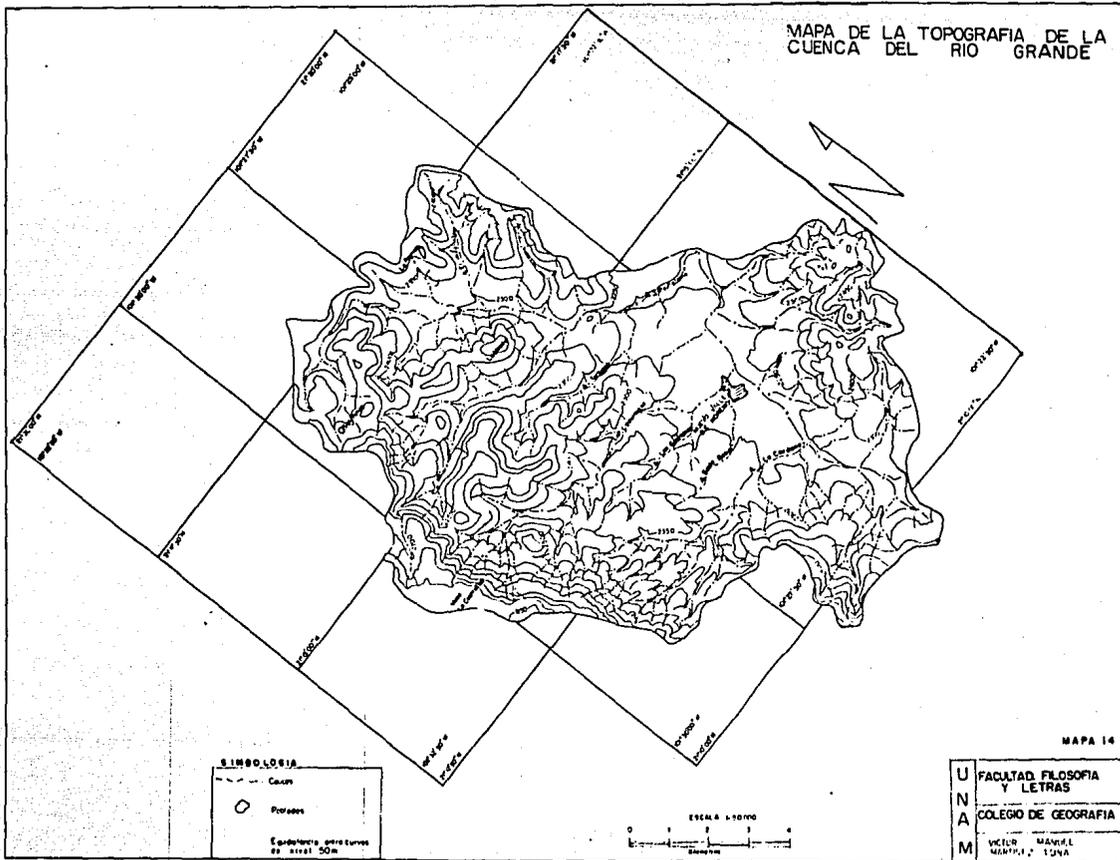
	Línea isoterma
	Línea isoyeta
	CLIMA TEMPLADO SECO
	CLIMA TEMPLADO SUB HÚMEDO

ESCALA 1:50 000

MAPA 13

U	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS
N	COLEGIO DE GEOGRAFIA
A	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA
M	

MAPA DE LA TOPOGRAFIA DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE



SIMBOLOGIA
 ○ Puntos
 Escala horizontal en escala 50m

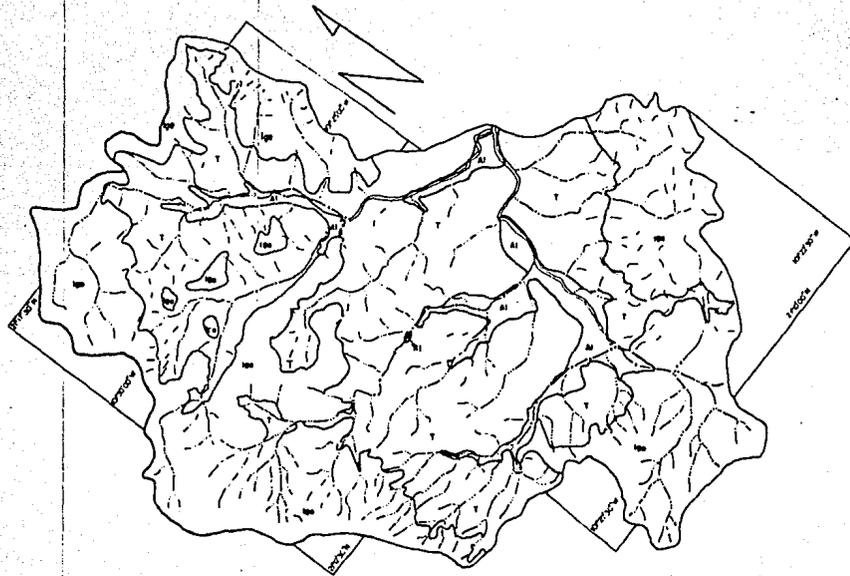
ESCALA 1:50000
 0 1 2 3 4
 Kilometros

U FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS
 N
 A COLEGIO DE GEOGRAFIA
 M VICERRECTOR MANUEL MARTÍNEZ LUÑA

MAPA 14

91

MAPA DE LA LITOLOGIA DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE.



S I M B O L O G I A

	Cauces de Primer Orden	Legen
	Cauces de Segundo Orden	Ige Igneo
	Cauces de Tercer Orden	Al Aluvial
	Cauces de Cuarto Orden	T Toba
	Cauces de Quinto Orden	



MAPA 15

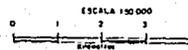
U N A M	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS
	COLEGIO DE GEOGRAFIA
	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUÑA

MAPA DE SUELOS DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE.



S I M B O L O G I A

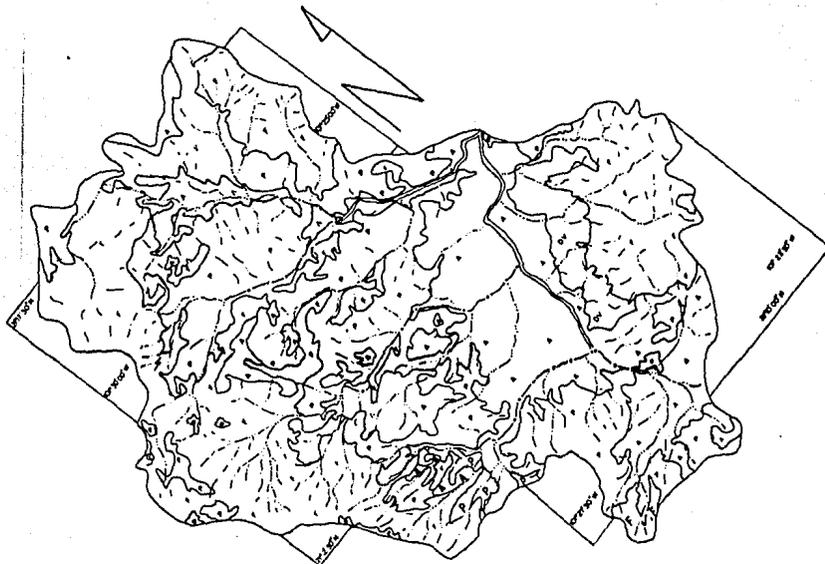
—	Cauces de primer orden	I	Litoral
- - -	Cauces de 2º orden	B	Barrosos
- - -	Cauces de 3º orden	H	Horizontales
- - -	Cauces de 4º orden	W	Wadsworth
- - -	Cauces de 5º orden	L	Litoral
- - -	Cauces de 6º orden	J	Jordan
- - -	Cauces de 7º orden	V	Verticales



MAPA.16

U N A M	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS
	COLEGIO DE GEOGRAFIA
	VICTOR MANUEL MARTÍNEZ LUNA

MAPA DE USO DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE.



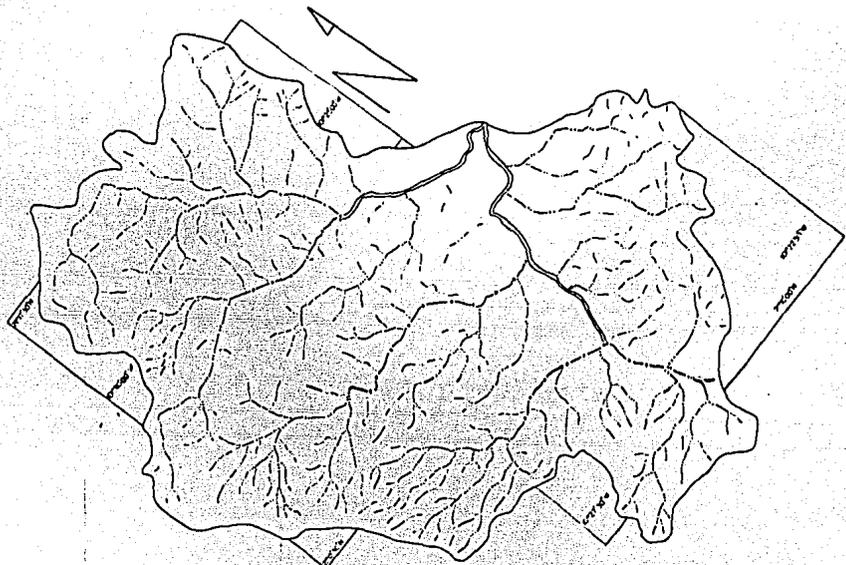
S I M B O L O S	
	A Uso Agrícola
	P Uso Pastoral
	F Uso Forestal
	D Distrito de Vegetación



MAPA 17

FACULTAD FILOSOFIA
Y LETRAS.
COLEGIO DE GEOGRAFIA
VICTOR MANUEL
MARTINEZ LUNA

MAPA DEL NUMERO DE ORDEN DE LOS CAUCES DE LA
RED HIDROGRAFICA DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE.



SIMBOLOGIA

.....	Cauces de Primer Orden
-----	Cauces de Segundo Orden
- . - . - .	Cauces de Tercer Orden
—————	Cauces de Cuarto Orden

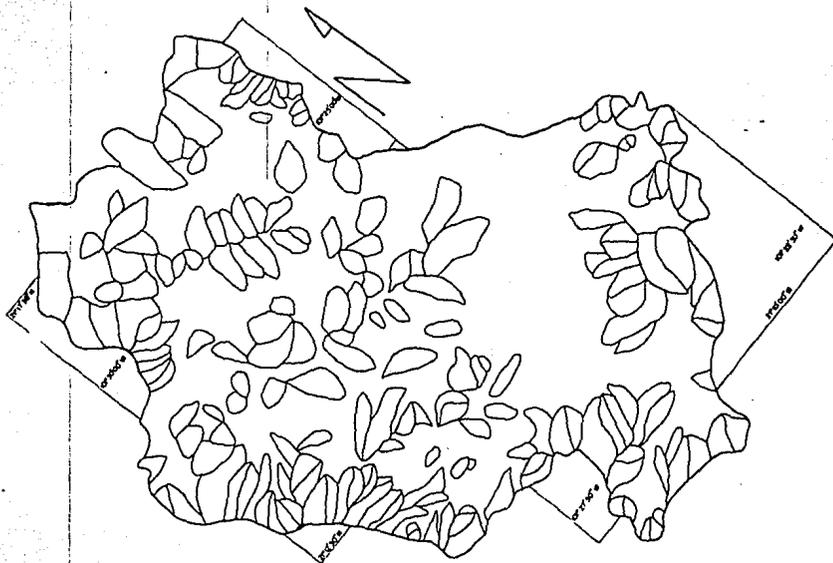


MAPA 18

U	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS
N	
A	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA

94

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE PRIMER ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE.



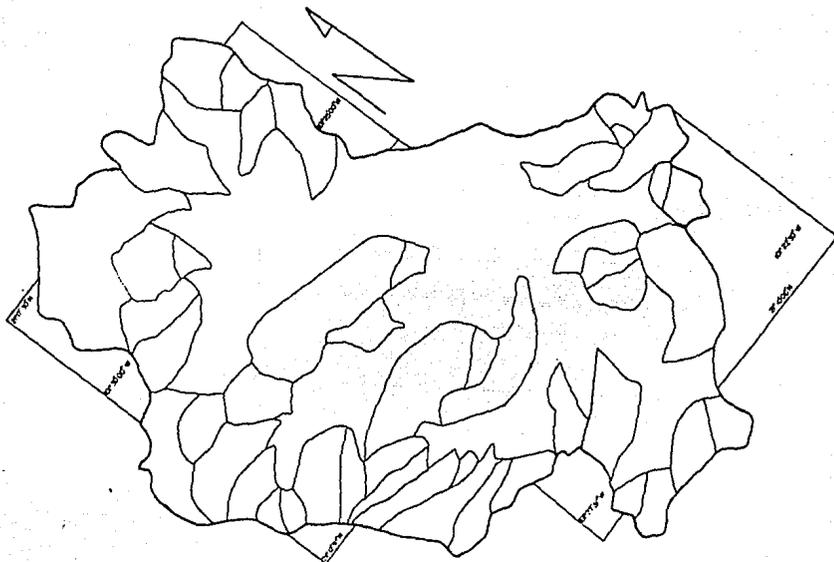
MAPA 19

ESCALA 1:50 000

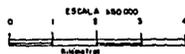


U	FAULTAD. FILOSOFIA Y LETRAS.
N	COLEGIO DE GEOGRAFIA
A	
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA.

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE SEGUNDO
ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE.



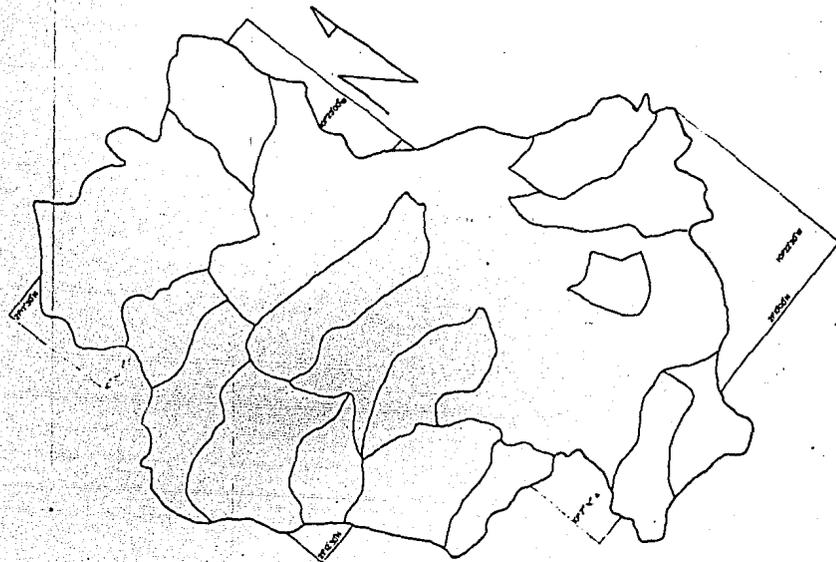
MAPA 20



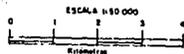
U	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS
N	
A	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LUÑA

97

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE TERCER ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE

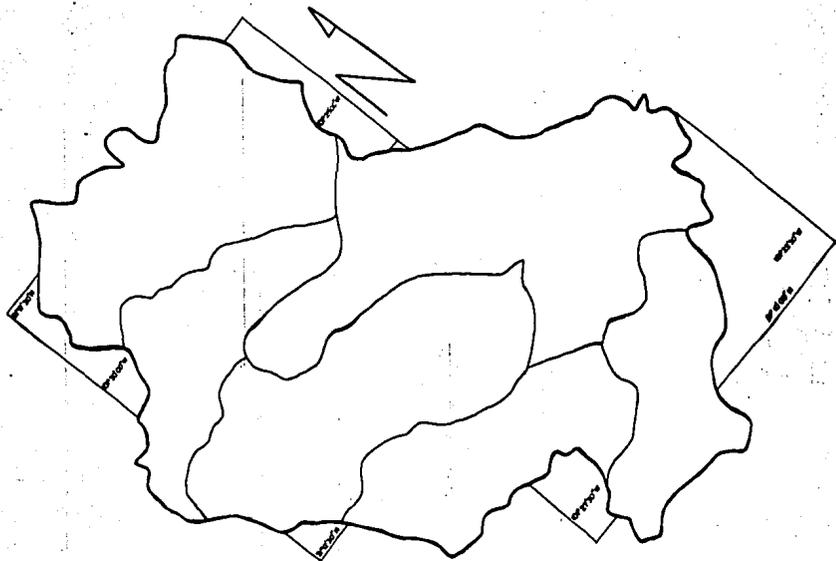


MAPA 21



U	FACULTAD. FILOSOFIA Y LETRAS.
N	COLEGIO DE GEOGRAFIA
A	
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LIZIA

MAPA DE LIMITES Y AREAS DE LAS SUBCUENCAS DE CUARTO Y QUINTO ORDEN EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE.



MAPA 22

U	FACULTAD FILOSOFIA Y LETRAS.
N	
A	COLEGIO DE GEOGRAFIA
M	VICTOR MANUEL MARTINEZ LLANA

TABLA I

VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO MENSUAL (MILES DE METROS CUBICOS) DEL RIO TLAXCALILLA, EN LA ESTACION HIDROMETRICA GONZALEZ, GTO*

	1962	1963	1964	1965	1966	1967	PROMEDIO	PORCENT.
ENERO	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00
FEBRERO	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00
MARZO	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00
ABRIL	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00
MAYO	1793	20	0	0	0	0	302.2	2.80
JUNIO	8013	946	220	0	348	647	1695.6	15.71
JULIO	2799	1329	1238	385	1823	705	1379.8	12.79
AGOSTO	1082	1197	4042	3880	4674	1066	2656.8	24.62
SEPTIEMBRE	2152	306	5904	4740	287	3960	2891.5	26.80
OCTUBRE	766	436	558	3033	86	6204	1847.2	17.12
NOVIEMBRE	0	0	16	0	0	88	17.3	0.16
DICIEMBRE	0	0	1	0	0	0	0.1	0.00
ANUAL	16604	4234	11979	12038	7219	12669	10790.5	100.00

* ELABORADO CON BASE EN LA INFORMACION DEL BOLETIN HIDROLOGICO # 51, TOMO III S.R.H. 1973.

TABLA 2

GASTOS MEDIOS (M^3/S) MENSUALES, DEL ESCURRIMIENTO DEL RIO TLAXCALILLA EN LA ESTACION -
HIDROMETRICA GONZALEZ, GTO.*

	1962	1963	1964	1965	1966	1967	PROMEDIO	PORCENT.
ENERO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
FEBRERO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
MARZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
ABRIL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
MAYO	0.679	0.007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.113	2.77
JUNIO	3.091	0.365	0.085	0.0	0.134	0.250	0.654	16.01
JULIO	1.045	0.496	0.462	0.144	0.681	0.263	0.515	12.61
AGOSTO	0.404	0.447	1.509	1.448	1.745	0.398	0.991	24.26
SEPTIEMBRE	0.830	0.118	2.278	1.829	0.111	1.528	1.116	27.33
OCTUBRE	0.286	0.163	0.208	1.132	0.0032	2.316	0.689	16.87
NOVIEMBRE	0.0	0.0	0.006	0.0	0.0	0.034	0.006	0.15
DICIEMBRE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
ANUAL	0.526	0.134	0.380	0.382	0.229	0.402	0.689	100.0

* ELABORADO CON BASE EN LA INFORMACION DEL BOLETIN HIDROLOGICO # 51, TOMO III, S.R.H.
1973.

PRINCIPALES DATOS MORFOMETRICOS LINEALES DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA
GTO.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1°	678	---	263	263	0.39	0.39	---	5.18	2.01
2°	118	5.74	76	339	0.64	1.03	1.64	0.90	0.58
3°	29	4.07	56	395	1.93	2.96	3.01	0.22	0.43
4°	7	4.10	18	413	2.60	5.56	1.35	0.05	0.14
5°	1	7.00	15	428	15.0	20.56	5.77	0.01	0.11
TOTAL	833	---	428	428	0.51	---	---	6.36	3.27

(1) NUMERO DE ORDEN

(2) NUMERO DE CAUCES

(3) RELACION DE BIFURCACION

(4) LONGITUD DE CAUCES (Km)

(5) LONGITUD ACUMULATIVA

(6) LONGITUD MEDIA (Km) (4)/(2)

(7) LONGITUD MEDIA ACUMULATIVA

(8) RELACION DE LONGITUD

(9) FRECUENCIA DE CAUCES (CAUCES/Km²)

(10) DENSIDAD HIDROGRAFICA (Km/Km²)

CUADRO 2

PRINCIPALES DATOS MORFOMETRICOS LINEALES DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL ARROYO GRANDE, GUANAJUATO.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1°	196	---	134	134	0.68	0.68	---	1.54	1.05
2°	49	4.0	62	196	1.26	1.94	1.85	0.38	0.49
3°	15	3.2	27	223	1.80	3.74	1.43	0.12	0.21
4°	5	3.0	16	239	3.20	6.94	1.77	0.04	0.13
5°	2	2.5	10	249	5.00	11.94	1.56	0.02	0.07
TOTAL	267	---	249	249	0.93	---	---	2.10	1.96

- (1) NUMERO DE ORDEN
 (2) NUMERO DE CAUCES
 (3) RELACIONE DE BIFURCACION
 (4) LONGITUD DE CAUCES (Km)
 (5) LONGITUD ACUMULATIVA
 (6) LONGITUD MEDIA (Km) (4)/(2)
 (7) LONGITUD MEDIA ACUMULATIVA
 (8) RELACION DE LONGITUD
 (9) FRECUENCIA DE CAUCES (CAUCES/Km²)
 (10) DENSIDAD HIDROGRAFICA (Km/Km²)

PRINCIPALES DATOS MORFOMETRICOS AREALES DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA
GTO.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1°		68.5	0.10	---	9.89	3.84
2°		65.0	0.57	0.60	1.81	1.17
3°		92.5	3.19	5.60	0.31	0.61
4°		92.3	13.19	4.13	0.08	0.19
5°		131.0	131.0	9.93	0.01	0.11
TOTAL		131.0	---	---	6.36	3.27

(1) ORDEN DE LAS SUBCUENCAS

(2) AREA TOTAL DE SUBCUENCAS

(3) AREAS MEDIAS

(4) RELACION DE AREAS

(5) FRECUENCIA DE CAUCES PARCIAL POR NUMERO DE ORDEN (N/Km^2)

(6) DENSIDAD HIDROGRAFICA PARCIAL POR NUMERO DE ORDEN (Km/Km^2)

PRINCIPALES DATOS MORFOMETRICOS AREALES DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL ARROYO GRANDE, -
GTO.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1°	48.0	0.15	---	4.08	2.79	
2°	73.2	0.92	5.96	0.67	0.85	
3°	80.0	2.14	3.58	0.19	0.34	
4°	93.3	5.14	3.50	0.05	0.17	
5°	127.0	5.47	3.40	0.02	0.08	
TOTAL	127.0	---	---	2.10	1.96	

(1) ORDEN DE LAS SUBCUENCAS

(2) AREA TOTAL DE LAS SUBCUENCAS

(3) AREAS MEDIAS

(4) RELACION DE AREAS

(5) FRECUENCIA DE CAUCES PARCIAL POR NUMERO DE ORDEN (N/Km²)

(6) DENSIDAD HIDROGRAFICA PARCIAL POR NUMERO DE ORDEN (Km/Km²)

COMPARACION DEL NUMERO DE CAUCES POR ORDEN DE JERARQUIA ENTRE LA RED HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1°	678	196	-482	-245.9	28.9	NINGUNO
2°	118	49	- 69	-140.8	41.5	NINGUNO
3°	29	15	- 14	93.3	51.7	BAJA
4°	7	5	- 2	- 40.0	71.4	MEDIANA
5°	1	2	1	50	200.0	N.S.*
TOTAL	833	267	-566	-211.9	32.1	NINGUNO

(1) NUMERO DE ORDEN DE LOS CAUCES

(2) NUMERO DE CAUCES DEL RIO TLAXCALILLA

(3) NUMERO DE CAUCES DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA NUMERICA DE CAUCES (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION $(4)/(3) \times 100$

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA $(3) \times 100/(2)$

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADO

* NO SIGNIFICATIVO

COMPARACION DE LA RELACION DE BIFURCACION ENTRE LA RED HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1 ^a - 2°		5.7	4.0	-1.7	-42.5	70.2	MEDIANO
2° - 3°		4.1	3.2	-0.9	-28.1	78.0	MEDIANO
3° - 4°		4.1	3.0	-1.1	-36.7	73.2	MEDIANO
4° - 5°		7.0	2.5	-4.5	-180.0	35.7	NINGUNO
MEDIA		5.2	3.2	-2.0	62.5	61.5	BAJO

(1) NUMEROS DE ORDEN CONSIDERADOS

(2) RELACION DE BIFURCACION DEL RIO TLAXCALILLA

(3) RELACION DE BIFURCACION DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE LOS VALORES DE BIFURCACION (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADO

CUADRO 7

COMPARACION DE LAS LONGITUDES DE CAUCES POR NUMERO DE ORDEN ENTRE LA RED HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1°		263	134	-129	-96.3	50.9	BAJO
2°		76	62	- 10	-16.1	81.6	MEDIANO
3°		56	27	- 29	-107.4	48.2	BAJO
4°		18	16	- 2	-12.5	88.9	ALTO
5°		15	10	- 5	-50.0	66.7	MEDIANO
TOTAL		428	249	-179	-71.9	58.2	BAJO

(1) NUMERO DE ORDEN

(2) LONGITUD DE CAUCES (Km) DEL RIO TLAXCALILLA

(3) LONGITUD DE CAUCES (Km) DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE LONGITUDES (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

COMPARACION DE LAS LONGITUDES ACUMULATIVAS (Km) DE LOS CAUCES ENTRE LA RED HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1°	263	134	-129	-96.27	50.9	BAJA
2°	339	196	-143	-72.96	57.8	BAJA
3°	395	223	-172	-77.13	56.5	BAJA
4°	413	239	-174	-72.80	57.9	BAJA
5°	428	249	-179	-71.89	58.2	BAJA

(1) ORDEN DE LOS CAUCES

(2) LONGITUD ACUMULATIVA DE CAUCES DEL RIO TLAXCALILLA

(3) LONGITUD ACUMULATIVA DE CAUCES DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE LONGITUDES (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION $(4)/(3) \times 100$

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA $(3) \times 100/(2)$

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

109

CUADRO 9

COMPARACION DE LAS LONGITUDES MEDIAS (Km) DE LOS CAUCES POR NUMERO DE ORDEN ENTRE LA RED HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1°	0.39	0.68	0.29	174.4	42.6	MEDIANO	
2°	0.64	1.26	0.62	196.9	49.2	NINGUNO	
3°	1.93	1.80	-0.13	- 93.3	7.2	ALTO	
4°	2.60	3.20	0.60	123.1	18.8	BAJO	
5°	15.000	5.00	-10.00	- 33.3	200.0	NINGUNO	
TOTAL	0.51	0.93	0.42	182.4	45.1	MEDIANO	

- (1) ORDEN DE LOS CAUCES
- (2) LONGITUD MEDIA DE CAUCES DEL RIO TLAXCALILLA
- (3) LONGITUD MEDIA DE CAUCES DEL ARROYO GRANDE
- (4) DIFERENCIA DE LONGITUDES (3)-(2)
- (5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100
- (6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)
- (7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

COMPARACION DE LAS LONGITUDES MEDIAS ACUMULATIVAS DE LOS CAUCES (Km) POR NUMERO DE -
ORDEN, ENTRE LA RED HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1°	0.39	0.68	0.29	42.65	174.36	N.S.*
2°	1.03	1.94	0.91	46.91	188.35	N.S.*
3°	2.96	3.74	0.78	20.86	126.35	ALTO
4°	5.56	6.94	1.38	19.88	124.82	ALTO
5°	20.56	11.94	-8.62	-72.19	58.07	BAJO

(1) ORDEN DE LOS CAUCES

(2) LONGITUD MEDIA DE CAUCES DEL RIO TLAXCALILLA

(3) LONGITUD MEDIA DE CAUCES DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE LONGITUDES (3)-(2)

(5) PORCENTAJES DE COMPARACION $(4)/(3) \times 100$

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA $(3) \times 100/(2)$

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

* NO SIGNIFICATIVA

COMPARACION DE LA RELACIONES DE LONGITUD (Km) DE LOS CAUCES ENTRE LA RED HIDROGRAFICA DEL RIO TLAXACALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1°-2°	1.6	1.9	0.3	15.8	118.8	ALTO
2°-3°	3.0	1.4	-1.6	-114.3	46.7	BAJO
3°-4°	1.4	1.8	0.4	22.2	128.6	MEDIANO
4°-5°	5.8	1.6	-4.2	-262.5	27.6	NINGUNO
MEDIA	2.9	1.7	-1.2	70.6	58.6	BAJO

(1) ORDEN DE LOS CAUCES

(2) RELACION DE LONGITUD DEL RIO TLAXACALILLA

(3) RELACION DE LONGITUD DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE RELACIONES (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION $(4)/(3) \times 100$

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA $(3) \times 100/(2)$

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

COMPARACION DE LA FRECUENCIA DE CAUCES (CAUCES/Km²) TOTALES POR NUMERO DE ORDEN, ENTRE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA Y LAS DEL ARROYO GRANDE.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1o.	5.18	1.54	-3.64	-236.36	29.73	NINGUNO	
2o.	0.90	0.38	-0.52	-136.84	42.22	NINGUNO	
3o.	0.22	0.12	-0.10	- 83.33	54.54	BAJO	
4o.	0.05	0.04	-0.01	- 25.00	80.00	MEDIANO	
5o.	0.01	0.02	0.01	50.00	200.00*	N.S.*	
T O T A L	6.36	2.10	-4.26	-202.86	33.02	NINGUNO	

(1) ORDEN DE LOS CAUCES

(2) FRECUENCIA DE CAUCES DEL RIO TLAXCALILLA

(3) FRECUENCIA DE CAUCES DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE FRECUENCIAS (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

* NO SIGNIFICATIVA

CUADRO 13

COMPARACION DE LA FRECUENCIA DE CAUCES (CAUCES/Km²) PARCIAL, POR NUMERO DE ORDEN ENTRE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA Y LAS DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1°	9.89	4.08	-5.81	-142.4	41.2	NINGUNO
2°	1.81	0.67	-1.14	-170.1	37.0	NINGUNO
3°	0.31	0.19	-0.12	- 63.2	61.3	BAJO
4°	0.08	0.05	-0.03	- 60.0	62.5	BAJO
5°	0.01	0.02	0.01	50.0	200.0	N.S.*
TOTAL	6.36	2.10	4.26	202.6	33.0	NINGUNO

(1) ORDEN DE LAS SUBCUENCAS

(2) FRECUENCIA DE CAUCES PARCIAL EN SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA

(3) FRECUENCIA DE CAUCES PARCIAL EN SUBCUENCAS DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE FRECUENCIAS (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADO

* NO SIGNIFICATIVO

COMPARACION DE LAS DENSIDADES DE DRENAJE
RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(Km/Km²) TOTALES, ENTRE LAS SUBCUENCAS DEL

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1o.	2.00	1.05	-0.95	-90.5	52.5	BAJO	
2o.	0.58	0.49	-0.09	-18.4	84.5	MEDIANO	
3o.	0.42	0.21	-0.21	-100	50.0	BAJO	
4o.	0.13	0.13	0.0	0.0	1.0	NINGUNO	
5o.	0.11	0.07	-0.04	-57.1	63.6	BAJO	
T O T A L	3.26	1.96	-1.30	-66.3	60.1	BAJO	

- (1) ORDEN DE LOS CAUCES
- (2) DENSIDAD HIDROGRAFICA DE LOS CAUCES DEL RIO TLAXCALILLA
- (3) DENSIDAD HIDROGRAFICA DE LOS CAUCES DEL ARROYO GRANDE
- (4) DIFERENCIA DE DENSIDADES (3)-(2)
- (5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100
- (6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)
- (7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

COMPARACION DE LA DENSIDAD DE DRENAJE (Km/Km^2) PARCIAL POR NUMERO DE ORDEN ENTRE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TLAXACLILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1o.		3.84	2.79	-1.05	-37.6	72.7	MEDIANO
2o.		1.17	0.85	-0.32	-37.6	72.6	MEDIANO
3o.		0.61	0.34	-0.27	-79.4	55.7	BAJO
4o.		0.19	0.17	-0.02	11.8	89.5	ALTO
5o.		0.11	0.08	-0.03	-37.5	72.7	MEDIANO
T O T A L		3.27	1.96	-1.31	-66.8	59.9	BAJO

(1) ORDEN DE LAS SUBCUENCAS

(2) DENSIDAD HIDROGRAFICA PARCIAL EN SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA

(3) DENSIDAD HIDROGRAFICA PARCIAL EN SUBCUENCAS DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE DENSIDADES (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

COMPARACION DE LAS AREAS (K_m^2) DE LAS SUBCUENCAS POR NUMERO DE ORDEN, ENTRE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1o.	68.5	48.0	-20.5	-42.7	70.1	MEDIANO
2o.	65.0	73.2	8.2	11.2	112.6	MEDIANO
3o.	92.5	80.0	-12.5	-15.6	86.5	ALTO
4o.	92.3	93.3	1.0	1.1	101.1	ALTO
5o.	131.0	127.0	- 4.0	- 3.1	96.9	ALTO

(1) NUMERO DE ORDEN

(2) AREAS DE SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA

(3) AREAS DE SUBCUENCAS DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE AREAS (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADO

117

CUADRO 17

COMPARACION PORCENTUAL DE LAS AREAS DE SUBCUENCAS POR NUMERO DE ORDEN ENTRE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1o.	52.3	37.8	-14.5	-38.36	72.28	MEDIANO
2o.	49.6	57.6	8.0	13.89	116.13	ALTO
3o.	70.6	63.0	- 7.6	-12.06	89.24	ALTO
4o.	70.5	73.5	3.0	4.08	104.26	ALTO
5o.	100.0	100.0	---	---	---	---

- (1) NUMERO DE ORDEN DE LAS SUBCUENCAS
 (2) PORCENTAJE PARCIAL POR NUMERO DE ORDEN DE SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA
 (3) PORCENTAJE PARCIAL POR NUMERO DE ORDEN DE SUBCUENCAS DEL ARROYO GRANDE
 (4) DIFERENCIA DE PORCENTAJES (3)-(2)
 (5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100
 (6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)
 (7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

COMPARACION DE LAS AREAS MEDIAS (Km²) POR NUMERO DE ORDEN, ENTRE LAS SUBCUENCAS HIDROGRAFICAS DEL RIO TLAXCALILLA Y LAS DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1o.	0.10	0.25	0.15	60.00	250.00	N.S.*
2o.	0.57	1.49	0.92	61.74	38.25	NINGUNO
3o.	3.19	5.33	2.14	40.15	59.85	BAJO
4o.	13.19	18.66	5.47	29.31	70.68	MEDIANO
5o.	131.0	63.50	67.50	106.30	206.30	N.S.*

(1) NUMERO DE ORDEN DE LAS SUBCUENCAS

(2) AREAS MEDIAS DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA

(3) AREAS MEDIAS DE LAS SUBCUENCAS DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE AREAS (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

*NO SIGNIFICATIVO

COMPARACION DE LAS RELACIONES DE AREAS ENTRE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA Y LAS DEL ARROYO GRANDE.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
10.-20.	0.60	5.96	5.36	89.9	993.3	N.S.*	
20.-30.	5.60	3.58	-2.02	-56.4	63.9	BAJO	
30.-40.	4.13	3.50	-0.63	-18.0	84.8	ALTO	
40.-50.	9.93	3.40	-6.53	-192.1	34.2	NINGUNO	

(1) ORDEN DE LAS SUBCUENCAS

(2) RELACION DE AREAS DEL RIO TLAXCALILLA

(3) RELACION DE AREAS DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA NUMERICA (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

* NO SIGNIFICATIVO

COMPARACION DE LAS SUPERFICIES (Km^2) LITOLÓGICAS ENTRE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(1).	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
IGNEA*	2.90	71.10	68.20	95.92	2451.7	NINGUNO
BASALTO	4.90	---	---	---	---	NULO
TOBA	62.02	48.70	-13.32	27.35	78.52	MEDIANO
LUTITA-ARENISCA	2.68	---	---	---	---	NULO
<u>ARENISCA-CONGLO</u>						
MERADO	53.29	---	---	---	---	NULO
ALUVIAL	5.21	7.0	1.79	134.4	25.57	MEDIANO

(1) TIPO DE LITOLOGIA

(2) AREA DE COBERTURA (Km^2) EN LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA

(3) AREA DE COBERTURA (Km^2) EN LA CUENCA DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA DE SUPERFICIES (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION (4)/(3) X 100

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA (3) X 100/(2)

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

* ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS ACIDAS

COMPARACION PORCENTUAL DE LAS SUPERFICIES LITOLÓGICAS, ENTRE LA CUENCA DEL RÍO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
IGNEA*	2.2	56.0	53.8	96.1	2451.7	NULO
BASALTO	3.7	---	---	---	---	NULO
TOBA	47.3	38.3	-9.0	23.5	2545.5	MEDIANO
LUTITA-ARENISCA	2.0	---	---	---	---	NULO
ARENISCA -CONGLO						
MERADO	40.7	---	---	---	---	NULO
ALUVIAL	3.9	5.7	1.8	31.6	146.2	MEDIANO

(1) TIPO DE LITOLOGIA

(2) PORCENTAJE DE COBERTURA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO TLAXCALILLA

(3) PORCENTAJE DE COBERTURA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL ARROYO GRANDE

(4) DIFERENCIA PORCENTUAL (3)-(2)

(5) PORCENTAJE DE COMPARACION $(4)/(3) \times 100$

(6) PORCENTAJE DE SEMEJANZA $(3) \times 100/(2)$

(7) GRADO DE SEMEJANZA ESTIMADA

* ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS ACIDAS

122

COMPARACION DE LAS SUPERFICIES (Km²) EDAFOLOGICAS, ENTRE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Litosol	22.4	24.5	2.1	8.57	109.37	Alto
Cambisol	-	10.4	-	-	-	Ninguno
Feozem	108.76	37.1	-71.66	193.15	34.11	Ninguno
Planosol	-	24.1	-	-	-	Ninguno
Luvisol	-	8.7	-	-	-	Ninguno
Fluvisol	0.24	1.0	0.76	76.00	416.67	Alto
Vertisol	-	21.2	-	-	-	Ninguno

- (1) Tipos de suelo
- (2) Tipo de suelo en la cuenca del río Tlaxcalilla
- (3) Tipo de suelo en la cuenca del río Grande
- (4) Diferencia de superficies (3) - (2)
- (5) Porcentaje de comparación (4) / (3) x 100
- (6) Porcentaje de semejanza (3) x 100 / (2)
- (7) Grado de semejanza estimada

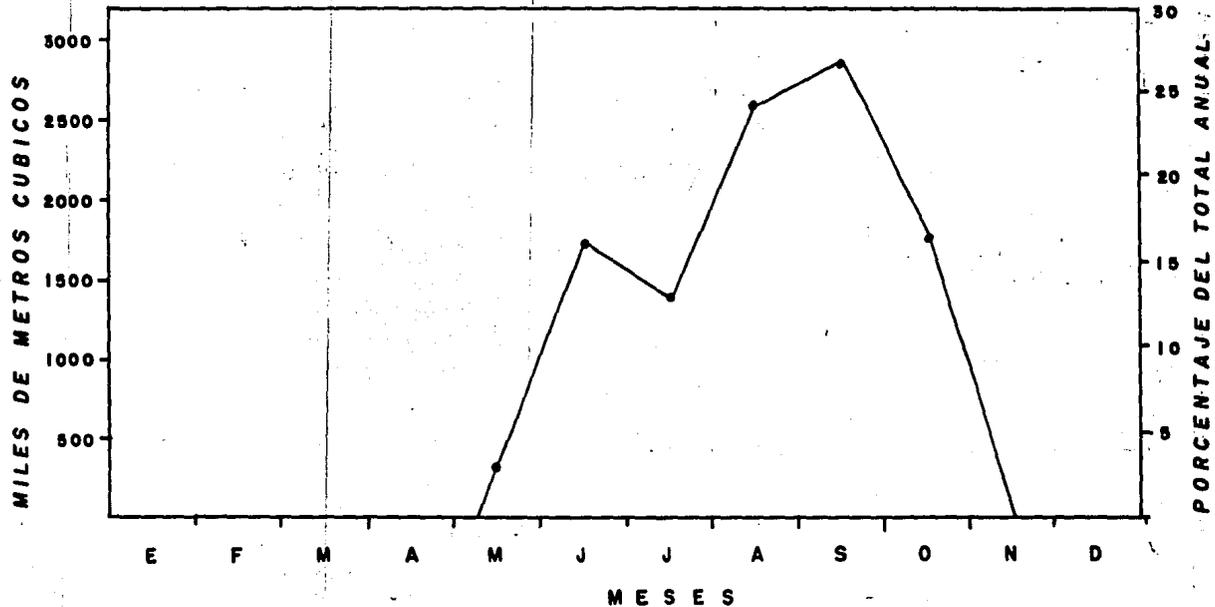
COMPARACION DE LAS SUPERFICIES (km^2) DE USO DEL SUELO ENTRE LA CUENCA DEL RIO TLAXCALILLA Y LA DEL ARROYO GRANDE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Uso agrícola	16.7	43.0	26.3	61.2	257.6	N.S. *
Uso pecuario	82.4	38.6	-43.8	-113.5	46.8	Bajo
Uso forestal	26.9	41.9	15.0	35.8	155.8	Alto
Desprovisto de vegetación	5.0	3.5	-1.5	-42.9	70.0	Alto

- (1) Uso del suelo
 (2) Uso del suelo en la cuenca del río Tlaxcalilla
 (3) Uso del suelo en la cuenca del arroyo Grande
 (4) Diferencia de superficies (3) - (2)
 (5) Porcentaje de comparación (4) / (3) x 100
 (6) Porcentaje de semejanza (3) x 100 / (2)
 (7) Grado de semejanza estimada

* No significativo

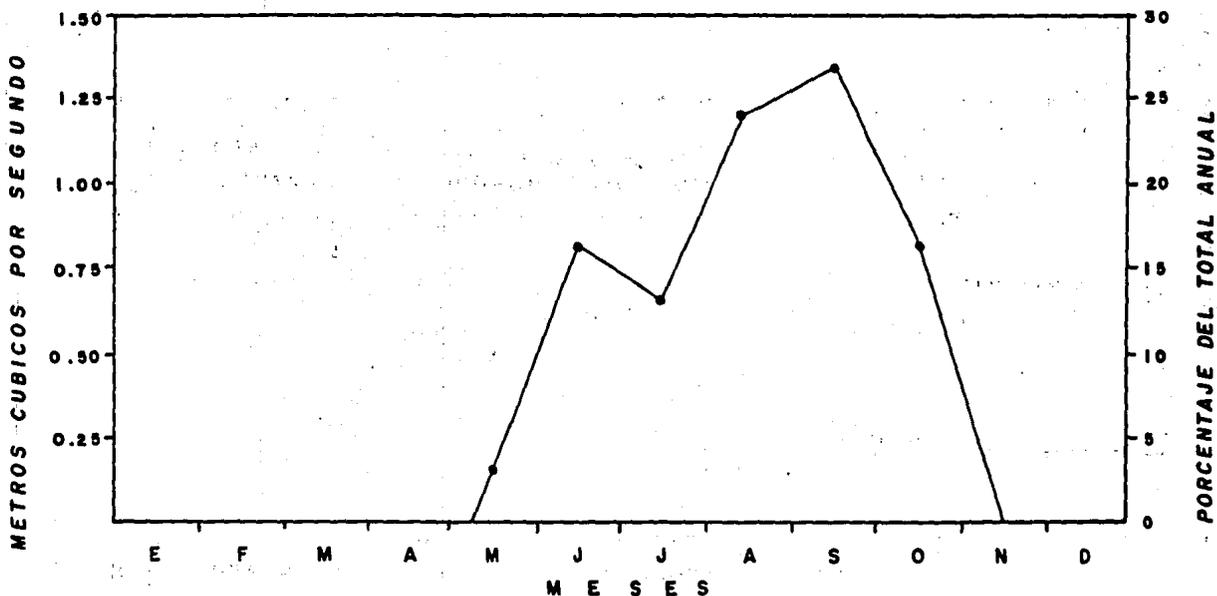
VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL DEL RIO TLAXCALILLA, GTO. *



* ELABORADA CON BASE EN LA INFORMACION DEL BOLETIN HIDROLOGICO, No. 51, TOMO III, S. R. H., 1973.

Grafica I

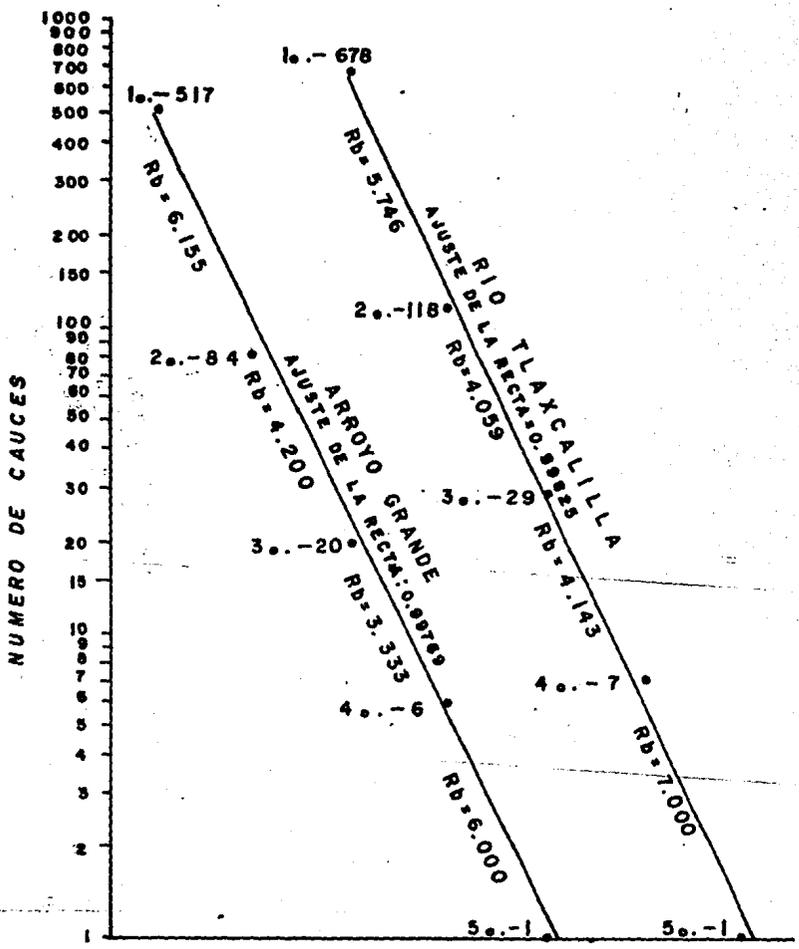
GASTOS MEDIOS MENSUALES DEL ESCURRIMIENTO DEL RIO TLAXCALILLA EN LA ESTACION HIDROMETRICA GONZALEZ, GTO. *



* ELABORADO CON BASE EN LA INFORMACION DEL BOLETIN HIDROLOGICO No. 51, TOMO III, S. R. H., 1973.

Grafico 2

RELACION DE BIFURCACION



Grafica 3

RELACION DE LONGITUD DEL RIO TLAXCALILLA

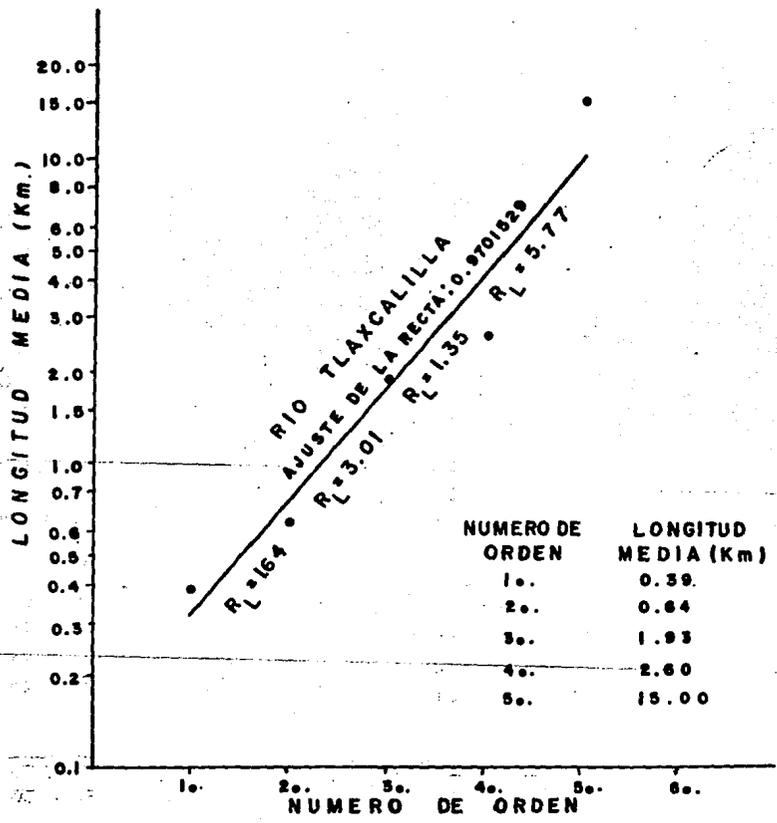
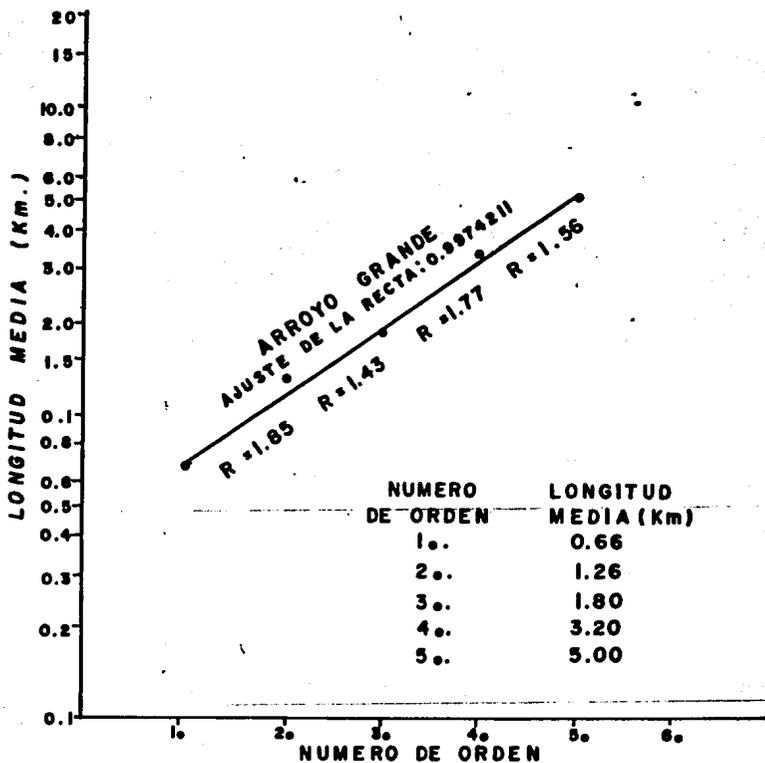


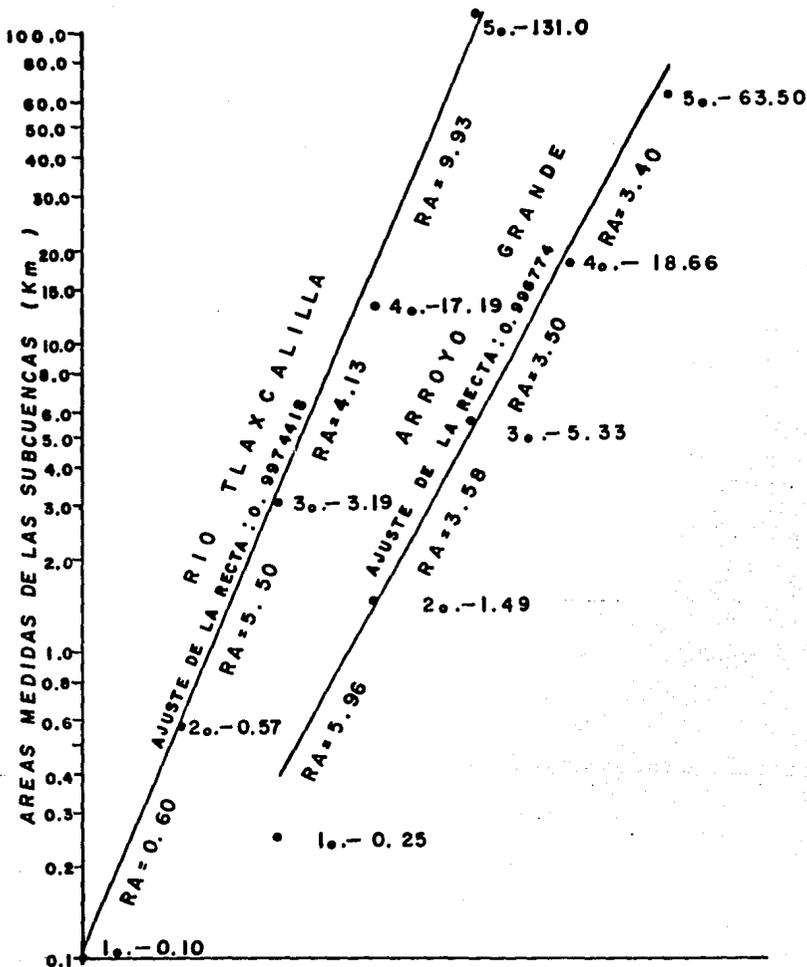
Grafico 4

RELACION DE LONGITUD DEL ARROYO GRANDE



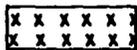
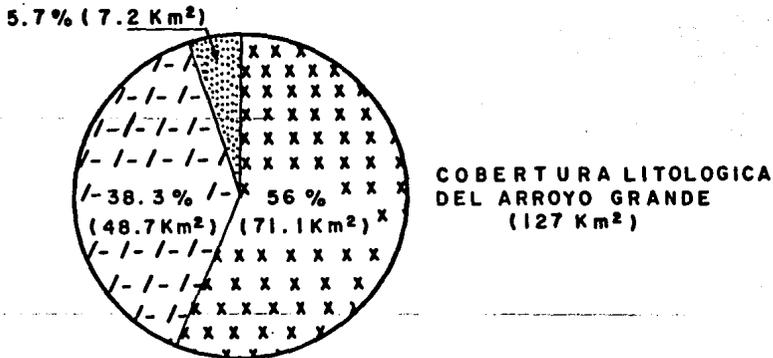
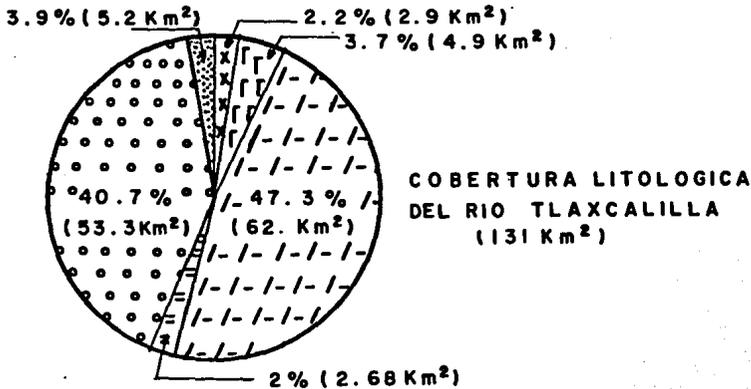
Grafica 5

RELACION DE AREAS (Km) POR NUMERO DE ORDEN

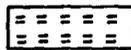


Grafica 6

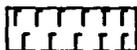
COMPARACION PORCENTUAL Y AREAL DE LAS SUPERFICIES LITOLOGICA EN LAS CUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA Y ARROYO GRANDE.



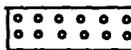
IGEA



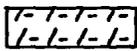
LUTITA-ARENISCA



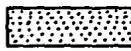
BASALTO



ARENISCA CONGLOMERADO



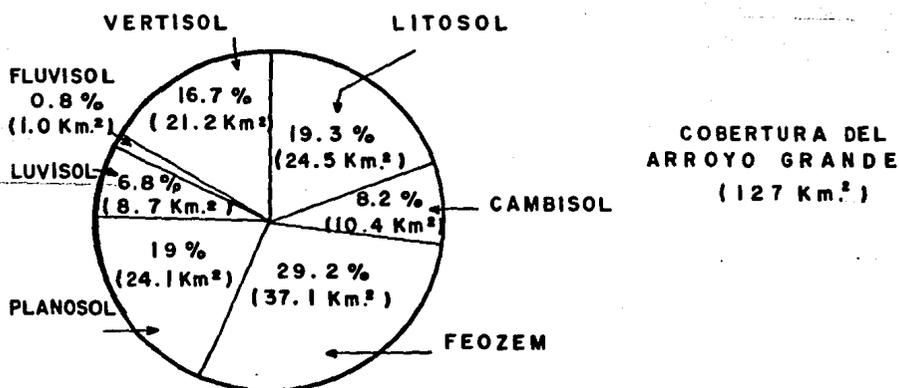
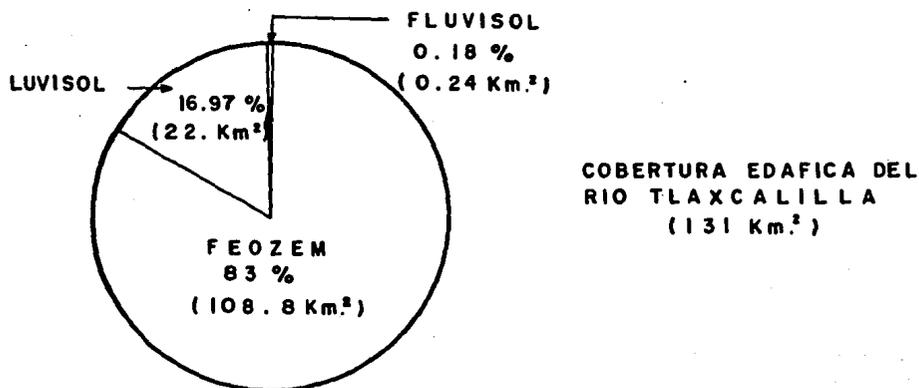
TOBA



ALUVIAL

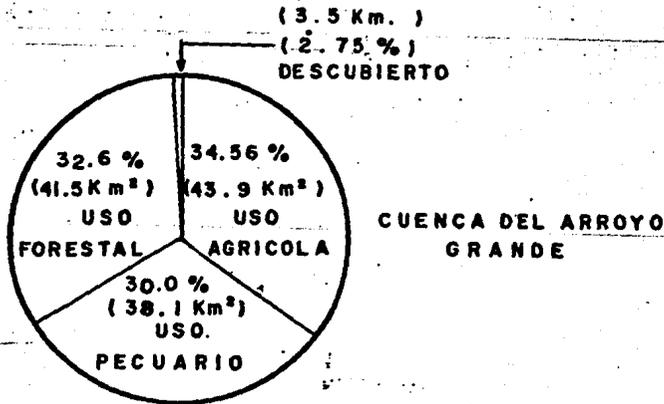
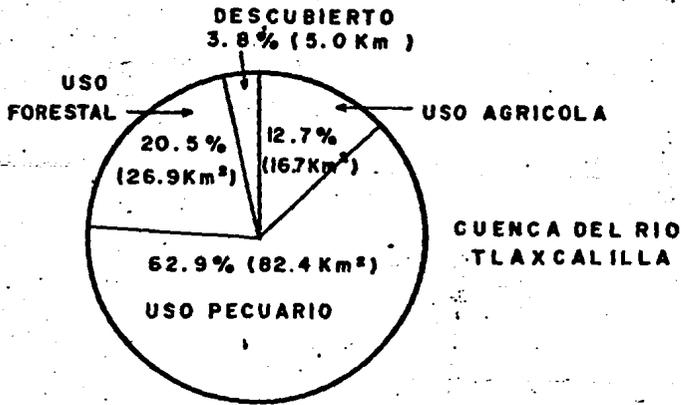
Grafica 7

COMPARACION PORCENTUAL Y AREAL DE LAS SUPERFICIES EDAFICAS EN LAS CUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA Y ARROYO GRANDE .



Grafica 8

COMPARACION PORCENTUAL Y AREAL DE LAS SUPERFICIES DE USO DEL SUELO EN LAS CUENCAS DEL RIO TLAXCALILLA Y ARROYO GRANDE.



Grafica 9

- AUBOIN, Jean, BROUSSE, Robert y LEHMAN, Jean Pierre. Tratado de Geología, Tomo III, Tectónica, tectonofísica, morfología. Barcelona, Ediciones Omega, 1980.
- BETHEMONT, Jacques. Geografía de la Utilización de las aguas continentales. (Elementos de geografía, # 7). Barcelona, Oikostau, ediciones, 1980.
- CAMPBELL, Stephen K. Equívocos y falacias en la interpretación estadística. México, Limusa, 1981.
- CAPELLA V., Antonio y SANCHEZ B., José Luis. Método estadístico para determinar la relación precipitación escurrimiento. México, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1967.
- CASTANY, G. Tratado práctico de las aguas subterráneas. Barcelona, Ediciones Omega, 1971.
- CHOW, Ven Te. Handbook of Applied Hydrology. New York. Mc Graw-Hill, 1964.
- DA SILVA PINTO, Lázaro. "Evaluation of annual runoff to any section of the drainage network of hydrographic basin". III. Congreso Mundial sobre Aprovechamientos Hidráulicos de la International Water resources Association. Ponencias, volumen 2 subtheme III Water for rural development pp: 995-1032. México, IWRA, 1979.
- DAVIS, S.N. y DE WIEST, R.S.M. Hidrogeología. Barcelona, Ediciones Ariel, 1971.
- DOMENICO, P.A. Concepts and models in groun Water Hydrology. Nueva York. Mc Graw-Hill, 1972.
- ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. Departamento de Agricultura. El agua. Su aprovechamiento en la agricultura. México. Editorial Herrero, 1966.
- GARCIA A., Enriqueta. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México. Offset Larios (tercera edición) 1981.
- GARCIA DE MIRANDA, Enriqueta. Apuntes de climatología. México, Larios e Hijos Impresores (segunda edición) 1978.
- GREGORY, K.J. y WALLING, D.E. Draynage Bassin Form and Process. A geomorphological approach. London. Edward Arnold, 1973.
- GUENTHER, William C. Introducción a la inferencia estadística. México. Mc Graw-Hill, 1977.

HALL, Warren A. y DRACUP, John A. Ingeniería de sistemas en los recursos hidráulicos. México. CECSA, 1974.

KALININ, G.P. et al. "Principles for elaboration of mathematical runoff models". Floods and their computation. Proceedings of the Leningrad. August 1967. Symposium (Studies and reports in hydrology 3) Volume 1 pp: 60-65. Louvain, Bélgica, IASH-UNESCO-WMO, 1969.

KREYSZING, Erwin. Introducción a la matemática estadística. Principios y métodos. México. Limusa, 1979.

LEON BARRON, Anselmo y CASTILLO MERCADO, Martín. "Algunos aspectos a considerar en la planeación de recursos hidráulicos con fines agrícolas en México". Simposio Internacional sobre la planificación de recursos hidráulicos. Ponencias, Tomo II. México. SRH, 1972.

LEOPOLD, Luna B. et al. Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1964.

LOPEZ REZENDEZ, Rubén et al. Estudio geomorfológico de la cuenca alta del Río La Laja. México. Editado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y el Instituto de Geografía de la UNAM, 1973.

MADEREY RASCON, Laura E. El agua de escurrimiento en la República Mexicana. México. Instituto de Geografía, UNAM, 1977.

MARTINEZ LUNA, Víctor Manuel. Los factores geomorfológicos que rigen el comportamiento de la presa "Ignacio Allende", Guanajuato. Serie Varia T. 1, Núm. 6. México, Instituto de Geografía de la UNAM, 1980.

OLIVIER, Henry. Riego y Clima. Nuevos métodos para la planeación y desarrollo de los recursos hidráulicos. México. CECSA, 1963.

ORIVE ALBA, Adolfo. La irrigación en México. México, Editorial Grjalbo, 1970.

PLUTCHIK, Robert. Fundamentos de investigación experimental (segunda edición revisada). México. Harla, 1979.

REMENIERAS, G. Tratado de hidrología aplicada (segunda edición). Barcelona. Editores técnicos asociados, 1974.

SARH. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Plan Nacional Hidráulico. Resumen. México. SARH, 1975.

SCHUMM, Stanley Alfred (eidor). Drainage basin morphology. (Benchmark Papers in Geology) Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, 1972.

- SCHUMM, Stanley Alfred. River Morphology. (Benchmark Papers in Geology). Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Straoudsburg, Pennsylvania, 1977.
- SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. La información CETENAL en el estudio y aprovechamiento de los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos. México, CETENAL, 1976.
- SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. La información CETENAL en la planeación, proyecto y construcción de presas y bordos. México. CETENAL, 1976.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. Descripción de la Leyenda de la carta edafológica Detenal. México. Coordinación de los Servicios Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, 1979.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. Coordinación de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Síntesis Geográfica de Guanajuato. México. S.P.P. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Noviembre de 1980.
- SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. Boletín Hidrológico No. 51. Tomo III. Región Hidrológica Núm. 12 (parcial); Cuenca del Río Lerma. México. Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1973. pp: 11-480.1. 01 a 11-480.2.08.
- SPRINGALL G., Rolando. Drenaje en cuencas pequeñas. México. Instituto de Ingeniería, UNAM, 1969.
- SPRINGALL G., Rolando. Hidrología. Primera parte. México. Instituto de Ingeniería, UNAM, 1970.
- STRAHLER, Arthur N. Geografía Física. Barcelona, Ediciones Omega, 1974.
- TEXAS INSTRUMENTS. Programar uno mismo. Instructivo de manejo de calculadoras electrónicas programables. TI. 58/59. Compinas, Brasil, 1980.
- UNESCO. Las cuencas representativas experimentales. Guía internacional de prácticas en materia de investigación. Publicado bajo la dirección de C. Toeves y V. Ouryvaev. Versión española de R. Heras. Contribución al Decenio Hidrológico Internacional. Centro de Estudios Hidrográficos, Instituto de Hidrología, Escuela de Hidrología. Publicación No. 95. Madrid. Ministerio de Obras Públicas, 1973.
- UNESCO-OMM. Glosario Hidrológico Internacional. Publicación OMM No. 385. Ginebra, Suiza. Secretaría de Organización Meteorológica Mundial, 1974.

YAMANE, Taro. Estadística. México. Harla (tercera edición), 1979.

YUREN CAMARENA, María Teresa. Leyes, teorías y modelos. (Colección temas básicos. Area: metodología de la ciencia No. 5 de la ANUIES). México. Trillas, 1980.

ZIMMERMAN, Josef D. El Riego. México, CECSA, 1975.