

32  
291



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INSUMOS PARA EL ORDENAMIENTO DE LA  
CUENCA DEL RIO QUERETARO A TRAVES  
DE LA INTERPRETACION DE IMAGENES  
DE SATELITE.

T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
FRANCISCO I. CELIS VILLALBA  
Ignacio

MEXICO, D. F.,

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.

**INSUMOS PARA EL ORDENAMIENTO DE LA CUENCA DEL RÍO  
QUERÉTARO A TRAVÉS DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE  
SATÉLITE.**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-048/95

Señor  
**FRANCISCO IGNACIO CELIS VILLALBA**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ALFONSO MORALES GARCIA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

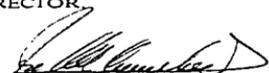
**" INSUMOS PARA EL ORDENAMIENTO DE LA CUENCA DEL RIO QUERETARO A TRAVES DE LA INTERPRETACION DE IMAGENES DE SATELITE "**

- I. RESUMEN EJECUTIVO
- II. INTRODUCCION
- III. MARCO TEORICO DEL ORDENAMIENTO HIDROLOGICO
- IV. DESCRIPCION TEMATICA DE LA CUENCA
- V. TRABAJOS DE CAMPO
- VI. DIAGNOSTICO DE LA PROBLEMÁTICA OBSERVADA
- VII. PROPUESTA AL ORDENAMIENTO HIDROLOGICO DE LA CUENCA
- VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 06 de abril de 1995.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*nlh

# INSUMOS PARA EL ORDENAMIENTO DE LA CUENCA DEL RÍO QUERÉTARO A TRAVÉS DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE.

## INDICE GENERAL DEL ESTUDIO.

	PAGINAS.
<b>I.- RESUMEN EJECUTIVO.</b>	3
<b>II.- INTRODUCCIÓN.</b>	5
II.A ) TEMA DE LA TESIS.	5
II.B ) ANTECEDENTES.	7
II.C ) OBJETIVOS DEL ESTUDIO.	12
II.D ) LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.	12
II.E ) GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.	14
<b>III.- MARCO TEÓRICO DEL ORDENAMIENTO HIDROLÓGICO.</b>	21
III.A ) INTRODUCCIÓN.	21
III.B ) METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.	22
III.C ) DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS APLICADAS AL ESTUDIO.	24
III.D ) DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.	37
III.E ) ORGANIZACIÓN DEL ORDENAMIENTO HIDROLÓGICO.	38
<b>IV.- DESCRIPCIÓN TEMÁTICA DE LA CUENCA.</b>	40
IV.A ) GEOMORFOLOGÍA.	42
-IMAGEN DE SATÉLITE.	44
-G.I.S.	45
IV.B ) GEOLOGÍA.	46
-IMAGEN DE SATÉLITE.	48
-G.I.S.	49
IV.C ) ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y CLIMA.	50
-PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA, EVAPORACIÓN Y SU RELACIÓN.	50
-DETERMINACIÓN DEL CLIMA.	56
IV.D ) HIDROLOGÍA E HIDROMETRÍA	63
-IMAGEN DE SATÉLITE.	66
-G.I.S.	67
IV.E ) DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS.	68
-IMAGEN DE SATÉLITE.	73
-G.I.S.	74
IV.F ) VEGETACIÓN, USO DEL SUELO Y EROSIÓN.	75
-IMAGEN DE SATÉLITE.	79
-G.I.S.	80
IV.G ) DETERMINACIÓN DE MODELOS CONCEPTUALES DEL FUNCIONAMIENTO Y UNIDADES DE CONTROL DE VARIABLES.	81
IV.H ) ALBUN FOTOGRÁFICO.	83
<b>V.- TRABAJOS DE CAMPO.</b>	92
<b>VI.- DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA OBSERVADA.</b>	95
<b>VII.- PROPUESTAS AL ORDENAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA.</b>	96
<b>VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	98
VIII.A ) CONCLUSIONES.	98
VIII.B ) RECOMENDACIONES.	99
<b>IX.- BIBLIOGRAFÍA.</b>	100

## 1.- RESUMEN EJECUTIVO.

Ante el crecimiento poblacional, comercial e industrial de la ciudad de Querétaro, se ha presentado la necesidad de recargar el acuífero que la abastece de Agua Potable. La sobreexplotación del mismo ha sido tal que su nivel desciende aproximadamente dos metros por año, aunque hay zonas en las cuales ha bajado su nivel diez o doce metros en este mismo lapso de tiempo.

Por tal motivo se evaluó la posibilidad de realizar una obra encaminada a disminuir esta problemática, dando así inicio a los trabajos del Proyecto Integral "LA CAÑADA".

En los años setentas la desaparecida S.R.H. realizó el estudio Geológico para analizar tres propuestas en la porción de LA CAÑADA, para la construcción de una presa de almacenamiento, estas propuestas fueron desechadas en su tiempo por no cubrir los requerimientos costo-beneficio de la obra, dado que en esta zona, la permeabilidad de la roca de sustento para la obra, generaba factores muy altos de infiltración, en la actualidad lo que en otra época constituía una gran problemática, se transforma al ser diferente el objetivo que se busca satisfacer con la obra.

De esta forma el Fideicomiso de Riesgo Compartido, (Del Estado de Querétaro) en apoyo a este proyecto, encomienda la realización del estudio denominado "INSUMOS PARA EL ORDENAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUERÉTARO, PARA EL PROYECTO INTEGRAL LA CAÑADA." En el Municipio del Marqués, Estado de Querétaro.

El objetivo de este proyecto fue el de CONOCER LA MECÁNICA DE OPERACIÓN NATURAL DE LA CUENCA DEL RÍO QUERÉTARO, PROPONIENDO LAS ACCIONES DE MANEJO, ACORDES CON EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS DE LA REGION, PARA DE ESTA FORMA MANTENER CONSTANTE EL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y EL DESARROLLO ARMÓNICO DE LA CUENCA EN ESTUDIO.

Cabe hacer mención que simultáneamente con la realización de este estudio, se realizaron en forma totalmente independiente al mismo, otra serie de estudios tendientes a evaluar el impacto del proyecto de la CAÑADA dentro del sistema natural al que pertenece.

La metodología empleada es la adoptada por la SEDESOL, para estudios regionales de Ordenamiento Ecológico, adecuada en este caso y que consta de las siguientes fases:

- 1.- Fase de organización.
- 2.- Fase descriptiva.
- 3.- Fase de diagnóstico.
- 4.- Fase pronóstico.
- 5.- Fase propositiva.
- 6.- Fase de ejecución.

De las cuales se tomaron los dos primeros puntos que constituyen el siguiente trabajo, enfocados al ordenamiento del recurso hidrológico, sirviendo ésta como marco de análisis para la organización de las acciones tendientes a la evaluación y protección de los recursos naturales, por ser este tipo de estudios parte de un análisis complejo, se deberán llevar a cabo todas sus etapas, para lograr la interpretación del sistema hidrológico integrado con todos los elementos que modifican su estado natural.

Por ser un proyecto de los llamados Multidisciplinarios, cada una de las etapas del mismo juegan un papel importante en lo que se refiere a la dinámica del sistema natural, si bien es prácticamente imposible el exacto modelaje de un sistema natural, se trató de no descuidar los aspectos relevantes de la cuenca, los cuales son de acuerdo al tipo de obra proyectada.

En lo que se refiere a la recopilación de información considerada como fundamental, la cual integra el medio físico, se considero a La Fisiografía, Geología, Edafología, Hidrología y El Uso del Suelo. Tomados los datos de la cartografía elaborada por el I.N.E.G.I., En escala 1:50,000, la cual es la más

conveniente para este caso, así como la utilización de Métodos de PERCEPCIÓN REMOTA, con análisis de imágenes de satélite del tipo Landsat TM5 y en forma digital, con la aplicación de técnicas estadísticas y fotointerpretación, concentrando los datos procesados, en bases de datos, los cuales en conjunto integran un Sistema de Información Geográfica (G.I.S.). Del presente estudio, se elaboró un diagnóstico preliminar, con los datos elementales con que se contó, incluyendo los siguientes puntos:

- 1.- Por ser la cuenca del Río Querétaro la que marca el límite entre las Regiones Hidrológicas No. 12 (Lerma - Santiago), a la cual pertenece la zona de estudio y la No. 26 (Río Panuco), se debe de considerar como cuenca inicial, lo que se traduce en ser una porción más simple para su control, al no existir problemas compartidos con otras regiones.
- 2.- La cuenca presenta gran movimiento de materiales, los cuales, en su gran mayoría, se depositan en zonas planas antes de llegar al sitio de interés para establecer la recarga (proyecto de filtración la cañada).
- 3.- En base a lo anterior, las zonas de la cuenca que si presentan problemática de avenidas con transporte de grandes volúmenes de materia, es donde se localizan las dos presas (Pirules y El Carmen), debiendo considerar los pasos necesarios para la protección y conservación en operatividad de dichas estructuras.
- 4.- El factor que deberá considerarse como fundamental para el éxito del proyecto de recarga, es la disposición adecuada de los desechos sólidos de las comunidades asentadas en la cuenca en partes cercanas del cauce de río, puesto que en la actualidad lo hacen sobre el cauce de éste, y la descarga de aguas residuales se hace de la misma forma.
- 5.- En la actualidad, en toda la cuenca se carece de datos suficientes para hacer una evaluación cuantitativamente válida, del funcionamiento de la cuenca y, por ende, la estimación de su potencial se ve limitada la comparación de factores, medidos en cuencas de similar comportamiento.
- 6.- Con la ayuda de la imagen de satélite, se logró identificar la problemática propia de cada región, la cual servirá de base para el establecimiento de parámetros de prevención local, considerándose como los principales factores por atacar, los correspondientes a la conservación de los recursos superficiales almacenados, ya que la recarga de acuíferos en una solución que es operativa a largo plazo, y que requiere de un perfecto control de las condiciones que intervienen en la superficie, así como en el suelo y el almacenamiento subterráneo, lo cual hace muy necesaria la instrumentación de la cuenca para obtener la mayor cantidad de datos que sean representativos de la cuenca.
- 7.- Se observaron zonas en las cuales se están llevando a cabo acciones de reforestación, las que no han logrado fructificar debido a la elección errónea de las especies planteadas.

Con estas observaciones en mente, se recomiendan las siguientes acciones inmediatas para la continuación del análisis detallado de Ordenamiento Hidrológico:

- A) Se necesita la instalación de estaciones meteorológicas en posiciones que aporten datos con valor estadístico para la evaluación cuantitativa, de la misma manera, se requiere de la instalación de módulos aforadores en las principales corrientes.
- B) Es de carácter inmediato el retiro de los basureros ubicados en los márgenes del río Chichimequillas, en las afueras de la población del mismo nombre, ya que están en un punto muy vulnerable, en donde la contaminación producida por estos, encuentra salida libre, esparciéndose hacia toda la cuenca y contaminando la fuente de recarga planeada.
- C) Por el alcance económico del contrato que da origen a este estudio, deja pendientes de realizar las fases restantes de la metodología propuesta, por lo cual se propone la continuación de dicho estudio para tener todos los elementos que permitan pronosticar el desarrollo de la región en base a sus recursos hidráulicos superficiales.

## II.- INTRODUCCIÓN.

### II.A ) TEMA DE LA TESIS.

La principal razón por la cual se eligió este proyecto, para la realización del presente trabajo de tesis, fue que se tubo la oportunidad de trabajar en el durante todo su desarrollo, esta participación no solo se limitó a los aspectos de recopilación de información y de gabinete como comúnmente se conoce a las actividades dentro de una oficina, sino que también se presentó la oportunidad de participar en el trabajo de campo en la zona del estudio, el cual consistió en recorridos dentro de la cuenca y así de esta forma reafirmar o modificar los datos y valores obtenidos en la recopilación de información, al mismo tiempo esto permite conocer y comprender el estudio desde un punto de vista mas real, se puede tener idea aproximada de la forma en la cual un proyecto de importancia puede alterar el medio y de alguna forma modificar la forma de vida de pobladores de comunidades pequeñas, así como los beneficios que pueden generarse posteriormente, esta valorización se realiza desde un punto de vista particular.

Otro de los motivos que influyeron en la elección del tema de tesis, fueron las técnicas y herramientas empleadas en este estudio, el uso de tecnología que si bien no es del todo nueva como lo es la utilización de imágenes de satélite, en nuestro país no es tan utilizada como lo es en países como los Estados Unidos de Norte América, en donde desde la década pasada el empleo de esta, ha llegado a ocupar un lugar muy importante en una gran cantidad de proyectos, los cuales tienen que ver con muchas áreas del conocimiento humano, es realmente impresionante el uso que se les dá y el avance al que han llegado con esta tecnología, que también es llamada de OJOS EN EL CIELO o de CONSTRUCCIÓN DESDE EL CIBERESPACIO.

A continuación se presentan algunos de los usos de las imágenes de satélites.

- Su aplicación en el trabajo de identificación geológica, esta dividido en dos grandes categorías, la primera que consiste en fenómenos estáticos, como lo es la distribución, carácter y estructura de cuerpos rocosos, geoformas como son los valles montaños y mesetas, litologías como tipos de rocas en zonas semiáridas, fallas y lineamientos estructurales y la segunda que tiene que ver con fenómenos dinámicos como el vulcanismo, las modificaciones en la plataforma continental y la sismología.
- Con la obtención precisa de imágenes digitales en tres dimensiones (X, Y, Z) de la topografía de zonas sísmicas es posible evaluar la modificación en el tiempo de tal topografía, con la consecuente correlación que esta tenga en la actividad sísmica de la zona.
- Pueden ser analizados aspectos del clima global, como lo son las clases de nubes y los patrones de movimiento de las mismas, fenómenos Meteorológicos en conjunto, son de gran ayuda para la creación de modelos de fenómenos globales como son la desertificación y la erosión, para la detección de anomalías magnéticas y gravimétricas, la formación y desarrollo de huracanes y los patrones de movimiento de los vientos atmosféricos.
- En fenómenos superficiales de gran escala, como son efectos de sequias prolongadas, inundaciones, variaciones en el contenido de la humedad de la vegetación y amplitud de depósitos de nieve o de hielo en invierno, para cuantificar el flujo de agua cuando ocurre el deshielo en verano, información del hielo marino en regiones polares y regiones circundantes.
- En análisis de corrientes costeras, evaluación de sedimentación en lagos, presas, costas y puertos, obtención de los patrones de drenaje en cuencas, así como trazo de parteaguas dentro de zonas específicas, determinación de lugares de altas variaciones de temperatura en el mar para la determinación de concentraciones de peces, observación del relieve marino, determinación de rutas de navegación de buques observando el cambio de profundidades de aguas costeras, zonas de cambios bruscos de corrientes en el mar lo que tiene consecuencias en el derramamiento de contaminantes como el petróleo o desechos tóxicos, su localización y extensión.

- En la identificación evaluación y prevención de desastres como incendios forestales, condiciones de cultivos y zonas forestales dañadas, evaluación de daños provocados por plagas o terremotos en zonas específicas, evaluación de cuencas en proceso de erosión, observación del posible incremento de actividad volcánica, seguir la evolución y cuantificar las nubes de desechos gaseosos emitidos por la acción volcánica, evaluación de daños ocurridos en el curso de una intensa corriente de agua después de grandes lluvias, avalanchas o deshielos, protección a zonas de inundaciones potenciales y cambios que ocurren en regiones costeras después de haber sido azotadas por un huracán.

- En la identificación y determinación de fuentes geotérmicas, localización de zonas de máxima probabilidad de yacimientos petroleros y mineros.

- Los datos satelitarios son útiles para identificar nuevas áreas urbanas y para establecer fronteras urbano-rural, no solo para determinar los incrementos poblacionales, sino también para determinar el número, localización y densidad de población, de nuevos y viejos asentamientos humanos.

- En la elaboración y manipulación de información cartográfica y geográfica en varias escalas como 1:30000 y 1:50000, así como la obtención de mapas temáticos relativos a los recursos naturales de una zona determinada, como apoyo en el catastro rural y auxiliar para la compraventa de zonas de cultivos.

- Con imágenes satelitarias se han obtenido precisiones de hasta 90 % en la identificación de un cultivo específico en zonas de difícil acceso, sean estos plantíos prohibidos o plantíos para uso medicinal.

- Diseño y construcción de puertos, aeropuertos, presas, líneas de ferrocarril, carreteras y vías de comunicación.

- Las imágenes de satélite también son empleadas en simuladores de vuelo ya sean para uso militar o comercial, e incluso son empleadas en modernos juegos de video, con lo que se logra dar un alto grado de realidad a lo observado.

Si bien este estudio abarca una pequeña parte de los alcances mencionados, este me ha permitido entrar y conocer parte de los avances tecnológicos de nuestra época en lo que se refiere a la percepción remota, durante la realización de este trabajo empecé a conocer algunas de las múltiples aplicaciones en proyectos los cuales tienen relación directa e indirecta con el campo de estudio y trabajo de la ingeniería civil, considero que el estar al tanto de técnicas como estas es de gran importancia, sobre todo para las personas que empiezan su desarrollo profesional ya que esta puede convertirse en una área de desarrollo alternativa en el futuro.

Las aplicaciones mencionadas anteriormente pueden ayudarnos no solo a conocer y aprovechar mejor los recursos naturales y del medio ambiente con los que contamos en nuestro país, sino también para protegerlos, y no menos importante para generar infraestructura que es de vital importancia para un país en desarrollo como lo es el nuestro.

## II.B ) ANTECEDENTES.

El estado de Querétaro, es uno de los estados de la república mexicana que en la actualidad presenta un crecimiento y desarrollo acelerado, debido a las condiciones naturales que imperan en la zona, se debe lograr un uso eficiente de los recursos naturales y del medio ambiente, dos de los aspectos que en la actualidad cobran gran importancia en este estado son el agua potable y la conservación de suelos, ya que una porción muy grande de su territorio se considera como árido y semiárido, esto aunado a las condiciones geológicas que restringen en gran medida las zonas de almacenamiento de agua, y por otro lado, el deterioro ambiental sufrido por las corrientes superficiales de agua y vientos, junto con las actividades humanas, originan un desequilibrio en el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, por otro lado los procesos de deforestación han acelerado la degradación de los suelos y el reflejo de esto, coloca a el Estado de Querétaro como uno de los estados que presentan el mayor índice de erosión a nivel nacional, reduciendo considerablemente la producción de los suelos, esto aumenta en alto grado la aportación de material de azolve a las obras de captación de escurrimientos superficiales existentes, lo cual disminuye en forma considerable su vida útil.

Ante la situación del incremento acelerado de la población de la capital del estado, los requerimientos de servicios y de las reservas naturales de las cuales se abastece la ciudad, también se han incrementado en la misma medida, un ejemplo de esto lo constituye la demanda de agua potable.

Históricamente la capital del Estado de Querétaro ha necesitado de construcción de acueductos principalmente, para obtener agua, en años más recientes se recurrió a la explotación de pozos profundos, sin embargo esta práctica presenta el inconveniente de estar limitada a la capacidad de los acuíferos en lo que se refiere a la cantidad de agua disponible y la recarga del mismo, muchos de estos pozos presentan sobreexplotación reduciendo en forma importante sus niveles e incluso agotándose en algunos casos, ya que los recursos hidráulicos subterráneos son mucho menores que las demandas de la población, esto ha obligado a utilizar líneas de conducción de agua de otros sitios donde cuentan con ésta, sacrificando con ello la utilización de agua para la producción alimenticia y racionando a la población la disponibilidad del líquido.

Ante esta situación, y dado que las políticas de control de manejo de agua superficial para la región hidrológica No. 12 (Lerma Santiago), del cual el Río Querétaro es tributario, establecen la restricción de construir obras de almacenamiento de agua (presas en cualquiera de los tributarios de esta región) admitiéndose exclusivamente, la realización de obras para el control de avenidas, retención de azolves o infiltración para recargar acuíferos, se propuso la realización de estudios para buscar solucionar el problema de manera que fuera económicamente factible, uno de los puntos que se fijaron para este proyecto fue la posible ubicación de obras que permitan la recarga de los acuíferos.

En los años setentas se planteó la realización de una obra de almacenamiento, la cual originalmente fue propuesta con fines de riego, de las zonas estudiadas que reúnan las condiciones para establecer almacenamientos que fueran de importancia para el valle de Querétaro, se determinó que existía factibilidad en la porción denominada de LA CAÑADA en el Municipio del Marqués, se estudiaron las boquillas propuestas y se concluyó que por las condiciones geológicas de la zona, este sitio no permitía el almacenamiento de agua, ya que por existir rocas fracturadas en el sitio, las fugas de agua impedirían que la presa almacenara los volúmenes necesarios para justificar el costo de la obra, por esta razón no se concretó la obra planteada.

Con el paso del tiempo, el concepto de almacenamiento de agua se transforma por el de recarga, para el acuífero que abastece a la ciudad de Querétaro, por tal motivo y en virtud de que las condiciones en las que se encuentra el acuífero del valle de Querétaro implica la necesidad imperiosa de reabastecer sus mantos, buscando con esto lograr un equilibrio entre los recursos y las demandas, es que por iniciativa de la COMISION ESTATAL DE AGUAS, el Gobierno del Estado, toma la iniciativa de reestudiar los proyectos para obras de captación en LA CAÑADA, resultando un lugar bastante favorable para la realización de una obra de recarga.

En el año de 1993, se da inicio a los estudios para la realización de obras de recarga del acuífero, el primer paso para esto fue encomendar el estudio geohidrológico denominado "Informe del

reconocimiento geológico para la incorporación de una zona de recarga al acuífero del valle de Querétaro en el área de la Cañada. " De este informe se concluye que efectivamente la presa en la zona de LA CAÑADA, facilitaría la infiltración de agua al acuífero, dando como sitio propuesto una opción analizada en 1970 por la SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS (desaparecida), así mismo, ubicando esta zona como el punto de entrada de agua subterránea al acuífero del valle de Querétaro.

La geología compuesta en este sitio, por rocas muy fracturadas coronadas por rocas básicas extrusivas, las que presentan una vía de acceso adecuada y rápida para la recarga del acuífero, señalando como factores fundamentales, el fracturamiento, la cavemosidad y la composición bandada de las rocas ígneas ácidas emplazadas. A su vez, en este estudio se recomendó realizar una mayor campaña de exploración para la obtención de los parámetros hidrogeológicos indispensables para el cálculo de la estabilidad de la cortina de esta obra, así como la restauración de obras que antiguamente funcionaban para retener el agua y que, actualmente, tendrán la función de proteger la llegada de azolves a la nueva cortina.

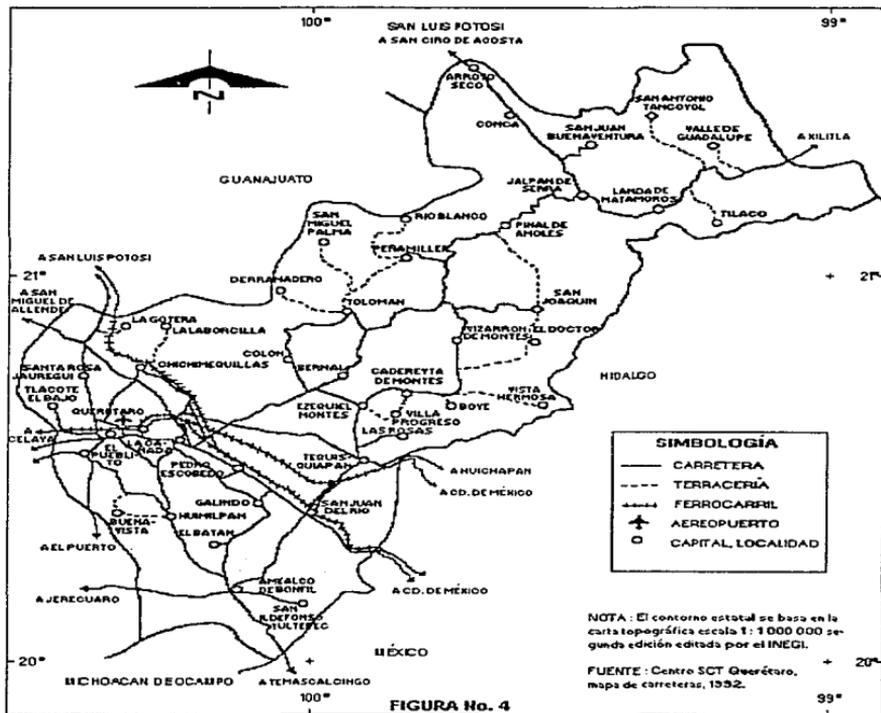
En respuesta a las necesidades planteadas en ese proyecto, se realizaron de manera simultánea los estudios técnicos encaminados a la construcción de la obra, y un estudio de gran visión para encontrar las condiciones en las cuales funciona la cuenca del Río Querétaro, con la finalidad de establecer las políticas de operación y prever la protección del recurso hidráulico de toda la zona.

Es así como El Fideicomiso de Riesgo Compartido (Del Estado de Querétaro) enciende la realización del estudio denominado "INSUMOS PARA EL ORDENAMIENTO HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO QUERETARO, PARA EL PROYECTO INTEGRAL LA CAÑADA MUNICIPIO DEL MARQUÉS, ESTADO DE QUERÉTARO." El cual es el tema del presente trabajo.









## II.C ) OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

Como parte de las acciones en materia de protección del medio ambiente y manejo racional de los recursos hidráulicos superficiales, se establecerá el objetivo del presente estudio de la siguiente forma:

CONOCER LA MECÁNICA DE OPERACIÓN NATURAL DE LA CUENCA DEL RÍO QUERÉTARO, PROPONIENDO LAS ACCIONES DE MANEJO, ACORDES CON EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS DE LA REGIÓN, PARA DE ESTA FORMA MANTENER CONSTANTE EL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y EL DESARROLLO ARMÓNICO DE LA CUENCA EN ESTUDIO.

## II.D ) LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.

Dado que la división política de los estados de la República Mexicana es irregular, se puede decir que la cuenca del Río Querétaro, se localiza aproximadamente en la porción CENTRAL del ESTADO DE QUERÉTARO, encontrándose dentro de las coordenadas geográficas 20° 27' y 20° 57' de latitud norte y 100° 00' y 100° 26' de longitud oeste, ocupando un área aproximada de 1150.2 Km.<sup>2</sup> dentro del municipio del Marques. La cuenca se encuentra disectada por numerosos caminos que comunican a la ciudad de Querétaro con las poblaciones del norte del estado, además se encuentra disectada por vías de ferrocarril, mencionándose como la más importante, la vía doble que une a la ciudad de México con este estado y la carretera que comunica a la capital de la república con el estado de San Luis Potosí.

La cuenca limita al ESTE con el municipio de Colón, al SURESTE con el Municipio de Tequisquiapan, al SUR con los Municipios de Correñidora, Pedro Escobedo y Huimilpan, al OESTE con el Municipio de Querétaro, y al NORTE con el estado de Guanajuato.

Como poblaciones importantes dentro de la cuenca en estudio se encuentran: LA CIUDAD DE QUERÉTARO, LA CAÑADA VILLA DEL MARQUÉS, SAN MIGUEL EL COLORADO, LA GRIEGA, AMASCALA Y CHICHIMEQUILLAS.

Otras poblaciones menos importantes dentro de la cuenca son:

La Laborilla, Pocitos, El Saucillo, Carboneras, Tierra Blanca, San Vicente Ferrer, Santa María de Los Baños, San Rafael, Santa María de Begonia, Santa Cruz, Atongo, Alfajayucan, Vista Hermosa, El Lobo, Puerta de Enmedio, La Peña Colorada, La Zorra, Peñuelas, Santa María Ticomán, Noria, Saldarriaga, Jesús María, Cerrito Colorado, Navajas, Galera, Nogales, Nueva Esperanza, La Peñuela, San Isidro de Miranda, Rosario, Vibonillas, Coyotillos, La Loma, Agua Azul, El Colorado, El paraíso, San Ildefonso, Calamandra, Palo Alto, El Blanco, Los Cues, San Antonio de la Galera.

(Fuente : I.N.E.G.I. Carta topográfica 1:250 000)

(QUERÉTARO F14-10 Guanajuato, Michoacán, Jalisco y México.)



## II.E ) GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

En lo que se refiere a la infraestructura en comunicaciones, luz eléctrica y transporte, se puede considerar buena dentro de la cuenca, uno de los principales problemas observados durante los recorridos, es la disposición de los residuos sólidos, producto del consumo doméstico, industrial y agrícola, los cuales son depositados en lugares inadecuados.

En el sector educativo se cuenta con los niveles preescolar, primaria y secundaria.

Las actividades económicas dentro de la cuenca, contemplan principalmente actividades agrícolas y pecuarias, industriales encaminadas al sector alimenticio, textiles y producción de maquinaria, explotaciones mineras menores, principalmente materiales de construcción y minerales no metálicos.

En infraestructura de irrigación, cuenta con zonas de riego por extracción de agua de pozos, así como zonas de riego extensas, contando con dos obras de irrigación que almacenan en conjunto aproximadamente unos 6 000 000 m<sup>3</sup>. (Presa El Carmen y Presa Firules), beneficiando a los habitantes de los valles de Chichimequillas, Amascala y el Lobo.

El área total de la cuenca analizada es aproximadamente de 1150.20 Km.<sup>2</sup>.

Al realizar el análisis del área de interés, resulta más fácil subdividir nuestra unidad fundamental con el objeto de poder hacer la descripción de la misma en forma particular, de este modo la cuenca de estudio se procede a dividirla en áreas más pequeñas, a estas zonas se les conoce con el nombre de subcuencas.

Se decidió dividir la cuenca en siete zonas, asignándoles a cada una de ellas un nombre para en caso de ser necesario hacer la descripción de cada una de ellas, así como de los elementos que las conforman, sus nombres son los que a continuación se presentan.

### SUBCUENCAS.

NOMBRE	ÁREA APROXIMADA.
Querétaro.	177.80 Km. <sup>2</sup>
Chichimequillas.	222.92 Km. <sup>2</sup>
La Griega.	159.14 Km. <sup>2</sup>
La Trinidad.	71.39 Km. <sup>2</sup>
Carmen.	125.75 Km. <sup>2</sup>
Rayas.	72.80 Km. <sup>2</sup>
Galera.	320.40 Km. <sup>2</sup>

(Fuente : I.N.E.G.I. Carta topográfica. Escala 1:250 000)  
(QUERÉTARO F14-10 Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Jalisco y México.)



## ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA CUENCA.

### Carta de Efectos Climáticos Regionales, (Meses de Noviembre - Abril)

Querétaro F14-10. Escala 1:250 000.

Fuente : Instituto Nacional de Estadística e Informática.

#### **Precipitación Total en mm.**

Se presentan dentro de la cuenca en estudio, zonas con precipitación total de 0 a 25, de 25 a 50 y de 50 a 75 estas últimas ubicadas en lugares de mayor altura.

#### **Isoyetas.**

Las curvas Isoyetas que se encuentran dentro de la cuenca son de 75, 100 y 125. mm.

#### **Temperaturas Máximas y Mínimas Promedio. (°C)**

Curvas Isotermas Medias Máximas en Noviembre, Diciembre y Enero dentro del área: 18, 21 y 24.

Curvas Isotermas Medias Mínimas en Noviembre, Diciembre y Enero dentro del área: 0, 3 y 6.

#### **Vientos Dominantes.**

Dirección Suroeste, con una frecuencia del 50 %.

Dirección del viento regional dominante: Suroeste y Oeste.

### Carta de Efectos Climáticos Regionales, (Meses de Mayo -Octubre)

Querétaro F14-10. Escala 1:250 000.

Fuente : Instituto Nacional de Estadística e Informática.

#### **Precipitación Total en mm.**

En la mayor parte de la cuenca se registra precipitación de 400 a 475 mm. Además de zonas con registros de 475 a 550 mm. y áreas menores de 700 a 800 mm.

Zona de 30 a 59 días con lluvia.

#### **Isoyetas.**

Las curvas Isoyetas dentro de la cuenca son 475 y 550. mm.

#### **Temperaturas Máximas y Mínimas Promedio. (°C)**

Curvas Isotermas Medias Máximas en Mayo, Junio y Julio dentro del área: 24 y 27.

Curvas Isotermas Medias Mínimas de Mayo, Junio y Julio dentro del área: 3, 6, 9 y 12.

#### **Dirección del Viento Regional Dominante.**

Dirección Este - Oeste.

Dirección Suroeste.

**Carta Hidrológica de Aguas Superficiales.**  
Querétaro F14-10 Escala 1:250 000.

**Fuente: S. S. P. (Coordinación General de Los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.)**

**Unidades de Escurrimiento Superficial, de la Precipitación Media Anual.**

(Datos correspondientes a la cuenca en estudio)

Coefficientes de Escurrimiento:	Área aproximada.
de 5 a 10 %	800.84 Km. <sup>2</sup>
de 10 a 20 %	349.35 Km. <sup>2</sup>

**Datos Hidrológicos.**

Curvas Isotermas Medias Anuales (en °C): 12, 14, 16 y 18.

Curvas Isoyetas Medias Anuales (en mm.): 500, 600 y 700.

**Estaciones Climatológicas. (Resumen de Datos Generales.)**

No.	Nombre	Clave Terminal	Temp. Media Anual en °C	Precip. Media Anual en mm.	Precip. Máxima Anual-año en mm.	Precip. Mínima Anual-año en mm.	Años de Datos	Dependencia
19	Chichimequillas	22-007	16.73	485.39	757.0-1936	249.9-1942	19	S. A. R. H.
33	Querétaro	22-018	19.60	560.76	922.7-1967	304.3-1960	51	S. A. R. H.
34	Campo Agrícola	22-004	18.01	447.04	565.8-1944	207.4-1945	5	S. A. R. H.
40	San Ramon	---	---	---	---	---	---	---
51	Las Cuevas	22-005	18.58	582.66	824.0-1958	433.0-1949	13	S. A. R. H.

**Presas y Bordos.**

- San Carlos La Providencia.
- La Trinidad.
- El Carrizal.
- La Soledad.
- Presas del Carmen.
- Presas Pirules.\*

**Nota: Ver tabla No. 1**

\* Debido a la falta de actualización de las cartas, esta presa no aparece en las mismas, pero en este estudio se toma en cuenta por su influencia sobre el área de estudio.

**Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas.**  
Querétaro F14-10 Escala 1:250 000.

**Fuente: S. S. P. (Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e Informática.)**

**Material dentro de la cuenca:**

- Material consolidado con posibilidades bajas.
- Material no consolidado con posibilidades altas.
- Material consolidado con posibilidades medias.

**Área aproximada**

700 Km.<sup>2</sup>  
 433.21 Km.<sup>2</sup>  
 17 Km.<sup>2</sup>

**Nota: Ver tabla No. 2**

**CARTA HIDROLÓGICA DE AGUAS SUPERFICIALES**

GOBIERNO FEDERAL \_\_\_\_\_ ESCALA 1:50 000

**FUENTE: S.S.P. (COORDINACIÓN GENERAL DE LOS SERVICIOS NACIONALES DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA)**

Aprovechamiento Superficial Muestreado.

No	Cbra	Fecha	Ca *	Mg *	Na *	K *	Dureza CaCO3	RAS	P.H.	CE **	SO4 *	HCO3 *	CO3 *	Cl *	Total de sólidos disueltos**	Cald de agua para riego***	Ages. del agua	Localización en m.		Observaciones
																		X	Y	
13	Manantial	1-mar-81	13	4	6,7	3,9	49	0,41	7,9	0,13	-----	79,3	-----	-----	107	C1-S1	Agresiva	374350	2312600	T=14, Equipado, Uso doméstico
29	Manantial	28-feb-81	18	3,6	11,7	7,4	60	0,66	7,8	0,18	-----	85,4	-----	17,7	144	C1-S1	Agresiva	378200	2307000	T=18, Uso doméstico y Pecuario
36	Manantial	1-mai-81	5	1,8	5,1	7,4	20	0,49	7,8	0,03	-----	30,5	-----	10,6	60	C1-S1	Agresiva	373000	2295000	T=19, Equipado, Uso doméstico

\* En Miligramos por litro

\*\* Conductividad Eléctrica en mm. por centímetro

\*\*\* Con explicación adicional

RAS Relación de absorción del sodio

S1 Agua baja en sodio

C1 Agua de baja salinidad

T Temperatura

**DUREZA**

0 - 75	mg/l	CaCO3	Suave
75 - 150	mg/l	CaCO3	Poco dura
150 - 300	mg/l	CaCO3	Dura
Más de 300	mg/l	CaCO3	Muy dura

TABLA No. 1



Carta Geológica.Querétaro : F14-10 Escala 1:250 000.Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.**Aspecto Geológico de la Cuenca.**

Nombre.	Descripción.	Área aproximada.
Ts (R-Ta)	Roca ígnea extrusiva pertenecientes al terciario superior. (Riolita - Toba ácida.)	190.00 Km. <sup>2</sup>
Tpl - Q (B)	Roca ígnea extrusiva perteneciente al plioceno cuaternario. (Basalto.)	311.58 Km. <sup>2</sup>
Q (al)	Suelos aluviales formados en el cuaternario.	287.00 Km. <sup>2</sup>
Ts (ar - cg)	Rocas sedimentarias pertenecientes al terciario superior. (Areniscas y Conglomerados.)	62.60 Km. <sup>2</sup>
Tpl - Q (A)	Rocas ígneas extrusivas pertenecientes al plioceno cuaternario. (Andesita.)	Inapreciable
Ts (Ta)	Rocas ígneas extrusivas pertenecientes al terciario superior. (Toba ácida.)	Inapreciable
Ts (R)	Roca ígnea extrusiva perteneciente al terciario superior. (Riolita.)	65.00 Km. <sup>2</sup>

Carta Uso de Suelo y Vegetación.Querétaro : F14-10 Escala 1:250 000.Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.**Actividad Agrícola.**

Agricultura de Riego.	(RAS)
Agricultura de Temporal.	(TA)

**Codificación de los principales cultivos, pastos cultivados y leguminosas.**

Maíz.  
Frijol.  
Sorgo.  
Trigo.  
Alfalfa.  
Otros.

**Vegetación Natural e Inducida.**

Clave.	Descripción.	Área aproximada.
TA	Cultivos anuales.	329.72 Km. <sup>2</sup>
Q	Bosques de encino.	41.78 Km. <sup>2</sup>
L	Pastizal inducido.	60.42 Km. <sup>2</sup>
C	Matorral Crasicaule.	46.00 Km. <sup>2</sup>
St	Matorral subtropical.	402.30 Km. <sup>2</sup>
RAS	Agricultura de riego anual semipermanente.	181.35 Km. <sup>2</sup>

### III.- MARCO TEÓRICO DEL ORDENAMIENTO HIDROLÓGICO.

#### III.A ) INTRODUCCIÓN.

El área de análisis de un ordenamiento hidrológico, es la superficie territorial de interés para el proyecto, su delimitación se realiza tomando en consideración criterios fisiográficos y del desarrollo de su red de drenaje.

Como unidad territorial de estudio para un ordenamiento hidrológico, se considera a la cavidad morfológica, limitada perimetralmente por puntos de máxima elevación, la cual concentra todos los escurrimientos de agua precipitados dentro de la misma, estos escurrimientos convergen en un arroyo principal, a esta zona se le denomina con el nombre de cuenca hidrológica

De lo anterior se desprende que la unidad territorial de estudio, puede a su vez, formar parte de otro sistema, el cual agrupa varias unidades, para conformar una región hidrológica, y posteriormente en la misma forma un conjunto de regiones integran una cuenca hidrológica, por lo que los efectos de la unidad elemental (cuenca), repercuten en la región a la que pertenecen.

La presión generada por la demanda de servicios en nuestro país, principalmente por el incremento demográfico y las actividades productivas, han originado entre otros males, la sobreexplotación de los recursos naturales, lo cual ocasiona el deterioro ambiental, el cual pone en peligro el desarrollo natural del medio y la calidad de vida de todas las formas de vida que dependen de este equilibrio.

Un ejemplo de lo anterior nos indica que de las 218 cuencas hidrológicas que hay en el país, en 20 de ellas se concentra el 80% de las descargas de origen industrial y doméstico, además de que reside el 75% de la población nacional, lo cual implica que la contaminación del agua en esas cuencas alcanza índices muy altos, provocando cambio en los microclimas, deterioro en la salud de la población, agotamiento de los recursos no renovables y rompimiento de cadenas vitales.

Por otra parte la concentración y el manejo ineficiente de los residuos sólidos y líquidos genera efectos colaterales, los cuales con el paso del tiempo se vuelven críticos, y se acentúan en centros urbanos e industriales.

Otros ejemplos son la sobreexplotación de los recursos forestales es la expansión de las fronteras urbanas y agropecuarias, que provocan la pérdida de cubierta vegetal, limitando las opciones productivas y amenazando la supervivencia de numerosas especies animales y vegetales, todo esto aunado a la falta de conciencia ecológica o ética social que haga suya la responsabilidad de los actos individuales y colectivos.

En lo que se refiere a la contaminación del agua dentro de la cuenca, se observó en varias de las localidades del estado, la incorporación de grandes cantidades de materia orgánica y desechos industriales, a zonas que en épocas de lluvias se transforman en afluentes del Río Querétaro.

### III, B ) METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.

Se utilizará parcialmente la metodología para un Ordenamiento Ecológico, propuesta por Torres Olivares (1993), la cual es adaptada hacia el Ordenamiento Hidrológico, tomando como elemento fundamental de análisis la regionalización del recurso hídrico y la forma en la que esta se distribuye superficialmente, manejándose las siguientes fases del ordenamiento:

#### 1) Fase de Organización.

En esta fase se definen los alcances y objetivos del ordenamiento hidrológico, la disponibilidad de recursos humanos, materiales y equipos, así como la disposición de información de la cuenca en estudio, también se realizan los programas a seguir, así como se designan a los responsables de la ejecución de los trabajos.

#### 2) Fase Descriptiva.

En esta etapa se delimita el área de estudio, se realiza la descripción del ambiente y se caracterizan los elementos del medio natural, relacionando las problemáticas ambientales presentes, con el desarrollo de la cuenca, dentro de esta fase se realizarán las siguientes actividades:

a) Delimitación de la zona de estudio, tomando en cuenta los criterios mencionados en la introducción para una cuenca hidrológica, quedando dentro de la línea denominada parteaguas, la cual depende de la morfología de la misma, todo esto teniendo presente que el área de influencia puede extenderse más allá de estos límites.

b) Descripción de los elementos que componen el ambiente y la relación entre ellos, para de esta forma integrar la base de datos que permita un análisis detallado del comportamiento natural de la zona. (todas las posibles acciones dentro del área deberán considerar las relaciones entre los elementos que componen el medio como son la Geología, Hidrología, Uso del suelo entre otros.)

c) Descripción del manejo de los recursos naturales, durante esta etapa se hace un reconocimiento de la forma en la que se aprovechan los recursos naturales dentro de la cuenca, esta actividad se realiza en campo, haciendo una verificación de la información documental disponible, a su vez se genera la información complementaria, para una descripción completa.

d) Identificación de la problemática observada, como resultado de la revisión de toda la información que presenta algún efecto dentro de la zona de estudio, ya sea esta documental o recopilada en campo, con lo cual se elaboraran los modelos conceptuales de funcionamiento.

#### 3) Fase de Diagnóstico.

Tomando en cuenta la caracterización realizada en la etapa anterior, se podrá hacer una evaluación del sistema hidrológico, mediante los cuales se podrán elaborar las consideraciones de manejo dentro de la cuenca, en esta etapa también se pretende medir las relaciones entre los elementos del medio ambiente y su uso basándose en los siguientes puntos:

a) Evaluación de la cuenca en estado actual, considerando los índices ambientales que condicionen el ordenamiento, esto es, la identificación de los coeficientes de disponibilidad de los recursos hídricos, de conservación y uso del suelo.

b) Evaluación de los factores de deterioro de los sistemas naturales, por medio de la determinación de los índices de calidad del agua, deterioro de los recursos forestales y faunísticos, coeficientes del manejo del suelo y la evaluación de las fuentes de contaminación.

c) Por último, se realizará la evaluación de la tecnología empleada hasta el momento dentro de la cuenca, formulando las hipótesis de dicho manejo, manifestando el grado de deterioro que produce el aprovechamiento y la transformación del ambiente natural del sistema hidrológico, en el momento en el cual se realiza este ordenamiento.

#### 4) Fase de Pronóstico.

Para complementar el análisis que permita establecer los criterios de ordenamiento hidrológico y dictaminar las acciones de tipo preventivo, se tomara como base los datos aportados en la fases anteriores, analizando el comportamiento de los principales fenómenos y procesos que tienen lugar dentro de la cuenca, extrapolar los efectos de cambio de los sistemas naturales con respecto al tiempo para así proponer el modelo conceptual de funcionamiento y establecer los factores a controlar para prevenir el deterioro del sistema hidrológico natural.

Dentro de esta fase se consideran tres etapas:

- a) Estimación de las tendencias de deterioro del ambiente natural dentro de la cuenca.
- b) Evaluación de los efectos y cambios de acuerdo con las tareas de atenuación, representando los nuevos escenarios realizando tareas de modelación.
- c) Diagnóstico y propuestas de manejo de los elementos estudiados en los incisos anteriores, la selección de las tareas a realizar es de acuerdo con la prioridad de los fenómenos observados y que representen cambios en el sistema natural, para atenuar el deterioro de la cuenca.

#### 5) Fase Propositiva.

En esta fase se plantean los esquemas de trabajo, los que representen las modificaciones de uso de los elementos y el programa de acciones a realizar.

Las actividades correspondientes a esta fase son:

- a) Estrategia General.  
Conjuntando los datos recopilados se realizará la comparación de las acciones propuestas con los programas regionales de desarrollo, con lo que se busca proponer trabajos que sean congruente con las políticas de desarrollo y conservación de los recursos a nivel regional, de tal forma que los planes regionales sean compatibles con el equilibrio y preservación de la cuenca.
- b) Establecimiento de políticas que normen el Ordenamiento Hidrológico.  
En esta parte se concluye el análisis de la cuenca y se dan las bases para realizar las acciones de ordenamiento, a nivel operativo, realizando trabajos directos sobre los factores a corregir dentro de la cuenca, la generación del Modelo de Ordenamiento Hidrológico para la Cuenca, también se proponen los lineamientos de regularización y las obras de corrección que deban de programarse, para conservar la calidad de vida del sistema natural de la cuenca y de las regiones donde esta tiene efectos.

#### 6) Fase de Ejecución.

Por último se llega a la etapa de ejecución, la que consiste en la realización de todas las acciones definidas anteriormente dándoles seguimiento, al evaluar los resultados obtenidos en los programas.

El presente estudio adopta esta metodología, realizando básicamente las dos primeras fases, como resultado final se dejará organizada la mayor parte de la información disponible, para las etapas posteriores, con esto se darán las bases para la realización de un análisis detallado con el cual se puedan establecer los modelos de operación y pronóstico a largo plazo del funcionamiento integral de la cuenca en estudio.

### III.C ) DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS APLICADAS AL ESTUDIO.

La **Percepción Remota**, surge con la necesidad del hombre de conocer el medio en el cual habita, al principio explora el medio ambiente únicamente con sus sentidos, posteriormente su curiosidad y afán por conocer el territorio donde habita, lo condujeron primero a encaramarse en la copa de un árbol y posteriormente a subir a una colina o montaña para tener de esta forma una visión conjunta del paisaje.

La moderna ciencia de la **Percepción Remota**, es un método de observación a distancia de un sistema físico para la obtención de información acerca de una superficie o escena, utilizando luz visible e invisible, por medio del análisis automatizado de datos obtenidos por un sensor remoto.

Nació como una de las técnicas relacionadas con las sondas espaciales Voyager enviadas a planetas cercanos al nuestro, durante las primeras misiones interplanetarias de sondas espaciales no tripuladas se instalaron cámaras de televisión para la captura y envío a la tierra de imágenes correspondientes a regiones selectas de la superficie de otros planetas

En la actualidad la **Percepción Remota** tiene elementos científicos propios de análisis experimental en el método científico que le permiten resolver diversos problemas en la investigación experimental.

#### Energía Electromagnética.

Las ondas electromagnéticas pueden ser descritas en términos de su velocidad, longitud de onda y frecuencia, todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad (c), esta velocidad es comúnmente referida como la velocidad de la luz, la cual es una forma de energía electromagnética. Para ondas electromagnéticas moviéndose a través del vacío,  $c=299,793 \text{ Km/seg}$ , para fines prácticos  $c=3 \times 10^8 \text{ Km/seg}$ .

La longitud de las ondas electromagnéticas es la distancia de cualquier punto de un ciclo u onda a la misma posición sobre el siguiente ciclo u onda. El micrómetro ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ), es una unidad convencional para designar a la longitud de onda de las radiaciones visibles e infrarrojas, los científicos ópticos emplean por lo general nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ), para mediciones de luz visible para evitar usar números decimales.

#### Espectro Electromagnético.

El espectro electromagnético es la representación del continuo de energía que varía desde metros a nanómetros en longitud de onda, viaja a la velocidad de la luz, y se propaga a través del vacío de igual manera como en el espacio exterior, toda materia irradia un intervalo de energía electromagnética, con el pico de mayor intensidad desplazándose progresivamente hacia longitudes de onda más corta con el incremento de la temperatura de la materia.

El espectro electromagnético varía desde longitudes de onda muy corta en la región de rayos gamma (medidos en fracciones de nanómetros) a longitudes de onda larga de la región de radio (medidos en metros), la región visible ocupa solo una pequeña porción del espectro, la energía reflejada desde la tierra durante el día puede ser registrada como una función de longitud de onda, la máxima cantidad de energía reflejada es a 0.5  $\mu\text{m}$ , lo cual corresponde a la banda del verde de la región visible, y es llamada el pico de energía reflejada. La tierra también emite energía en el día y en la noche, con el máximo de energía a longitudes de 9.7  $\mu\text{m}$ . Este pico de energía radiante ocurre en la banda termal de la región infrarroja.

## LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Según "Cours de Teledetection" de P. FOIN (fascículo 1 página 9)

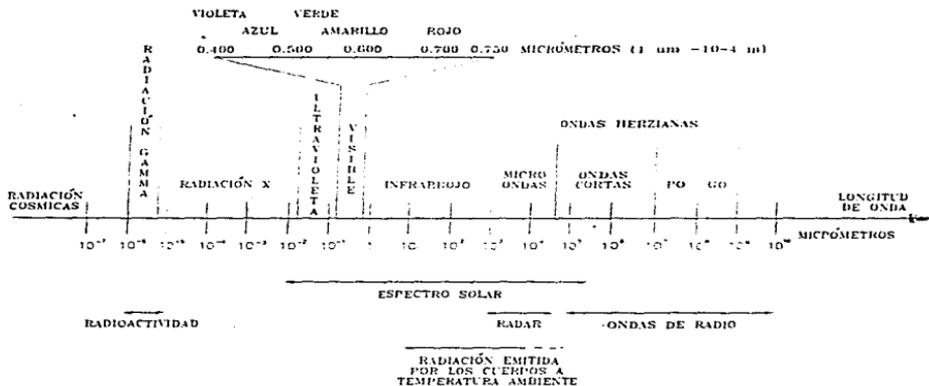


FIGURA No. 7

### Regiones del espectro.

Región	Longitud de onda	Comentarios
Rayos gamma	< 0.03 nm	La radiación incidente se absorbe completamente en la parte superior de la atmósfera y no esta disponible para los sensores remotos.
Rayos X	0.03 a 3 nm	Son absorbidos completamente por la atmósfera. No se emplea para teledetección.
Ultravioleta	0.003 a 0.4 $\mu\text{m}$	Longitudes menores que 0.3 $\mu\text{m}$ son completamente absorbidas por el ozono en la atmósfera superior. No se emplea para teledetección.
Banda UV fotográfica	0.3 a 0.4 $\mu\text{m}$	Transmitida a través de la atmósfera. Detectable con película y foto detectores, pero la dispersión atmosférica es severa. No se emplean para teledetección.
Visible	0.4 a 0.7 $\mu\text{m}$	Detectable con película y foto detectores. Incluye el pico de energía reflejada por la tierra a 0.5 $\mu\text{m}$ si se emplea para teledetección.
Infrarrojo	0.7 a 100 $\mu\text{m}$	Interacción con la materia varía con la longitud de onda. Las ventanas de transmisión atmosférica están separadas por bandas de absorción. Si se emplea para teledetección.
Banda de infrarrojo reflectivo	0.7 a 3.0 $\mu\text{m}$	Radiación solar reflejada que no contiene información acerca de propiedades termales de la materia. La banda de 0.7 a 0.9 $\mu\text{m}$ es detectable con película y es llamada la banda de infrarrojo. Si se emplea para teledetección.
Banda de infrarrojo térmico	3 - 5 $\mu\text{m}$ y 8 - 14 $\mu\text{m}$	Las principales ventanas atmosféricas en la región termal. Imágenes en estas longitudes de onda son adquiridas por "barredores" óptico - mecánicos y especiales sistemas de vidicon pero no película. Si se emplea para teledetección.
Microondas	0.1 a 30 cm	Las longitudes de onda mayores pueden penetrar nubes, neblina y lluvia. Las imágenes son adquiridas en el modo activo o pasivo. Si se emplea para teledetección.
Radar	0.1 a 30 cm	Forma activa de sensores remotos de microondas: Las imágenes de radar son adquiridas en varias bandas de longitud de onda. Si se emplea para teledetección.
Radio	> 30 cm	Porción de longitud de onda mayor del espectro electromagnético. Algunos radares clasificados con longitudes de onda muy grandes operan en esta región.

La atmósfera terrestre absorbe energía en los rayos gamma, rayos X y la mayoría de los ultravioleta, por lo tanto estas regiones no son usadas en teledetección. Los sensores remotos registran energía en las regiones de microondas, infrarrojo y visible, así como en las mayores longitudes de la región ultravioleta. Las regiones de longitud de onda con alta transmisión son llamadas ventanas atmosféricas y son usadas para adquirir imágenes con sensores remotos. Las principales regiones de los sensores remotos (visible, infrarrojo y microondas) están subdivididas en bandas, tales como las bandas azul, verde y rojo de la región visible.

#### **Elementos Básicos de la Percepción Remota.**

- a) Fuente de iluminación.-** Formada en este caso por el sol que emite luz o radiación solar.
- b) El Paisaje.-** Configurado por todos los objetos presentes en el territorio explorado (ríos, colinas, vegetación, rocas)
- c) Escena.-** Aquella sección o superficie del paisaje donde enfoca su interés pudiendo ser una roca o un valle completo.
- d) El Sensor Remoto.-** Con el que se captura la luz proveniente de la escena.
- e) La Plataforma.-** Es el lugar donde se coloca o monta el sensor remoto para obtener una visión de conjunto de la escena.
- f) El Sistema de Procesamiento.-** Compuesto por el dispositivo para procesar cualitativa o cuantitativamente los datos proporcionados por el sensor remoto acerca de la escena, los cuales analizados e interpretados producen información valiosa en relación al paisaje.
- g) Apoyo de Campo.-** Consiste en la inspección directa, en varios puntos selectos de la escena, de diferentes atributos de los objetos que se encuentran en el terreno, con el fin de evaluar los datos obtenidos previamente a distancia.

La distancia con respecto a la escena, a la cual se coloca la plataforma permite tener una visión sinóptica a diferentes escalas del paisaje, estas observaciones pueden hacerse a diferentes horas del día, en diferentes épocas del año y por medio de diferentes filtros de color, en este proceso se genera una gran cantidad de datos, los que analizados adecuadamente por medio de criterios muy bien definidos, proporcionan valiosa información acerca de los recursos naturales terrestres y sientan las bases para su estudio racional.

Con el desarrollo moderno de la ciencia de la computación electrónica digital se ha dado un auge importante a la percepción remota, pues la disponibilidad de estas herramientas permite la evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos, así en una simbiosis muy estrecha las ciencias de la computación han impulsado el desarrollo de la percepción remota, y ésta, a su vez, ha generado nuevos sistemas de procesamiento digital con propósitos específicos.

#### **Características de los elementos básicos de la Percepción Remota.**

- a) La Fuente de iluminación.-** Puede ser de dos tipos, externa sobre la cual no se puede tener control (sistemas pasivos), pueden utilizar el sol o bien a una estrella lejana, por lo que se tendrá la necesidad de "esperar" a que las condiciones de iluminación sean las adecuadas para efectuar la observación, es decir hora y estación del año, de hecho cualquier combinación es posible dependiendo de la aplicación deseada.

Por otra parte existen sistemas que utilizan su propia fuente de iluminación, de la cual si se tiene control (sistemas activos), en estos casos puede ser la luz ultravioleta o infrarroja, rayos gamma o rayos X, o bien un haz de partículas como protones o neutrones con lo cual es posible aplicar la percepción remota a la medicina, la biología, la física nuclear y la industria.

- b) El Paisaje.-** Es el elemento de la Percepción Remota que mas retos da al investigador, ya que el sistema físico a estudiar es altamente complejo por la intervención de muchos factores, algunos de ellos

ajenos al propósito de la investigación, además sucede con frecuencia que el investigador no controla una parte o todos los aspectos que componen el paisaje.

El investigador controla el sensor remoto, la fuente de iluminación o el procesamiento de los datos, pero puede escapar a su injerencia el sistema físico que desea analizar, una gran cantidad de errores en trabajos de percepción remota provienen de la subestimación o sobresimplificación de la complejidad del paisaje.

**c) La Escena.-** Implica para su análisis el manejo de conceptos lógicos, es decir de entidades físicas, al variar el enfoque de la lente se pueden obtener diferentes escenas del mismo paisaje, así pues en la imagen quedan grabados en forma permanente y visible el conjunto de objetos que se encontraban sobre la escena.

Así el manejo y el análisis de las imágenes correspondientes a diferentes escenas es lo que permite entender el funcionamiento del paisaje.

**d) El Sensor Remoto.-** El desarrollo tan importante que ha alcanzado la tecnología en esta área de la percepción remota, ha permitido al hombre ampliar su capacidad visual, nuevos y modernos detectores permiten ahora capturar la luz invisible como la ultravioleta o la infrarroja y detectar radiaciones como los rayos X y gamma y partículas como electrones, protones o neutrones. Ejemplos de tales detectores son la placa fotográfica infrarroja, los detectores Gaiger, los fotodetectores, los fotomultiplicadores y las cámaras de televisión, muchos de éstos son baratos y de gran eficiencia y algunos incluso proporcionan imágenes en forma cuantitativa, es en forma decir numérica, de tal manera que la información resultante puede ser almacenada en computadora para proceder a un análisis matemático ulterior.

Todos estos detectores han ampliado enormemente la capacidad de observación en percepción remota y pueden proporcionar actualmente imágenes de gran calidad de paisajes tan remotos como las lunas de Júpiter, de una galaxia distante o de "paisajes" microscópicos como los de un virus detectado por medio de un microscopio electrónico.

**e) La Plataforma.-** A medida que la plataforma de observación se coloca a mayor distancia de la escena la visión de conjunto crece pero no así el detalle o grado de discernimiento el que consecuentemente se hace menor. Discernir objetos relativamente pequeños o muy próximos entre sí requiere de detectores de alta resolución, lo que hace que sean indispensables para el uso de plataformas colocadas a una gran distancia de la escena.

Las que están situadas a gran altura sobre la superficie terrestre en plataformas espaciales han demostrado ser las más adecuadas, cubriendo escenas de  $185 \times 125 \text{ Km}^2$  con resolución de 30 m. por lado o de  $100 \times 100 \text{ Km}^2$  con un elemento de resolución de  $10 \times 10 \text{ m}^2$ , una plataforma de éstas es necesariamente de tipo satelitario, es decir el sensor remoto se encuentra instalado a bordo de un vehículo orbital.

Las órbitas de este tipo de satélites son generalmente polares, por lo que el movimiento combinado del satélite y el de rotación de la tierra hacen que la superficie de esta sea cubierta totalmente en periodos de 2 a 3 semanas, además, la órbita está ajustada de tal manera que la observación de la misma región se hace a la misma hora del día (10 horas local aproximadamente), lo que provoca que se tenga como única variación en las condiciones de iluminación de la escena las causadas por las estaciones del año.

**f) El Sistema de Procesamiento.-** Los sensores remotos actuales son capaces de producir imágenes de alta calidad en forma analógica o digital, es decir, pueden proporcionar una representación continua o discreta de la escena.

Una imagen continua es aquella donde la variación de tonos de gris o color se representan sin discontinuidades, sin líneas o fronteras, aparte de las que pudiera tener la escena misma. Una imagen discreta por su parte, es la que está compuesta por elementos definidos y diferenciados como puntos o cuadrados, es necesario aclarar que una escena siempre es continua, no así la imagen respectiva. En realidad, una presentación o imagen continua no es más que una idealización de lo que realmente

sucede, pues una fotografía a simple vista podrá verse continua, pero al ser ampliada se aprecia que ésta formada por una colección de pequeños puntos de diferentes tonalidades que son los que componen la imagen en forma similar a un rompecabezas.

En general podemos decir entonces que una imagen será catalogada continua o discreta dependiendo del grado de resolución que tenga el sensor y del detalle que se desea discernir, de hecho, solo las imágenes ópticas podrán considerarse siempre como continuas, por lo tanto se le da el nombre de digital a aquellas imágenes discretas donde cada punto que la compone está dado no por una tonalidad sino por un número, esto es, asignando por ejemplo el 0 al tono más oscuro y 127 al más claro, es debido a esta representación numérica de una escena que es posible el manejo por computadora de la imagen digital correspondiente, con la consecuente rapidez y volumen en el análisis de una gran variedad de estas.

**g) El Apoyo de Campo.**- Las técnicas de apoyo de campo se refieren a la inspección cualitativa y cuantitativa de lugares selectos del paisaje, estas técnicas son resultado de los métodos de muestreo estadístico y de medidas de propiedades físicas y químicas de los objetos que se encuentran en la escena. Es claro que no es posible ni tiene sentido hacer una evaluación exhaustiva de todos los objetos que se presentan en ésta pues, además de que esto sería costoso y consumiría una gran cantidad de tiempo, dejaría de lado a la percepción remota, es decir ya no tendría razón de ser la observación a distancia desde una plataforma particular.

La observación directa de ciertos puntos de la escena es necesaria para la correcta validación de la observaciones, esto es así porque las medidas hechas por un sensor remoto son en general relativas al sensor mismo, a la metodología usada y pueden estar distorsionadas por una gran variedad de aspectos no controlables por el experimentador, tales como la interferencia atmosférica si se trata de una plataforma satelitana. A partir de los hechos mencionados se desprende la necesidad de seleccionar un conjunto adecuados de puntos de la escena, que constituyan una representación realista del conjunto total que la componen. Habrá ocasiones en las que el apoyo de campo no es posible o es demasiado costoso, en cuya situación las inferencias que se hagan sobre la escena y el paisaje tendrán que ser indirectas (cartografía y anuarios estadísticos entre otros).

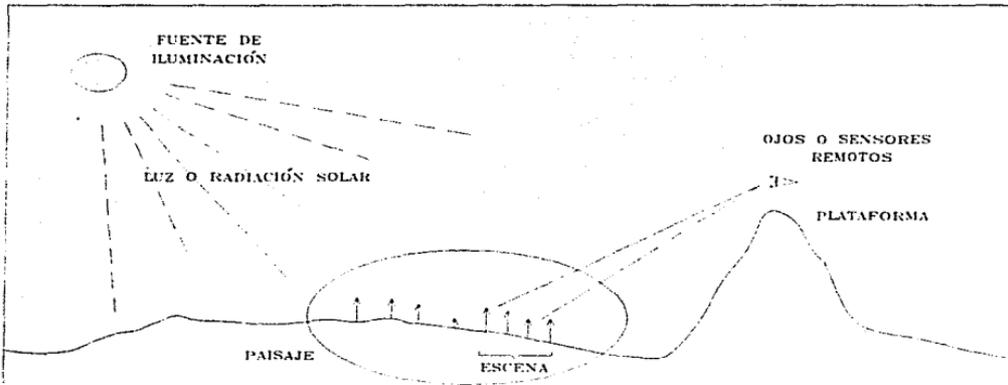
El desarrollo de la ciencia y tecnología han permitido incorporar nuevos métodos y dispositivos de captura a distancia lo que ha hecho que la percepción remota extienda su campo de acción a fenómenos muy diversos, ya no solo en el mundo macroscópico sino también en el microscópico.

Es muy importante puntualizar que ni la medicina, ni la astronomía se han convertido en percepción remota o ésta en astronomía y medicina, sino que aquélla es una metodología científica multidisciplinaria cuyas técnicas y métodos son aplicables a diversas áreas del conocimiento científico.

#### **Mecanismos de interacción.**

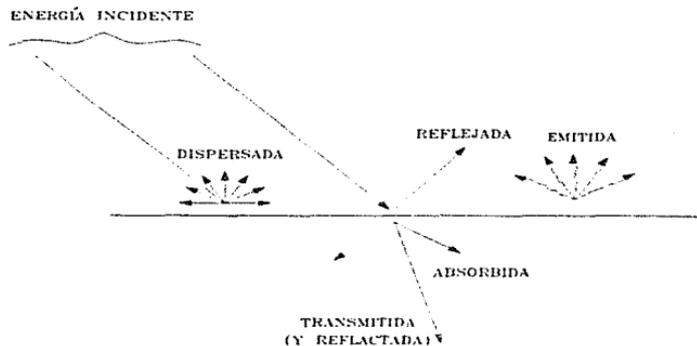
La energía electromagnética que encuentra materia, ya sea sólida, líquida o gas, es llamada radiación o energía incidente. Las interacciones con la materia pueden cambiar las siguientes propiedades de la radiación electromagnética: intensidad, dirección, longitud de onda, polarización y fase. La ciencia de la teledetección detecta y registra estos cambios, los científicos interpretan las imágenes resultantes y los datos para identificar las características de la materia que producen esos cambios.

Durante las interacciones entre la radiación electromagnética y la materia, la masa y la energía son conservadas de acuerdo a los principios básicos de la física. La radiación incidente puede ser afectada como se indica en la figura No. 9.



REPRESENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE LA PERCEPCIÓN REMOTA.

FIGURA No. 8



INTERACCIONES ENTRE LA ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA Y LA MATERIA

FIGURA No. 9

### Sistemas de captura de imágenes.

Para poder entender la forma en la que se realiza la captura de imágenes se toma como base la fotografía de la figura No. 10

Una fotografía está formada por diminutos puntos de diferentes tonalidades, haciendo una idealización y suponiendo que esta escena es continua, es decir que los puntos son infinitamente pequeños, el proceso se da entonces de la siguiente manera.

A la escena original se le sobrepone una rejilla cuadrada que la subdivide en porciones iguales, esta rejilla de hecho no existe físicamente sino que representa una subdivisión virtual, también cabe aclarar que no necesariamente debe ser cuadrada, (cuadrada o circular) sobre cada cuadro de la rejilla se efectúa un promedio de tonos de gris con lo que se obtiene un funcionamiento homogéneo es decir un solo tono de gris.

Al efectuar el proceso de integración de los tonos de gris sobre cada cuadro de la rejilla y comparar cada vez el resultado en la escala de grises previamente establecida, se obtiene entonces una colección de números arreglados en forma matricial, que son por una parte, la representación numérica de la escena y por otra la estructura de la imagen digital correspondiente.

Es claro que esa representación numérica es adecuada tanto para efectos de almacenamiento en computadora, como para realizar un análisis cuantitativo de la escena por medio de algoritmos computacionales, los cuales pueden ser muy complejos.

Para preservar los detalles más finos de la escena de la imagen digital, es necesario escoger el cuadrado de lado tal que sea de por lo menos la mitad de las dimensiones del detalle más fino de la escena. Este cuadrado define pues la resolución de la imagen digital y se le conoce con el nombre de elemento de resolución o campo instantáneo de vista (C.I.V.) Es también un elemento físico con dimensiones físicas sobre la escena, a diferencia del número correspondiente en la imagen digital de un campo instantáneo de vista, que constituye un elemento lógico en la representación numérica de aquella.

A este elemento lógico se le conoce con el nombre de PIXEL y de por sí no tiene dimensiones físicas, sino que está así asignadas de acuerdo a una escala predeterminada en la representación visual de la imagen digital.

En resumen, el pixel es la representación numérica o lógica del campo instantáneo de vista y es la medida de energía promedio que proviene de dicho campo, a cada pixel le corresponde sólo un campo y viceversa.

El tamaño del campo instantáneo de vista define la resolución espacial, es decir da el grado de detalle que se puede discernir de la escena, que es lo que se llama digitalización. A su vez, la escala de grises define el número de tonos discernibles y el de la resolución radiométrica, es decir proporciona una medida de qué tanto se puede distinguir una energía luminosa de otra. Recordemos que el ojo humano puede reconocer 16 tonos de gris o bien 16 diferentes niveles de energía luminosa integrada por todos los colores, esto es sin haber sido filtrada por algún filtro de color. A esta resolución radiométrica se le conoce como cuantización.

El tamaño del C.I.V. depende de las dimensiones del paisaje, de la resolución del sensor remoto y de la distancia de este al C.I.V.

La energía luminosa reflejada o emitida por el C.I.V. coincide entonces sobre el sensor optoelectrónico, compuesto en primera instancia por un sistema óptico (generalmente un telescopio) y por un conjunto de dispositivos de conducción de luz que hacen llegar a este directamente hasta un juego de filtros de color. Todo esto con el fin de observar simultáneamente la escena a través de ellos, de tal manera de registrar una imagen digital por cada filtro y medir posteriormente sus características.



Suponiendo que se tiene una escena cualquiera, se construye un conjunto de 4 escalas de tonos de color (verde, azul, amarillo y rojo), para cada color se crean 16 tonos diferentes, de esta manera se tendrá una escala con 16 tonos de verde, otra de 16 tonos de azul y dos más con tonos de amarillo y rojo, se sobrepone una rejilla a la escena y observando a través de un filtro verde, se hace un promedio sobre el C.I.V. correspondiente, se compara el resultado con la escala previamente construida y se asigna, en consecuencia el número que le corresponde al tono de verde así obtenido. Se repite el proceso sobre el mismo C.I.V. pero con otros filtros y escalas del resto de colores y se obtienen los números correspondientes, así a un mismo C.I.V. se le asigna cuatro números uno por cada color. ¿Que quiere decir esto? Que si en dos C.I.V. diferentes se encuentran objetos diferentes, entonces se tendrán dos diferentes juegos de cuatro números. Este proceso puede generalizarse, pudiendo utilizarse tantos filtros de color como se requieran, incluso en "colores" como el ultravioleta y el infrarrojo que son invisibles al ojo humano, pero que pueden ser detectados por un sensor remoto moderno.

En conclusión, se obtendrán para una misma escena tantas representaciones numericas como filtros de color se hayan empleado, es decir que si se emplean 4 filtros, se obtendrán 4 imágenes digitales o si se utilizan 7 filtros, se registrarán 7 imágenes digitales.

Resumiendo esto de una manera logica se puede decir que al conjunto de imágenes digitales (cuatro o siete) se les denomina "imagen multispectral" y al conjunto de números para cada C.I.V. se le conoce como "Firma espectral". De ahí que una imagen multispectral esté formada por un conjunto de imágenes digitales, cada una de ellas conteniendo aquellos aspectos de la escena que corresponden a un color determinado y que a su vez, la firma espectral contenga las características del conjunto de objetos que se encuentran en el C.I.V. para cada color empleado en la observación correspondiente de la escena.

Es claro que para registrar simultáneamente los diferentes aspectos de una escena se requiere no nada más de diferentes filtros sino también varios sensores, al menos uno para cada color.

Al sistema optoelectrónico formado por un conjunto de filtros y detectores se le conoce como **Barredor multispectral**.

Un espejo móvil, que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria, les permite explorar una franja de terreno a ambos lados de la traza del satélite. La radiancia recibida por este componente óptico, se dirige a una serie de detectores, que la amplifican y convierten en una señal eléctrica. Esta a su vez, se transforma a un valor numérico, que puede almacenarse a bordo o transmitirse a la red de antenas receptoras. La información recibida por éstas se graba en cintas compatibles con computadora (CCT), para su posterior proceso.

Al tiempo que le lleva al sensor remoto medir la energía de C.I.V. se conoce como tiempo de resistencia o tiempo de integración y que en general, se desea que sea lo más corto posible, esto porque en los sistemas de percepción remota espacial y aerotransportada la velocidad relativa entre el sensor remoto y la escena es muy alta, lo que impide al sensor capturar la energía que proviene de cada C.I.V. durante un tiempo relativamente grande, además de que existen situaciones de la investigación experimental donde la escena puede estar cambiando rápidamente, como sucede con un cultivo de bacterias. Es claro entonces que el sensor remoto debe responder rápidamente a la energía luminosa proveniente del C.I.V. y debe operar también en niveles de ruido muy bajos, así como operar en general a niveles muy altos de eficiencia.

LANSAT es el nombre de una serie de satélites lanzados por la agencia NASA de los EUA para la observación de la tierra. LANSAT es un acrónimo de "Land Satellite" (satélite de la tierra). Los satélites Lansat han producido una gran cantidad de datos sobre la mayor parte de la superficie terrestre en todas las épocas del año. Estos satélites han sido los primeros en operar rutinariamente y en proporcionar en forma regular datos de gran valor para la comunidad científica, de tal manera que los resultados que se han generado a partir de tales datos han hecho que se impulse la percepción remota a escala mundial, siendo actualmente varios los países, que ya cuentan o están desarrollando sus propios satélites.

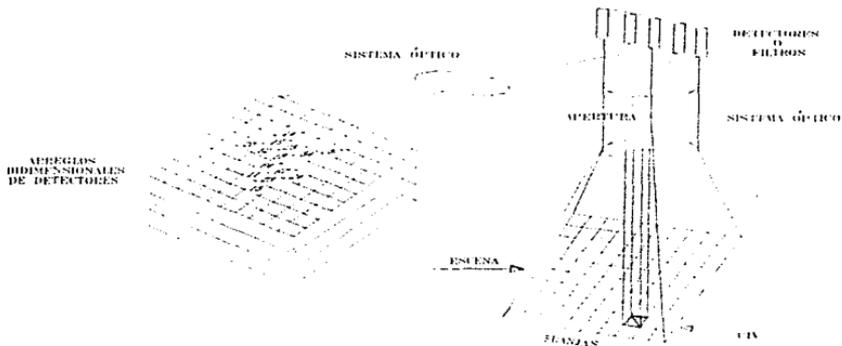
## ESQUEMA DEL COBRIMIENTO TERRESTRE POR UN SATÉLITE DE PERCEPCIÓN REMOTA CON ÓRBITA POLAR



EL PLANO DE LA ÓRBITA ROTA A LA MISMA RAZÓN QUE ROTA LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL.



FIGURA No. 11



SISTEMA PARA MEDIR SIMULTÁNEAMENTE TODOS LOS CVI E UNA ESCENA EN VARIAS BANDAS.

FIGURA No. 12

El ímpetu que imprimen estos programas satelitarios a la ciencia de la percepción remota permite actualmente realizar una supervisión rutinaria de varios fenómenos naturales terrestres, así como el de apoyar adecuadamente las labores de exploración a gran escala en relación a los recursos naturales y las actividades del hombre sobre el planeta.

#### Sensores a bordo del programa Landsat

MSS		TM	
Banda	Sensibilidad	Banda	Sensibilidad
4	0.5 - 0.6 m	1	0.45 - 0.52 m
5	0.6 - 0.7 m	2	0.52 - 0.60 m
6	0.7 - 0.8 m	3	0.63 - 0.69 m
7	0.8 - 1.1 m	4	0.76 - 0.90 m
		5	1.55 - 1.75 m
		6	10.40 - 12.50 m
		7	2.08 - 2.35 m

Resolución espacial: Bandas 4 a 7 : 79 m	Resolución espacial: Bandas 1 a 5 y 7 : 30 m Bandas 6 : 120 m
---	---

Como el tiempo de resistencia es una fracción muy pequeña de segundo, la velocidad a la que son generados estos números es muy grande y por lo tanto el sistema de almacenamiento debe operar con una alta eficiencia.

Con el sistema de almacenamiento masivo de memoria controlado por un microprocesador se puede realizar una especie de barrido sobre cada fotodetector, capturando el resultado de las medidas al mismo ritmo que se realiza el barrido sobre la escena, dicho microprocesador no solo captará dicha medida, sino que la enviará al sistema de almacenamiento masivo con un código lógico de orden para que el PIXEL generado y almacenado guarde la misma posición relativa al C.I.V. correspondiente, de otra manera se obtendría una especie de rompecabezas en desorden y sería imposible reconstruir la escena. Cuando la memoria masiva es suficientemente grande, los datos ahí almacenados pueden ser posteriormente vaciados a un ritmo relativamente menor a una cinta o un disco magnético donde la imagen multispectral capturada por el sensor remoto queda registrada en forma cuasipermanente (se dice que de este modo porque la imagen puede continuar en la cinta o en el disco por un tiempo indefinido hasta que no sea de utilidad su almacenamiento).

#### Interpretación de imágenes de satélite.

La interpretación de imágenes de satélite, ha demostrado en los últimos años ser una tecnología basada en computadoras que es de gran ayuda para estudios relacionados con la planeación y el control de los recursos naturales de amplias regiones sobre la superficie de la tierra.

La principal característica de este método, es la forma de obtención de la información, ya que al ser captada por un sensor localizado en un satélite orbital que toma escenas del territorio en forma periódica, es posible visualizar la evolución de algún fenómeno.

Así mismo, la versatilidad de las imágenes permite realizar análisis de la superficie de la tierra con gran detalle, ya que la información recibida del satélite, es la captura de la respuesta de los materiales en la superficie ante la incidencia de la luz solar, la cual es filtrada y procesada por métodos digitales para la obtención de mapas espectrales mediante los cuales se intensifican algunas características, que sirven como indicadores de las condiciones naturales del terreno.

Los fundamentos de estos métodos de análisis, utilizan como medio de excitación la luz y la energía reflejada por los cuerpos opacos, la forma y la intensidad de esta al ser captada por el sensor, así como el ángulo de incidencia al ser recibida en el sensor.

Otra característica es la posición del sensor respecto al terreno, ya que por ser la tierra un cuerpo de forma geoidal y la superficie no ser lisa, el sensor registra todos los cambios en la superficie, además

recibe en su totalidad la energía, por lo que la respuesta de los materiales de la corteza terrestre emiten una firma espectral, la cual es registrada en forma de bandas, mismas que agrupan una porción del espectro electromagnético dentro del cual se distingue una pequeña franja denominada luz visible.

Los datos son transmitidos a estaciones terrenas, en las que la información es procesada para hacerla equivalente a una escala de grises, con la cual se puede tener una imagen que se puede trabajar en forma semejante a una fotografía del terreno, con la ventaja que se pueden hacer modificaciones en su estructura para resaltar alguna particularidad de la escena.

Los datos presentados de esta forma, pueden mezclarse en sistemas de computación para obtener imágenes denominadas multispectrales, las que como su nombre lo indica, son una mezcla de varias imágenes de la misma escena las que reflejan distintos valores de intensidad de luz, para fines de proceso digital, agrupa los valores de longitud de onda en una escala denominada de grises, tomando valores de 0 a 255, donde 0 equivale a nula reflexión que es el color negro y 255 que es totalmente reflejante representando a un color blanco, los valores intermedios se igualan con alguna tonalidad de gris, por lo que cuando el análisis es multispectral, se deberá contar con equipos de buena resolución de imagen del tipo RGB. Además del monitor, se requiere de una computadora de gran capacidad en el disco duro y en la memoria principal dado que las imágenes LANSAT son grupos de 7 archivos secuenciales de datos de aproximadamente 74 megabytes c/u, que deben integrarse en bases de datos de 200 a 300 megabytes, por lo que la velocidad del proceso es también un factor muy importante ya que el manejo de la imagen ocupa muchas horas de tiempo máquina, esto sin contar la transferencia de la cinta de 8 mm. Al disco duro de la máquina para su manejo.

En el presente estudio, se realizó la interpretación con las técnicas mencionadas anteriormente, de la Geomorfología, Geología, Hidrología, Vegetación, uso y pérdida del suelo, como parámetros para la evaluación de la zona de estudio.

### III.D ) DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.

Todo trabajo o proyecto, el cual se relacione con el comportamiento del medio físico natural, debe ser apoyado con datos reales tomados en campo, en proyectos de este tipo se contemplan tres etapas de trabajo en campo, las cuales en forma sintetizada se describen a continuación.

La primera fase se le denomina de reconocimiento, en la cual, en base a recorridos dentro de la zona de estudio, se determinan los puntos que integraran el informe, así como las posibles dificultades en la elaboración del mismo, el elegir aspectos en los cuales se pondrá mayor énfasis, sirviendo esto para definir tareas complementarias.

La segunda fase se le conoce como la de entrenamiento, las que para este proyecto, comprenden las siguientes actividades:

a) **Recomidos de reconocimiento del Manejo de los recursos Naturales.**  
Durante esta etapa, se hace un reconocimiento de la forma en la que se aprovechan los recursos naturales dentro de la cuenca, haciendo la verificación de la información documental disponible y a su vez generar la información complementaria.

b) **Recorridos de reconocimiento de tendencias de reflectancia.**  
Todo trabajo de percepción remota, se debe basar en la generación de modelos conceptuales que describan la superficie de la tierra, tratando de que estos concuerden lo mejor posible con la realidad. Se deberá visitar la región en estudio, tomando nota de los factores existentes que definan condiciones características, de la superficie en lo que se refiere a la forma en la cual refleja la luz del sol, la cual es fundamental para el análisis.

c) **Toma de muestras de agua que escurren por la cuenca, y que se considera que en algún momento pueden aportar gasto hacia la obra proyectada, los lugares para estas tomas son definidos en la etapa de campo anterior.** se contemplaron análisis físicos y químicos, realizados en campo por medio de la utilización de un medidor Multielectrodo Mca, Conductionics, para los valores de pH, conductividad del agua (ms), temperatura (°C) y con un detector digital tipo pluma los sólidos totales disueltos (p.p.m.), los resultados de dichos valores nos indicara la posible calidad del agua, con la que se alimentará el acuífero.

d) **Trabajos topográficos, los levantamientos se realizaron mediante poligonales abiertas, configurando por medio de radiaciones los detalles del cauce, las coordenadas de los puntos de arranque para las poligonales de apoyo se obliuvieron con la utilización de un G.P.S. (Geographic Positioner System), mediante el cual los levantamientos podrán referirse a las coordenadas utilizadas en la mayoría de los G.I.S. disponibles, facilitando con esto la tarea de georeferencia para estos trabajos, integrandolas en el estudio.**

La tercera fase de los trabajos de campo es la que consiste en la verificación final de los valores recopilados e integrados (G.I.S.), esta fase se puede ubicar en la parte final del estudio ya que se debe realizar después del análisis visual y digital de la interpretación de las imágenes.

Otra de las herramientas empleadas fue la fotointerpretación, ya que la fotografías permiten a las personas que no participaron en el informe o a las que finalmente lo reciben, de alguna manera observar y verificar la información vertida en el mismo y de esta forma tener presente la importancia de las acciones resolutivas propuestas.

Es importante hacer mención que estas actividades en sus tres etapas no es posible hacerlas con un sólo recorrido y que se debe de respetar el Orden lógico de las mismas, para de esta forma encontrar los modelos que de la forma más real posible representen el sistema natural.

### III.E ) ORGANIZACIÓN DEL ORDENAMIENTO HIDROLÓGICO.

Dentro de la metodología propuesta para la realización de este estudio, la primera fase como ya se menciona en el capítulo anterior, es la fase de organización, la cual consiste en definir los alcances y objetivos del ordenamiento hidrológico, la disponibilidad de recursos humanos, materiales y equipos, así como la disposición de información de la cuenca en estudio, también se realizarán los programas a seguir, así como designan a los responsables de la ejecución de los trabajos.

El ordenamiento hidrológico propuesto lo integran seis fases, las cuales han sido descritas en el capítulo anterior, el presente estudio adopta esta metodología, realizando básicamente las dos primeras fases que corresponden a la de la organización y a la de la descripción, como resultado final se dejará organizada la mayor parte de la información disponible, para las etapas posteriores, con esto se darán las bases para la realización de un análisis detallado con el cual se puedan establecer los modelos de operación y pronóstico a largo plazo del funcionamiento integral de la cuenca en estudio.

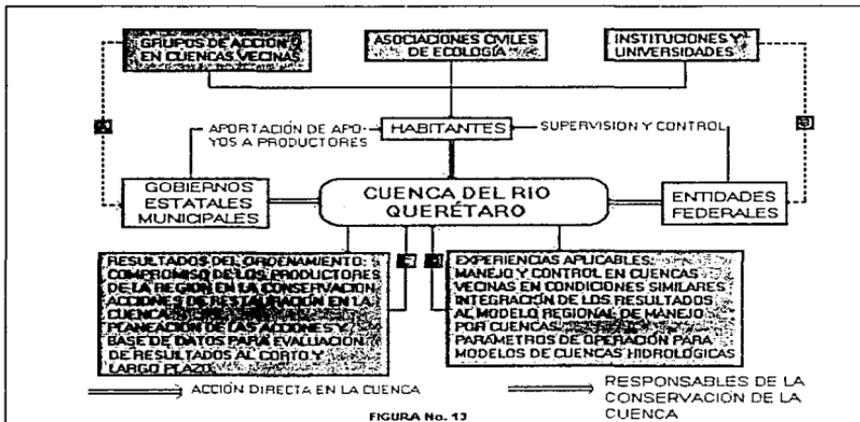
El objetivo de este proyecto fue el de conocer la mecánica de operación natural de la cuenca del río Querétaro, proponiendo las acciones de manejo, acordes con el aprovechamiento racional de los recursos hidráulicos de la región, para de esta forma mantener constante el equilibrio ecológico y desarrollo armónico de la cuenca en estudio.

A grandes rasgos la información que contendrá el presente estudio será la siguiente:

- 1) Localización y vías de acceso de la cuenca.
- 2) Datos generales de la cuenca, (análisis cartográfico en escala 1 : 250 000)
- 3) Descripción temática de la cuenca, apoyando los datos obtenidos con imágenes de satélite.  
(Geomorfología, Geología, Clima, Descripción de suelos, Hidrología, Vegetación y Uso de suelo.
- 4) Imágenes de satélite con su respectiva descripción e interpretación.
- 5) Modelos conceptuales de funcionamiento de la cuenca.
- 6) Topografía de puntos estratégicos para el estudio.
- 7) Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se plantea la interacción de actores sociales que intervienen, directa o indirectamente, en la conservación de la cuenca, de la que derivan acciones directas o indirectas con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en la evaluación de las necesidades dentro de la cuenca hidrológica. En el caso de la Cuenca del Río Querétaro, Municipio del Marqués, los que tienen una responsabilidad directa son los habitantes de la misma, siguiendo con el orden de importancia, se menciona a los Organismos del Gobierno Estatal, así como las Entidades Federales, quienes son los responsables directos de la conservación de los recursos naturales y del manejo adecuado de éstos, además existen otros actores que, de manera indirecta, deben de aportar elementos de análisis y generar acciones dentro de la cuenca, como son los grupos de trabajo de otras cuencas vecinas o que presentan problemáticas similares, las asociaciones ecológicas, quienes desarrollan acciones de concientización a los habitantes de la región, así como las instituciones educativas y las Universidades que realizan estudios y proponen soluciones a los problemas marcados en los planes de protección de la cuenca.

En siguiente figura se observan las letras "A", "B", "C" y "D", las cuales indican las relaciones indirectas que existen entre los grupos de actores interconectados y que expresan lo siguiente:



- "A"- Se plantea que las acciones implementadas por los grupos de cuencas vecinas, o en condiciones similares, son fuentes de información importantes, puesto que de las experiencias en el desarrollo de las actividades de conservación y manejo, se obtienen conocimientos que pueden ser de mucha utilidad para la aplicación de técnicas de protección, cuando las condiciones así lo requieran. Dichas experiencias son herramientas de gran aplicación para los programas de planeación de los Gobiernos Estatales y Municipales.
- "B"- Las instituciones educativas aportan gran parte de los conocimientos científicos con los que se soporta la selección de acciones tendientes a la conservación y aprovechamiento, siendo un banco de datos muy importante en los lugares donde los recursos naturales guardan un equilibrio muy delicado, que requieren de la observación de profesionistas responsables del desarrollo de una región, por lo tanto, las Entidades Federales, se deberán comprometer con las Escuelas y Universidades en la realización de estudios aplicables en todos los campos que requieran las regiones para su desarrollo adecuado, conservando el medio ambiente.
- "C" y "D"- En ambos casos, implicar la alimentación del aprendizaje del proceso a las tareas de protección y control de las cuencas en estudio.

De la misma, se desprende la importancia de crear una conciencia de conservación para actuar en conjunto con todos los responsables (directos o indirectos), ya que esfuerzos aislados, como se observa en los trabajos antecedentes, reflejan únicamente acercamientos parciales al problema, sin dar las soluciones que mejor se adapten a la región estudiada.

#### **IV.- DESCRIPCIÓN TEMÁTICA DE LA CUENCA.**

El análisis de la cuenca del Río Querétaro es compleja, la cual mezcla muchos elementos, que se analizan como variables del medio ambiente, en la actualidad, es muy difícil aislar los fenómenos naturales de las respuestas del medio ambiente por la actividad humana, lo cual implica la actualización constante de la información recopilada a través de los años y adaptarla a los modelos dinámicos que reportan el constante cambio del medio ambiente, por este motivo con la utilización de las técnicas de la percepción remota se puede hacer un inventario periódico de las condiciones del medio ambiente. En conjunto con las condiciones cambiantes de la utilización del territorio por las actividades humanas, el presente estudio marca el punto de partida de dichas condiciones en esta cuenca, como primer paso para el diagnóstico y desarrollo de soluciones en materia de ordenamiento hidrológico.

#### **Sistemas de Información Geográfica. (G.I.S.).**

Los Sistemas de Información Geográfica, a los que internacionalmente se les designan las siglas G.I.S. (Geographic Information Systems), en últimas fechas, ha incrementado la utilización de imágenes de satélite por la facilidad de esta herramienta para el manejo de grandes cantidades de información del medio físico en sistemas de bases de datos que facilitan la elaboración de trabajos de investigación, planeación y control de los recursos naturales de las regiones en estudio.

Dichos sistemas se formulan de acuerdo con las necesidades de las entidades que requieren del control y actualización periódica de la información geográfica, esto permite la disponibilidad de la información adecuada en formatos que agilizan las tareas de planeación y proyectos, otra de las características de estos sistemas, consiste en la posibilidad de relacionar rápidamente distintas variables de la región en estudio para observar las características que existen entre estas, permitiendo con esto, que la visión de algún proyecto sea estudiado, considerándolo como un universo complejo del cual no se descuide la evaluación de cualquier fenómeno que intervenga, positiva o negativamente, en el medio ambiente o su región económica.

Para la integración de un sistema de información geográfica, se deberán realizar las actividades siguientes:

**1.- Recopilación de información:** En esta, se agrupará toda la información disponible como son mapas topográficos, estudios geológicos, exploraciones puntuales, así como todos los estudios temáticos existentes que puedan aportar información dentro de la zona de estudio.

**2.- Captura de la información:** Una vez analizada y seleccionada la información, es capturada integrando la base de datos, siguiendo preferencialmente el orden que sigue:

**a) Información de base:** todos los elementos topográficos disponibles a la escala más apropiada para el estudio.

**b) Realización de los mapas topográficos base,** en los que se va a referir toda la base de datos.

**c) Captura de los datos Geológicos:** Todas las fuentes de información que se consultaron, tendrán que sintetizarse, discriminando los datos que no son aplicables, ya sea por escala o por no estar bien apoyado el concepto. De lo anterior, se desprende que la información que se almacenará en la base de datos, deberá estar a la misma escala de los documentos base. además deberán estar bien definidas las fuentes de donde se obtuvo la información.

**d) Captura de la información temática:** Como los G.I.S. se componen de una gran variedad de temas adicionales a los principales, como son la Edafología, Uso del Suelo, Hidrología, Catastro Rural y Urbano, etc., la información, al igual que en el inciso anterior, deberá estar de acuerdo con la escala seleccionada para los documentos base.

En el caso de los dos incisos anteriores, se tiene que considerar que la información recolectada debe tener algún tratamiento antes de ser integrada a la base de datos del sistema, los tratamientos

matemáticos y de corrección geométrica, así como todas las consideraciones individuales de cada tema.

**3.- Salidas del sistema:** Al estar organizada la base de datos, la parte complementaria son las salidas gráficas (mapas, reportes e informes), las cuales serán parte fundamental de la utilización de la herramienta, ya que no se requerirá de los servicios constantes de dibujantes para la repetición de algún mapa con los datos totales o parciales del sistema, por este motivo, la herramienta representa una mejor utilización de la información geográfica.

En lo que se refiere a la realización de los mapas temáticos se realizaron las siguientes tareas:

**1) Selección de las fracciones de la escena.-** Esta tarea selecciona la porción de la imagen que va a ser estudiada (para nuestro caso, el área de la cuenca del Río Querétaro)

**2) Integración de modelos.-** Para que una imagen digital pueda ser analizada, se deberán calcular las estadísticas básicas de cada archivo, los cuales reciben el nombre de *banda seguido por un número* (banda No. 1 hasta la banda No. 7), esto permite que los planos imaginarios que se sobreponean contengan la información de las distintas frecuencias referidas a una misma coordenada, otro de los factores importantes que se realizan aquí, es la calibración de la resolución del sensor a una escala métrica real, la cual se deriva del Sistema Raster, el que no es otra cosa que una cuadrícula cuyo elemento unitario corresponde a la resolución mínima del sensor y que recibe el nombre de *pixel* (el tamaño de *pixel* para las imágenes Landsat TM5 es de 30 x 30 metros).

**3) Supervisión visual.-** Este es el primer paso de clasificación, el cual consiste en la observación de la imagen, primeramente en forma independiente cada banda, con lo cual determinamos las características de textura, sombreado, distribución de elementos similares, este proceso se realiza para todas las bandas del modelo.

**4) Análisis de frecuencias.-** Una vez identificados los conjuntos de *pixeles* con una característica semejante, se realiza una selección de valores que se denominan como *firma espectral*, esta localización busca integrar los intervalos de valores para después relacionarlos con los valores en las otras bandas, para con estos conjuntos realizar la clasificación temática.

**5) Clasificación no supervisada.-** Después de identificar elementos parecidos, se diseñan *corridos de análisis*, en las que la computadora realiza un muestreo probabilístico, para la localización de las *firmas espectrales* dentro de las distintas bandas, las que se agruparán como una *clase*, ya que este trabajo exige la mayor parte de la memoria de la máquina, la elección de *intervalos* debe ser muy cuidadosa, por que el tiempo de proceso se incrementará conforme los *intervalos* sean más amplios o, en su defecto, si los *intervalos* son muy cortos, se puede perder definición al realizar la clasificación.

**6) Clasificación supervisada.-** Una vez que se seleccionaron las *clases* que son posibles dentro de las *bandas* y tomando en cuenta la *supervisión* del paso 3, se eligen los *campos* que corresponden a los *conjuntos de pixeles* que se identifican con cada una de las *clases*, los cuales llamamos *campos de entrenamiento* con los que nuestra clasificación queda completa para los *temas* elegidos, a cada una de las *variables*, se les asignan *colores* que sean fácilmente identificables y que, en conjunto, se les designa como algún *factor*, tipo de *suelo* o de *roca*, integrando así, los *mapas temáticos*.

**7) Edición de los mapas.-** Por último, los productos de los programas se deben de presentar de una forma clara, sin que se pierda información de cada una de las *clases*, además de ser una poderosa herramienta el utilizar los *mapas temáticos*, nos permiten la *cuantificación* de las *áreas* que ocupan cada una de nuestras *variables*.

La edición de los *mapas temáticos* requiere de los *medios* de impresión en *colores*, además de las *herramientas computacionales* que permitan editar los *archivos secuenciales*, aunque existen programas de trabajo con *imágenes* que ya tienen integradas *rutinas* de edición, los programas que están disponibles de momento, requieren del apoyo de *laboratorios fotográficos* muy especializados, o de la realización de *laboriosas ediciones* de *archivos* para la adición de los *colores*.

#### IV.A ) GEOMORFOLOGÍA.

(Parte de la geología que estudia las formas del relieve de la superficie terrestre, o descripción del relieve terrestre.)

Mediante la utilización de una imagen de satélite LANDSAT TM5, se pudo observar la presencia de elementos geomorfológicos que responden a la naturaleza de los eventos geológicos ocurridos en esta área.

La zona de estudio tiene rasgos característicos de dos Provincias Fisiográficas, puesto que ésta se encuentra en la frontera de ellas, la mayor parte de ella abarca los terrenos de la Provincia Eje neovolcánico transmexicano, en la zona conocida como subprovincia de las llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo, la subprovincia como tal abarca un total de 4,774 Km<sup>2</sup> dentro del estado, representa 42.37% del territorio de la entidad extendiéndose desde la ciudad de Querétaro hasta Pachuca Hidalgo, los elementos principales observados son los siguientes:

Gran llano, extendiéndose éste desde la población de San Juan del Río, afuera de la cuenca, hasta la Griega, lo cual da la longitud más larga de éste, aproximadamente de 49 Km, y su eje más corto da aproximadamente 20 Km, esta unidad se encuentra seccionada en forma rectangular en varios de sus puntos, esto debido a la respuesta a los fenómenos tectónicos que afectaron esta zona, en la porción de La Griega se le sobrepone a esta unidad la de sierra de laderas tendidas con lomeríos, la cual obedece a derrames de materiales volcánicos característicos de la Provincia Fisiográfica, más hacia el norte, encontramos la unidad denominada llanos aislados que, como su nombre lo indica, son cuencas de tipo endorreico rodeada de elementos elevados de naturaleza ígnea y es la frontera de la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico y la denominada Mesa del Centro, una pequeña porción de esta cuenca se encuentra comprendida dentro de la subprovincia Sierras y Llanuras del norte de Guanajuato, a la cual corresponden las siguientes unidades:

Meseta Lávica, la cual presenta como rasgo característico la formación de mesetas coronadas principalmente por rocas ígneas básicas y la otra porción corresponde a la unidad denominada Sierra Alta, la característica de ésta, es la presencia de altos cuerpos montañosos, los cuales denotan los estados finales del desarrollo del vulcanismo de la Sierra Madre Occidental, en la cuenca, esta unidad esta caracterizada principalmente por el aparato volcánico correspondiente al Cerro el Zamorano, con una elevación aproximada de 3,300 m, sobre el nivel del mar.

Las unidades antes mencionadas son claramente identificables en la imagen de satélite, primeramente se distingue la unidad de Gran Llano la cual es una unidad plana se aprecia casi sin expresión topográfica, sin embargo, por la fertilidad de los materiales depositados en estas llanuras, la luz reflejada maneja un mosaico en blanco de las porciones del terreno agrícolamente activas, limitada en forma de una especie de herradura por los derrames lávicos del Eje Neovolcánico.

La Sierra de Laderas Tendidas la compone una serie de colados lávicos que le dan un aspecto de elementos redondeados, fuertemente afectados por arroyos que los disectan, dan la apariencia de un contraste muy bajo en el relieve como una sobreposición de gotas que es una característica de los eventos magmáticos, al norte se tiene la unidad de pequeños lados aislados que no es otra cosa sino la captura o el confinamiento de la Llanura del Sur, la cual, por los derrames lávicos, cambió su régimen de drenaje normal, se distingue la imagen de satélite por la misma característica de relieve plano con la única diferencia de que se comporta como una cuenca cerrada.

Las Mesetas Lávicas que limitan en la porción norte de la unidad anteriormente descrita son cuerpos magmáticos de eventos antiguos los cuales han visto rejuvenecida su actividad en respuesta a algún levantamiento de índole tectónico, por último, la unidad de Sierras Altas se distingue al norte de la cuenca por la presencia de grandes aparatos volcánicos que alcanzan altitudes superiores de los 2,500 m.

### IMAGEN DE SATÉLITE No. 1

Imagen de satélite en 256 tonos de gris multiespectral integrada por las bandas 1,3,4

Los rasgos observados son los siguientes:

Cuenca del Río Querétaro, así como las subcuencas que la integran y marco de referencia geográfica.

Se observa en la parte superior de la imagen las formaciones volcánicas (cerro del Zamorano, con una altura de 3300 MSNM) así como las mesetas lávicas, sierras y lomeríos que constituyen la parte más alta de la cuenca, en la parte central se observan zonas con desniveles menores ya que son zonas de depósito de materiales erosionados, probables zonas lacustres antiguas, finalmente en la parte inferior de la imagen y de la cuenca, se encuentra la ciudad de Querétaro y zonas de cultivo, en lo que se refiere a la zona de menor altura se localiza en la ciudad de Querétaro que es el punto de salida de los escurrimientos, con una altitud aproximada de 1800 MSNM.

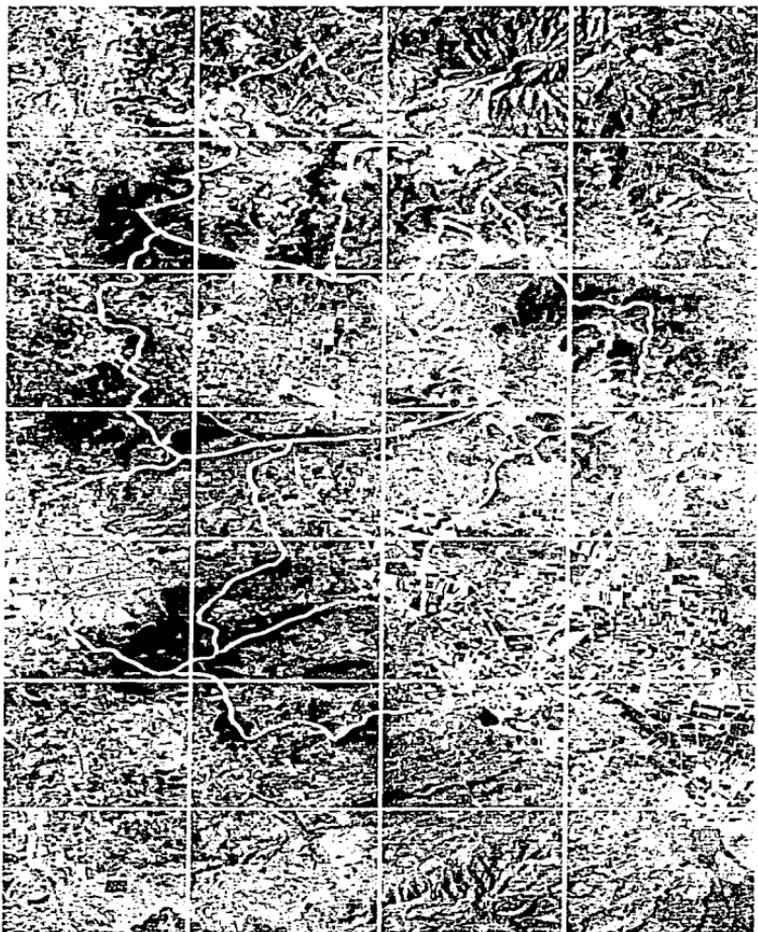
En lo que se refiere al área representada, en el sentido horizontal es de 40 Km, y en el sentido vertical 70 Km, dando con esto una superficie observada de 2.800 Km<sup>2</sup>.

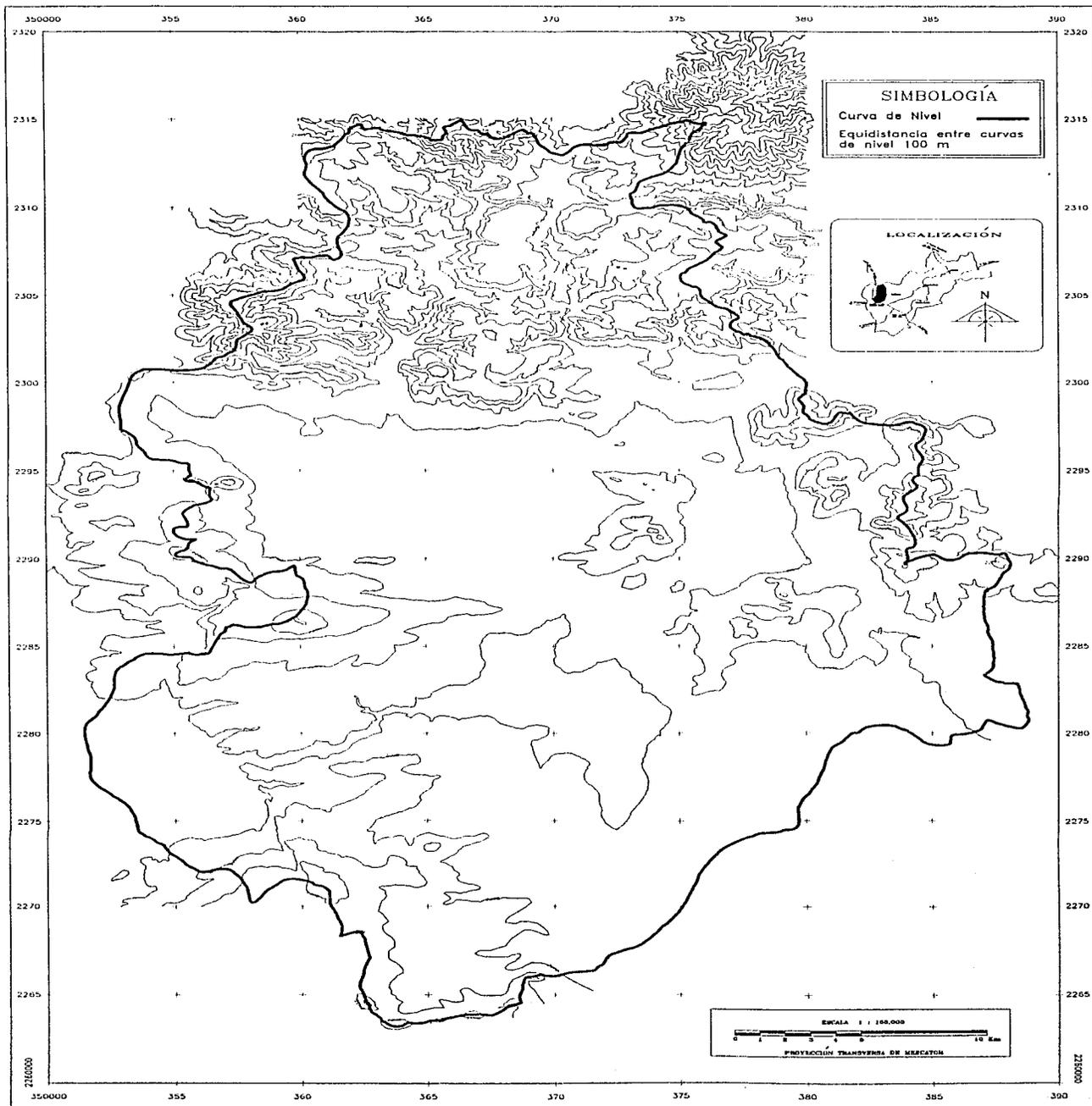
Esta imagen en tonos de gris útil para el trabajo de fotointerpretación.

36

37

38





## IV.B ) GEOLOGÍA.

La geología observada para esta zona, corresponde principalmente a rocas ígneas extrusivas ácidas, tobas, basaltos y rocas sedimentarias producto de la erosión de las rocas volcánicas depositadas en las grandes llanuras, de acuerdo con estudios geológicos realizados por distintos organismos mineros, en esta región afloran rocas principalmente de edad cenozoica de origen continental y rocas ígneas extrusivas, relacionándose todas estas con edades principalmente del terciario superior y el cuaternario.

Haciendo un recorrido seccionando la cuenca por su eje más largo en dirección sur - norte, las unidades que encontramos son:

En la porción más al sur, el punto más elevado de la cuenca (Cerro Cimataro con una elevación de 2,390 m sobre el nivel del mar corresponde a un derrame Basáltico Cuaternario caracterizado en la imagen por una parte en tonalidades oscuras que reflejan pobremente la luz que sobre de ellas incide, no se observa un intenso drenaje dada la juventud de dicha formación, la cual cubre en esa porción a las rocas del terciario superior continental (Formación Tarango) con la cual se interdigita, el espesor de esta unidad es muy variable y puede superar los mil metros, se le asigna una edad del Pleistoceno inferior, quizás estos eventos pudieran haber empezado en el Plioceno.

Siguiendo más al norte en la porción de La Cañada en la imagen de satélite se sigue reportando como superficial a los Basaltos del Cuaternario (Fotografía No. 1, vista de los bancos de materiales en La Cañada que explotan basalto - andesitas del Plio - Cuaternario, para la obtención de grava para construcción), los cuales dominan el gran lomerío de pendiente alargada, pero el espesor de estos, en esta parte, es delgado y los trabajos de campo mostraron que el cañón trazado por el Río Querretaro, corta lomeríos de rocas de origen ignimbítico señalado por el INEGI como unidades ígneas extrusivas ácidas, correlacionadas con el terciario volcánico, el cual es un paquete de rocas ígneas que comprenden tobas, nolitás, traquitas, esporádicas andesitas basálticas, a esta unidad se le asigna una edad probable Mioceno - Plioceno, en algunos puntos, esta unidad es cubierta por el Terciario Continental del cual encontraríamos algunos lentes, principalmente a forma de piramontes pero que para la imagen de satélite representarían una escala difícilmente cartografiables.

Más al norte, nos topamos con los depósitos aluviales del Cuaternario, los cuales están compuestos principalmente por depósitos de materiales finos: limos, arcillas, arenas, gravas en los cortes de los ríos y materiales redondeados, de posible origen lacustre, sus espesores son potentes y son de primordial interés por ser terrenos muy fértiles. En la imagen de satélite la expresión que estos dan es generalmente confundida con la textura de los suelos.

Siguiendo hacia el norte, cruzando esta llanura, encontramos nuevamente las rocas del Terciario Volcánico compuesto principalmente por nolitás.

Por último, en el límite norte de la cuenca, encontramos una serie de mesetas coronando al Terciario Volcánico de origen basáltico como relictos de eventos volcánicos, los cuales son aislados por una modificación en el régimen erosivo (rejuvenecimiento del área) para terminar en una gran montaña de origen básico, la cual es la máxima elevación y en cuyas laderas se observa la presencia de estructuras columnares características de dicho grupo de rocas. La edad de este tipo de rocas se asigna al Cuaternario.

Estructuralmente, la cuenca responde al modelo de tectónica del Eje Neovolcánico, el cual consiste en estructuras de tipo Horst y Graben integrado específicamente por fallas normales alineadas, formando sistemas donde el que mejor representado está, es un sistema coordinado de dirección noroeste - Suroeste y noreste - Suroeste, las fallas normales generalmente se encuentran dispuestas siguiendo un tren con una dirección noroeste - Suroeste. La otra componente del sistema, se encuentra alineada principalmente a derrames de tipo ígneo conocidos como de fisura, estas estructuras dominan y regulan el comportamiento del drenaje, principalmente en las llanuras en donde es casi inapreciable el cambio entre un partaguas y otro, el emplazamiento de estos partaguas en la llanura, puede corresponder a la representación de sistemas estructurales antiguos cubiertos por sedimentos, los cuales exclusivamente reflejan ligeros cambios en la pendiente derivado de la inclinación de la roca base sobre donde se

deposito dicho material. El ejemplo más claro de una falla normal lo tenemos visible en las faldas del Cerro Cimatario, la que refleja un salto de unos 250 metros a 300, y, el ejemplo claro de derrames de fisura, los tenemos en la porción que comprende La Griega y El Lobo, donde se ve claramente la separación de lo que en el pasado pudiera haber sido un solo valle, dando paso en la parte del Lobo a la cuenca endorreica marcada como pequeños llanos por la regionalización fisiográfica y, en la parte de La Griega, la porción de la extensa llanura marcada por la regionalización fisiográfica como Grandes Llanos.

#### IMAGEN DE SATÉLITE No. 2

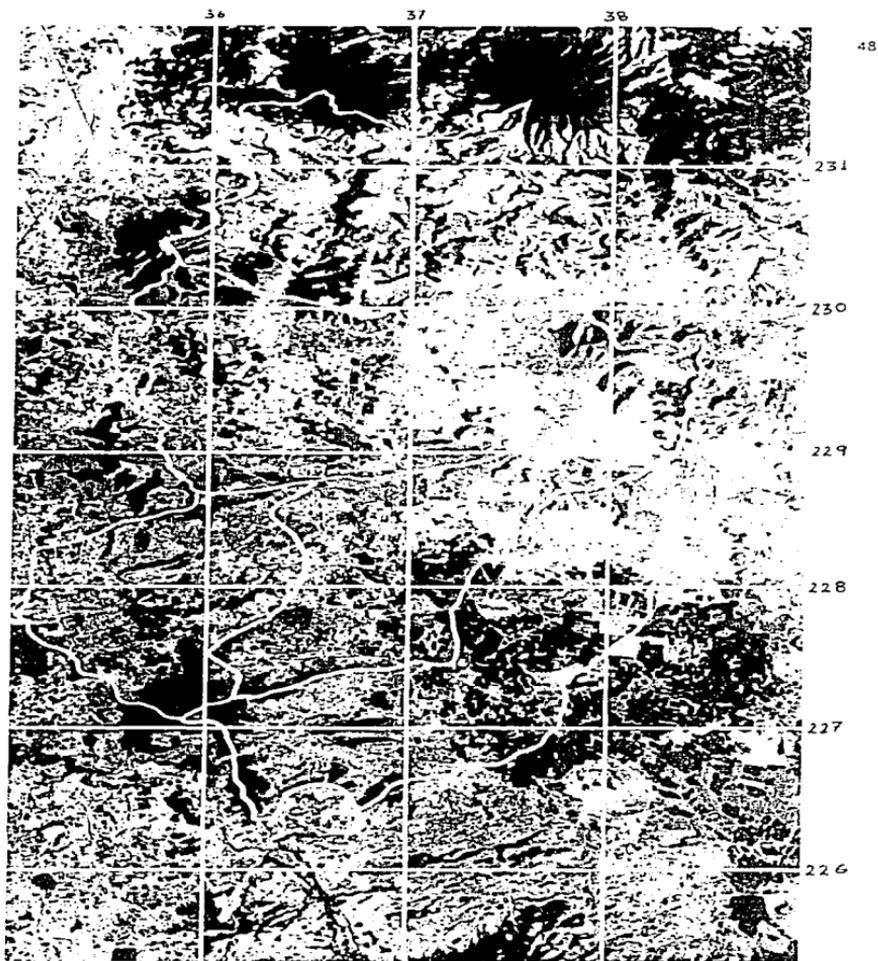
Imagen de satélite en falso color multispectral integrada por las bandas 7 (azul), 6 (verde) y 4 (rojo).

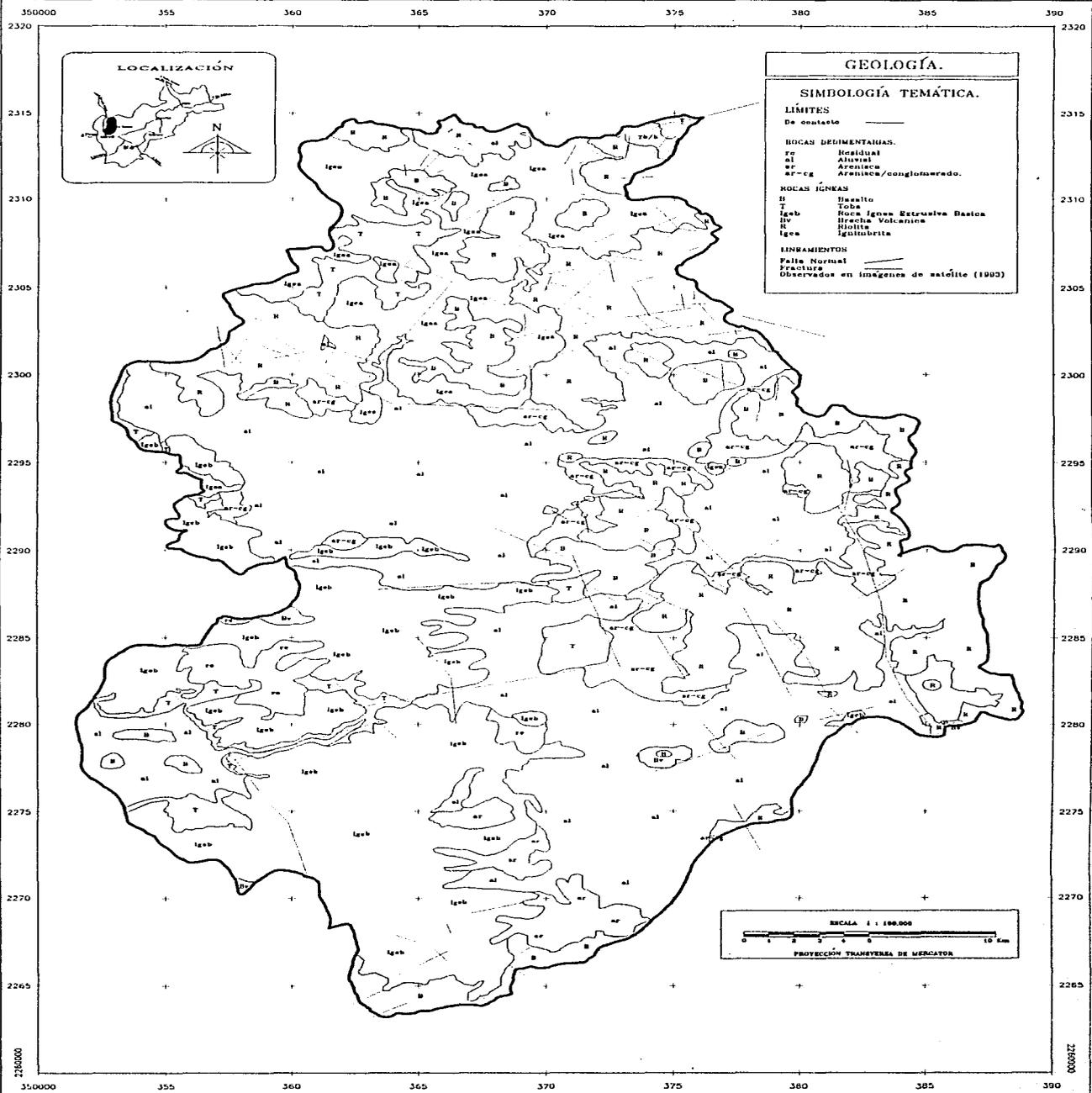
Los rasgos observados son los siguientes:

Cuenca del Rio Querétaro, así como las subcuencas que la integran y marco de referencia geográfica.

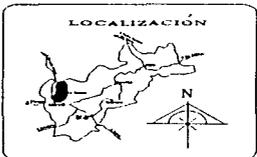
Sobre la imagen se muestran las líneas de fallas geológicas representadas por líneas rectas, en tonos de azul claro y blanco se observan zonas de rocas sedimentarias aluviales, en tonos de verde se observan rocas ígneas extrusivas básicas, en tonos oscuros o negros rocas ígneas basálticas.

En lo que se refiere al área representada, en el sentido horizontal es de 40 Km, y en el sentido vertical 70 Km, dando con esto una superficie observada de 2.800 Km<sup>2</sup>.





LOCALIZACIÓN

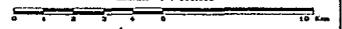


GEOLOGÍA.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA.

- LÍMITES**  
 De contacto ————
- ROCAS SEDIMENTARIAS.**  
 rr Residual  
 al Aluvial  
 ar Arenisca  
 ar-cg Arenisca/conglomerado.
- ROCAS ÍGNEAS**  
 H Basalto  
 T Toba  
 Igab Rocas Ígneas Extrusivas Básicas  
 IIV Brecha Volcánica  
 R Riolita  
 Igea Iguitubrita
- LINEAMIENTOS**  
 Falsa Normal ————  
 Fractura ————  
 Discuadas en imágenes de satélite (1993) ————

ESCALA 1 : 100.000



PROYECCIÓN TRANSVERSA DE MERCATOR

2260000

2300000

## IV.C ) ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y CLIMA.

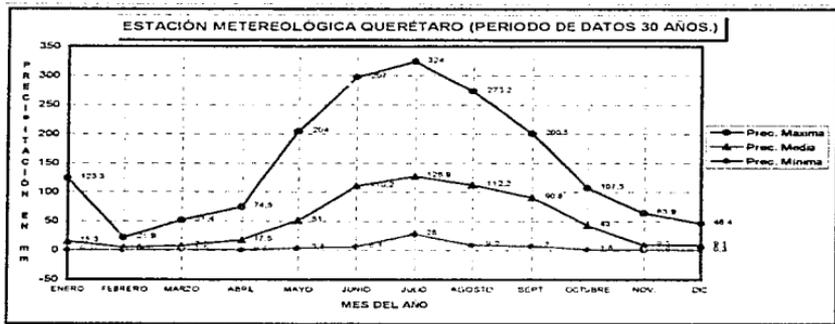
Dentro del área perteneciente a la cuenca en estudio, se logro obtener información únicamente de la estación meteorológica que recibe el nombre de Querétaro, por tal motivo es la única estación analizada. (otras estaciones que se encuentran cercanas a la cuenca, de las cuales se obtuvo información sin estar dentro de la misma como se observa en la figura No. 6. Son Villa Corregidora y Pedro Escobedo.)

A continuación se presenta el análisis gráfico de los datos de normales climatológicas de la estación Querétaro con datos obtenidos directamente de Sistema Meteorológico Nacional, (tabla No. 3).

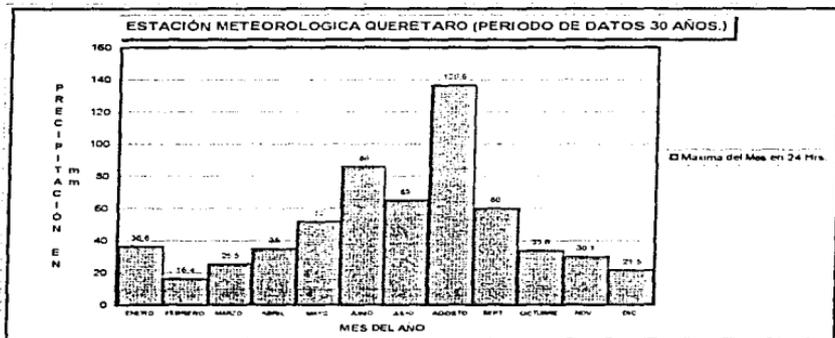
Se anexan los datos de normales climatológicas de Villa corregidora y Pedro Escobedo tabla No. 4 y tabla No. 5 por la probable influencia que estas puedan tener en caso de requerir un análisis mas detallado de alguna zona en especial.

## PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA, EVAPORACIÓN Y SU RELACIÓN.

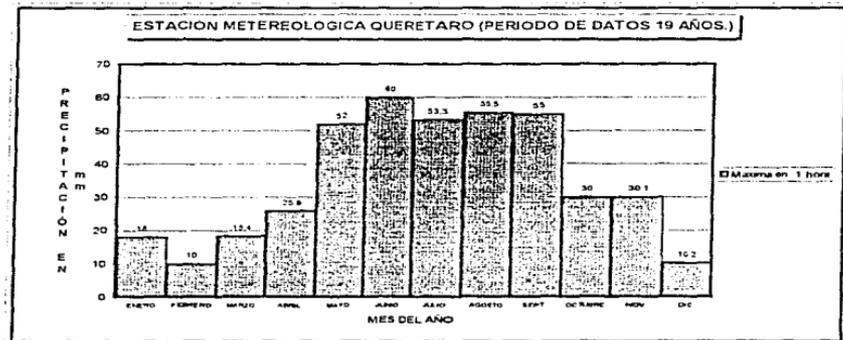
Por ser la estación Querétaro la de mayor cantidad de datos y por su ubicación dentro de la cuenca los datos obtenidos se presenta en forma gráfica.



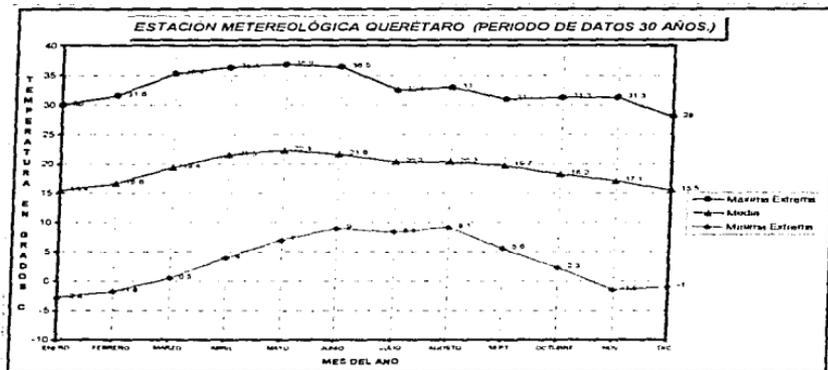
GRÁFICA No. 1



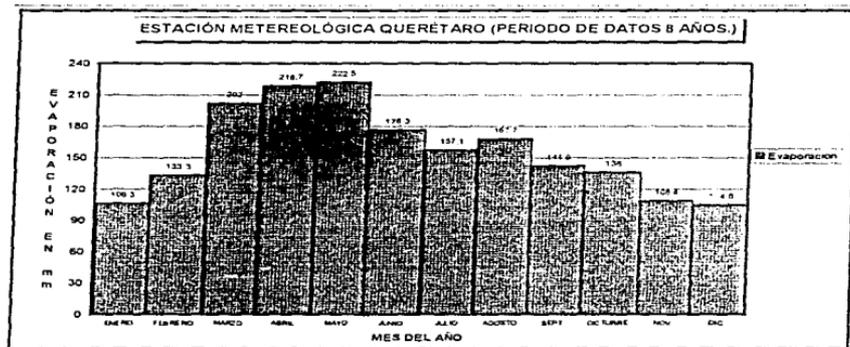
GRAFICA No. 2



GRAFICA No. 3



GRÁFICA No. 4



GRÁFICA No. 5

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

LATITUD 20°-26  
LONGITUD 100°-22

QUERÉTARO, QUERÉTARO

1871-1970

ONS 5944-1000  
DFO 049115-5101

ALTIMETROS (Metros)

PARÁMETRO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCTUBRE	NOV	DIC	ANUAL
Máxima Elevada	21	20	20	33.4	33.4	33.9	33.7	33.7	31	31	31.3	31.3	33.9
Temperatura	19.2	19.2	20.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	25.5	25.5	26.6	26.6	29.3
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21
Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21
Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21
Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21

HUMEDAD

Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21
Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21

PRECIPITACION

Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21
Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21

PRESENCIA

Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
--------------------	----	----	----	------	------	------	------	------	----	----	----	----	------

VELOCIDAD

Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
--------------------	----	----	----	------	------	------	------	------	----	----	----	----	------

REGISTROS ESPECIALES

ESPECIALES

Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21
Temperatura máxima	21	21	21	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	31	31	31	31	33.4
Temperatura mínima	7	7	7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Temperatura media	13	13	13.4	21	21	21	21	21	17.1	17.1	17.1	17.1	21

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

LATITUD 06° 29' - 32'  
LONGITUD 069° 00' - 26'

VILLA CORREGIDOPA, CORREGIDOPA, DPO.

EST. CLIMATOLÓGICA  
ORIGEN: 1947

ALTITUD (M.S.N.M.):

TEMPERATURA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	ENE.	ANUAL
Máxima (Celsius)	33	32	31.5	33.5	35.5	35.0	34.0	33.5	32.5	32.5	32.5	33.0
Mínima (Celsius)	14.50	15.25	14.50-15	15.00	15.00	15.00	15.00	14.50	14.50	14.50	14.50	15.00
Promedio (Celsius)	23.1	22.9	23.0	24.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
Rel. Húmed.	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Temperatura (Celsius)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Temperatura (Celsius)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Temperatura (Celsius)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

PRECIPITACION

PRECIPITACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	ANUAL
Máxima (mm)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

TEMPERATURA

TEMPERATURA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	ANUAL
Máxima (Celsius)	33	32	31.5	33.5	35.5	35.0	34.0	33.5	32.5	32.5	33.0
Mínima (Celsius)	14.50	15.25	14.50-15	15.00	15.00	15.00	15.00	14.50	14.50	14.50	15.00
Promedio (Celsius)	23.1	22.9	23.0	24.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
Rel. Húmed.	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Temperatura (Celsius)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Temperatura (Celsius)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Temperatura (Celsius)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

PRECIPITACION

CONGELACION

PRECIPITACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	ANUAL
Máxima (mm)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mínima (mm)	14.50	15.25	14.50-15	15.00	15.00	15.00	15.00	14.50	14.50	14.50	15.00
Promedio (mm)	23.1	22.9	23.0	24.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
Rel. Húmed.	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Temperatura (Celsius)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Temperatura (Celsius)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Temperatura (Celsius)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17





Las modificaciones y adaptaciones al sistema de Köppen realizadas por Enriqueta García, se hicieron necesarias porque este sistema climático fue concebido fundamentalmente para definir las zonas climáticas del mundo que se extienden en la latitud, por consiguiente, los valores y cálculos en que se funda pueden no corresponder exactamente a las condiciones de un país como México, en que los cambios esenciales de clima no son debidos solamente a la latitud, sino también a las grandes variaciones de la altitud que crean condiciones muy especiales en los cambios y distribución de los elementos climáticos.

Existen en la República Mexicana una gran diversidad de climas, a pesar de que gran parte del país está situada dentro de la zona tropical, por tal razón, fue necesario añadir a las divisiones del sistema de Köppen nuevas descripciones climáticas, calcular sus límites o introducir símbolos adecuados para representarlas. (Cuadros No. 1, Cuadro No. 2, Cuadro No. 3, Cuadro No. 4 y Cuadro No. 5)

A continuación en base a los cuadros presentados se procede a determinar el clima en la estación Querétaro paso por paso.

Nombre de la estación : Querétaro.

Latitud : 20° 36'

Longitud : 100° 23'

Altitud : 1813 msnm.

Periodo de observación : 30 años.

Temperatura media anual en ° C : 19

Temperatura del mes más frío y mes en que se presenta : 15.4 °C en el mes de enero.

Temperatura del mes más caliente y mes en que se presenta : 22.3 °C en el mes de mayo.

Precipitación media total anual en mm. : 597.4

Precipitación del mes más seco y mes en que se presenta : 4.7 mm en el mes de febrero.

Precipitación del mes más lluvioso y mes en que se presenta : 126.9 mm en el mes de julio.

Porcentaje de lluvia invernal =  $(E+F+M)/\text{anual} \times 100 = (15.3+4.7+7.5)/597.4 \times 100 = 4.6\%$

Determinar el régimen de lluvias (ver encabezados cuadro 2) : régimen de lluvias en verano.

Anotar las fórmulas del cuadro 2  $r_1$  y  $r_2$  que corresponden al % de lluvia invernal calculado.

$$r_1 = (2t + 28)$$

$$r_2 = (2t + 21)$$

$$r_1 = (2t + 28) / 2$$

$$r_2 = (2t + 21) / 2$$

Aplicar las fórmulas adecuadas del cuadro 2 para separar el régimen calculado.

a) húmedos y subhúmedos de solos.....  $r_1 = 66$   $r_2 = 59$

b) secos BS de muy secos BW (ver cuadro 2 y nota \*\*)  $r_1 = 33$   $r_2 = 29.5$

c) decidir si el clima es seco o no lo es : si es clima seco.

Anotar el grupo y subgrupo de climas : clima seco con régimen de lluvias en verano (BS)

Determinar el tipo de clima si no es clima seco (A o C) con el cuadro 3. (húmedo o subhúmedo)

Para determinar el subtipo climático según el grado de humedad:

a) calcular el cociente de la precipitación anual expresada en mm entre la temperatura media anual en °C

$$P/T = 597.4 / 19 = 31.44$$

b) determinar los símbolos adecuados según el cociente P/T y el % de lluvia invernal (consultar cuadro 2)

como  $P/T > 22.9$  queda BS<sub>1</sub> wfw

c) anotar la presencia de canícula (ver nota 1, cuadro 5) :

Anotar el símbolo que se usa para describir las condiciones de temperatura tomando en cuenta la

temperatura media anual y la de los meses más frío y más caliente (ver cuadro 4): el símbolo es h

Calcular la oscilación térmica anual (diferencia de temperatura entre el mes más frío y el más caliente

$$: 22.3 (\text{mayo}) - 15.4 (\text{enero}) = 6.9$$

Anotar la letra que se emplea para la oscilación (ver cuadro 5): entre 5° y 7° C (con poca oscilación (l'))

Determinar si el mes más caliente se ubica antes del solsticio de verano : Ganges (g)

Apuntar el tipo de clima con todas las letras anotadas (ver ordenamiento según el cuadro 1)

Querétaro : BS<sub>1</sub>hw(w)(l')g

Tipo de clima con palabras: clima semicálido, con régimen de lluvias en verano que tiene un % de lluvia invernal menor del 5% de la anual, con una oscilación anual de las temperaturas medias mensuales con poca oscilación, con marcha anual de temperatura tipo ganges.



GRADOS DE HUMANIDAD Y HUMEDAD DE LLUVIAS.

GRADOS	CONDICIONES	PERCENTAJES DE LLUVIA						
		menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20		
CE	P = precipitación anual en mm	Cualquiera por lo menos 3 veces mayor cambio de precipitación en el mes más húmedo de la más caliente del año que en el mes más seco. Esto no necesariamente se cumple con los climas Am		Cualquiera por lo menos 2 veces mayor cambio de precipitación en el mes más caliente del año que en el mes más seco. Esto se cumple en el mes más seco. Basta en el mes no llega a tres veces		Cualquiera por lo menos tres veces mayor cambio de lluvia en el mes más húmedo de la más fría del año que en el mes más seco		
	T = temperatura media anual en °C	$T_h = 21 + 28$ $T_c = 21 + 29$ 2	$T_h = 21 + 21$ $T_c = 21 + 21$ 2	$T_h = 21 + 14$ $T_c = 21 + 14$ 2	$T_h = 21$ $T_c = 21$ 2	$T_h = 21$ $T_c = 21$ 2		
HUMEDAD		PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN MENSUAL RESPECTO A LA TOTAL ANUAL						
HUMEDOS de los grupos A o C		menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20	menor de 25	mayor de 25
SUJEROS		menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20	No se presentan en México	
seco	P.T > 500 en los climas C, A, C, E	menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20		
	P.T > 550 en los climas A y A, C, E	menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20		
grupos	43.2 < P.T < 550 en los climas C, A, C, E	menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20		
	41.2 < P.T < 53.2 en los climas A y A, C, E	menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20		
A, C o E	P.T < 43.2 A y A, C, E	menor de 5	entre 5 y 10	entre 10 y 15	entre 15 y 20	mayor de 20	5 (C)	5
SEMI-SECOS	BS	P.T < 200						
ARIDOS	BS	P.T < 200						
W - ARIOS	EW	Cualquiera no se establece por P.T. sino por la humedad de la atmósfera						

1. Se considera que una estación es de tipo "seco" cuando la precipitación anual sea menor de 250 mm. Si la precipitación anual es mayor de 250 mm, se considera que la estación es de tipo "húmedo".

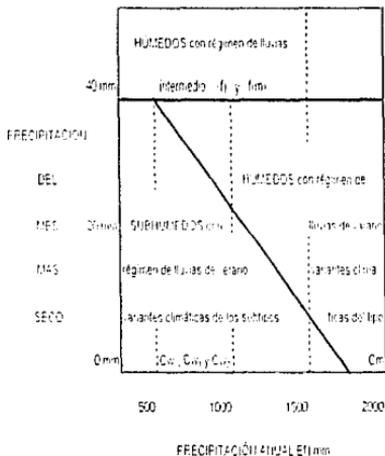
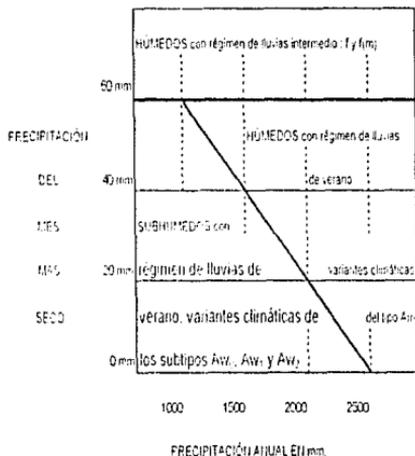
2. Se considera que una estación es de tipo "seco" cuando la precipitación anual sea menor de 250 mm. Si la precipitación anual es mayor de 250 mm, se considera que la estación es de tipo "húmedo".

3. Se considera que una estación es de tipo "seco" cuando la precipitación anual sea menor de 250 mm. Si la precipitación anual es mayor de 250 mm, se considera que la estación es de tipo "húmedo".

**GRÁFICAS PARA SEPARAR LOS CLIMAS HÚMEDOS DE LOS CLIMAS SEMIHÚMEDOS.**

GRUPO DE CLIMAS CÁLIDOS A / Y SUBGRUPO DE LOS SEMICÁLIDOS A (C)

GRUPO DE CLIMAS TEMPLADOS C / SUBGRUPO DE LOS SEMICÁLIDOS (A-C)



CONDICIONES DE TEMPERATURA.

DESIGNACIONES PARA DESCRIBIR LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA		TEMPERATURA MEDIA			SIMBOLOS PARA LOS GRUPOS DE CLIMAS HÚMEDOS Y SUBHÚMEDOS A C i E		SIMBOLOS PARA EL GRUPO DE CLIMAS SECOS B ES, BS, Y BW	
		ANUAL	DEL MES MÁS FRÍO	DEL MES MÁS CALIENTE				
(CÁLIDO)		(Sobre 22°)	Sobre 13° Bajo 18°	no se da límite	A		(M)	(M'h)
(SEMICALIDO DEL GRUPO A)		(entre 18° y 22°)	Sobre 18°	no se da límite	A i C i			M' h i
(SEMICALIDO DEL GRUPO C)		(Sobre 18°)	Bajo 18°	Sobre 22°	A (C)	a		n
SEMICALIDO	con verano cálido	(entre 12° y 18°)	entre -3° y 18°	Sobre 22°	C	a	k	j
	con verano fresco/largo			Bajo 22°		b		
	con verano fresco/largo			Bajo 18°				
	con verano fresco/corto			Bajo 22°				
(FRÍO)	(entre 6° y 12°)	entre -1° y 18°	menos de cuatro meses con temperatura mayor a 19°	Cb			k'	
(FRÍO)	(entre -2° y 5°)	bajo 0°	(entre 0° y 6.5°)	Cc		E(i)C		
				E(i)C				
(MUJ FRÍO)	(bajo -2°)	bajo 0°	bajo 0°	EF				

## OTROS SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LA CLASIFICACIÓN

### SÍMBOLO

### DESCRIPCIONES

- w<sup>+</sup> Indica la presencia de canicula en los climas con régimen de lluvias de verano. Se llama canícula, sequía de medio verano o sequía intraestival a una pequeña temporada menos húmeda que se presenta en la mitad caliente y lluviosa del año. Se manifiesta como una inermia en las cantidades de lluvia de los meses veraniegos.  
Se presenta con el símbolo w<sup>+</sup> puesto al final de las letras de la clasificación.

Los símbolos siguientes se emplean para describir la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, o sea, la diferencia en temperatura entre el mes más frío y el más caliente del año, y corresponden a las siguientes condiciones:

DESCRIPCIÓN	VALORES DE OSCILACIÓN	
i (isotermal)	menor de 5 °C	
(i <sup>+</sup> ) (con poca oscilación)	(entre 5° y 7 °C)	Estos símbolos se añaden en la fórmula climática después del que indica canícula o en su defecto, después de los que describen el régimen de lluvias.
(e) (extremoso)	(entre 7° y 14 °C)	
(e <sup>+</sup> ) (muy extremoso)	(mayor de 14 °C)	

Este símbolo se refiere a la marcha anual de la temperatura, señala a los lugares que presentan el mes más caliente antes del solsticio de verano, o sea, antes de julio en el hemisferio norte o de diciembre en el sur. Significa una marcha de la temperatura tipo Ganges. Se emplea únicamente en los climas fríos E para indicar que en México solo se localizan a gran altitud.

NOTA: En el sistema modificado, todo lo que aparece entre paréntesis indica condiciones nuevas, ya sea en letras o descripciones. Los subíndices también indican innovaciones. Los símbolos y descripciones sin paréntesis se emplean como en el sistema original de Köppen.

#### IV.D ) HIDROLOGÍA E HIDROMETRÍA.

Los trabajos comprendidos para esta etapa, se ven restringidos por la disposición de información, ya que al carecer de instrumentos de medición ubicados dentro de la cuenca y con periodos de datos que confirmen estadísticamente los fenómenos ocurridos dentro de la misma, todo trabajo hidrológico será exclusivamente cualitativo sin poder hacer trabajos de balance adecuados, con los que las políticas de operación de la cuenca tendrían un sustento lo suficientemente firme para conocer con el tiempo si una u otra acción tuvieron impacto en la mejoría de las condiciones de operación de la cuenca, por este motivo y al revisarse la imagen de satélite, así como por los recorridos realizados a lo largo de toda la cuenca, permiten hacer las siguientes descripciones cualitativas:

Se analizó una imagen de satélite LANDSAT sobre la cual se siguieron las definiciones de arroyos y demás elementos del drenaje, dando como resultado la integración de una red de drenaje que indica la dirección y el flujo destino del agua que se precipita en toda el área de la cuenca, por el tamaño de la cuenca y por las condiciones morfológicas que ésta presenta cualquier aproximación estadística sobre los volúmenes precipitados en los alrededores de la cuenca carece de una validez práctica, haciendo imperiosa la necesidad de establecer estaciones meteorológicas completas para la realización del registro pluviométrico que nos dé a conocer la cantidad inicial del balance que es el volumen precipitado.

De acuerdo al desarrollo de la red de drenaje que se observó, se hace la descripción a partir de la unidad a la cual pertenece, primeramente mencionamos que la cuenca es una tributaria que aporta los volúmenes escurridos dentro de la Región Hidrológica No RH12 correspondiente al sistema LERMA-SANTIAGO, región hidrológica que ocupa uno de los primeros lugares en importancia dentro del país ya que aproximadamente el 50% de la población que habita el centro de México depende de la conservación de esta región.

Dentro de la región hidrológica, la cuenca del Río Querétaro esta dentro de la subcuenca del Río la Laja, corriente que drena el bajío del país y se une al Río Lerma, por tanto, nuestra área de estudio reviste gran importancia al ser uno de los extremos libres de la región hidrológica 12 ya que la línea divisora de partaguas continental coincide con el límite oriental de esta cuenca, por lo que las labores de saneamiento de buena parte de la región hidrológica se ven afectadas por el uso y conservación de la cuenca, motivo también por el cual el Río Querétaro puede llegar a ser suministro de agua limpia si se aplican las medidas de control necesarias y se suprimen de la zona ribereña los focos de contaminación que hacia esta fluyen, observándose en la población de Chichimequillas la ubicación de un basurero exactamente sobre la margen derecha del río, en la cual constantemente se está tirando basura de tipo orgánico e inorgánico sobre una fosa que pretende ser un relleno sanitario sobre materiales granulares que permiten el contacto de líquidos lixiviados hacia el cauce del río. (Fotografías No. 6 y No.7)

Por lo tanto, al realizar los recorridos de campo y observar los rellenos sanitarios a un lado de éste, se podría decir que la utilización del agua que pudiera llegar a almacenarse en la zona de recarga de la Cañada llegará contaminada y deberá ser tratada antes de permitir que se infiltre al acuífero, por otro lado, la utilización de cuencas naturales, como es el Río Querétaro, para transportar aguas residuales, es práctica común en varias poblaciones,

Estos fenómenos, hacen que la evaluación de los volúmenes que se manejan en toda el área de esta cuenca deban ser conocidos para así poder estimar cual es la cantidad de agua que se esta contaminando a través de estas prácticas y poder aplicar las medidas correctivas con forme a lo estipulado en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente.

a).-Subcuencas que integran el sistema del Río Querétaro: estas subcuencas fueron definidas mediante cartas topográficas del I.N.E.G.I. escalas 1:250,000 (F14-10) y en escala 1:50,000 (F14-C56, F14-C55, F14-C65,y F14-C66).las cuales son:

1.- Ciudad Querétaro con área de 170.80 Km<sup>2</sup> y un factor de drenaje de 1.97

2.- Chichimequillas con un área de 222.99 Km<sup>2</sup> y un factor de drenaje de 2.96.

- 3.- La Griega con un área de 159.14 Km<sup>2</sup> y un factor de drenaje de 2.53.
- 4.- La Trinidad con un área de 71.39 Km<sup>2</sup> y un factor de drenaje de 4.88.
- 5.- El Carmen con un área de 125 Km<sup>2</sup> y un factor de drenaje de 6.93.
- 6.- Rayas con un área de 72.80 Km<sup>2</sup> y un factor de drenaje de 4.67.
- 7.- La Galera con un área de 320.4 Km<sup>2</sup> y un factor de drenaje de 0.52.

Esto implica, de acuerdo con lo observado en el plano de Escurrimientos Superficiales, que la subcuenca 7 es una subcuenca que, a pesar de su área, aporta muy poco del gasto recibido al sistema hidrológico superficial, esto se explica al observar la imagen de satélite, dicha subcuenca se encuentra en la parte más plana donde la actividad dominante es agricultura de riego, la cual, en gran medida, depende de explotación de agua subterránea para complementar su requerimiento hidráulico, en la imagen, se puede observar dicho aspecto dada la coloración roja de las parcelas que en estas se operan, indicativo de una superficie con un factor de humedad bastante alto, solamente explicable bajo condiciones de riego,

La subcuenca 6, por el contrario, implica la situación inversa, donde la mayor parte del agua precipitada escurre, dadas las condiciones de pendientes altas y de densidad de drenaje muy grande con respecto al área que ocupa, las tonalidades que toma esta cuenca son principalmente oscuras al ser vistas en falso color por la cantidad de sombras generadas en los cortes de los arroyos. El tipo de drenaje en forma dendrítica implica la presencia de rocas impermeables por lo que es de explicarse la característica erosiva del sistema de drenaje y hace necesaria la realización de obras de retención de sedimentos aguas arriba del embalse antiguo de una presa que se llamó Presa Nueva, que es el límite actual del embalse de la Presa Pirules, de la que ya hubo la necesidad de aumentar la altura de la cortina por medio de gaviones para retener el azolve que baja de las partes altas. La condición de azolve dentro de la Presa Pirules es fuerte, ya que el reflejo que ésta tiene en la imagen de satélite, muestra una señal de sombra en la parte de la margen izquierda.

La otra cuenca en importancia es El Carmen (cuenca No 5), donde su factor de drenaje también es alto y la relación de pendientes va de fuerte a moderada, esta cuenca recolecta agua de la parte más alta de la zona de estudio y ha presentado a través del tiempo, problemas de avenidas torrenciales que incluso han obligado a la reparación estructural de la cortina de la presa del mismo nombre, a la que le fue aumentada la altura de la cortina, contando actualmente con una capacidad de 4'000,000 m<sup>3</sup>.

De acuerdo con el patrón que define la geología estructural, la cuenca se desarrolla en forma escalonada, partiendo de la zona alta con pendiente fuerte en el área comprendida por el Cerro El Zamorano con una elevación de 3,300 m.s.n.m., descendiendo hacia una primera terraza formada por la zona denominada Mesetas Volcánicas, hacia la zona de La Laborcilla se vuelve a presentar otro cambio de pendiente, como se representaría la bajada hacia un escalón inferior en donde se interna en la Provincia del Eje Nevolánico, donde las pendientes se vuelven de moderadas a muy ligeras, tomando el cauce bajas velocidades, permitiendo la formación de depósitos aluviales formando una corriente muy curvada característica de una zona de llanura, en esta parte se define la corriente del Río Chichimequillas, esta se desplaza a todo lo largo de este llano en donde se une con otra corriente, proveniente de la Presa Pirules y de las captaciones de la zona de La Trinidad, para formar una sola corriente que se denominará Río Chichimequillas, misma que continúa con un desplazamiento hacia el sur a través de un pequeño cañón, vía por la cual es atrapado el cauce hacia la zona de La Griega, en donde baja otro escalón llegando al punto denominado Grandes Llanos, donde la pendiente vuelve a ser baja y permite nuevamente el depósito de materiales aluviales. En este punto, se encuentra la obra denominada Bordo San Felipe con una capacidad aproximada de 1'000,000 m<sup>3</sup> el cual recibe una cantidad muy fuerte de sedimentos ya que se encuentra en el cambio de pendiente por donde baja el agua de la llanura de La Cuenca Chichimequillas hacia la Cuenca La Griega, en la imagen de satélite, esta obra aparece reflejando en color azul oscuro, por la cantidad de azolve que tiene, no refleja el comportamiento natural de un cuerpo de agua de tamaño regular como el que se proyectó tener en este bordo, de aquí se considera prácticamente el inicio del Río Querétaro, que viaja por la llanura aparentemente siguiendo zonas de debilidad marcadas por lineamientos estructurales claramente

visibles en la imagen de satélite que hacen que la corriente cambie de rumbo de una dirección norte a sur a una dirección noreste Suroeste, en el que nuevamente se presenta un escalonamiento que se refleja en el desarrollo de la zona de La Cañada, punto de interés para la obra de infiltración, este escalonamiento permite que la corriente sea atrapada para llegar al Valle de Querétaro donde éste termina su recorrido, uniéndose con otras corrientes que drenan dicho Valle y seguir su viaje hacia el Río La Laja.

### IMAGEN DE SATÉLITE No. 3

Imagen de satélite en falso color multispectral integrada por las bandas 2 (azul), 4 (verde) y 5 (rojo).

Los rasgos observados son los siguientes:

Cuenca del Río Querétaro, así como las subcuencas que la integran y marco de referencia geográfica.

Esta imagen sirvió para el trazado la red de drenaje de escurrimientos superficiales más importantes dentro de la cuenca, en algunos de los casos la trayectoria de los ríos se pierde debido a que se encuentran zonas de cultivos, los cuales indican un cambio en la dirección original de los mismos, en la imagen se pueden apreciar en tonalidades azules los lugares de almacenamiento de agua como lo son las presas Pirules y del Carmen, al igual que algunos bordos, también se puede ver que la cuenca denominada del Carmen es la que describe en mejor forma las zonas de escurrimientos.

Por otro lado en esta imagen se observan almacenamientos de agua con problemas de azolve como son Soledad y Colon.

Esta imagen fue utilizada para la actualización de la red de drenaje cuyos resultados se integraron en el plano de escurrimientos.

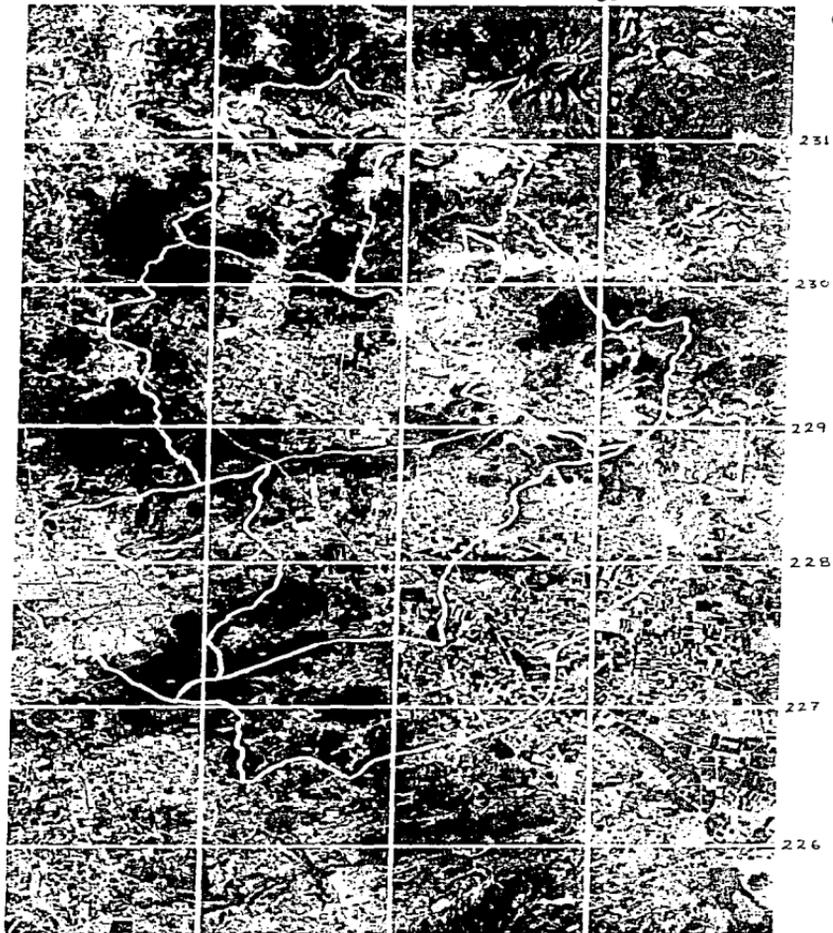
El área representada en la imagen en el sentido horizontal es de 40 Km. y en el sentido vertical 70 Km, dando con esto una superficie observada de 2,800 Km<sup>2</sup>.

36

37

38

66





ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

SIMBOLOGÍA GENERAL.

Cuerpos de Agua

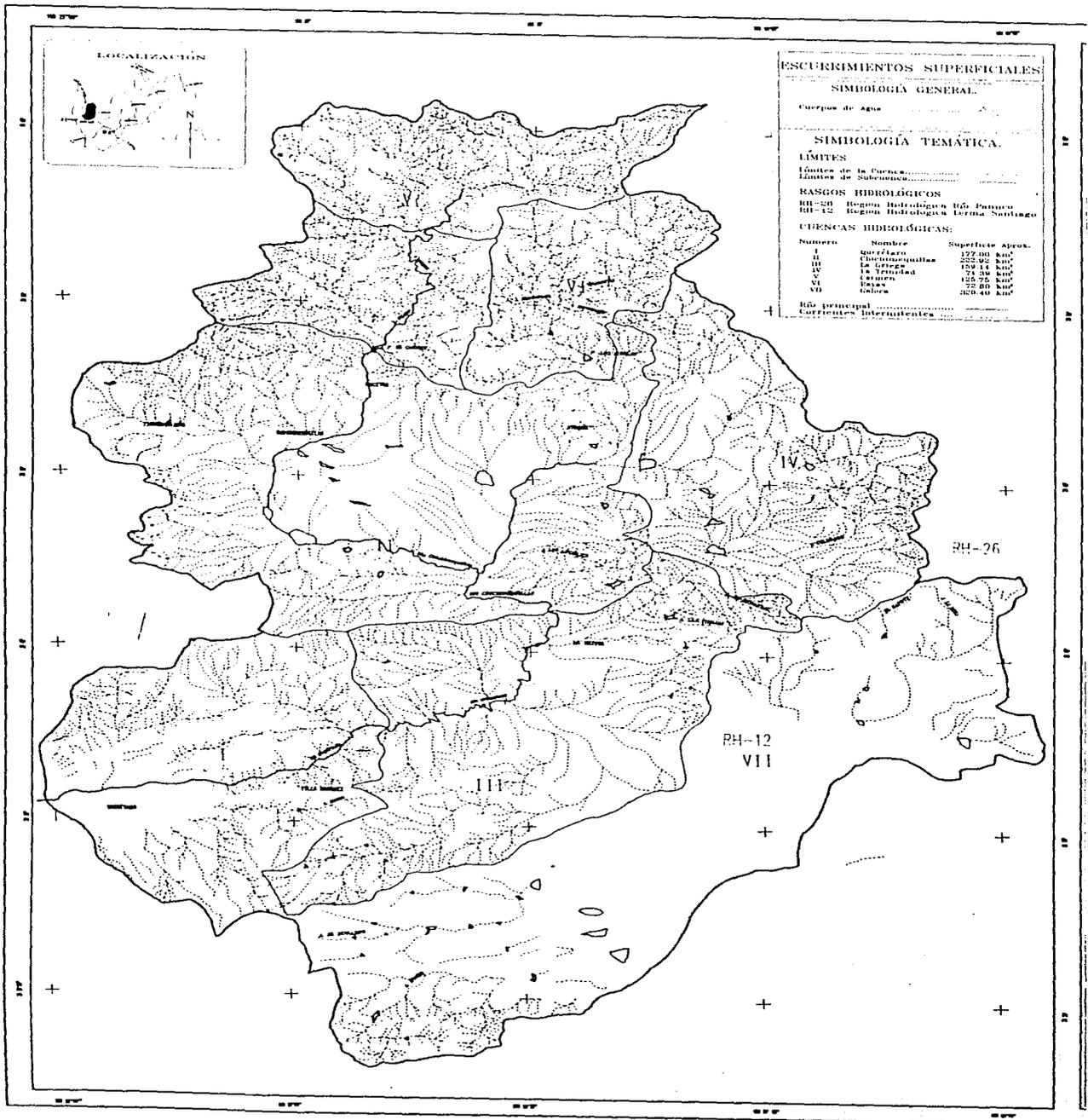
SIMBOLOGÍA TEMÁTICA.

LÍMITES  
 Límites de la Cuenca.....  
 Límites de Subcuencas.....  
 RASGOS HIDROLÓGICOS  
 RH-20 Región Hidrológica Río Pampas  
 RH-12 Región Hidrológica Loma Santiago

CUENCAS HIDROLÓGICAS:

Numero	Nombre	Superficie Aprox.
I	Quezón	177.00 km <sup>2</sup>
II	Chiriquinilla	252.40 km <sup>2</sup>
III	La Graya	105.24 km <sup>2</sup>
IV	La Terrenal	74.38 km <sup>2</sup>
V	Casero	125.75 km <sup>2</sup>
VI	Lasas	72.80 km <sup>2</sup>
VII	Calaca	100.40 km <sup>2</sup>

Río principal.....  
 Corrientes Intermitentes.....



#### IV.E ) DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS.

En la Cuenca del Río Querétaro, existen diversas unidades de suelo, con grados de desarrollo diferente, obedeciendo a diversas condiciones geológicas, a variaciones en el contenido de humedad, a variaciones en la pendiente, además de la presencia o ausencia de vegetación.

En esta Cuenca, las unidades de material que predominan son rocas, basalto, material aluvial y residual entre otros; también se presentan diferencias en cuanto a humedad, siendo mayor en la parte donde existe abundancia de vegetación y en los sitios donde hay algún escurrimiento superficial o un cuerpo de agua. Por lo que respecta a la pendiente, dentro de la Cuenca, la morfología es muy heterogénea, existiendo topoformas que van desde sierra, bajada, meseta, llanura, cañada y valle, por lo que las pendientes varían de 3% a 20%, en algunos casos la vegetación también presenta algunas variantes tanto en composición como en abundancia, encontrándose áreas cubiertas con matorral, pastizal y con cierta especie de pino encino (hacia las partes más altas) y algunos sitios reforestados, principalmente con eucalipto, existiendo también zonas sin vegetación, en respuesta a los elementos antes referidos, influyendo a su vez en el desarrollo de los suelos.

Los suelos se presentan en forma individual o bien en asociaciones en donde uno es el suelo predominante y el otro desempeña un papel secundario, la textura de los suelos que existen en la Cuenca es predominantemente limo arcillosa. Las unidades principales que se han identificado en la zona, a partir de la cartografía del I.N.E.G.I. y del procesamiento de imágenes de satélite, son:

- Feozem (H)
- Vertisol (V)
- Litosol (L)
- Fluvisol (J)
- Yermosol (Y)

Las características principales de cada uno de estos suelos son.

**Feozem.-** Esta unidad edáfica, presenta un horizonte superficial de color oscuro debido a un alto contenido de materia orgánica y nutrientes. Su textura generalmente es de arcilla limosa. El drenaje de esta unidad es bueno, la susceptibilidad que tiene de erosionarse varía, dependiendo del terreno en el que se encuentre, siendo mayor en morfologías abruptas donde escasea la vegetación. La fertilidad varía: en sitios planos o de pendiente suave la fertilidad es alta; cuando el Feozem se localiza sobre laderas, su rendimiento agrícola es bajo. El Feozem no presenta problemas para fines de ingeniería civil.

Dentro de la Cuenca del Río Querétaro, este suelo se desarrolla principalmente sobre topoformas de lomeríos y sierras en altitudes promedio de entre 2,000 y 3,300 metros sobre el nivel del mar.

**Vertisol.-** El Vertisol tiene un alto contenido de arcilla en todos sus horizontes. Lo que le da una textura fina y lo convierte en un suelo pesado, masivo, generalmente de color oscuro (negro, gris, rojizo). Se caracteriza por ser un suelo que al saturarse de humedad se dilata o expande, ocurriendo que al secarse se contrae al grado de formar agrietamientos que alcanzan profundidades de hasta 50 cm por 1 cm de ancho.

El ser demasiado arcilloso provoca que los Vertisoles presenten un drenaje interno deficiente, a la vez que disminuye el riesgo de ser afectado por procesos erosivos. Esta unidad tiene problemas de manejo debido a cierta dureza que dificulta su labranza, además de que presenta riesgos de inundación. Cuando el Vertisol se riega con agua de mala calidad, puede llegar a salinizarse o alcalinizarse, su fertilidad varía de regular a buena.

Algunos de los cultivos que alcanzan buenos rendimientos en los Vertisoles son: caña de azúcar, sorgo, arroz, granos y hortalizas, además de ser adecuados para fines pecuarios.

Dentro de la cuenca, existen áreas de extensión diversa que están ocupadas por Vertisol pélico, y que corresponden con llanuras aluviales y lomeríos de pendiente suave.

**Litosol.-** Es un suelo poco desarrollado cuya profundidad llega a ser hasta de diez centímetros, el contenido de materia orgánica de los Litosoles es muy bajo o incluso nulo, debido a que no sustentan vegetación abundante, presentando una alta susceptibilidad de erosionarse como consecuencia de la pendiente en la que se forma, de su disgregación y superficialidad.

Dentro de la cuenca, el Litosol se ha desarrollado en terrenos accidentados, como sierras y lomeríos, en altitudes mayores de 2000 metros.

**Fluvisol.-** Se desarrolla a lo largo de cauces de ríos, formándose a partir de material suelto que ha sido depositado en periodos relativamente recientes, no presenta estructura en terrones. En muchos casos, se observan en este suelo capas alternadas de arena, arcilla o grava. Su color es amarillo oscuro; la profundidad que alcanza varía, dependiendo de la capacidad de arrastrar y depósito de los escurrimientos que le dan origen, la textura del Fluvisol varía de arena a limosa. Su drenaje es deficiente, por lo que presenta riesgos de inundación.

Los rendimientos de este suelo varían, dependiendo de la textura, la profundidad y la humedad existente. Bajo riego, el Fluvisol tiene buenos rendimientos agrícolas en cultivos de cereales y leguminosas; en pastizales cultivados el rendimiento también es bueno.

Dentro de la cuenca, el Fluvisol ocupa una porción mínima, localizada sobre el Río El Pinal, en la parte donde se ubica la Presa El Carmen.

**Yermosol.-** Es un suelo característico de zonas áridas y semiáridas, el horizonte superficial es de color claro, con un bajo contenido de materia orgánica, en el subsuelo suele presentar una capa rica en arcilla o carbonatos además de cristales de yeso.

Su vegetación natural es de matorrales y/o pastizales. El riesgo de erosión del Yermosol es bajo, excepto en terrenos de pendiente fuerte.

La utilización agrícola de este suelo, se limita a las zonas donde se dispone de agua para riego y se cuenta con fertilización adecuada; cuando se cumplen estos requerimientos, se alcanzan altos rendimientos de cultivos como el algodón, la vid o granos. Cuando el Yermosol sustenta vegetación de matorral o pastizal, los rendimientos varían entre bajos y moderados.

Dentro de la Cuenca del Río Querétaro, existe Yermosol Háplico de textura arenosa en topoformas cuya pendiente fluctúa entre 8 y 20%, coincidiendo con la parte donde se ubican los poblados de Atongo, Carboneras y El Zamorano, entre otros.

La distribución de estas unidades de suelo a lo largo de la Cuenca es la siguiente:

**En la Subcuenca Querétaro,** a lo largo del Río del mismo nombre, en la parte comprendida entre la Ciudad de Querétaro y Villa del Marqués, el tipo de suelo que existe es Vertisol pélico (Vp/3) mismo que se desarrolla a partir de material transportado por numerosas corrientes de agua (aluvial), presentando una textura arcillosa en la parte superficial, es decir, en los primeros 30 cm de profundidad. En esta zona se han establecido parte de los poblados Cayetano Rubio, La Cañada, la Ciudad de Querétaro y Villa del Marqués, entre otros.

Al sur de la Ciudad de Querétaro, se extiende otra unidad de Vertisol pélico de textura fina que difiere de la anterior en que se ha desarrollado a partir de tobas, por lo que presenta una abundancia de fragmentos rocosos en la superficie, fragmentos que llegan a tener más de 7.5 cm de longitud.

Al sur de la subcuenca, en las proximidades del Parque Nacional El Cimatario, existe una zona de Vertisol asociado con Litosol que posee una textura arcillosa, de composición básica que sustenta vegetación de matorral subperme, cardonal, nopaleras y en menor proporción existen tierras dedicadas a agricultura de temporal sobre terrenos cuya pendiente varía entre 8 y 20%. Además de la pendiente, otro elemento que limita la práctica agrícola es la presencia de gran cantidad de fragmentos rocosos en el horizonte superior.

Al norte de la Ciudad de Querétaro, en donde se encuentra el poblado Peñuelas y el Arroyo Pedro Mendoza, existe otra área constituida por Vertisol de textura arcillosa que se ha desarrollado a partir de material básico sobre terrenos llanos con ligeras elevaciones y en los que la pendiente no excede del 8%. Esta unidad presenta una capa de roca compacta a una profundidad que varía entre 50 y 100 cm.

En torno a estas áreas de Vertisol, existe una zona en la que el suelo predominante es Litosol, mismo que se encuentra asociado con Feozem Háptico de textura limosa (t+Hh/2), localizado sobre una topografía abrupta en la que la pendiente llega a ser mayor del 20%. Esta unidad se ha formado básicamente a partir de tobas, presentando una fase física pedregosa, la cual, aunada a la topografía y al escaso desarrollo del suelo, limita su aprovechamiento agrícola. La vegetación natural que crece en estas condiciones es de matorral subinermes, cardonal y nopalera. En esta zona se encuentran las poblaciones de Menchaca, Bolaños, La Purísima, además de albergar (en el área de La Cañada) parte de los poblados Villa Cayetano Rubio y Villa del Marqués.

En el Cerro El Cimatarío, se encuentra otra unidad de Litosol con Feozem (t+Hh/2) que al igual que la anterior, presenta una textura limosa y corresponde a terrenos en los que la pendiente es mayor del 20%, la única diferencia respecto de la anterior es que en El Cimatarío el suelo se formó a partir de brecha volcánica y sustenta vegetación transicional de matorral inermes, subinermes y pastizal, además de encontrarse reforestado casi en su totalidad, con eucalipto.

Al sur, Sureste y este de La Cañada, en donde se localiza el Cerro La Cañada, existe una unidad edáfica integrada por Feozem Háptico con Vertisol, de textura fina, que coincide con una zona de tomenos constituida por material ígneo de composición básica. La pendiente del terreno es mínima, no llegando a ser mayor del 8%, lo cual favorece el desarrollo del suelo. La pedregosidad que presenta esta unidad desalienta la introducción de maquinaria con fines agrícolas. La vegetación que sustenta este suelo es de pastizal natural, dedicándose también a la práctica de agricultura de temporal.

Hacia el norte y noreste de La Cañada, rodeando la unidad de Litosol con Feozem, existe una zona de Vertisol pélico que corresponde con un terreno de tomenos constituido por material residual de permeabilidad baja y en donde la pendiente es menor del 8%. Este suelo presenta una alta pedregosidad, sustentando una vegetación integrada por matorral subinermes, espinoso, cardonal, nopaleras y pastizal natural, además de utilizarse algunas áreas en la agricultura temporalera; en la zona se han establecido los poblados de el Refugio y San José el Alto entre otros.

**En la Subcuenca denominada La Griega**, los suelos que ocupan la mayor parte son Vertisol y Feozem, existiendo en menor proporción Litosol. En la parte centro y sur de la subcuenca se extiende una amplia zona de Feozem con Vertisol, de textura media que se ha originado sobre terrenos de composición básica, en donde la topografía es ligeramente ondulada, siendo la pendiente menor al 8%. En esta unidad se han establecido parte de los poblados Saldamaga, Jesús María, Coime, La Loma, San Miguel Colorado, San Isidro de Miranda y Nuevo Torreón, considerando los factores de pendiente y composición de los materiales parentales, la unidad edáfica presenta una permeabilidad media.

Al interior de esta unidad, se observan pequeños manchones constituidos por Feozem con Litosol, que a nivel superficial posee una gran cantidad de rocas que limitan su uso con fines agrícolas, permitiendo el desarrollo de vegetación de matorral subinermes, cardonal y nopalera. El suelo coincide con una zona de tomenos en donde la pendiente fluctúa entre 8 y 20%, la permeabilidad de este suelo es buena.

En el extremo sur de la subcuenca, se extiende un área de Vertisol de textura fina formada a partir de areniscas en sitios de pendiente mínima, el Vertisol presenta en su interior, a una profundidad de entre 50 y 100 cm, una capa continua de roca compacta que aunada a las características poco permeables del Vertisol dificulta la recarga de acuíferos en la zona. Sobre éste se encuentra el poblado El Carmen y parte de San Isidro de Miranda.

Atravesando de norte a sur y hacia el este de la subcuenca se presenta una amplia zona integrada por Vertisol de textura arcillosa que se localiza sobre la llanura agrícola del Río Querétaro. En esta unidad se distinguen dos variantes: hacia el noroeste el Vertisol se ha desarrollado a partir de material ígneo básico y presenta una alta pedregosidad en superficie, en ella se ubican las poblaciones Cerro Prieto, El Conejo

y San Antonio; la segunda variante no tiene problemas de pedregosidad debido a que se ha formado por depósito de materiales acarreados por los numerosos afluentes del Río Querétaro, este suelo alberga a las poblaciones de Santa María Ticomán, El Rodeo, San Miguel, Estación la Griega, Cerro Colorado y parte de Saldamaga.

Hacia la parte este y noreste de la subcuenca, existe Feozem Lúvico de textura limosa que corresponde con una topografía poco accidentada en la cual la pendiente no rebasa del 8%. Su formación ha sido a partir de material aluvial, Tobaceo y de arenisca - conglomerado; la unidad presenta en los primeros 50 cm de profundidad una capa dura cementada con sílice, que dificulta su aprovechamiento agrícola, permitiendo el crecimiento de vegetación de matorral espinoso, nopaleras y pastizal inducido, observándose algunos terrenos agrícolas de carácter temporal. El drenaje en esta unidad es bueno. Los asentamientos humanos localizados en la zona son La Griega, La Granja, Nochebuena, Guadalupe de la Venta, San Martín y Navajas, entre otros.

En el extremo noreste de la subcuenca, se presenta una zona en la que el suelo predominante es Litosol, mismo que se encuentra asociado con Regosol a la altura de El Picacho y el Cerro Saucillo, en pendientes mayores al 20% sobre material Riolítico, el drenaje interno de esta unidad tiende a ser excesivo, así como Litosol con Feozem en pendientes menores del 8%. Ambas subunidades poseen una textura limosa.

**En el caso de la Subcuenca Rayas**, localizada al noreste de la cuenca, en la zona en que se ubica el Cerro El Zamorano, aproximadamente el 90% de su superficie corresponde a terrenos donde el suelo se ha desarrollado a partir de materiales ígneos, principalmente Riolita y basalto, mismo que debido al grado de fracturamiento que presentan, favorece la infiltración de agua hacia el subsuelo. La unidad edáfica que predomina es el Feozem de textura limosa, mismo que en las partes altas en donde la topografía es muy accidentada y la pendiente mayor al 20% (como en la zona donde se localizan los poblados La Joya y Coyotes, además del Cerro El Zamorano y sus estribaciones) se encuentra asociado con Litosol, lo que aunado a la pendiente y carencia de vegetación, aumenta la susceptibilidad de la unidad a la erosión; otro elemento que contribuye a esto, es la existencia de una capa de roca dura en una profundidad menor a 50 cm, lo cual impide la penetración de raíces y la recarga de acuíferos. La vegetación sustentada por el Feozem en estas condiciones, es de matorral inerme y subinerme, nopalera, chaparral, pastizal natural y además de la vegetación propia del Cerro El Zamorano, compuesta por bosque de encino y de coníferas.

El 10% restante de la subcuenca se encuentra ocupado por Litosol de textura media y en una mínima parte de Yermosol de textura arenosa desarrollado sobre material aluvial. El Litosol se ubica en terrenos donde el relieve presenta pendientes que van del 8 a 20%. Esta unidad tiene una alta susceptibilidad a erosionarse, considerando su escaso desarrollo, su superficialidad, la pendiente y la presencia o ausencia de vegetación entre otros. El proceso erosivo en el área es severo, de acuerdo con lo observado en campo y lo que se aprecia en la imagen de satélite, principalmente en la parte localizada al norte en el parteaguas de la cuenca a las faldas del Cerro Zamorano pasando la población de los Trigos.

**Dentro de la Subcuenca Chichimequillas**, predomina el suelo Vertisol, mismo que ocupa la mayor parte de la subcuenca, encontrándose en segundo lugar los suelos Feozem y Litosol, existiendo en menor medida Yermosol y Fluvisol. El origen de estas unidades es muy diverso considerando la presencia de varios tipos de materiales geológicos tales como: Riolita, basalto, toba, rocas ígneas extrusivas de composición básica, arenisca - conglomerado y material aluvial, principalmente.

El Litosol se encuentra en los extremos noreste y Sureste de la subcuenca, en ambos sitios el material parental ha sido Riolita y basalto, coincidiendo con terrenos de morfología accidentada (sierra), donde la altura es mayor de 2,000 metros, y en los que el rango de pendiente promedio es superior del 20%. La textura de este suelo es media (limosa).

En la parte noroeste el Litosol se encuentra asociado con Feozem, lo que posibilita el desarrollo de vegetación. Esta unidad corresponde con el área donde se ubican los Cerros Alto, El Carpio y La Bandera, así como de una parte del poblado Tierra Blanca.

El Litosol del extremo Sureste integra una unidad en la que el suelo asociado es Regosol, lo que propicia que aumente el riesgo de erosión y que el drenaje interno tienda a ser excesivo. El suelo es somero, localizado dentro de una sierra de fuerte pendiente que corresponde con los Cerros Blanco y La Cruz.

Al sur de la subcuenca, existen algunas zonas de Litosol de textura media que se han desarrollado sobre lomeríos en los que la pendiente varía entre el 8 y 20%.

Las unidades de Vertisol pélico se encuentran en sitios de pendiente suave, constituidos por diversos materiales geológicos que condicionan la presencia de varias fases físicas a lo largo de la subcuenca. En las áreas donde el Vertisol se asocia con Litosol y se ha originado a partir de material Riofítico, se presenta a una profundidad menor de 50 cm una capa de roca dura que dificulta la penetración de raíces, aumentando el grado de impermeabilidad del suelo, dificultando la práctica agrícola (Cerro Mujeres).

Cuando el origen de la unidad integrada por Vertisol y Litosol es a partir de material ígneo extrusivo de composición básica y de arenisca - conglomerado, se caracteriza por presentar una capa de roca compacta a una profundidad de entre 50 y 100 cm, como es el caso de la zona donde se ubica San Vicente Ferrer y el Potrero La Cinta.

El Vertisol que corresponde con terrenos aluviales sobre los que se han establecido los poblados Amazcala, Dolores, Santa María de Begonia, Bordo Colorado, San Rafael, González Blanco y Hacienda Chichimequilla, entre otros, no existe ninguna fase física.

#### IMAGEN DE SATÉLITE No. 4

Imagen de satélite en falso color multispectral integrada por las bandas 4 (azul), 5 (verde) y 2 (rojo).

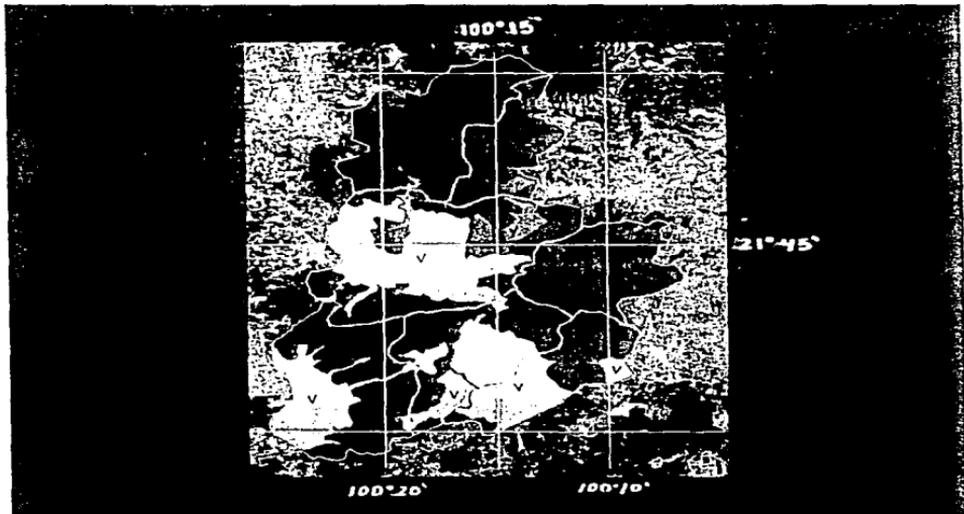
Los rasgos observados son los siguientes:

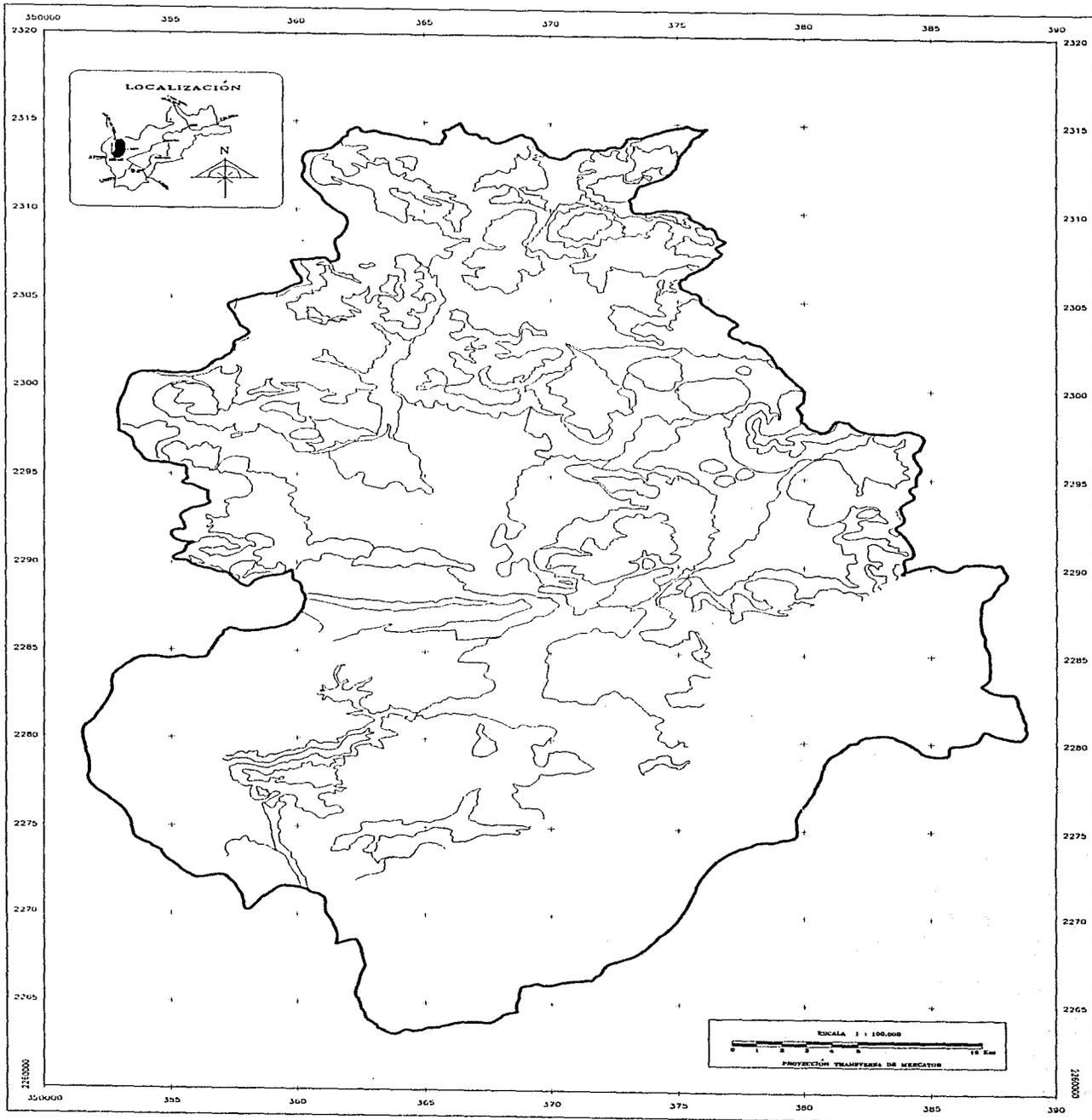
Cuenca del Río Querétaro, así como las subcuencas que la integran y marco de referencia geográfica.

Esquema edafológico de la cuenca del Río Querétaro:

En color verde se observan las unidades marcadas como Feozem	(H)
En color amarillo se observan las unidades marcadas como Vertisol	(V)
En color azul se observan las unidades marcadas como Litosol	(I)
En color blanco se observan las unidades marcadas como Fluvisol	(J)
En color anaranjado se observan las unidades marcadas como Yermosol	(Y)

En lo que se refiere al área representada, en el sentido horizontal es de 40 Km, y en el sentido vertical 45 Km, dando con esto una superficie observada de 1,800 Km<sup>2</sup>.





## IV.F ) VEGETACIÓN, USO DEL SUELO Y EROSIÓN.

### IV. F. 1. VEGETACIÓN

La existencia de la vegetación natural y la utilización del suelo en la Cuenca Queretaro representan elementos importantes en la ecología debido a los efectos que ejercen en el medio ambiente los asentamientos humanos. Por otra parte, la vegetación desarrolla un papel importante en el ciclo hidrológico como regulador y controlador de la erosión. Además, la vegetación constituye un elemento de regulación microclimática y paisajística del entorno.

La distribución y las características de la cubierta vegetal de la cuenca en estudio están determinadas por una serie de factores físicos como son: diversidad de formas del terreno, materiales geológicos, suelos que la sustentan y sobre todo, clima que la rige.

La vegetación natural en la cuenca presenta características diferentes de acuerdo a las variaciones climáticas de algunas zonas muy específicas de la región en estudio.

Los climas que se presentan en esta región van desde el seco y el semiseco los cuales favorecen el desarrollo del matorral principalmente, hasta el templado, que proporciona la presencia de algunos bosques. Por otro lado, la agricultura ocupa una buena parte del área de estudio.

El matorral es el tipo de vegetación predominante, se desarrolla a plenitud sobre suelos someros de origen ígneo y bajo condiciones de humedad muy restringida. Las especies que constituyen el matorral difieren de un lugar a otro. Así, los elementos que dominan en las sierras son garrambullo (*Myrtillocactus* sp), huizache (*Acacia* sp) (*Karwinskio* sp) y nopal (*Opuntia* sp). En los llanos el garrambullo, el nopal, *Ipomoea* sp, *Lomariocereus* sp y otros; en las llanuras el huizache, varias especies de nopal, el garrambullo y el mezquite, entre otras.

La vegetación predominante en la cuenca es el matorral en sus diferentes tipos o subtipos: matorral espinoso formado por más del 70% de plantas espinosas. En el área de estudio se presentan los huizaches (*Acacia* sp), mezquite (*Prosopis* sp), que fisonómicamente predominan en el paisaje; matorral subincrimo, comunidad compuesta por plantas espinosas o incrimo cuya proporción de unas a otras es mayor del 30% y menor del 70% en la cuenca bajo estudio, por bibliografía, se determino la presencia del Grángano (*Celtis pallida*) y los conizos (*Leucephyllum* sp) como especies representativas, el matorral inermo, comunidad compuesta por más del 70% de plantas sin espinas, algunas especies representativas de la cuenca hidrológica de Querétaro, son la Jarilla (*Dodonaea* sp) o el palo loco (*Senecio* sp).

Otra comunidad vegetal bien representada son las nopaleras, asociación de plantas conocidas comúnmente como nopales pertenecientes al género *Opuntia*.

El cardonal, menos extendido en la región de Querétaro pero bien adaptado al tipo de clima, es conocido como garrambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), una planta con valor comercial.

Los bosques predominantes en la cuenca son de pino; pino - encino; encino; encino - pino y pino - noble, nombrados de acuerdo a la especie dominante, los cuales cubren una parte pequeña de la zona norte de la cuenca, especialmente hacia la parte del Cerro el Zamorano que es la parte más alta de la cuenca (superior a los 3,000 m.s.n.m.), caracterizándose por ser bosques de lugares templados, en estas condiciones por la altitud.

Los pastizales son un tipo de vegetación en la que predominan las gramíneas, se han agrupado en pastizales naturales y pastizales inducidos. Estos ocupan una extensión importante al sur de la cuenca.

La agricultura se desarrolla en la parte central de la cuenca y ésta, en su mayoría, es de negro, ya sea mediante la explotación del agua subterránea o bien con el agua de las presas o bordos que se encuentran dentro de la cuenca, tales como la presa del Carmen, la de Pirules, etc., la agricultura de temporal se encuentra también distribuida en toda la cuenca siendo este tipo de agricultura más que de

temporal de subsistencia en las zonas con pendientes mayores a 20% o bien, en áreas donde la precipitación no rebasa los 550 mm anuales.

Un nuevo tipo de vegetación esta substituyendo a la natural, sustituida por el hombre con diferentes especie de eucalipto (*Eucalypto spp.*), el que está asociado con chaparrales de huizaches y mezquites, o bien de manera única, este tipo de vegetación, no esta del todo adaptada en la zona cercana al Cerro el Zamorano, sin embargo, actualmente ocupa extensiones dignas ya de considerarse, se localizaron chaparrales dentro de la Cuenca del Río Querétaro mediante el uso de la imagen de satélite.

El área de estudio se divide en 7 subcuencas:

Galeras  
Chichimequillas  
La Gnegra  
Querétaro  
El Carmen  
La Trinidad  
Rayas

Las cuales son mencionadas en orden de superficie para facilitar su ubicación y el análisis Cartográfico y de satélite.

**La Subcuenca Galerías.** se localiza al Suroeste dentro de la Cuenca Querétaro, la vegetación natural predominante es el matorral inerme y subinerme, acompañada de manera secundaria de nopaleras. Al noroeste de la subcuenca, se tienen algunos pastizales de tipo natural con algunos elementos de huizaches y mezquites, lo anterior en la imagen de satélite se aprecian procesos de deterioro ocasionados por la pérdida de la vegetación en las laderas de los lomeríos y sierras donde se asientan. El otro tipo de vegetación de esta subcuenca, es la de agricultura tanto de riego como de temporal, la de riego propiciada por las presas: San Antonio, San Ramon y San Carlos La Providencia. La agricultura se desarrolla en pendientes menores del 8% condición que se cumple en la llanura central de la subcuenca de Galerías.

**La subcuenca de Chichimequillas,** presenta principalmente agricultura de temporal y de riego en su parte central, en segundo término, se tiene al matorral subinerme en las laderas de los lomeríos que circundan al Valle de la Subcuenca Chichimequillas, en tercer lugar, se presenta el matorral espinoso e inerme, acompañado de nopaleras y cardonales, los cuales en algunos lugares crecen dispersos los matorrales de huizaches, siendo estos, fisonómicamente hablando, no representativos tanto en las imágenes de satélite como cartográficamente, sino cuando se sale a campo. Sin embargo, con el manejo de imágenes digitales, con su refractancia específica, se puede separar este tipo de vegetación, además, por la asociación directa del tipo de suelo sobre el cual se desarrolla, que en este caso es el Feozem o el Litoso.

**En la Subcuenca La Griega,** se presenta como vegetación natural el matorral subinerme y nopaleras con cardonales, otra vegetación, es el matorral espinoso, los pastizales son contados y en pleno deterioro, invadiendo partes del matorral espinoso, lo anterior ocupa alrededor del 60% de la subcuenca, el resto, lo ocupa la agricultura tanto de riego como de temporal en la llanura cercana al poblado denominado La Gnegra.

**La Subcuenca Querétaro,** presenta predominantemente matorral subinerme y en segundo término, el matorral espinoso, ambos acompañados por nopaleras y cardonales, los pastizales no se notan de manera clara en las imágenes de satélite debido a que se confunde con matorrales que refractan en longitudes de onda similares. La Ciudad de Querétaro se asienta en una llanura que, en su alrededor, presenta agricultura de temporal que varía su productividad en base a la pendiente donde se localiza, teniéndose que, en laderas mayores del 15% es baja la productividad, esta se presenta al sur de la subcuenca y se observa que la agricultura esta ganando espacios en base al matorral subinerme y a las nopaleras donde el suelo es mayor a 20 cm de profundidad como es el caso de esta misma área.

**La Subcuenca El Carmen.** se caracteriza por ser la parte más alta de toda la Cuenca, debido a que aquí se presentan altitudes que van desde 2,200 a 3,400 m.s.n.m. donde se desarrollan vegetaciones que van desde matorrales inermes, subinermes y espinosos, pastizales naturales e inducidos (los cuales no se diferencian con imágenes de satélite), bosque de encinos, pinos y mezclas de estos, siendo típicos de estas altitudes, sin embargo, dentro de las subcuenca no son predominantes. En esta subcuenca, la vegetación dominante es el matorral subinermes y el inermes. Los chaparrales presentes en esta subcuenca están conformados por encinos, mezquites y algunos huizaches, además, existen áreas donde se ha reforestado con eucaliptos los cuales no tienen diferencias en las imágenes de satélite con bosque de pino, pero por altitud se diferenciaron, considerándose como reforestaciones no mayores de 4 años.

**En la Subcuenca La Trinidad.** los matorrales subinermes e inermes son los predominantes, siguiéndoles las nopaleras y los matorrales espinosos. Lo anterior en cuanto a la vegetación natural; en cuanto a la agricultura de temporal, ocupa una superficie cercana al 30% de la subcuenca.

**La Subcuenca Rayas,** no presenta agricultura, sino que domina el matorral subinermes y algunos chaparrales con mezquites. En partes aisladas, se localizan pastizales que con relación a la cartografía de I.N.E.G.I., presentan un aumento con respecto a las observadas en la imagen de satélite.

Vegetación adecuada para propiciar la infiltración y la retención del suelo en la Cuenca del Río Querétaro.

La vegetación adecuada para la zona de estudio, con base las propiedades de retención de suelo, e infiltración de agua, son los denominados chaparrales, compuestos principalmente por huizaches y mezquites, a continuación, se mencionan otras características que los hacen ser una mejor opción para la reforestación y el cuidado de estos en su estado natural:

- a) Fijadoras de nitrógeno al suelo por ser de la familia de las leguminosas y por tanto poseen en sus raíces las bacterias para ese fin.
- b) Formadoras de suelo, por su particular tasa de generación de follaje, que es muy rápido y de descomposición acelerada.
- c) Retienen el suelo (protectoras contra la erosión) por la forma de su raíz que se extiende de manera ramificada extensa en el suelo.
- d) Infiltran el agua a las capas inferiores del suelo de manera eficiente, esta característica es consecuencia de las dos anteriores.
- e) La reforestación con esta vegetación se facilita debido a que sobreviven en suelos someros o profundos.
- f) En cuanto a unidades de suelo donde crecen, no son muy específicas, debido a que su crecimiento no se ve limitado aun en los Litosoles o en los Yermosoles, unidades que se presentan en la Cuenca del Río Querétaro.
- g) La pendiente no es obstáculo para la implantación de esta vegetación, ya que crecen en pendientes que van desde 0 hasta 25%, condiciones que se presentan en el área de estudio.
- h) Es vegetación que propicia el uso del suelo bajo crítonos agro pastoriles, debido a que puede servir de alimento al ganado de manera directa (ramoneo, o bien como complemento alimenticio mediante el empleo de su vaina).
- i) La madera de este tipo de vegetación, es adecuada para la elaboración de instrumentos de labranza y arros para el ganado equino, lo cual se debe a la alta resistencia de la madera.

**IMAGEN DE SATÉLITE No. 5**

Imagen de satélite en falso color multiespectral integrada por las bandas 4 (azul), 5 (verde) y 2 (rojo).

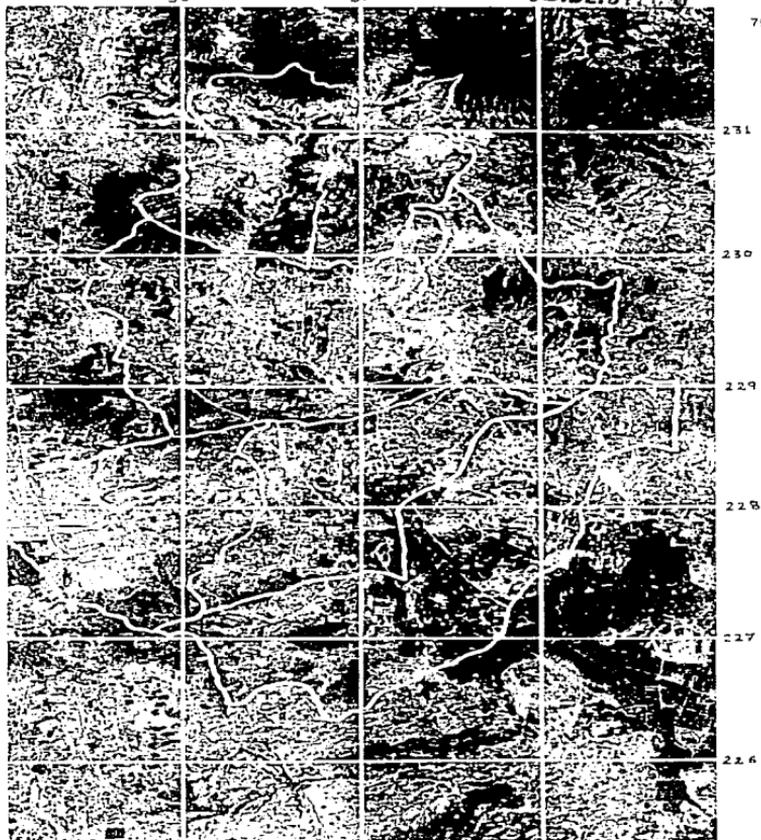
Los rasgos observados son los siguientes:

Cuenca del Rio Querétaro, así como las subcuencas que la integran y marco de referencia geográfica.

Mosaico de uso agrícola en rojo claro, paisaje general en tonos de verde, asentamientos humanos en tonos de gris y morado, cuerpos de agua en tonalidades azules dependiendo de la cantidad de azolve.

En lo que se refiere al área representada, en el sentido horizontal es de 40 Km, y en el sentido vertical 70 Km, dando con esto una superficie observada de 2,800 Km<sup>2</sup>.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



LOCALIZACIÓN



USO POTENCIAL DEL SUELO  
SIMBOLOGÍA TEMÁTICA.

LÍMITES

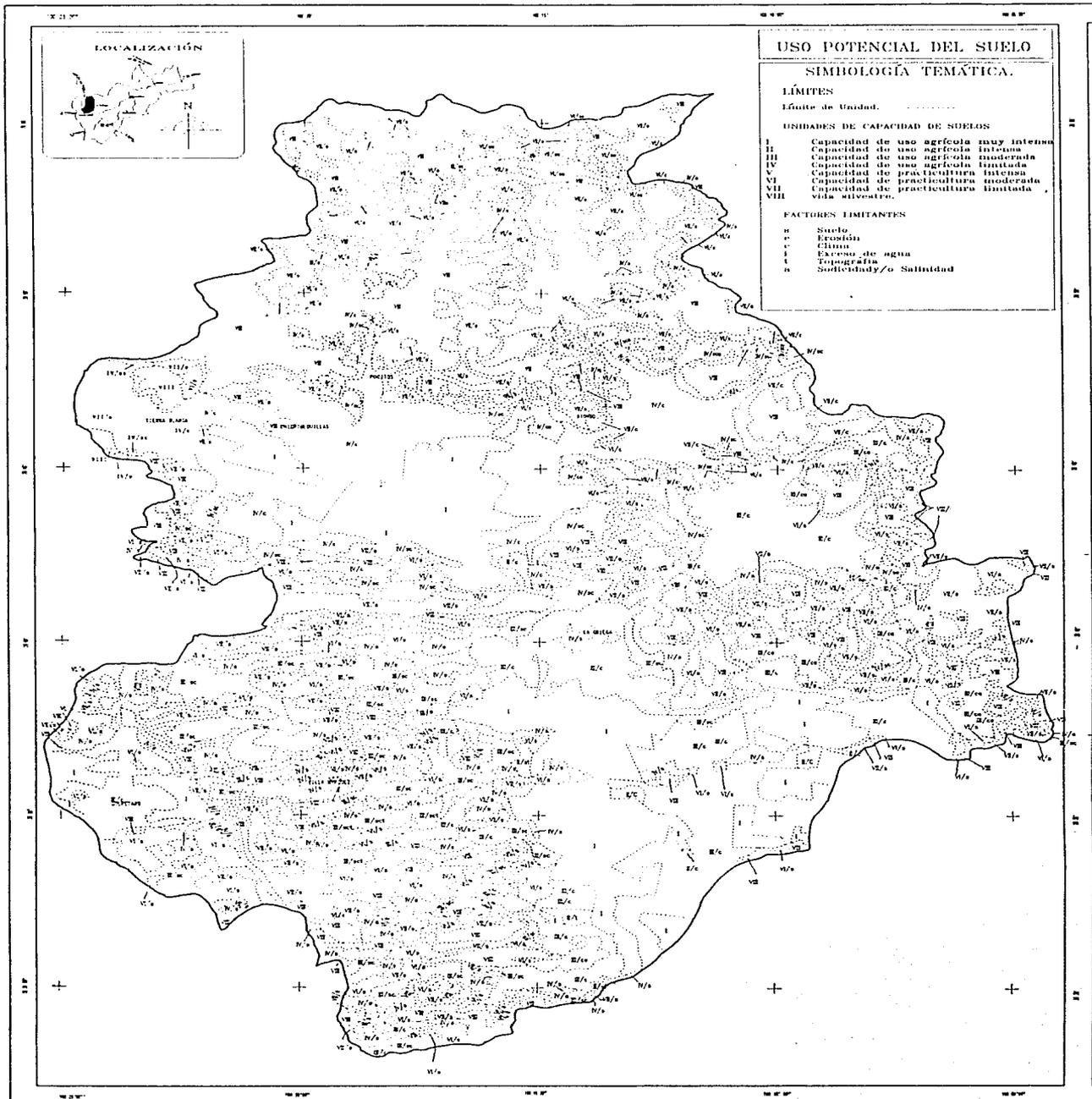
Límite de Unidad. ....

UNIDADES DE CAPACIDAD DE SUELOS

I	Capacidad de uso agrícola muy intensa
II	Capacidad de uso agrícola intensa
III	Capacidad de uso agrícola moderada
IV	Capacidad de uso agrícola limitada
V	Capacidad de practicultura intensa
VI	Capacidad de practicultura moderada
VII	Capacidad de practicultura limitada
VIII	Vida silvestre.

FACTORES LIMITANTES

s	Suelo
e	Erosión
cl	Clima
l	Exceso de agua
t	Topografía
ss	Sodicidad y/o Salinidad



#### IV.G ) DETERMINACION DE MODELOS CONCEPTUALES DEL FUNCIONAMIENTO Y UNIDADES DE CONTROL DE VARIABLES.

Debido a la complejidad de los elementos que integran el ordenamiento de una cuenca del Río Querétaro, y tomando en cuenta los alcances de este estudio, se propone continuar con una serie de trabajos que se consideran importantes para poder determinar en forma realista el funcionamiento de las variables más importantes del sistema, por tal razón en esta parte del capítulo IV se propondrá una metodología a seguir para la continuación u obtención de más información de cada una de las subcuencas y de esta forma utilizar la información en el momento de tomar una decisión que afecte el desarrollo de la zona

1.- Realizar el análisis de pendiente de la cuenca ( $S_c$ ), del mapa temático en el que aparecen las curvas de nivel, tomando como criterio para esto alguno de los siguientes:

Criterio de Alvord  $S_c = D \Sigma L / A$

$S_c$  = Pendiente de la cuenca (decimal)

$D$  = Desnivel constante entre curvas de nivel (Km)

$\Sigma L$  = Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (Km)

$A$  = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Criterio de Nash:  $S_c = \Sigma S_i / n$

$S_c$  quiere decir por lo menos 100 cuadros dentro de la cuenca.

$S_i$  = Pendiente de la cuenca (decimal)

$n$  = Desnivel / L

$L$  = Distancia mínima entre curvas de nivel que pasan por el nudo.

2.- De este mismo mapa y empleando la malla utilizada en el Criterio de Nash, encontrar la elevación de la cuenca de la siguiente forma:  $E = \Sigma E_i / n$

$E$  = Elevación de la cuenca

$E_i$  = Elevación de cada nudo.

$n$  = Número de nudos.

3.- Realizar el análisis del mapa de escurrimientos superficiales para obtener la red de drenaje de la cuenca con los siguientes elementos:

Tipo de corriente (efímera, intermitente o perenne).

Orden de corriente (número de tributario a la corriente principal).

Longitud de Corrientes.

Densidad de Corriente (número de corriente / área de la cuenca).

Densidad de drenaje (longitud total de corriente / área de la cuenca).

4.- Se sugiere la digitalización de los mapas temáticos en un programa de computadora que permita un manejo de sobreposición (autocad), para de esta forma poder combinar las variables encontradas y tener una serie de datos que pueden corregir o complementar los contenidos en este estudio, algunos ejemplos de lo que podría obtenerse con esta sobreposición temática son los siguientes:

a) Sobreponer los mapas de curvas de nivel con el de escurrimientos superficiales, para de esta forma poder encontrar la pendiente de la corriente principal y de los tributarios, esto con la finalidad de poder definir cuales son las zonas de erosión potencial y de esta forma poder prevenir este tipo de situaciones, para la determinación de la pendiente de la corriente principal se pueden tomar los siguientes criterios:

Pendiente de la corriente Principal  $S = (E_1 - E_2) / L$

Se emplea en distancia de aproximadamente 1 Km o perfiles muy uniformes.

$E_1$  = Elevación Superior.

$E_2$  = Elevación Inferior.

$L$  = longitud horizontal entre  $E_1$  y  $E_2$ .

**Criterio de Taylor - Schwartz.**

$$S = [ m / ( 1/\nu_1 + 1/\nu_2 + \dots + 1/\nu_n ) ]^2$$

m = Numero de tramos para tramos de longitud constante.

$$S = [ L / ( L_1/\nu_1 + L_2/\nu_2 + \dots + L_n/\nu_n ) ]^2$$

L = Longitud total para longitud de tramos diferente.

**Pendiente Compensada  $P_c = \Delta H / L$** 

Se toma como pivote el punto de menor altura

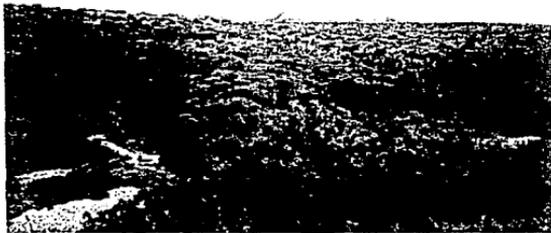
Se traza una línea recta que intersecte la corriente en un perfil hasta compensar las áreas por arriba y por debajo de la línea, la pendiente de esta recta será la pendiente de la corriente.

b) Sobreponer los mapas temáticos de descripción de suelos con el de uso de suelos para de esta forma poder definir las características de cada zona y evaluar el uso que se le está dando a la misma, de ser posible relacionar estos parámetros lo mejor posible para poder entender los problemas y carencias de las persona que dependen de esta actividad.

c) Sobreponer los mapas temáticos de curvas de nivel, descripción de los suelos y de escurrimientos superficiales, para poder definir de manera más exacta los coeficiente de drenaje, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y definir las zonas de erosión potencial

5.- Debido a que el área de la cuenca es de aproximadamente 1,150.20 Km<sup>2</sup>, esta es considerada como una cuenca grande, el análisis a través de imágenes de satélite fue una buena alternativa para su estudio inicial, pero es necesario de ser posible continuar con el estudio de los parámetros indicados con el mismo tipo de imágenes, trabajando en este caso en forma más particular, obteniendo imágenes de cada una de las subcuencas, con sus respectivos análisis, esto con la finalidad de tener los elementos suficientes para poder hablar en forma específica y en caso de ser necesario de tomar decisiones de una zona o de un problema en un lugar determinado.

## IV.H) ALBUN FOTOGRÁFICO.



FOTOGRAFÍA No. 1

VISTA DEL AREA DE LA CAÑADA PORCION DONDE SE LOCALIZARA LA OBRA DE RECARGA AL ACUIFERO DE QUERETARO UNO DE LOS ASPECTOS QUE SE DEBEN DE TOMAR EN CUENTA ES LA PRESENCIA DE NUMEROSOS BANCOS DE MATERIAL LOS QUE REALIZAN UNA INTENSA OPERACION, ESTAS OBRAS MODIFICAN CONSTANTEMENTE LA FORMA NATURAL EN QUE LOS ESCURRIMIENTOS LLEGAN A LA CORRIENTE PRINCIPAL



FOTOGRAFÍA No. 2

VISTA DEL RÍO QUERETARO, AGUAS ABAJO DE LA PORCION DONDE ESTARÁ LA CORTINA DE LA OBRA DE RECARGA PROPUESTA, AQUI SE PUEDE OBSERVAR LAS CONDICIONES MODIFICADAS POR LOS BANCOS DE MATERIAL EXPLOTADOS Y ABANDONADOS SIN LA REALIZACION DE NINGUNA ACCION DE RECUPERACION DE LA ZONA, INCREMENTANDOSE LAS CABECERAS DE EROSION



FOTOGRAFÍA No. 3

LUGAR DONDE SE TOMO LA MUESTRA DE AGUA, PARA OBTENER LA CANTIDAD DE SÓLIDOS QUE TRANSPORTA EL RÍO QUERÉTARO EN ESTA PARTE (LA CAÑADA). DE LOS RESULTADOS SE PUEDEN DECIR QUE LA CANTIDAD DE MATERIAL FINO EN SUSPENSIÓN ES BAJO, SIN EMBARGO LAS CONDICIONES DE PH RESULTARON ALTAS, LO QUE IMPLICA UN FACTOR DE CONTAMINACIÓN QUE SE DEBERA ESTUDIAR A DETALLE.



FOTOGRAFÍA No. 4

PARA UNA MEJOR LOCALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y ESTOS PODER SER CARTOGRAFIABLES, SE OBTUVIERON LAS REFERENCIAS CON UN LOCALIZADOR DE SATÉLITE (G.P.S.) APARATO QUE PESA APROXIMADAMENTE 4 kg INCLUYENDO EL TRIPIE Y LA ANTENA, PUEDE TRABAJAR CON TODAS LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS CON UN ERROR DE  $\pm 15$  METROS.



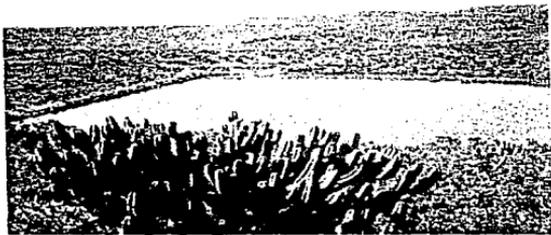
FOTOGRAFIA No. 5

FUERA DEL PUEBLO DE CHICHIMEQUILLAS SE LOCALIZAN PUNTOS PERTENECIENTES AL RIO DEL MISMO NOMBRE LOS CUALES SON UTILIZADOS COMO DEPOSITOS DE RESIDUOS SOLIDOS, LOS CUALES EN EPOCA DE ESTIAJE SON INCENDIADOS PROVOCANDO CON ESTO NO SOLO LA CONTAMINACION DE LOS MANTOS SINO TAMBIEN LA CONTAMINACION DEL AIRE, PROBLEMA QUE DEBE ATENDERSE EN FORMA RAPIDA.



FOTOGRAFIA No. 6

VISTA DE LA MARGEN DERECHA DEL RIO CHICHIMEQUILLAS, EN DONDE SE OBSERVA UN TIRADERO A CIELO ABIERTO EN LA ZONA DEL CAUCE DEL RIO, EN ESTE LUGAR NO SE OBSERVA NINGUN CONTROL AMBIENTAL, A PESAR DE SER UNA DE LAS FUENTES QUE CONTAMINAN INTENSAMENTE EL RIO.



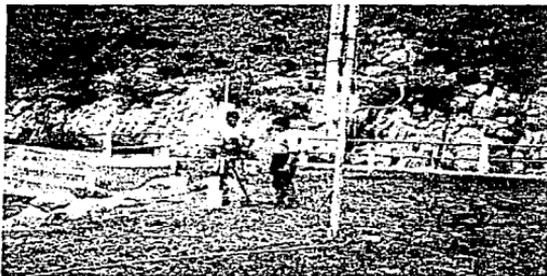
FOTOGRAFÍA No. 7

VISTA DE LA MESETAS BASÁLTICAS QUE DOMINAN LA REGIÓN DE ESTA PARTE DE LA CUENCA, FOTOGRAFIA TOMADA EN UNA DE LAS PARTES ALTAS AL LADO DE LA PRESA PIRULES



FOTOGRAFÍA No. 8

VISTA DEL VASO DE LA PRESA PIRULES, EN LA CUAL SE TIENE UNA PANORÁMICA DE LA VEGETACIÓN QUE LA CIRCUNDA.



FOTOGRAFIA No. 8  
 PUNTO DE ARRANQUE DEL ESTUDIO DE LA PRESA PIRULES, PARA EL QUE SE OBTUVIERON LAS SIGUIENTES  
 COORDENADAS UTM (PROYECCION UNIVERSAL MERCATOR) CON LA AYUDA DEL POSICIONADOR GEOGRAFICO

X = 371.370 m (E),  
 Y = 2.301.940 m (N)

Z = 2071 msnm

EL PUNTO SE LOCALIZA EN LA CORTINA DE LA PRESA, POR LO QUE LA CORTINA DE ESTA PODRA SER LOCALIZADA EN  
 LA CARTOGRAFIA, YA QUE HASTA EL MOMENTO NO APARECE EN NINGUNA REFERENCIA (INEGI, SDNA)



FOTOGRAFIA No. 10

VISTA DE LA OBRA QUE HASTA EL MOMENTO PROTEGE DE AZOLVE A LA PRESA PIRULES, A LA CUAL LE FUE  
 INCREMENTADA LA ELEVACION CON GAVIONES, LOS GUALES ESTÁN A PUNTO DE SER INSUFICIENTES, PARA  
 CONTENER EL AZOLVE



FOTOGRAFIA No. 11

SE OBSERVA EL LAJO OPUESTO DE LA OBRA DE PROTECCION DE LA FOTOGRAFIA 10 LA CUAL EVITA LA LLEGADA DE SEDIMENTOS HACIA EL BASO DE LA PRESA PIRULES



FOTOGRAFIA No. 12

ARROYO PRINCIPAL DE LA CUENCA QUE ALIMENTA A LA PRESA PIRULES, SOBRE EL CUAL SE RECOMIENDA HACER UNA OBRA DE PROTECCION DE AVENIDAS, QUE ALIVIE LA QUE SE ENCUENTRA CERCA DE LA PRESA



FOTOGRAFIA No. 13

APROXIMADAMENTE A 500 METROS DE LA OBRA DE PROTECCION EN LA PRESA PIRULES Y SOBRE EL CAUSE DEL RIO, SE ENCUENTRA UNA SECCION LA CUAL SE PROPONE PARA LA CONSTRUCCION DE LA NUEVA OBRA DE PROTECCION



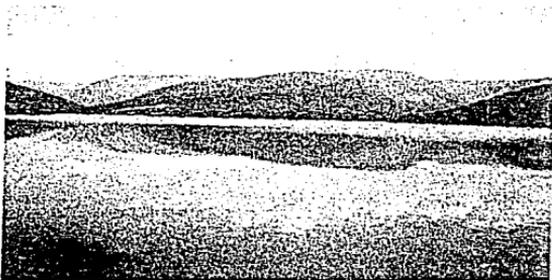
FOTOGRAFIA No. 14

ACERCAMIENTO DE LA SECCION PROPUESTA Y QUE APARECE EN LA FOTOGRAFIA ANTERIOR, ESTA FOTOGRAFIA FUE TOMADA DESDE LA PARTE MAS ALTA EN LA MARGEN DERECHA DEL RIO.



FOTOGRAFÍA No. 15

SE PUEDE OBSERVAR PARTE DEL VERTEDOR DE LA PRESA DEL CARMEN ASÍ COMO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS AL FONDO, ESTE ES UNO DE LOS PUNTOS DE LOS CUALES SE PARTIO PARA LOS TRABAJOS TOPOGRÁFICOS AGUAS ARRIBA DE LA PRESA



FOTOGRAFÍA No. 16

VISTA DEL VASO DE LA PRESA DEL CARMEN DESDE LA CORTINA DE LA MISMA, SE PUEDE OBSERVAR DOS DE LAS ENTRADAS DE RÍOS HACIA EL EMBALSE AL IGUAL DE LA COMPOSICIÓN DE UNA ZONA DE MESETAS BASÁLTICAS, TAMBIÉN DE LA VEGETACIÓN COMPUESTA POR MATORRALES SUBINERMES.



FOTOGRAFÍA No. 17

DESDE UNO DE LOS TRIBUTARIOS A LA PRESA DEL CARMEN FUE TOMADA ESTA FOTOGRAFÍA, EL CAMINO QUE SE OBSERVA ES EL QUE CONDUCE AL POBLADO DE LA LABORCILLA.



FOTOGRAFÍA No. 18

ASPECTOS DE LA GEOLÓGIA QUE RODEA A LA PRESA DEL CARMEN, EN ESTA SE OBSERVA UNA FRANJA MUY LARGA DE LLORADEROS (150 m). ESTOS SE PRESENTAN EN ROCAS DE TIPO BASALTO-ANDESÍTICAS, POR EL INTENSO FRACTURAMIENTO Y LAS CONDICIONES EN DONDE AFLORAN, SE INCREMENTA LA APORTACION DE MATERIALES HACIA LA PRESA.

## V.- TRABAJOS DE CAMPO.

### a) Recorridos de reconocimiento de tendencias de reflectancia.

Todos los recorridos se realizaron en camioneta aprovechando las vías de comunicación existentes, para la zona de estudio se observaron las características especiales de cada tipo de elemento de acuerdo con el tema.

En el aspecto de la Geología, se comprobaron las observaciones tomadas de los mapas geológicos editados por I.N.E.G.I., de los cuales se corroboró una concordancia de casi la totalidad del área de la cuenca, localizando unidades de baja respuesta al sensor por ser de poco contraste en pendiente y tonalidad, el cual corresponde a la porción de amplia llanura en el Valle de Chichimequillas, porción de La Griega - Galeras y en La Trinidad. Se identificaron zonas de gran pendiente en la porción norte de la cuenca, en el Cerro El Zamorano, elevación que corresponde a rocas extrusivas intermedias (Andesitas), contrario de lo que se reporta en la carta geológica del I.N.E.G.I., donde las reportan como rocas extrusivas ácidas (Riolitas), por otro lado, el contacto entre la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico Transmexicano y la Mesa del Centro es una falla normal evidenciada en la cuenca en la porción donde se encuentra el poblado de Chichimequillas, definiendo una dirección NW - SE hacia la población de Atongo.

La comparación de los materiales y su respuesta en color con respecto a la expresión topográfica ocasiona tres tendencias de sombras en la imagen, las cuales se denotan como áreas de altos reflejos, con tonalidad clara relacionada con las planicies y partes altas de las mesetas, en estos casos, en la superficie de la tierra, el punto de observación permite hacer la correlación con un efecto de conjunto de la superficie plana, zonas de muy bajo reflejo, conjunto de factores que ocultan demasiada información como son las cañadas que se desarrollan entre las mesetas o como resultado eventos lávicos, los cuales presentan canales de flujo bien definidos pero por su pendiente se encuentran generando sombras en la imagen de satélite. Para el tema de suelos, la respuesta de los elementos presentes en la superficie, dan como resultado contrastes muy marcados pudiendo, comparativamente, esperar dos tipos de respuesta en tonos claros, se observarán los suelos en condiciones de baja pendiente y pobre contenido de agua en tonos oscuros y se agruparán varias posibles interpretaciones, pendiente pronunciada con densa vegetación, el tipo de suelo posiblemente relacionado con suelos delgados; Pendiente pronunciada con sombra que se observó representada por suelos delgados controlados por la roca parental; zona plana con cultivos intensivos los cuales reflejan tonalidades muy oscuras que para la variable "Suelos" corresponde al tipo de suelo circundante. La vegetación natural no representa problema para la definición de contraste en la imagen de Satélite, ya que los patrones de reflejo son lo suficientemente contrastantes para una definición clara de las clases.

### b) Toma de datos físicos y químicos de las aguas que escurren por la cuenca.

Dentro de las actividades de campo, se realizó un muestreo para determinar algunas propiedades físicas y químicas de las aguas que fluyen por los arroyos que drenan la cuenca, para lo cual se empleó un medidor electrónico de pH, conductividad eléctrica del agua y temperatura, cuyos resultados se presentan a continuación:

**Muestra No. 1.** La toma de datos se realizó en el Río Querétaro en la porción denominada la Cañada, en la parte que corresponde al eje proyectado para la cortina de la obra de recarga (fotografía No. 3), la coloración del agua es café claro, el tirante de agua en el punto de muestreo fue de 25 cm, el volumen de sedimentos en suspensión no fue detectado por ser material muy fino que requiere de muy poca energía en la corriente para ser transportado, razón por la cual, el agua en el río siempre presenta coloración, aclarándose hasta después de 15 días de tomada la muestra. Los valores de pH proporcionados por el aparato, indican una tendencia al alcalis, reportando la lectura promedio un valor de 7.69, la conductividad eléctrica obtenida fue de 252 ms, el cual es un valor que indica la presencia de elementos en suspensión que facilitan la conducción de corriente eléctrica en el agua, la temperatura medida fue de 19.5°C, los valores reportados, describen a esta muestra como agua con posible contaminación, dado que sus valores difieren de la normal para el agua potable que presenta valores neutros en la escala de pH, esto es valor de 7.0, conductividad eléctrica de 100 a 150 ms. Además de los

valores anteriores, se tomaron valores de sólidos totales disueltos, con un medidor de tipo dk7 digital reportando 584 ppm. de sólidos disueltos, que también es un valor alto para una agua potable.

**Muestra No. 2.** Esta se tomo sobre el Río Chichimequillas, en el puente de la vía del ferrocarril que va a la estación del mismo nombre, a 1.5 Km. de la población mencionada, por el camino que conduce a la Presa del Carmen, ésta se tomó en este sitio por observarse un basurero a cielo abierto en la margen derecha del río (fotografías No. 5 y No. 6), la coloración del agua es verde claro, lechoso, los valores registrados por los aparatos, indican una cantidad de sólidos totales disueltos de 345  $\mu\text{m.}$ , un pH de 6.58, una conductividad eléctrica de 215 ms y una temperatura de 19°C.

**Muestra No. 3.** La muestra se tomó en el Arroyo Grande, que es la corriente principal que alimenta a la Presa el Carmen, en la que se registraron lecturas de pH = 7, la conductividad eléctrica es de 110 - 120 ms y la temperatura es de 19°C, los sólidos totales disueltos dieron valores de 190 - 201 ppm. Esta muestra, se puede considerar como de buena calidad, además, la coloración observada es tendiendo ligeramente al verde, siendo prácticamente incolora en condiciones de poca energía, con un tirante de agua de 20 cm.

### c) Trabajos topográficos.

Dentro de los alcances del estudio se incluye la realización de trabajos topográficos apoyados en la información recabada y en la interpretación de la imagen de satélite, los cuales serán la base para la ubicación de estudios mas especializados en la protección de la infraestructura hidráulica de la cuenca, así como para la prevención de desastres en las poblaciones que se ubican en las márgenes de los ríos.

Tomando como zonas prioritarias para la realización de levantamientos topográficos los ríos que alimentan las presas (El Carmen y Pirules), utilizando el método de poligona abierta con estadía, configurando los detalles por medio de radiaciones, el levantamiento comprende un desarrollo de 30 Km para la porción de la Presa El Carmen, comprendiendo las siguientes corrientes: Arroyo Grande y Arroyo Matanzas. En la Presa Pirules, el desarrollo es de 15 Km comprendiendo la corriente del Arroyo Agua Gorda, las dos opciones fueron tomadas en base a la importancia que encierra la conservación de las presas que, de acuerdo con los antecedentes, han reportado problemas como en el caso de la Presa de El Carmen que, por un evento torrencial presento fisuras, obligando a la reconstrucción y sobre elevación de la cortina y vertedor, en la cuenca vecina, se detectó una relación entre las áreas erosionadas de la parte alta de la cuenca con un gran aporte de sedimentos, mismos que ya azolvaron una antigua obra denominada Presa Vieja, la cual se encuentra azolvada casi en su totalidad, por lo que el estudio topográfico aporta una buena fuente de datos para la realización de proyectos de protección. La tercera zona que se seleccionó es sobre el Río Querétaro, con un desarrollo de 10 Km y que se considera de interés por ser en esta área donde se plantea la realización de la obra de infiltración al sistema acuífero del Valle de Querétaro, en donde se observó la presencia de zonas que afectan el régimen hidrológico superficial al ser cambiada la topografía existente por la explotación de bancos de materiales, mismos que, al ser operados, modifican los sistemas de drenajes naturales para esta cuenca.



## VI.- DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA OBSERVADA.

Mediante el análisis de la imagen de satélite, los recorridos de campo y los antecedentes recopilados, el diagnóstico sobre la zona indica que la problemática a resolver dentro de la misma es la contaminación del agua, una tarea fundamental para el éxito de la obra planteada es lograr erradicar en su mayor parte los focos de contaminación presentes a todo lo largo de la cuenca. Desglosando la problemática observada en cada una de las subcuencas es la siguiente: partiendo de la más alta llamada El Carmen, la fundamental problemática que se visualiza en esta, es la presencia de avenidas de gran intensidad, las cuales pocas veces logran ser controladas por la obra presente en esta zona (Presa El Carmen), incluso se recomendaría establecer obras de control de avenidas en una porción aguas arriba del poblado llamado La Laborcilla, esta obra de control de avenida, pretendera manejar de una manera más racional el agua almacenada en la presa.

En la subcuenca denominada Rayas se presenta esta misma situación, sin embargo, los índices de pendiente y el área de la cuenca son en cierta medida pequeños y aceptables, para esta zona que registra el transporte de volúmenes muy altos, se deberán localizar presas a base de gaviones que permitan la retención de aguas arriba de los materiales arrastrados por las corrientes, esto debe ir aunado a una campaña de reforestación en la parte alta y, como se menciona en el estudio de vegetación, debe hacerse con especies que realmente estén adaptadas a la zona.

Chichimequillas, en esta se observa la contaminación creciente y obligada por los asentamientos humanos que aprovechan esta zona, por ser en si una llanura extensa con facilidad para la perforación de pozos profundos, los moradores de esta subcuenca le han dado un interés secundario a la conservación del recurso hidráulico superficial localizando en las partes correspondientes al cauce, depósitos donde los moradores tiran su basura.

Subcuenca La Trinidad, al igual que la cuenca de Chichimequillas, se le ha dado un carácter secundario a la protección del medio ambiente, habiendo depósitos de aguas residuales principalmente provenientes de granjas y algunas rancherías. En esta cuenca también se obtiene agua de pozos profundos e, incluso, la obra reportada en la cartografía y que le da el nombre a esta cuenca, ya no tiene capacidad para retener agua, encontrándose totalmente lleno de materiales sedimentarios aluviales.

Subcuenca La Griega, característica de esta localidad no difiere de las dos anteriores, la mayor parte del agua que se obtiene en esta cuenca se deriva del bordo San Felipe, el cual, como se mencionó en el capítulo anterior, tiene una cantidad considerable de azolve, pasando a veces inadvertido incluso para el sensor del satélite, en dicha cuenca, se recomienda la elaboración de obras de protección y retención de sólidos disueltos en el agua, principalmente ubicados en las partes altas del tomeno que forma el parteaguas entre las cuencas de Chichimequillas y La Griega.

La cuenca de la Cd. de Querétaro no aprovecha el recurso superficial, dependen exclusivamente del suministro municipal de agua, por las condiciones geográficas que esta cuenca tiene, recibe principalmente los contaminantes disueltos en el agua y que viajan en solución desde las partes más altas, por lo tanto, para evitar una posible contaminación de acuífero con agua de mala calidad, es impenoso el que esta llegue tratada antes de permitir que se infiltre.

Por último, la subcuenca denominada Galera que recibe los escorrentamientos que se precipitan en los lomenos al sur de la zona de estudio, no presenta una red de drenaje natural, siendo esto ocasionado por la extensiva explotación agrícola la que por medio de canales y acequias desvía las aguas de sus cauces originales y la utilizan, principalmente, como medio de transporte para sus desechos de aguas residuales, en esta cuenca no es posible determinar un red de drenaje completa que actúe de forma natural, las pendientes de la zona han sido cambiadas por las metodologías de explotación agrícola, las cuales recorren a nivelaciones de los terrenos para controlar el suministro de agua en toda la superficie de las parcelas, por la gran extensión de terrenos explotables de tipo agrícola de esta subcuenca, se obtiene principalmente en recurso por el bombeo de pozos, habiendo largas baterías de pozos y, aparentemente, el agua que aporta esta subcuenca también está cargada con contaminantes provenientes de las zonas de cultivo y de los asentamientos humanos dentro de la misma (El Colorado.)

## VII.- PROPUESTAS AL ORDENAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA.

Como primer paso dentro de la política de ordenamiento, esta el poder cuantificar, precisa y constantemente los volúmenes de agua escurridos dentro de la misma, por lo que se sugiere la implantación de estaciones meteorológicas, principalmente entre las líneas de altura media entre el parteaguas y el nivel más bajo de la cuenca, esto es de fundamental importancia porque la problemática que reina dentro del Estado de Querétaro es el sistema tan deficiente de monitoreo meteorológico que no va acorde con el grado de desarrollo de la entidad, no es posible seguir tomando en cuenta como válidos datos erróneos, inexacros y carentes de representatividad estadística para un estudio de cuantificación, es responsabilidad de los moradores de la cuenca el realizar las tareas de observación y medición de parámetros con fines de cuantificación y para determinar medidas correctivas en el caso de las variaciones observadas en los monitoreos que así lo requieran.

Se sugiere como una opción para la realización de este tipo de monitoreo, el encomendármelos a las escuelas de educación básica primaria y educación media básica (telesecundarias) el interesar a los alumnos en la toma de estos datos en base a la integración de clubes de observación meteorológicas que dentro, de las escuelas, funcionaria como un proyecto de educación ambiental y para el Estado representaría el obtener datos útiles para la planeación y el control de los recursos naturales.

Así mismo, se requiere de la medición de gastos de entrada y salida de agua superficial en las corrientes principales de todas las subcuencas que integran el área de estudio, este tipo de datos son fundamentales para, que al momento de realizar un balance, se cuente con una respuesta correcta y se pueda cuantificar la utilidad de una obra determinada.

Para el ordenamiento en sí, se sugiere la búsqueda de mejores opciones para la disposición de los residuos sólidos de las poblaciones que se encuentran dentro cuenca y que son un factor que reporta alta contaminación e impide dar uso al recurso hidráulico, desperdiciando una valiosa extensión de terreno que captaría recursos suficientes para soportar la calidad de vida de las comunidades ahí asentadas sin tener que agotar en un grado máximo los recursos hidráulicos subterráneos, los que representan exclusivamente menos del 2% de toda el agua dulce disponible a nivel planetario, lo que implica que, si el hombre depende de un fluido tan vital como el agua, se desperdicia arribá del 40% de este en forma de canales de desagüe y zonas de desechos y pretendemos sobrevivir con una fuente agotable bastante inferior a la demanda total, por lo tanto, una de las principales ideas es la de saneamiento del recurso hidráulico superficial con fines de conservación de la calidad de vida de los habitantes, ya no solo de la región en estudio sino del planeta mismo.

Cuando se habla de compromiso social en la conservación de los recursos hidráulicos, esto implica la ponderación de factores costo - beneficio en la obtención de recursos hidráulicos, sin embargo, no podemos escatimar la aplicación de cambios en uso y sanción en el caso de abuso cuando hablamos de un recurso tan valioso, por lo que las reuniones de concertación estatal deberán de considerar, en un futuro cercano, el dejar de depender exclusivamente del agua subterránea como fuente de agua de buena calidad para el consumo humano y emplear importantes cantidades de recursos en la habilitación de plantas de tratamiento de aguas residuales, de sistemas de drenaje que operen correctamente y de la integración de un control estricto, no solo para la calidad sino para la cantidad, un factor preocupante, se observó al realizar un muestreo en el agua que corre por el Río Querétaro, en el que se detectó que no es solo la cantidad de sólidos sino también el alto pH reportado para aguas naturales, dicho dato, se obtuvo con un pH METRO electrónico que registró un pH de 7.58, el cual para un agua superficial es elevado, descartándose que, a su paso este pudiera contar rocas cuyos componentes aportaran un cambio importante en la alcalinidad, se presupone que ésta variación de un agua que debería de estar en 7 o 7.1 llegue hasta 7.58 y que además reporte conductividad eléctrica anormal, lo que implica la presencia de desechos posiblemente fosfáticos provenientes de fertilizantes utilizados aguas arriba.

Esto invita a la Comisión Coordinadora de Manejo de Aguas Estatal a tomar las medidas pertinentes en la prevención de la contaminación del agua que se supone recargará las fuentes de agua potable para la ciudad de Querétaro.

Finalmente una de las propuestas más importantes que se pueden hacer, es tomar en cuenta la metodología propuesta, para continuar con los trabajos de ordenamiento de la cuenca para poder tener una descripción temática lo mas completa que sea posible, para que de esta forma estos trabajos puedan servir en un futuro para poder tomar decisiones importantes en lo que se refiere a materia ambiental en cada una de las subcuencas.

Es importante no perder de vista que estos son estudios de carácter dinámico, con esto se trata de manifestar el proceso de cambios que ocurren en la zona día a día y que no solo son condicionados a fenómenos naturales sino que al formar parte del entorno, comunidades rurales y urbanas el problema se vuelve más complejo, introduciendo nuevas variables que generan cambios como son la cultura, educación y necesidades de sus pobladores.

## VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### VIII. A ) CONCLUSIONES.

1.- La cuenca del Río Querétaro en estudio, es de por sí una zona que reviste mucha importancia a nivel estatal, así como dentro de la Región Hidrológica No. 12 por ser de las cuencas que están en la parte límite de la región, compartiendo el parteaguas con la Región Hidrológica No 26 (Río Pánuco), por este motivo, puede decirse que esta cuenca puede aportar agua sin contaminación si se realiza el saneamiento adecuado.

2.- Las condiciones geográficas, geológicas, estructurales y de tipo edafológico, controlan grandemente el movimiento de los materiales en los distintos niveles de esta cuenca e integran un sistema de subcuencas cuyo comportamiento es variable y a las que se deberá de dar el tratamiento como unidades individuales.

3.- El régimen hidrológico observado dentro de la cuenca, permite suponer que al menos hasta la región de las presas, la cuenca tiene suficiente potencial para soportar los almacenamientos previstos e incluso en el presente año, que fue reportado como seco, permitió que las obras del Carmen y Pirules derramaran excedencias y encontrándose en este momento, en su nivel de rasante con la cresta del vertedor y, por lo tanto, implica que deberán de contar con obras para la protección de avenidas.

4.- La principal contaminación de la zona, como se menciona en el capítulo anterior, es la disposición de las aguas residuales.

5.- Al carecer de elementos que permitan una evaluación cuantitativa de la cuenca, se llegó a la conclusión de realizar el estudio de manera descriptiva, definiendo el funcionamiento de las unidades y el comportamiento de las mismas en base a la representación de la imagen de satélite.

6.- Tomando como elemento de planeación la imagen de satélite, las cartas editadas por el I.N.E.G.I. y las visitas a la zona de estudio, se determinó la realización del levantamientos topográficos (ver trabajos de campo) en las siguientes zonas:

A).- En la zona de la Cañada llegando hasta el parteaguas de la cuenca que va a almacenar agua para la recarga, en esta, se localizó que cuando la obra esté funcionando, recibirá aportes importantes de materiales provenientes de la cuenca de La Griega, así como de la actividad de explotación mineral (bancos de grava y cantera Fotografías No. 1, No. 2 y No. 3), situación que esta cambiando las condiciones de pendiente en la zona sin que se tomen las medidas de corrección necesarias para la protección de la obra.

B).- En el arroyo principal que suministra agua a la Presa de Pirules, en un recorrido de casi 7 Km sobre el cauce y de un arroyo tributario en un recorrido de aproximadamente 3 Km., se observó la existencia de algunos sitios en los cuales podrán localizarse obras para el control de avenidas (Fotografías No.11, No. 13 y No. 14).

C).- Se realizaron recorridos sobre el arroyo principal que aporta agua a la Presa el Carmen, desde esta hasta 4 Km. adelante de la población de la Laborcilla y en los arroyos tributarios La Matanza y Carpio con un recorrido total de 40 Km. aproximadamente, de este levantamiento se obtuvo la información necesaria para la realización de levantamientos a mayor detalle que permitan la ubicación de obras de control de avenidas necesarias en esta cuenca.

7.- Del análisis de la vegetación y suelos de toda la cuenca y por la evaluación hidrológica de campo, se concluye que las acciones de reforestación incipientes dentro de la zona del Cerro El Zamorano, se han utilizado especies que no están adaptadas a las condiciones de la zona y, por lo tanto, son una medida exclusivamente de mejora en el paisaje pero que no aportan ningún beneficio para el control de la erosión y así mismo, al observar la imagen de satélite, se ubican con tonalidades claras donde el suelo

se encuentra erosionado, haciéndose recomendable la reforestación en estas zonas que incluso, en ciertas partes, se tendrá que empezar lentamente desde la implantación de vegetación primaria.

#### VIII. B ) RECOMENDACIONES.

A.- Se necesita la instalación de estaciones meteorológicas y control de avenidas en el Río Querétaro en la subcuenca de La Griega.

B.- Se requiere de acciones encaminadas a disminuir los problemas de erosión en la zona de la Cañada provocados por la explotación de materiales, ya que constituyen un incremento importante de material de azolve hacia el río Querétaro, además de un estudio detallado del agua del río en esta zona, ya que es un punto importante en lo que se refiere a la entrada del agua hacia el acuífero que alimenta la ciudad.

C.- Se recomienda también, el retiro de los basureros y rellenos sanitarios de las márgenes del Río Querétaro, principalmente en lugares cercanos al poblado de chichimequillas, así como el estudio complementario para determinar el grado de contaminación en mismo (Fotografía No 5 y No. 6).

D.- En forma conjunta con la recomendación anterior se necesita investigar el origen de los desechos mencionados para de esta forma buscar una alternativa en lo que se refiere a la disposición final de los desechos sólidos de la región, ya que de no atenderse esta situación, la problemática puede seguir aumentando de tal manera que en un futuro sea uno de los principales factores de cambio dentro de la cuenca.

E.- En la presa pirules se recomienda la reconstrucción de la estación meteorológica destruida sobre la cortina de la misma, así como de la capacitación de personal de la zona para operarla y al mismo tiempo darle mantenimiento.

F.- Se recomienda la realización de estudios socioeconómicos para prever condiciones de cambio de uso del suelo y convencer a los moradores de la cuenca, de la conservación y necesidades adicionales (tareas de medición de parámetros meteorológicos), de ser posible instruir a los habitantes de la cuenca en cuanto a los cultivos que pueden darle un mejor rendimiento en función del tipo de suelo de la zona.

G.- Se recomienda continuar con la evaluación topográfica de las Presas El Carmen y Pirules, para proveerlos de la infraestructura necesaria para su conservación, (Obras de protección de avenidas y de sedimentos).

H.- En la imagen de satélite, la cual es de alcance de gran visión, se observaron las presas de La Soledad y Colón, ambas presas reportan un estado de deterioro muy alto, incluso la presa de Soledad reporta casi la totalidad de su superficie con vegetación de tipo acuático, lo que implica el grado de azolve de ésta, poniendo en peligro de dejar de ser funcional, por este motivo se recomienda a la Comisión Estatal de Aguas tome cartas en el asunto para proteger dicha estructura.

I.- Por el alcance económico del contrato que da origen a este estudio, deja pendientes de realizar las fases restantes de la metodología propuesta, por lo cual se propone la continuación de dicho estudio para tener todos los elementos que permitan pronosticar el desarrollo de la región en base a sus recursos hidráulicos superficiales, tomando como base lo propuesto en el capítulo IV.G, el que corresponde a los modelos conceptuales de funcionamiento y unidades de control de variables.

**IX.- BIBLIOGRAFÍA.**

PIMADI - I.P.N., 1993 CURSO DE CAPACITACIÓN EN MATERIA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO, MÉXICO D.F.

I.N.E. 1990 INFORME DE LA SITUACIÓN GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE, MÉXICO.

FITZPATRICK E. A. 1984 SUELOS SU FORMACIÓN, CLASIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN., C.E.C.S.A. 4a IMPRESION 1992, MÉXICO.

WANIELISTA M.- 1990 HYDROLOGY AND WATER QUANTITY CONTROL. ED. WILEY, U.S.A.

SCHWA, FREVERT, 1990 INGENIERÍA DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS., ED. LIMUSA, ESPAÑA.

C.F.E. 1981 MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES, HIDROTECNIA, MÉXICO

GARCÍA E. 1988 MODIFICACIONES AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN, MÉXICO.

C.R.M. 1992, MONOGRAFÍA GEOLÓGICO - MINERA DEL ESTADO DE QUERÉTARO, S.E.M.I.P., MÉXICO.

I.N.E.G.I. - I.B.M., 1992, SISTEMA PERSONAL INTERACTIVO EN PERCEPCIÓN REMOTA, VER. 2.0, MÉXICO.

I.N.E.G.I., 1986, SÍNTESIS GEOGRÁFICA DEL ESTADOS DE QUERÉTARO., MÉXICO.

JORGE LIRA. 1987 LA PERCEPCIÓN REMOTA : NUESTROS OJOS DESDE EL ESPACIO MÉXICO.

I.N.E.G.I. 1994 ANUARIO ESTADÍSTICO DEL ESTADO DEL ESTADO DE QUERÉTARO DE ARTEAGA, MÉXICO