



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

IDENTIFICAR SITIOS ADECUADOS PARA LA INSTALACION Y CONSTRUCCION DE UN RADIO TELESCOPIO MILIMETRICO EN LA REPUBLICA MEXICANA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADA EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A N
NOEMI LUNA GONZALEZ
LUZ MARIA SALMERON MARTINEZ

2010



ASESOR: DR. JOSE LUIS PALACIO PRIETO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



MEXICO, D.F.



SEPTIEMBRE DE 2001

SRIA ACADEMICA DE
SERVICIOS ESCOLARES
Seccion de Asesores
Proteccionales



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.

A mis padres

Gracias

A mis hermanas y hermanos

*A Abigail y
a Víctor Pineda*

*A mis amigas y amigos del
Colegio de Geografía*

de Noemí Luna González

*Agradezco a Dios por haberme permitido
llegar a otra meta,
así como a mis padres quienes me enseñaron
que con la constancia y perseverancia se logran
alcanzar las metas propuestas, en especial
a mi padre Clemente, gracias por tu ejemplo*

*A mis hermanas Ma. Elena y Patricia
por su amor, comprensión y apoyo
en los momentos difíciles.*

*A Héctor Ortega, amigo y esposo,
a Berenice Alejandra mi adoración,
quienes con su cariño me han
mostrado infatigable paciencia,
apoyo moral y comprensión para la
finalización de este trabajo.*

*A mis sobrinos, con la esperanza de
que el presente les sea un estímulo para
su superación personal y profesional*

*A mis familiares y amigos con
aprecio y estimación
en especial para Noemí*

de Luz María Salmerón Martínez

*Al Dr. José Luis Palacio Prieto por dirigir
la presente investigación, y por mostrar una
gran paciencia en el desarrollo de la misma
va nuestra gratitud y reconocimiento.*

*A los sinodales : Dr Juan Carlos Gómez
Lic Macario Arredondo Romero, Fís. Adán
Zepeda Goroztiza y Mtro. Roberto Juárez
Carrejo, nuestro agradecimiento por sus
comentarios, los cuales permitieron
enriquecer el presente trabajo.*

*Con nuestro más profundo reconocimiento
al Fís. Jorge Ruiz Barra por dirigirnos y
asesorarnos durante el desarrollo del
presente estudio va nuestra gratitud y afecto*

*Por su interés, sus observaciones y
su valiosa ayuda va nuestro agradecimiento
al Mtro. José Luis García Martínez.*

*Al Dr. Gianfranco Bissiachi y
Al Dr. Alfonso Serrano Pérez-Grovas
por su apoyo incondicional
durante el tiempo en que se elaboró
la presente investigación va nuestro
agradecimiento.*

*A nuestros amigos y compañeros del
Ex-PUIDE: Ing. Gilberto Chavarría Ortiz,
Porfirio Gaona González, Jorge Alejandro
Hernández Alcántara, Hector Ortega Recillas,
Ing. Víctor Pineda Velazquéz y
Julio Sánchez, quienes
nos brindaron su ayuda y apoyo,
dándonos siempre animó para no desistir,
nuestro más sincero agradecimiento*

*A la Arq. Ma. Sagrario López Lucio. y
a Pablo Pérez Mireles, por su ayuda
desinteresada y provechosa,
muchísimas gracias*

ÍNDICE:

Introducción	1
Capítulo 1. Marco Histórico	5
1.1 Antecedentes astronómicos	5
1.2 Ubicación de los Observatorios Astronómicos	8
1.3 Observatorios Astronómicos en México	10
Capítulo 2 Determinación y descripción de los criterios empleados	13
2.1 División y jerarquización de los criterios	13
2.2 Descripción de los criterios	16
2.2.1 Variables de importancia astronómica	16
2.2.2 Variables de ubicación geográfica	21
Capítulo 3 Metodología	33
3.1 Interpolación de variables meteorológicas	33
3.2 Altitud sobre el nivel del mar	34
3.3 Análisis regional de variables meteorológicas	35
3.3.1 Calificación por latitud	37
3.3.2 Calificación por número de días despejados	38
3.3.3 Calificación por número de días nublados	38
3.3.4 Calificación con base al número de días con insolación	38
3.4 Análisis sísmico del territorio nacional	39
3.5 Procesamiento de imágenes de satélite visible e infrarroja	40
3.6 Análisis poblacional y su desarrollo regional	45
3.7 Reducción de datos del termohidrógrafo	45
3.8 Reducción de datos radiométricos	47
3.9 Visitas de campo	49

Capítulo 4. Resultados	50
4.1 Interpolaciones de la Atmósfera	50
4.2 Eliminación de lugares por medio del examen de mapas topográficos	51
4.3 Análisis regional de variables meteorológicas	51
4.3.1 Calificación por latitud	51
4.3.2 Calificación por número de días despejados	52
4.3.3 Calificación por número de días nublados	52
4.3.4 Calificación con base al número de días con insolación	53
4.4 Análisis sísmico del territorio nacional	55
4.5 Procesamiento de las imágenes de satélite visible e infrarroja	56
4.6 Con base en un análisis poblacional y de desarrollo regional	60
4.7 Reducción de datos del termohidrógrafo	78
4.8 Reducción de datos radiométricos	85
4.9 Visitas de campo	91
4.9.1 Estudio geológico de los sitios visitados	92
Conclusiones	95
Apéndice	104
Bibliografía	129

INTRODUCCIÓN

La ubicación y construcción en la República Mexicana del Gran Telescopio Milimétrico (GTM) está a cargo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE) de Tonanzintla, Puebla, el Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE), Baja California, así como la Universidad de Massachusetts en Amherst (UMass), USA. Este aparato radioastronómico de 50 metros de diámetro y que es el instrumento más sensible de su tipo en el mundo, dará servicio a los astrónomos de México y Estados Unidos.

La construcción del GTM con su área colectora sin paralelo y sus avanzados receptores panorámicos de ondas milimétricas, permitirá llevar a cabo programas científicos fundamentales como:

- "Investigar, con detalle sin precedente, la química y la física de los cuerpos primitivos del sistema solar, cometas y ciertos asteroides. Ésto nos permitirá estudiar el origen y evolución de nuestro sistema planetario
- Buscar evidencia acerca de sistemas solares en formación, o ya formados en otras regiones de nuestra galaxia, así como establecer restricciones en cuanto a las escalas de tiempo para la formación de planetas alrededor de estrellas de diferentes masas.
- Probar las condiciones físico-químicas dentro de los sitios del nacimiento de estrellas -nubes moleculares densas- para determinar los eslabones genéticos

entre las condiciones iniciales de la nube y las clases de estrellas y sistemas estelares que están naciendo.

- Estudiar la nucleosíntesis, la estructura galáctica y la cinética en toda la extensión de la Vía Láctea por medio de observaciones de las estrellas evolucionadas
- Descubrir los cambios químicos que llevan a la creación de moléculas complejas, en regiones densas de formación estelar.
- Entender tanto los procesos fundamentales galácticos globales, como el fenómeno violento que resulta en la rápida y caótica formación estelar en la interacción de dos galaxias;
- Detectar radiación proveniente de cuasares y eventos explosivos en la época del nacimiento de las galaxias, cuando irrumpen a la existencia las primeras estrellas en el universo" (Documento interno de la Comisión Binacional para la Construcción del Radiotelescopio, 1991)

Puesto que el GTM será un instrumento de investigación de talla mundial, y por así haberse convenido entre las instituciones mexicanas y norteamericanas que participan en el proyecto y colegas de la comunidad científica internacional, éste será instalado en algún sitio de la República Mexicana que reúna las características geográficas y meteorológicas óptimas para su operación.

En virtud de que este instrumento operará en longitudes de onda de milímetros, en donde la transmisión atmosférica está dominada por la absorción producida por el agua, se requiere de un sitio con bajo contenido de vapor de agua precipitable entre el instrumento y el espacio exterior para poder lograr observaciones de muy alta sensibilidad, por lo que se busca un sitio con menos de 3 mm de agua precipitable a lo largo de la mayor parte del año. Dada la distribución de la humedad en la atmósfera la posibilidad de tener este nivel tan bajo de agua se favorece

seleccionando un sitio con una altura sobre el nivel del mar por arriba de los 2 800 metros. Adicionalmente al criterio de altitud mencionado anteriormente, otras condiciones deseables son: una latitud lo más al sur posible dentro del territorio nacional, para cubrir una mayor cantidad de cielo; un sitio de baja sismicidad, una superficie lo más plana posible en la cima; servicios básicos, lo mejor comunicado y accesible.

Los criterios anteriores no sólo harán óptimo la operación del instrumento una vez cumplidos, sino que facilitarán y reducirán la inversión necesaria para su construcción y operación. En este sentido, para la correcta aplicación de estos criterios se requiere de la participación de especialistas de varias ciencias como son: la Geografía, la Climatología, la Geología y la Astronomía, así como de la Ingeniería especialista en instrumentación electrónica, para que faciliten la operación de los radiómetros y determinar las columnas de vapor de agua en sitios determinados.

El tema central del que habrá de ocupar el presente trabajo de tesis es: «identificar sitios adecuados para la instalación y construcción de un Radio Telescopio Milimétrico en la República Mexicana», para ello se dividió el estudio en cinco capítulos, que a continuación se recapitularán.

El capítulo 1 presenta una breve reseña sobre algunos antecedentes que determinaron el origen y evolución de la ciencia astronómica, así como el descubrimiento de una nueva técnica capaz de observar el cielo en longitudes de onda electromagnética llamada radioastronomía y por último aspectos importantes que marcaron el desarrollo de esta ciencia en nuestro país.

En el capítulo 2 se describe la división y jerarquización de los criterios utilizados para la evaluación de los diversos sitios analizados, a partir de las principales variables astronómicas, geográficas y climatológicas, en donde se destaca la importancia de uno de los principales criterios ha analizar: "la cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera"

El capítulo 3 define la metodología utilizada para la elaboración del análisis espacial, bajo el método analítico sintético, en el sentido de que se abarcarán distintos procedimientos, desde la investigación documental, visita de campo, procesamiento de imágenes de satélite, la operación de instrumentos con registros atmosféricos y finalmente el análisis estadístico, los cuales una vez integrados, nos permitirán obtener resultados que determinen uno o los mejores sitios para la ubicación de un radiotelescopio milimétrico, en el territorio nacional.

El capítulo 4 se integra por la interpretación de los diferentes métodos utilizados, donde, la suma de factores nos permitió finalmente elegir uno o más sitios para la «identificación de sitios adecuados para la instalación y construcción de un Radio Telescopio Milimétrico en la República Mexicana».

Así pues, se concluye con tres propuestas posibles. el Cerro Grande en Real de Catorce, estado de San Luis Potosí; el sitio de San Pedro Mártir en el interior de Parque Nacional del mismo nombre, en el estado de Baja California; y el Cerro la Negra que forma parte de la Sierra Negra localizada entre los límites de los estados de Puebla y Veracruz, siendo este último, el sitio elegido para la instalación del GTM. Estos resultados se presentan como las conclusiones finales del presente trabajo

CAPÍTULO 1. MARCO HISTÓRICO

1.1 Antecedentes Astronómicos

En la antigüedad, antes que existieran los telescopios, al firmamento sólo se le podía ver a simple vista; esta contemplación del cielo fue objeto de culto de la mayoría de las civilizaciones primitivas (babilonios, caldeos, egipcios, chinos, árabes, mayas, etc.), quienes con el transcurrir del tiempo desarrollaron diversas aplicaciones a partir de dichas observaciones, tales como la medición y división del tiempo a partir del día y la noche, las estaciones del año y su duración; también se utilizó para orientarse, ya que la salida y la puesta del Sol señalaban el este y el oeste respectivamente. Otro uso importante, fue la elaboración de los calendarios, la cual se inició con la comparación de las fases lunares y el movimiento del Sol; además se trató de adaptar sus actividades agrícolas o pastoriles de acuerdo a la duración de las estaciones del año

“Los hombres de la época paleolítica que seguramente intentaron determinar la duración de las estaciones, el periodo de las lunaciones y trazaron las formas de las constelaciones y el movimiento de los planetas entre las estrellas, fueron los que dieron los primeros pasos en la ciencia que más tarde se iba a denominar astronomía ” (Abetti, p.22)

A la Astronomía se le ha dividido en tres grandes periodos: “antigua, medieval y moderna” (Abetti, p 13). La astronomía antigua podemos ubicarla en el periodo denominado antes de Cristo, cuando se confundía a la ciencia astronómica con la astrología. A principios de nuestra Era, con la escuela griega, presidida por Tales, Anaximandro, Pitágoras, Platón y Aristóteles, termina éste primer periodo

La astronomía medieval está comprendida entre los años 500 al 1500 d. C , periodo en el cual el Oscurantismo obstaculizó el progreso de las Ciencias hasta el Renacimiento.

Así pues, comenzó en el siglo XVII una nueva era en el reconocimiento del firmamento, pues ya no sólo se limitaron a observar los astros, sino también a su identificación, el cálculo y el registro de éstos. Con este avance en el estudio del universo, se instituyó la disciplina encargada de la investigación del cosmos denominada Astronomía, iniciando un amplio desarrollo a partir del siglo XVII con la invención de instrumentos ópticos como el telescopio refractor diseñado por el astrónomo italiano Galileo Galilei, desarrollo que continua hasta nuestros días gracias a el invento de nuevos instrumentos que permiten observar el firmamento de nuevas maneras.

El inicio de la era moderna fue en gran parte debido a los precursores de la Astronomía, tales como: Tycho Brahe, Hans Lippershey, Johannes Kepler, Galileo Galilei, Issac Newton, etc. Los sucesivos avances de la ciencia y la tecnología dieron al hombre una visión más completa de el universo. Para ello la Astronomía se ha vinculado con otras ciencias como la Física y las Matemáticas, creándose nuevas disciplinas o ramas como la Astrofísica, que amplían el conocimiento del hombre acerca del cosmos.

Y continuando la evolución científica, en el siglo XX, en la década de los años 30, nace una nueva técnica capaz de observar el cielo en longitudes de onda electromagnética diferentes de la luz visible, siendo el ingeniero estadounidense Karl Guthe Jansky (1931) quien detectó las primeras ondas de radio procedentes del núcleo de la Vía Láctea, con ayuda de una antena que construyó él mismo.

Esta nueva técnica dio origen a la así llamada Radioastronomía, la cual capta del espacio exterior, por medio de radioreceptores de alta sensibilidad, las ondas electromagnéticas emitidas por astros en frecuencia de radio, es decir, las ondas que tienen una longitud comprendida entre algunos milímetros y unos 20 metros en las

que la atmósfera terrestre es transparente y que proporcionan información acerca de regiones y objetos en longitudes de onda invisibles a nuestros ojos.

Estas investigaciones requieren de radiotelescopios cada vez más avanzados con el propósito de detectar las señales emitidas por objetos celestes en el rango de las radiofrecuencias y así obtener más información que nos permita conocer más sobre el origen, la dinámica y la evolución del universo.

La Radioastronomía tuvo un desarrollo considerable a partir de los años 50, cuando se construyó, en Inglaterra, el primer Gran Radiotelescopio en 1957, con una antena de 82 metros de diámetro que captaba radiación electromagnética en longitudes de onda de radio.

Posteriormente se construyeron otros radiotelescopios que operan en longitudes de onda milimétricas y que han permitido ampliar las regiones del espectro electromagnético en el cual el hombre observa el universo y, por ende, ha comprendido fenómenos físicos que no son detectables en otras longitudes de onda

Estas nuevas técnicas han contribuido con nuevos descubrimientos para ensanchar el campo de estudio de la astronomía. En la actualidad, ya se cuenta con diversos instrumentos en todos los continentes. Algunos de los más importantes, son:

- El telescopio milimétrico del Five College Radio Astronomy Observatory (FCRAO) de la Universidad de Massachusetts, E. U. A., el más grande de su tipo en operación, con 14 metros de diámetro, encerrado en un radome y construido en 1979
- En 1982 se termina de construir el telescopio milimétrico del Radio Observatorio de Nobeyama, Japón, de 45 metros de diámetro y operable a longitudes de onda de 3 mm, para observaciones en la ventana atmosférica de 115 GHz

- En 1983 termina la instalación del radiotelescopio del National Radio Astronomy Observatory (NRAO), en Kitt Peak, Arizona, E .U. A., de 12 metros de diámetro y con una cobertura en frecuencias cercana a 345 Ghz.
- En 1985 comenzó a operar en el Institute for Radio Astronomy in the Millimeter (IRAM), el radiotelescopio más grande del mundo, ubicado en Pico de Veleta, Sierra Nevada, Granada, España. Este instrumento es un reflector con una antena de 30 metros de diámetro operando en longitudes de onda de 1 mm, lo que equivale a frecuencias cercanas a los 300 GHz.
- En 1989 en el Observatorio de Haystack, Westford, Massachusetts, E U., concluye la construcción de un radiotelescopio con una antena de 37 metros de diámetro, encerrada en un radome y cuya frecuencia de operación es cercana a 115 GHz, o sea, observaciones en el rango de longitudes de onda de 2.6 mm a 1.3 mm
- En 1993 finalizó la construcción del principal instrumento radiotelescópico del Observatorio de Arecibo, Puerto Rico, cuya antena tiene un diámetro de apertura de 305 metros, observando en frecuencias alrededor de 2.5 GHz

1.2 Ubicación de los Observatorios Astronómicos:

A partir de la era moderna, la Ciencia toma un gran impulsó, al igual que el desarrollo de la tecnología, siendo mayor este progreso con el avance del tiempo a partir del siglo XVII hasta nuestros días.

Para la Astronomía este auge se refleja en los observatorios astronómicos que cuentan cada vez con más innovadores instrumentos, ubicados en lugares estratégicos para la obtención de datos de la mejor calidad y con la máxima sensibilidad y la menor interferencia posible de la atmósfera y las actividades humanas.

Tras el invento del telescopio y el desarrollo de la tecnología, los observatorios se trasladan de las ciudades, donde los científicos vivían y desarrollaban sus investigaciones, a lugares más adecuados para las observaciones celestes. Esta búsqueda de lugares se hace más crítica para los observatorios ópticos a medida que la electrificación urbana interfiere con su luz a la que proviene de las estrellas. Este desarrollo urbano coincide con el desarrollo de la fotografía, que empezaba a emplearse en la Astronomía, así como el uso de la espectroscopía en el estudio de la física estelar. Todo lo cual hizo más crítica la ubicación de observatorios astronómicos. Por consiguiente, se consideraron a las grandes ciudades con sus múltiples luces y con el aumento en la contaminación ambiental, como poco favorables para el desarrollo de dicha labor científica, ya que éstos fenómenos obstruían las observaciones del firmamento.

Por otra parte, la atmósfera misma también interfiere con las ondas electromagnéticas, y dado que ésta tiene una densidad decreciente con la altura, es evidente que los lugares altos son mejores para observar el cielo que aquellos situados al nivel del mar. Ultimamente, la tecnología ha permitido colocar telescopios fuera de la atmósfera en órbitas alrededor de la tierra. Pero no para todos los tipos de telescopios puede ser económicamente viable su colocación en órbita, por lo que la localización de lugares adecuados para instalarlos sigue siendo una tarea de primordial importancia.

Los fenómenos físicos que ocurren entre los diferentes componentes de la atmósfera y la radiación electromagnética depende, en gran medida, de la longitud de onda de esta última, ya que no todas las frecuencias son interferidas de la misma manera. A su vez, cada componente de la atmósfera, tal como oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y agua, interfieren en distinta magnitud a las diversas longitudes de onda.

El vapor de agua es uno de los elementos de la atmósfera que se concentran en las capas bajas de la misma (troposfera), y aún en ellas la distribución es tal que en los 2 500 primeros metros se concentra el 50 por ciento del contenido total de la

atmósfera. De esta forma, cualquier sitio aislado de mayor altitud logra reducir la interferencia de este compuesto en al menos 50 por ciento.

Se consideró la altitud para situar a los observatorios, pues se concluyó que el vapor de agua existente en nuestra atmósfera absorbe las radiaciones que emiten los objetos del espacio exterior, y que éste se acumula mayormente en la parte inferior de la atmósfera, por lo cual, entre mayor sea la altura donde nos ubiquemos, menor será la cantidad de vapor de agua entre el telescopio y el cuerpo a observar.

Otro factor importante es el clima, pues de éste depende la visibilidad que pueda existir entre el observatorio y la capa atmosférica, por lo que ya se han hecho estudios climáticos en varias partes del mundo donde se ha comprobado que los sitios con mejores condiciones meteorológicas se encuentran en las zonas de los subtrópicos, donde se pueden aprovechar mayor número de días despejados y, por lo tanto, mayor captación del espacio exterior.

De igual manera, otro parámetro importante es la cobertura angular de la bóveda celeste. Esta está en función de la latitud donde nos ubiquemos, siendo el ecuador terrestre el punto geográfico desde donde se obtiene una mayor perspectiva de la bóveda celeste, ya que cubre tanto hacia el hemisferio norte como al hemisferio sur. Por lo tanto, se afirma que es un lugar óptimo para la colocación de un observatorio astronómico, ya que su latitud es 0° .

Por otra parte, en la actualidad, el costo de las inversiones para los modernos observatorios se incrementa, debido a los adelantos en la instrumentación tecnológica que cada vez es más sofisticada e innovadora.

1.3 Observatorios Astronómicos en México:

La astronomía en México se ha desarrollado desde la época prehispánica hasta nuestros días, varias culturas, particularmente la maya, observaron cuidadosamente el

cielo y registraron lo que en él ocurría, llegando a determinar con muy alta precisión la duración del año solar, del mes lunar y algunos otros ciclos naturales.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, Estados Unidos fué el primer país en iniciar la investigación y construcción de observatorios con las condiciones ideales para su óptima operación, como el Observatorio Lick, erigido en 1888 sobre el monte Hamilton, en el Estado de California o el Observatorio Flagstaff, en Arizona, construido en 1896.

En el caso de la República Mexicana, se crea en 1863, el primer Observatorio Astronómico en las inmediaciones de Chapultepec. Poco después, en 1867, se instala en la azotea del Palacio Nacional un pequeño observatorio. En 1878, se inaugura el primer Observatorio Astronómico Nacional (OAN), en el castillo de Chapultepec. Posteriormente, en 1883, es trasladado al edificio de Tacubaya, y al año siguiente, comienza la construcción del nuevo Observatorio de Tacubaya, consolidándose así las investigaciones astronómicas durante más de cinco décadas. Durante el año de 1951 se establece una estación del OAN en Tonantzintla, Puebla y en 1954 se traslada el OAN a los dos primeros pisos de la Torre de Ciencias en la Ciudad Universitaria. En 1961 se inaugura el telescopio de un metro del OAN en Tonantzintla y entre los años 1966 y 1975 se instituye el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir en Ensenada, Baja California. En 1971 se instalan en San Pedro Mártir los dos primeros telescopios en sus cúpulas: un telescopio fotométrico de metro y medio y un telescopio óptico de 84 cm; en este mismo año se establece el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), en Tonantzintla, Puebla y alrededor de los años 1974 y 1979, la UNAM aprueba el proyecto para la construcción de un telescopio de 2 metros de diámetro en su óptica principal para el OAN en San Pedro Mártir, finalizando su edificación en 1979.

Por otra parte, no existe en México ningún observatorio que cuente con telescopios radiométricos, por ello, diversas instituciones como la UMass, el INAOE, CICESE y el PUIDE-UNAM, han propuesto la construcción de un radiotelescopio con una antena de 50 metros de diámetro, operable en ondas milimétricas e instalado dentro de un

domo de radar que deberá estar ubicado en algún punto de la República Mexicana, que proporcione excelente transmisión atmosférica durante la mayor parte del año

El GTM será, entonces, el primer radiotelescopio con una sola antena de 50 metros de diámetro; el más grande y sensible de su tipo en el mundo. También tendrá una área colectora efectiva 30 veces superior a la de cualquier otro; asimismo operará en longitudes de onda cercana a 1 milímetro. Todos estos atributos permitirán el desarrollo de programas científicos que permitirán aumentar nuestro conocimiento acerca del origen del Universo y los elementos que lo constituyen

CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS EMPLEADOS.

2.1 División y jerarquización de los criterios.

Los criterios para la ubicación del Gran Telescopio Milimétrico (GTM), dependen de dos variables principales: las de importancia astronómica y las de ubicación geográfica, cada uno de éstas comprende otras variables, tales como agua en la atmósfera, latitud, aspectos geológicos, espaciales y climatológicos, y éstas a su vez describen otras variables específicas. La suma de todos los factores dará una calificación que permitirá finalmente elegir uno o más sitios para la colocación de dicho instrumento.

Listado de los criterios preliminares en la selección del sitio donde se ubicará el GTM

- a) Un lugar lo más seco posible, que aunado al criterio de la altura, nos garantizará la menor cantidad de agua en la atmósfera.
- b) Un sitio cuya altitud sobre el nivel medio del mar sea mayor o igual a los 2 800 metros
- c) Lo más al sur posible con objeto de cubrir la mayor cantidad de cielo y poder alcanzar a observar el centro de la galaxia.
- d) Un sitio ubicado en una región de baja sismicidad que permita minimizar la cimentación y estructura requerida por el instrumento.

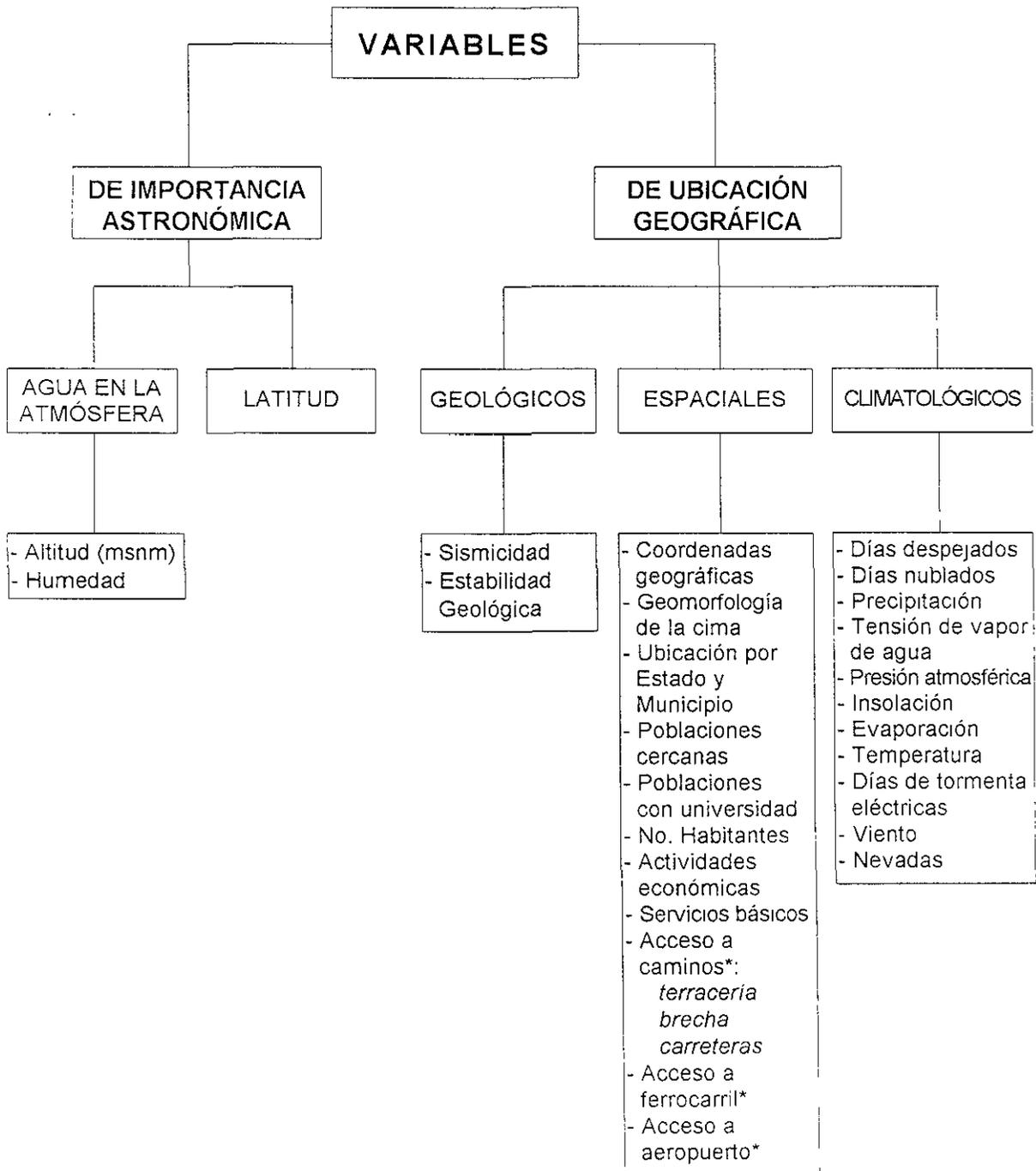
- e) De ser posible, una superficie plana en la cima con un área mayor a un círculo de 100 metros de diámetro para facilitar la instalación del radiotelescopio que tiene 50 metros de diámetro.
- f) Energía eléctrica en cantidades suficientes y, demás, servicios lo más cercanos posibles
- g) Un lugar lo mejor comunicado y accesible con objeto de minimizar la inversión en infraestructura.
- h) Idealmente, cercano a una ciudad con buen desarrollo y, de ser posible, con universidad.
- i) Cercano a un aeropuerto internacional que facilitará la llegada y salida de los investigadores y personal técnico que lo opere.
- j) Adicionalmente, deberán determinarse los vientos máximos, las nevadas locales y los días con tormentas eléctricas que se den en el sitio elegido, para que esto permita a los ingenieros responsables del diseño de la cúpula contar con la suficiente información.
- k) Complementariamente se determinarán elementos meteorológicos que nos indiquen, de manera integral, la humedad de un lugar específico.

A partir de estos criterios se desprende un conjunto de variable, entre las que existen algunas de gran importancia para la correcta ubicación del instrumento, y otras de menor relevancia para dicho propósito y que se muestran en el diagrama 1

Estas variables, a pesar de estar enlistadas con un cierto orden, no necesariamente marcan entre sí ventajas significativas, ya que son, de cierta manera, complementarias y pueden considerarse como deseables, pero no indispensables ya

que algunas de ellas lo único que representarían sería mayor o menor costo de construcción y/o operación del instrumento.

DIAGRAMA 1. Clasificación de las variables consideradas en este estudio.



* distancia en kilómetros

Existen otras variables no contempladas en esta tesis como son los aspectos políticos y económicos.

2.2 Descripción de los criterios

De los criterios y las variables utilizadas para la ubicación y colocación del GTM, se presenta una explicación detallada de las mismas, a partir de la división señalada en la tabla 1 que abarca dos categorías principales: las de importancia astronómica y las de ubicación geográfica

2.2.1 Variables de importancia astronómica

Agua en la Atmósfera

Para las variables de importancia astronómica tomamos en cuenta que, al ser el telescopio un instrumento que operará en longitudes de ondas milimétricas y desde la superficie de la tierra, la limitante básica para su mejor utilización es la transparencia de la atmósfera en esa región del espectro electromagnético. Sabemos por los estudios de opacidad (recíproco de la transparencia) que a esas longitudes de onda la mayor interferencia es producida por las moléculas de vapor de agua contenidas en la atmósfera. Es por ello que la cantidad de éstas es una de las variables básicas a considerar para la elección del sitio adecuado.

La cantidad de moléculas de agua que se encuentran en la línea que une el telescopio con las estrellas va a depender, básicamente, de dos factores. primero, de la altitud sobre el nivel del mar al que se encuentra el instrumento y segundo, al contenido de humedad entre éste y el límite de la atmósfera.

Altitud sobre el nivel del mar

En el primer caso, no sólo es importante el que a mayor altitud se atravesase menos atmósfera y menos densa, sino que, además la distribución del contenido de agua en la misma disminuya con la altura sobre el nivel del mar más rápidamente que la densidad misma de la atmósfera, encontrándose el límite del agua en el límite de la biósfera. Lo cual, se puede corroborar, a partir de perfiles atmosféricos, sobre territorio mexicano, realizados por el Servicio Meteorológico Nacional, donde se determinó que el 70% del vapor de agua se encuentra concentrado por abajo de los 3 000 msnm (ver apéndice gráficos, 1 al 5), concluyendo que sólo un 30% de humedad se encuentra distribuido por arriba de la altura mencionada.

Asimismo, se presenta una tesis realizada por el meteorólogo William L. Donn, autor de diversos estudios climatológicos por parte del Departamento de Ciencias de la Tierra del The City College of New York, quien ha establecido un rango del contenido de vapor de agua a diferentes altitudes, para mostrar una idea general del comportamiento de la humedad, lo cual se resume en la tabla 2

TABLA 2
Disminución del vapor de agua con la altura (Donn, p 82)

Altura en km	Pies	Contenido de vapor de agua, %
0	0	1.3
1	3 281	1.0
2	6 562	0.69
3	9 843	0.49
4	13 124	0.37
5	16 405	0.27
6	19 686	0.15
7	22 967	0.07
8	23 248	0.05

Humedad

En segundo lugar, si se afirma que el contenido de agua determina la conveniencia de un sitio para realizar observaciones milimétricas, entonces se tendrá que hacer uso de las determinaciones de humedad y definirla como un criterio básico para la elección del sitio.

La humedad puede expresarse como la cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera; siendo este vapor más ligero que el aire, tiende a quedar "restringido a las capas bajas de la atmósfera. [..Además], la disminución de la temperatura, con la elevación, hace que disminuya también la capacidad del aire para retener la humedad que sea arrastrada hacia arriba; la parte superior de la troposfera carece, prácticamente, de vapor de agua. La disminución de dicho vapor con la altura resulta muy importante en muchos procesos meteorológicos" (Donn, p 83)

Dicho de otra forma, la transmisión en la atmósfera esta determinada, en gran parte, por la absorción producida por el agua y, entre mayor opacidad atmosférica se presente en una columna de aire, mayor será la atenuación de la señal entrante y mayor la contribución de ruido a los detectores.

Por lo tanto, entre mayor sea la altitud donde nos ubiquemos, menor será la cantidad de vapor de agua existente. Sin embargo, hay que hacer notar que la distribución del vapor de agua sigue los grandes relieves geográficos, siendo el caso, por ejemplo, de la distribución del vapor de agua en el Altiplano Mexicano donde podemos observar que hay formación de nubes a mucha mayor altura sobre el nivel del mar que las que se forman en las costas. Este seguimiento del perfil no sigue montañas aisladas de tal manera que en la cúspide de ellas encontraremos mucho menor vapor de agua que en las planicies que la rodean. De esta forma, al criterio de localizar sitios por arriba de 2800 msnm, se le adiciona el criterio de que estos sean idealmente montañas aisladas con respecto a su entorno por arriba de los valles que lo rodean

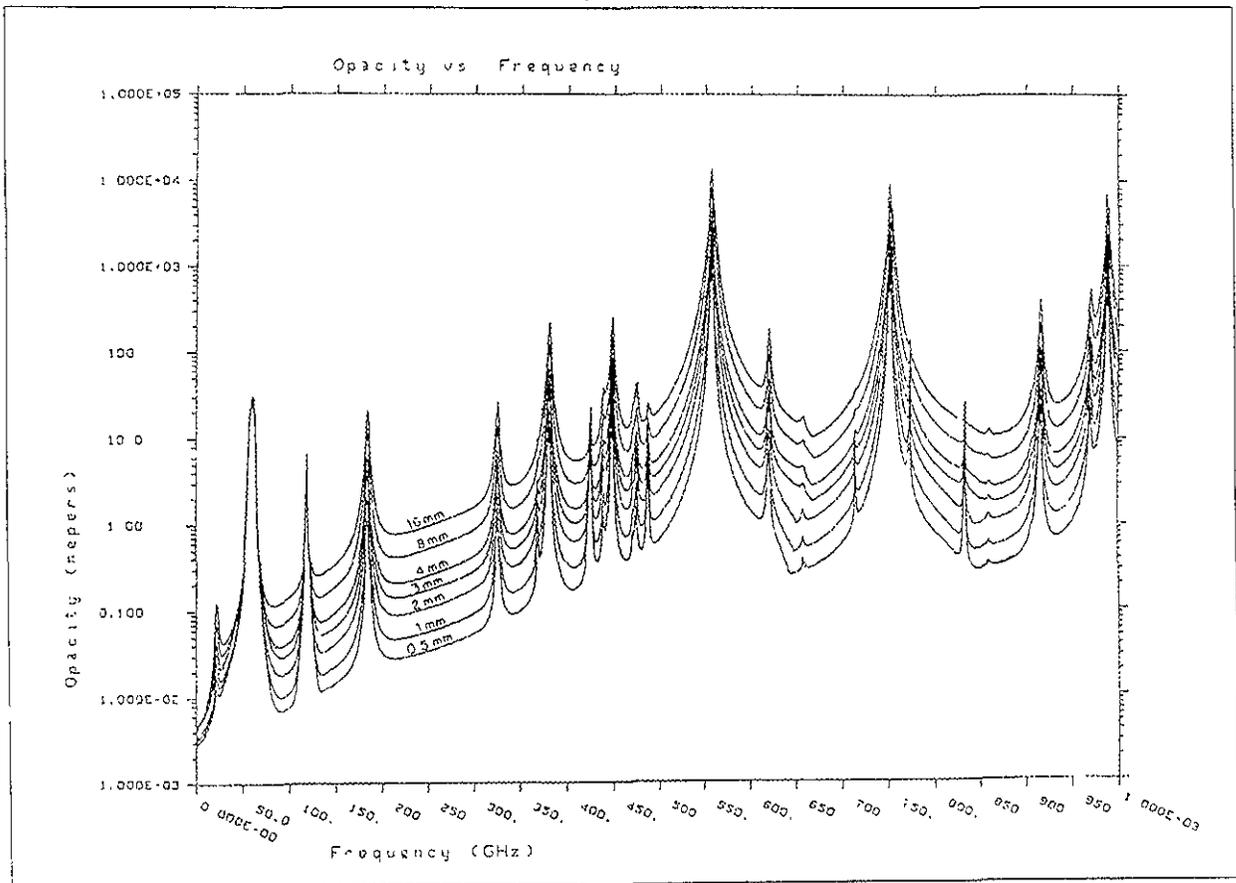
Ésto debido a los vientos que arrastran la humedad hacia las partes altas, siguiendo el patrón del relieve.

Como complemento a la determinación para observación directa del contenido de agua en la columna entre el sitio y el límite de la atmósfera mediante radiómetros, existen otros elementos de los que podemos inferir dicha cantidad y que se describen en el inciso de la variables climatológicas.

Así, para hacer posibles las investigaciones de objetos inapreciables a través de radiotelescopios, se han realizado estudios del espectro electromagnético relativos a la transparencia atmosférica

DIAGRAMA 2.

Ventanas Atmosféricas. Longitud de mayor transparencia atmosférica entre 250 y 350 GHz



Para tal efecto, se recurrió al modelo de la propagación de ondas milimétricas de H. J. Liebe's, determinando éste a qué frecuencias la opacidad en una onda milimétrica se minimiza, bajo ciertas condiciones meteorológicas; deduciendo, entonces, que una ventana atmosférica que se extiende en un rango de 250 y 350 GHz, o sea, a una longitud de onda inferior a 1 mm, será la frecuencia óptima que permitirá tener una transparencia adecuada del vapor de agua, lo cual se ejemplifica en el diagrama 2. De igual forma, ésto no sería factible a otras longitudes, ya que la difracción de la luz cambiaría la resolución angular necesaria para el análisis de objetos que interesan al proyecto del GTM. Además, si se quisiera operar en otras longitudes de onda, tendríamos que las observaciones se restringirían perdiendo área colectora y sensibilidad, haciendo las técnicas de fabricación aún más exclusivas y sofisticadas.

Latitud

La latitud geográfica sobre la superficie de la tierra en la que se sitúe el instrumento determina la cantidad que puede observarse de la esfera celeste. Esto es, si el telescopio se coloca en el ecuador terrestre y se observara de horizonte a horizonte podríamos ver el total de la bóveda celeste. Si, por lo contrario, nos colocáramos en uno de los polos en las mismas condiciones, sólo observaríamos el 50 por ciento del cielo.

Los instrumentos astronómicos no se apuntan nunca al horizonte, puesto que de hacerlo, atravesarían una mucho mayor cantidad de atmósfera que si se orientan al zenit. Si consideramos que el límite práctico para observaciones es de 15 grados sobre el horizonte, la siguiente fórmula nos da el porcentaje de la esfera celeste posible para observar a una latitud (φ) determinada:

$$\% CO = 50 (1 + \cos (\varphi + 15))$$

donde:

%CO = porcentaje de cielo observable

15° = ángulo óptimo para observaciones telescópicas

En el caso de los límites de la República Mexicana, que está comprendida entre los 14° a 32° de latitud norte, se observa entre el 92.4% y el 84.01% de la esfera celeste en 24 horas, respectivamente. Por lo tanto, sería más provechoso que el radiotelescopio se ubique a la latitud más baja posible dentro del territorio mexicano, y así lograr cubrir la mayor cantidad de la bóveda celeste.

2.2.2. Variables de ubicación geográfica

Variables Geológicas

Sismicidad

Esta condición se refiere a un sitio ubicado en una región de baja sismicidad que permita minimizar la cimentación y estructura requerida por el instrumento.

Al estudiar las características orogénicas del territorio mexicano se comprueba que presenta continuamente una tensión sobre la corteza terrestre, debido a dos fenómenos: por un lado, el movimiento tectónico de placas (la Norteamericana, la de Cocos y la del Pacífico) lo cual crea vibraciones sísmicas intensas; y por estar expuesto permanentemente a sacudimientos violentos del terreno por la actividad volcánica existente en la zona sur del país, en la gran falla transversal que sigue la línea del paralelo de 19° de latitud norte.

Relativo a la actividad sísmica en México, es importante mencionar su división general, la cual se puede agrupar en tres regiones importantes. *sísmica* (sismos frecuentes), *penisísmica* (sismos poco frecuentes) y *asísmica* (sismos raros o ausencia de ellos).

Por lo tanto, es importante tener en cuenta las zonas de riesgos sísmico y volcánico para la instalación del GTM, ya que estos movimientos vibratorios pueden causar un

desequilibrio en la cimentación, afectando la calidad de la imágenes captadas por el radiotelescopio

Estabilidad Geológica

Este estudio está enfocado a la descripción y composición de las estructuras geológicas, tomando en cuenta que los estratos horizontales presentan mayor estabilidad para el soporte del GTM. Por lo tanto, deberán eliminarse los sitios cuya composición estructural implique mayores riesgos y, por ende, grandes costos de cimentación; para tal efecto se recurrirá a un estudio de mecánica de suelos, con la colaboración de especialistas en ingeniería civil que, por razones económicas, sólo se llevará a cabo en el lugar o los lugares finalmente seleccionados.

Variables Espaciales

Dentro de esta categoría se incluyen diversos parámetros que se describen de manera general:

Geomorfología de la cima

El GTM, tendrá un diámetro de 50 metros, por ello se requiere que la cima del lugar tenga un área circular de, por lo menos, 100 metros de diámetro, tanto para facilitar su montaje, construcción y operación, así como para ubicar instalaciones dentro y fuera de la cúpula.

Centros urbanos desarrollados

Para satisfacer las necesidades del personal que labore en las instalaciones, es deseable contar con la proximidad de una ciudad desarrollada, de tal forma que el

establecimiento del centro de operaciones del Radiotelescopio será beneficiado con la cercanía de una urbe donde, inclusive, se cuente con instituciones docentes de nivel universitario, con el fin de incrementar la comunicación académica de manera eficiente y rápida.

Un lugar lo mejor comunicado y accesible

Una condición relevante para el proyecto del GTM es la reducción de las transacciones financieras que se requieran, por ello es importante encontrar un lugar donde se pueda minimizar, lo más posible, los gastos en infraestructura requerida en materia de comunicación terrestre

Servicios básicos cercanos

La provisión de los servicios en las instalaciones donde se sitúe el Radiotelescopio es de primordial importancia, ya que éstos, en especial la energía eléctrica, son necesarias para la operación mecánica, eléctrica y electrónica del instrumento, además del equipo de apoyo para su utilización. Por otra parte, el personal que labore en las instalaciones requerirá de los servicios básicos indispensables para su subsistencia en el lugar, por lo que la cercanía de éstos minimizaría el costo y tiempo de traslado, necesario para llevarlos hasta el centro de operaciones.

Cercanía a un aeropuerto internacional

El centro de operaciones donde se ubique el Radiotelescopio tendrá la visita de una comunidad científica de nivel nacional e internacional. Por ello, el sitio seleccionado, preferentemente, deberá situarse cerca de algún aeropuerto internacional, para facilitar la llegada y salida de investigadores y personal técnico que opere en las instalaciones.

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Existen ciertos fenómenos observados en la atmósfera que están sujetos a constantes cambios, de forma que el estado en que se encuentran, en un momento determinado, fija el estado del tiempo. Dichas variables son la humedad, la temperatura, las precipitaciones, la presión atmosférica, las nubes y los vientos.

Se debe aclarar que las siguientes variables meteorológicas en ningún momento pueden ser consideradas como entidades separadas, por el contrario, están estrechamente relacionadas entre sí y se han enlistado sin orden preferencial. A su vez, éstas se dividieron en dos categorías necesarias: los parámetros que nos indiquen la humedad existente en un lugar y los parámetros que mantengan relación con el diseño y la estructura del Radiotelescopio (tabla 3). En el caso particular de la temperatura, esta tiene injerencia en ambas divisiones.

TABLA 3.
División de Variables Meteorológicas.

INDICADORES DE HUMEDAD	INDICADORES PARA EL DISEÑO Y ESTRUCTURA
Humedad relativa media anual	Temperatura
Humedad media mensual	Días al año con tormentas eléctricas
Número de días despejados al año	Viento
Número de días al año con nublados	Nevadas
Precipitación media anual	
Precipitación media mensual	
Precipitación máxima en 24 horas	
Días al año con precipitación inapreciable	
Días al año con precipitación apreciable	
Temperatura media anual	
Temperatura media mensual	
Tensión de vapor de agua	
Presión Atmosférica media anual	
Evaporación potencial media anual	
Insolación media anual	

Humedad relativa

Como se ha examinado, la humedad relativa “es la relación entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire y lo que podría contener a la misma temperatura (su capacidad)” (Donn, pag.86), por lo tanto, la variación de la humedad relativa es inversa a la temperatura. Siendo así que, en forma general, dicha humedad tiende a disminuir de las costas hacia el interior montañoso de los continentes.

Para nuestro objetivo específico, la importancia de manejar las variables anual y mensual de la humedad relativa radica en los resultados que se obtendrán de una y otra. En el primero, los valores medios de la carta anual permiten sólo generalizar sobre los porcentajes de los lugares menos húmedos; en cambio, con la humedad relativa mensual en el curso del año, ésta varía debido a la presencia de lluvias y precipitaciones derivadas de los nortes en el segundo y tercer trimestre del año. Entonces, la información sobre la humedad relativa resulta más precisa y particular, dándonos un margen mayor para la eliminación de sitios.

Esta variable es de mayor importancia, ya que uno de los principales criterios para la ubicación del Radiotelescopio es un sitio con bajo contenido de vapor de agua.

Número de días despejados al año

De acuerdo con el Atlas del Agua de la República Mexicana, en su carta sobre el número de días despejados al año, considera a éstos como aquellos en donde la parte del cielo cubierta por nubes es de un décimo o menos del cielo visible en la hora de la observación, permitiendo así el paso de los rayos solares hasta la superficie del suelo, lo que determina un grado menor de humedad en el ambiente. Por lo tanto, un sitio con mayor cantidad de días despejados al año es considerado como óptimo

Número de días nublados al año

Según el Atlas del Agua de la República Mexicana, la carta del total de nublados al año, la información que presenta, conlleva cierta parcialidad, ya que las observaciones que se registran son apreciaciones directas del operador que utiliza una escala o guía de confiabilidad relativa, la cual se interpreta de la siguiente manera. 0 décimas de cielo cubierto = día despejado; entre 1 y 5 décimas de cielo cubierto = medio nublado; entre 6 y 10 décimas de cielo cubierto = nublado.

La relación que guarda esta variable con la humedad se distingue cuando existe un menor registro de días nublados, lo que significa que el ambiente se encuentra con una menor cantidad de vapor de agua.

Precipitación

"En sentido meteorológico, la precipitación es la caída de partículas de agua, en estados sólido o líquido, al suelo, a donde llega con una velocidad apreciable" (Martín, p.115)

Otra acepción más usual se podría expresar como: "De todas las formas de agua, líquida o sólida (lluvia, cellisca, nieve, granizo, rocío, escarcha) [...] pero, en general, sólo la lluvia y la nieve contribuyen de manera significativa en los totales de precipitación" (Barry, p.109)

Así pues, para obtener un dato preciso de la precipitación acumulada, es necesario conocer las condiciones geográficas que influyen en la medida de la lluvia como el relieve, la permeabilidad del suelo, la latitud, etc.; por ello, con el fin de cuantificar las precipitaciones dentro del territorio mexicano, se utilizaron las diferentes cartas de precipitaciones, presentadas en el Atlas del Agua de la República Mexicana,

Para lograr valorar adecuadamente estos datos debemos de, no sólo recurrir a la variable precipitación media anual, pues ésta suele marcar totales inexactos sobre los

recursos pluviales, ya que los valores globales no muestran información de confiabilidad fidedigna

Entonces, bajo estas condiciones, se considera necesario también la recopilación de datos de la precipitación media mensual, lo cual permite observar mayormente la influencia del relieve y la latitud, aunque la precipitación mes a mes tampoco manifiesta condiciones favorables de manera total; por tanto, es necesario considerar, además, la precipitación apreciable y la precipitación inapreciable para lograr evaluaciones de mayor precisión.

Número de días al año con precipitación inapreciable

Los días con lluvia inapreciable se observan con más frecuencia al final de la estación seca; las lluvias de invierno y primavera se caracterizan en México por estar, en su mayoría, asociados a las invasiones de aire polar, las cuales se originan en la vertiente de la Sierra Madre Oriental con nubes estratocúmulos o cúmulos, de los que se desprenden precipitaciones en forma de llovizna o de lluvia ligera.

Convencionalmente se ha establecido que un día con lluvias inapreciables es aquel en que la cantidad de precipitación es menor de 1 milímetro, no suficiente para precipitar y que, por lo tanto, no representan gran cantidad de vapor de agua en la atmósfera

Número de días al año con precipitación apreciable

Se puede determinar que entre mayor sea la cantidad de vapor de agua en el aire, mayor será la capacidad de la atmósfera para producir precipitación; por lo tanto, en cuanto al total de días con precipitación apreciable, éstos tienen una gran correspondencia con la cantidad de la lluvia anual, de tal manera que esta coincidencia nos permite tener un dato mayormente confiable sobre los milímetros de

lluvia y, por ende, conocer la cantidad de vapor de agua sobre una columna de aire en un lugar determinado

Tensión de vapor de agua

“La presión o empuje sobre el aire de las moléculas que se escapan del líquido constituye una medida de la tendencia a evaporarse del agua de un recipiente” (Martín, p.80), que va a depender, necesariamente, de la temperatura del líquido, por lo que, a mayor temperatura del fluido, mayor será el número de moléculas que escaparán de él pudiendo así determinar el peso del vapor de agua contenido en el aire, definido como «tensión de vapor de agua».

De igual manera, la tensión del vapor de agua disminuye, a mayores alturas, con mucha más rapidez de lo que sería posible en una atmósfera sin vapor de agua, ya que en las regiones superiores de la atmósfera no puede haber, debido a la disminución de la temperatura, tanto vapor de agua en estado elástico.

Por ello, la presencia de la tensión máxima del vapor de agua, o de la saturación del aire en los estratos más bajos de la atmósfera, nos indican una mayor humedad relativa

Presión atmosférica media anual

La presión atmosférica “es el peso de una columna de aire sobre su base en el suelo, considerada hasta el límite superior de la atmósfera, por unidad de superficie.” (Martín, p 125) Por consiguiente, la disminución de la presión atmosférica está en función, principalmente, de la altura que, a la vez, no es directamente proporcional al aumento de ésta, sino que lo es casi exponencialmente, pues al ser el aire un fluido comprensible, las capas inferiores de la atmósfera están comprimidas por el propio peso de las capas de aire más elevadas que descansan sobre ellas, siendo, por lo tanto, las inferiores, más densas y más pesadas.

De igual manera, se debe de observar que la variación de la presión atmosférica, no sólo está afectada por la altitud, sino también por los distintos fenómenos meteorológicos que intervienen en la atmósfera, tales como la humedad, la temperatura, el relieve, el lugar, etc., siendo éstos factores los responsables de causar una desigualdad en la configuración de las isobaras que, en dado caso resultarían ser líneas equidistantes que coincidieran con los paralelos terrestres, al no existir éstos.

Temperatura media anual

La temperatura constituye un elemento fundamental en el comportamiento general de la atmósfera, presentando grandes variaciones; los cambios más significativos se observan en la diferente oscilación durante el curso de un día y de un año, según su latitud y altitud, que en gran medida son producidos por la radiación solar que incide en nuestra atmósfera

En este análisis, las variaciones de mayor transcendencia serían las producidas en sentido vertical, las cuales nos indican una disminución de la temperatura al ir ascendiendo en una columna de aire, ya que la superficie terrestre es la generadora de calor y, al ir aumentando la distancia de esta con la altura, provoca una descenso de la temperatura.

Por los fuertes contrastes que se presentan en varias zonas del país, resultado, principalmente de la orografía y de los movimientos de masas de aire que recorren nuestro territorio, las isotermas medias anuales no son índices rigurosos del régimen térmico (variación de la temperatura en el curso de un año) en un área determinada, ya que las cartas con las características más específicas de estos fenómenos corresponden a las isotermas mensuales que, a su vez, se obtienen en base a las temperaturas medias diarias que se obtienen, promediando el valor mínimo y máximo diario.

Insolación media anual

“El término insolación tiene dos acepciones en climatología: a) por una parte, es equivalente a radiación solar que llega o incidente, y b) por otra, se usa para designar el «número de horas de sol» o, con más propiedad, el número de horas con radiación solar directa, es decir, con el sol luciendo sobre el horizonte. La insolación según esta segunda acepción, se mide en unidades de tiempo y, así, los centros meteorológicos registran el número de horas/minuto de sol en cada jornada” (Martín, p.55-56), siendo importante aclarar que este cálculo está en función de la latitud geográfica y de la nubosidad local que oculta el disco solar.

También se puede apreciar que la insolación es una consecuencia de los días despejados, considerando que entre mayor número de horas de insolación existan en un mismo lugar, éste tendrá menor humedad en el ambiente.

Número de días al año con tormentas eléctricas

El campo magnético de la atmósfera induce la separación de cargas entre las gotas de agua o los copos de nieve los cuales, al pulverizarse provocan la separación de la electricidad, creando zonas de carga eléctrica positiva y negativa que se acumula a tal grado que producen descargas eléctricas de las nubes a la Tierra.

El potencial eléctrico del aire cerca de la superficie es, generalmente, más grande en invierno que en verano, el cual disminuye con la altitud.

La presencia de tormentas eléctricas produce emisiones en todas las longitudes de onda, lo cual provocaría en un instrumento que trabaja en estas frecuencias, señales afectadas por éstas

Por lo tanto, entre menos días con tormentas eléctricas existan en un sitio, más favorable será, tanto para tomarlo en cuenta en la evaluación de la humedad de un lugar, como para la determinación de las emisiones que pueda obstruir.

Cuanto mayor sea la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, mayor capacidad tendrá ésta de producir las tormentas eléctricas

Evaporación potencial media anual

Al cambio de estado consistente en el paso de un líquido al estado de vapor, se le denomina evaporación, que se presenta de forma gradual y depende, fundamentalmente, del clima, del tipo de vegetación y de las características geológicas del suelo y, si por algún procedimiento artificial, ya sea riego u otro se aumenta el agua disponible en el lugar, la evapotranspiración crecerá en función del agua adicional hasta alcanzar su cantidad máxima.

Por consiguiente, los lugares que presenten una mayor cantidad de milímetros de vapor de agua evaporada, calculada anualmente, serán sitios propicios para considerarse como óptimos, dentro de la selección a partir de elementos meteorológicos.

Viento

El viento, o bien, el aire en movimiento, se origina como una consecuencia de las diferencias de la presión atmosférica en la superficie del globo. La dirección del viento va de las zonas de alta presión (anticiclones) hacia las de baja presión (depresiones).

Debido a la situación geográfica de la República Mexicana, cortada por el trópico de Cáncer recibe la acción de dos sistemas: el correspondiente a los vientos tropicales y el característico de las zonas templadas.

Se puede afirmar que el régimen de vientos en territorio mexicano está influenciado por las masas de aire del océano Atlántico, las masas de aire del océano Pacífico y las masas de la alta atmósfera.

Por lo tanto, el estudio de éste fenómeno nos ayudará a determinar la cantidad de humedad que exista en cierto lugar, además de conocer la clase de vientos a que se enfrentará la cúpula o domo del radiotelescopio. Este último aspecto tiene mucha importancia para el diseño y estructura de la cúpula, ya que la formación de turbulencias puede crear efectos negativos en el apuntado preciso de las antenas y mermar así la calidad de las imágenes.

Nevadas

“La nieve es un fenómeno atmosférico consistente en la precipitación de agua helada en forma de cristales agrupados en copos blancos, que proviene de la congelación de vapor de agua atmosférico” (URL # 4 Diccionario Meteorológico)

Aunque la formación de cristales de hielo no afecta la señal que recibe el radiotelescopio, es necesario conocer las nevadas para determinar su frecuencia, si en el sitio se han presentado, y las fechas en que ocurren.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

En 1991, el Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE-UNAM), se incorporó, junto con otras instituciones mexicanas y extranjeras, al proyecto de la búsqueda de un sitio óptimo para la ubicación y construcción del GTM. A partir de entonces, los diferentes métodos que se utilizaron al realizar dicha investigación fueron en, gran parte, de carácter manual, es decir, con un método analítico sintético.

Estos procedimientos se caracteriza por abarcar distintos procedimientos tales como, la investigación bibliográfica, la información climatológica, el procesamiento de imágenes de satélite, la operación de instrumentos con registros atmosféricos (termohidrógrafos y radiómetros) de los cuales obtendremos datos numéricos para el análisis estadístico, verificación en campo, etc., los cuales una vez integrados nos proporcionarán resultados complementarios, para presentar finalmente conclusiones específicas.

El orden, el desarrollo y las bases metodológicas con las cuales se realizó dicho estudio, se describe a continuación.

3.1 Interpolación de variables meteorológicas

En colaboración con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se realizaron una serie de interpolaciones a partir de lugares que cuentan con estaciones de radiosondeo e información del comportamiento de la alta atmósfera, que cubren 10

años de datos, elaborando así perfiles atmosféricos a lo largo de tres cortes Mazatlán-Monterrey, Guadalajara-Monterrey y Cd.México-Monterrey, para los años globales 1991 y 1992, uno típicamente lluvioso y el otro seco, respectivamente.

Los datos obtenidos se presentan como gráficas, anexadas en el apéndice del 1 al 5, para los promedios anuales de los días 10 y 25 de cada uno de los años, conteniendo información sobre altitud media (kms), presión (hpa), temperatura (°C), velocidad y dirección del viento, así como la distribución de la humedad relativa (%) y la deducción de las variaciones de la humedad por arriba de lo estipulado

Adicionalmente, con estos resultados se obtuvieron indicadores muy generales de las condiciones climatológicas que determinaron, como criterio preferente, la altitud de 3000 m sobre el nivel del mar, para obtener un contenido de vapor de agua en la atmósfera menor a 3 milímetros.

3.2 Altitud sobre el nivel del mar.

Para iniciar la selección de los diferentes lugares para la ubicación del GTM, se tomó como punto de partida la altura promedio de 2 800 msnm. Bajo este criterio se logró situar, dentro del territorio mexicano, todas aquellas zonas del país que estuvieran por arriba de la altitud requerida, cotejando para ello las cartas topográficas de escala 1:50 000 y 1:250 000, editadas por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI).

Seguidamente, se elaboró una base de datos (en Microsoft FoxPro, archivo Lugares.dbf), con información geográfica y cartográfica sobre la ubicación de cada uno de los lugares seleccionados a partir de las cartas topográficas editadas por INEGI, información que se enlista en la siguiente tabla

TABLA 1

Información geográfica requerida para cada sitio seleccionado.

Nombre de la carta
Clave para localizar un punto con una aproximación de 100 metros
Coordenadas Geográficas (Latitud, Longitud)
Nombre de la Sierra
Nombre del Cerro (si lo tuviera)
Altura del Cerro en metros sobre el nivel del mar
Clave de la carta
Estado
Municipio
Distancia en kilómetros a la brecha o carretera más cercana
Distancia al acceso de energía eléctrica (kilómetros)
Distancia a la estación ferroviaria más cercana (kilómetros)
Área aproximada de la superficie de la cima (metros)
Observaciones sobre el acceso al lugar

3.3 Análisis regional de variables meteorológicas:

La localización de un sitio óptimo para el montaje del GTM se continuó partiendo de un estudio del Atlas del Agua de la República Mexicana, editado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1976, el cual contiene datos basados en una serie de 40 años de información climatológica de cerca de 3 400 estaciones distribuidas en todo el territorio nacional.

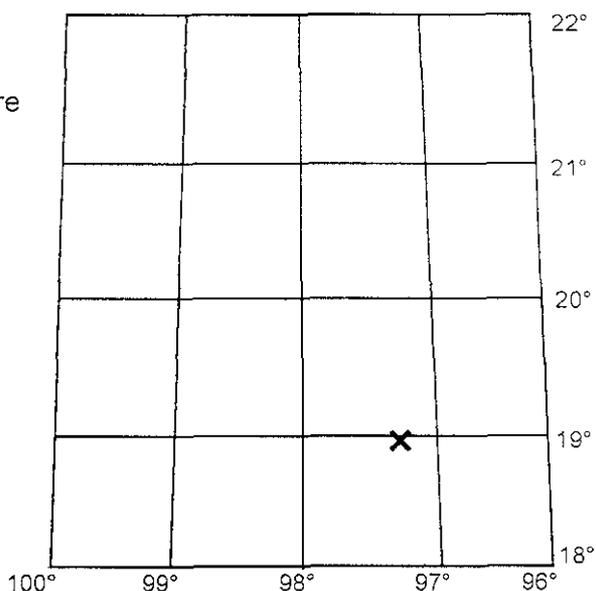
Este análisis consistió en trazar, sobre un acetato, una cuadrícula de 4 x 4, conforme a la proyección* utilizada en el Atlas del Agua, donde cada recuadro correspondiera a un grado de latitud por uno de longitud y ubicar así, sobre las diferentes cartas climatológicas, cada uno de los sitios a partir de sus coordenadas geográficas. Un ejemplo de dicho acetato se muestra en la figura 1

* El atlas del agua se elaboró tomando como base la carta de la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica Mexicana bajo la dirección del Gral. Miguel A. Sánchez Lamego, 1956.

FIGURA 1

Tabla de información meteorológica para obtener datos estadísticos de cada uno de los 168 sitios seleccionados

ESTADO: Veracruz MUNICIPIO:
 SIERRA: Sierra Negra CERRO: Sin Nombre
 LONGITUD: 97°18' W LATITUD: 18°58' N
 ALTURA: 4 580 msnm



PRESIÓN ATMOSFÉRICA: 761 mm

No DE DÍAS DESPEJADOS: 150

INSOLACIÓN MEDIA ANUAL: 1 900 hrs

No DE DÍAS AL AÑO CON NUBLADOS: 100

HUMEDAD MEDIA ANUAL (%):

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
50	50	50	40	60	60	60	60	70	60	60	60

No DE DÍAS AL AÑO CON TORMENTAS ELÉCTRICAS: 20

HUMEDAD RELATIVA: 55%

TENSIÓN DE VAPOR DE AGUA MEDIA ANUAL: 19 mm

PRECIPITACIÓN ANUAL: 2 400 mm

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm):

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
16	16	32	32	125	250	125	250	250	125	32	64

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS: 150 mm

No DE DÍAS AL AÑO CON PRECIPITACIÓN INAPRECIABLE: 20

No DE DÍAS AL AÑO CON PRECIPITACIÓN APRECIABLE: 100

EVAPORACIÓN POTENCIAL MEDIA ANUAL:

TEMPERATURA MEDIA ANUAL: 16°C

TEMPERATURA MEDIA TRIMESTRAL:

E	A	J	O
10	16	18	16

REG: 168

En el mismo esquema, también se incluyó parte de la información geográfica generada en el inciso anterior, además de las diferentes variables climatológicas obtenidas del Atlas del Agua.

Se debe aclarar que dicha información meteorológica (registrada en Microsoft FoxPro, archivo Lugares.dbf), tiene la limitante de provenir de interpolaciones entre estaciones, generalmente establecidas en los valles, no reflejando con exactitud las condiciones en los picos montañosos que nos interesan, pero que sí muestran con claridad el estado de las zonas bajas que las rodean

Por otra parte, con esta investigación climatológica resultante se llevó a cabo un intento de ponderación a partir de tres fenómenos meteorológicos estudiados número de días despejados al año, número de días nublados al año e insolación media anual, por ser éstos los que determinan, en cierto sentido, la cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera, añadiéndose al estudio el parámetro de la latitud Este análisis se elaboró para los 168 sitios elegidos, y que a continuación se especifica.

3.3 1 Calificación por latitud

Consiste en deducir la porción de cielo observable en 24 horas a la latitud considerada y suponiendo que no se observa a menos de 15° sobre el horizonte. La calificación o el por ciento de la esfera se obtiene con la expresión.

Klat = Calificación de la latitud

Klat = % de Cielo Observable (CO) en 24 hrs a 15° del horizonte

Klat = % CO = 50 (1 + cos (φ + 15))

3.3.2 Calificación por número de días despejados

Si al porcentaje anterior, que representa la esfera celeste que se observa en 24 horas, se multiplica por el porcentaje del año que representan el número de días despejados en el lugar, se obtiene como resultado el porcentaje de la esfera celeste que se observa desde el lugar en condiciones óptimas de cielo despejado. La calificación o el porcentaje al año de días despejados, ha sido calculado con la siguiente fórmula.

KNdd = Calificación del % de días despejados al año

$$KNdd = (Ndd / 365) \times 100$$

3.3.3 Calificación por el número de días nublados

Si se considera que de los datos que se tienen de días despejados al año se puede deducir el número de días parcialmente nublados, y si se considera que en éstos se puede trabajar el 50% del tiempo, por lo tanto, estos contarían como medio día despejado. Dándole el mismo tratamiento que en el inciso b, se obtiene como resultado un porcentaje más representativo que el anterior, calculado con la siguiente formulación

KNddan = Calificación del % de días nublados al año

$$KNddan = (Nddan / 365) \times 100$$

3.3.4 Calificación en base al número de días con insolación:

Para calificar la insolación que se sabe dependiente de la latitud, pero que por simplicidad se considera como idealmente constante e igual a 3650 horas al año (% de insolación tomando como 100% a 365×10 horas diarias), y si se compara el porcentaje que de esta cantidad representa el número de horas de insolación de cada

lugar, se tendrá como resultado el por ciento de insolación. Al calificar la base exclusivamente en base a éste criterio, se obtiene un resultado similar al encontrado. Si sólo se considera el número de días despejados al año; sin embargo al sumar el criterio de insolación con el de por ciento de cielo observable en que se ha considerado la latitud, días despejados y medio nublados, así como la insolación, se obtiene un resultado más cercano a lo que pudiera ser un porcentaje de cielo libre de nubes, aunque no por ello libre de humedad. Siendo así que se logra la calificación de la insolación a partir de la siguiente expresión

Klma = Calificación del % de Insolación al año -10 horas-

$$Klma = (\text{No de Horas} / 3650) \times 100$$

3.4 Análisis sísmico del territorio nacional:

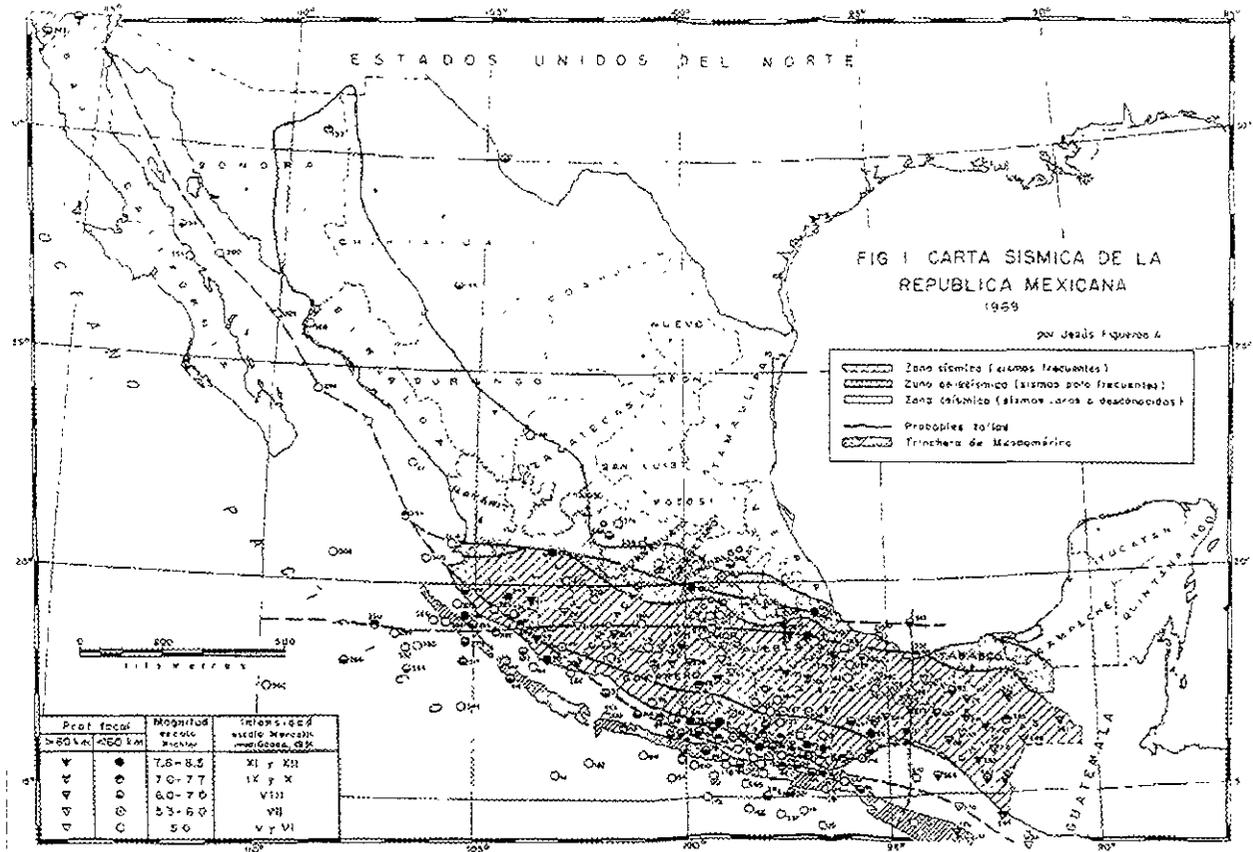
Para identificar y determinar la susceptibilidad de las zonas sísmicas se realizó un estudio con base en la Carta Sísmica de la República Mexicana, editada por el Departamento Sismológico del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México y que se presenta como figura 2

Esta carta está elaborada con los criterios de regionalización en base a las características geotectónicas y provincias sísmicas siguientes.

TABLA 2
Criterios de Regionalización Sísmica.

No ZONA	ZONA	EFFECTOS (MAGNITUD ESCALA)
1	Asísmica	Daños Menores (< 4.2)
2	Penisísmica	Daños moderados (4.3 - 5.2)
3	Sísmica	Daños mayores (> 5.3)

FIGURA 2 Carta Sísmica de la República Mexicana



Con base en estos parámetros y tomando en cuenta la correlación con otros elementos que causan los fenómenos sísmicos, tales como el tiempo de ocurrencia, la determinación de la profundidad y la intensidad, las probables fallas, etc., se obtiene una calificación, teniendo como referencia el número correspondiente a las zonas sísmicas donde se encuentre cada lugar.

3.5 Procesamiento de imágenes de satélite visibles e infrarrojas.

Para realizar este análisis, primeramente se llevó a cabo la captura de imágenes climatológicas del satélite Meteor de la Universidad de Illinois, Estados Unidos, a partir de enero de 1992 y hasta junio de 1994, siendo en su mayoría (70% del total)

imágenes de entre las 17:00 y las 21:00 horas UTC (Universal Time Cooperation), para las bandas denominadas Visible (VIS) e Infrarroja Térmica (IR); dichas imágenes se muestran como figuras 3 y 4 respectivamente.

De las imágenes de satélite se puede deducir el seguimiento de ciertos fenómenos de tipo meteorológico que en este caso serían, la distribución y la variación de la nubosidad. Esto es posible ya que a cada tipo de imagen le corresponde un sensor que "recoge radiación electromagnética en un rango de longitudes de onda diferente, lo cual permite interpretar las imágenes en función de distintas características de los objetos observados. Los sensores a bordo del satélite miden la energía radiante procedente de los objetos situados en la tierra, dando cuenta esta medida de la reflectividad de los mismos (imagen Vis) o de su temperatura (imágenes infrarrojas)" (URL N°4); esta radiación reflejada, en función de la cantidad, llega al satélite, ocasionando que las imágenes (monocromáticas), presenten distintas tonalidades en una escala de grises.

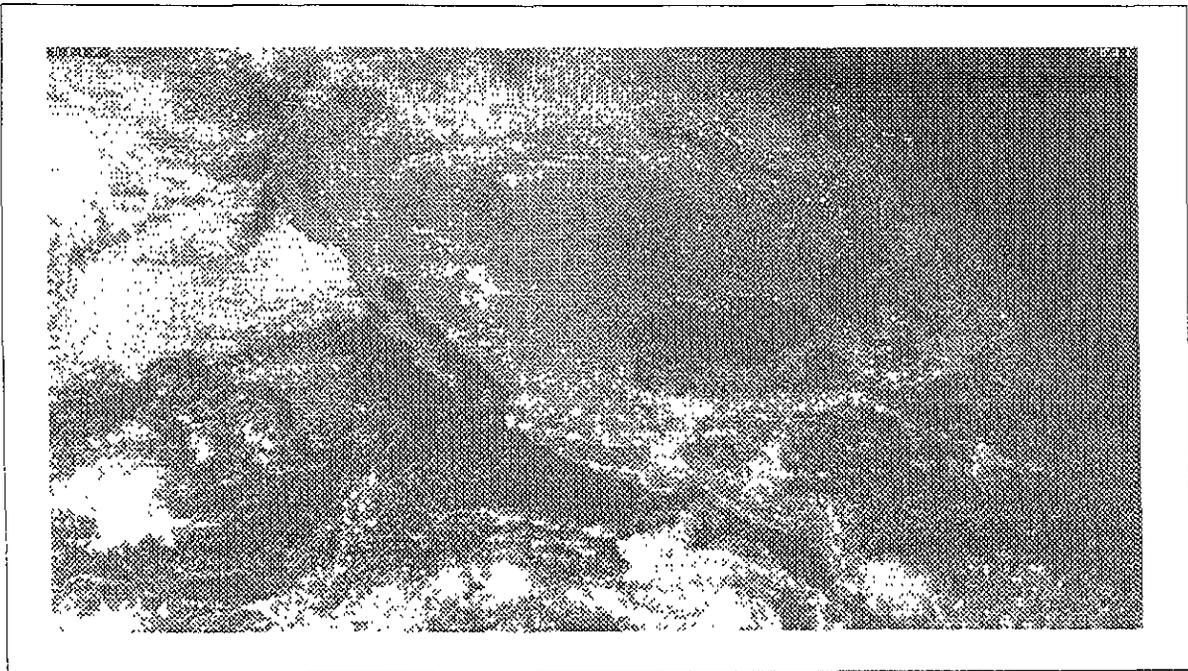


FIGURA 3

Satellite: Meteosat, University of Illinois, Department of Atmospheric Sciences.

Imagen: Visible. Fecha: 13 de octubre de 1992. Hora: 21:00 UTC. Resolución: 1200x600x256.

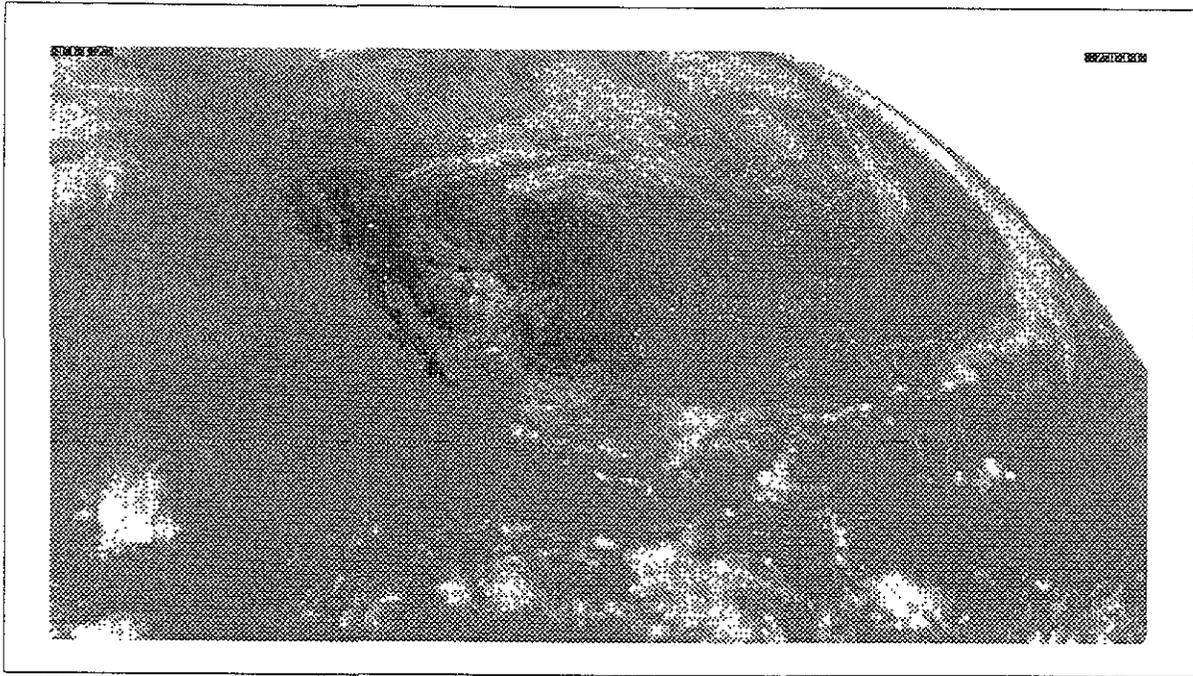


FIGURA 4

Satélite Meteor. University of Illinois, Department of Atmospheric Sciences.

Imagen. Infrarroja. Fecha: 13 de octubre de 1992 Hora: 21:00 UTC. Resolución: 1200x600x256

Siendo así que para interpretar los rasgos de la nubosidad en este tipo de gamas, donde se distinguen desde tonos oscuros intensos a tonos claros tenues, es necesario saber que características se obtienen a partir de dichas tonalidades, tanto en la banda visible como en la banda infrarroja. Estas se presentan en la tabla 5.

Por otra parte, para llevar a cabo el estudio comparativo de las imágenes de satélite y deducir el comportamiento de las nubes en los sitios seleccionados, se establecieron, con base en las características de tonalidades presentadas en la tabla 5, los siguientes parámetros:

- Primero, se localizaron en un mapa de la República Mexicana, a una escala de 1:5 000 000, los sitios seleccionados por medio de sus coordenadas geográficas,
- Posteriormente, en este mismo mapa, se trazaron distintas líneas cuyas ejes de intersección fueran cada uno de los sitios ubicados en el mapa anterior y cuyos extremos estuvieran en algún punto identificable como las bahías, las islas, etc., circundantes del territorio nacional y obtener de éstos últimos sus coordenadas en

'píxeles' en las imágenes de satélite, cuya resolución es de 1200x600 y 600x300. Para el cálculo de estas coordenadas se elaboró un programa en base a la obtención de un punto por medio de la intersección de dos líneas; este se anexa en el apéndice como Programas No. 1,

- Con el resultado de las coordenadas en 'píxeles', que se presentan en la tabla 4, se procedió a ubicar e identificar cada sitio en las imágenes de satélite para asignarles una calificación en un rango del 1 al 5.

TABLA 3

Lista de coordenadas en píxeles, de los sitios seleccionados para el análisis del cielo de días despejado y/o nublado, en imágenes de satélite

Nombre del cerro o lugar	Coordenadas*		Coordenadas**	
	X	Y	X	Y
Cerro la Negra	661	-419	331	-209
Cerro Grande	588	-348	294	-174
Cerro la Laja	622	-388	311	-194
Cerro Banxhu	629	-394	315	-197
Cerro Pinos	587	-363	293	-181
Volcán Nevado de Toluca	613	-412	306	-206
Cerro Tlotepec	618	-434	309	-217
Sierra Pajarito	485	-263	242	-131
San Pedro Mártir	352	-246	176	-123
Cerro la Ardilla	565	-365	282	-182
Cerro Chapultepec	553	-355	277	-178
Cerro el Barco	589	-352	295	-176
Cerro la Lagunita	490	-315	245	-158
Cerro Papantón	543	-349	271	-175
Cerro Valparaíso	547	-359	274	-180
Cerro el Espolón	623	-391	312	-196
Cerro Hualtepec	621	-394	311	-197
Cerrito de Enmedio	587	-365	294	-183
Cerro el Cubo	586	-381	293	-191
Cerro Compadres	491	-305	246	-153

* resolución de 1200 x 600

** resolución de 600 x 300

- Estos valores asignados se determinaron con base a las tonalidades de la imagen en la escala de grises para evaluar los días despejados y nublados, de tal forma que se definieran de la siguiente manera:

TABLA 4.
Clasificación del porcentaje de días despejados y/o nublados.

CLASIFICACIÓN DESIGNADA	PORCENTAJE DE CIELO NUBLADO	DESCRIPCIÓN DE NUBOSIDAD	TONALIDAD EN LA IMAGEN
1	0 %	días despejados	grises oscuros
2	25 %	días parcialmente despejados	grises claros
3	50 %	días parcialmente nublados	combinación de grises y blancos
4	75 %	días nubosos	blancos grises
5	100 %	días cubiertos	blancos

Los resultados generados se capturaron en una hoja de cálculo en Microsoft Excel, para realizar diversas gráficas que nos muestren el comportamiento de las nubes durante el tiempo señalado y de los lugares procesados

TABLA 5
Cuadro de interpretación para imágenes de satélite, con base al estudio presentado por el M. en C. Víctor M. Ramos G. "Uso de las imágenes IR y VIS para el análisis de nubosidad" (1994)

TIPO DE NUBE	Cirrus(Ci) Cirrostratus (Cs)	Altoestratus (As) Alto cúmulos (Ac)	Cúmulos(Cu)	Cúmulonimbos (Cb)	Stratocúmulos (Se)	Stratus (St)
CLASIFICACION TIPO Y ALTURA (msnm)	Alta > 6000	Intermedia 2000 a 6000	Desarrollo Vertical de 2000 a 7000	Desarrollo Vertical de 2000 a 7000	Baja hasta 2000	Baja < 2000
IDENTIFICACION EN IMAGEN VISIBLE	Tonos de grises oscuros medios	Tonos grises brillantes con moteados blancos	Tonos medios de blancos y grises	Inician con tonos grises y con el desarrollo se vuelven blancos	Brillante en el centro y grises en los bordes	Tonos medios y uniformes de grises
IDENTIFICACION EN IMAGEN INFRARROJA	Tonos grises traslúcidos	Tonos grises medios, uniformes	Tonos grises oscuros irregulares	Tonos blancos y grises brillantes	Grises irregulares, debido al contraste de reflectividad	Tonos oscuros de grises
CONTENIDO DE VAPOR DE AGUA	Seco a todos los niveles o húmedo sólo en los niveles bajos	Valores de humedad media en la media y alta troposfera	Valores de humedad media en la media y alta troposfera	Humedad alta a todos los niveles y/o presencia de nubes densas	Valores de humedad media en la media y alta troposfera	Humedad alta a todos los niveles y presencia de nubes densas
INTERPRETACION METEOROLOGICA	Presencia de cristales de hielo, fuertes vientos	Asociadas a ciclones y frentes, precipitación en forma de nieve		Asociadas a las tormentas, masas de nubes densas		Mal tiempo con lluvia, puede originar llovizna

3.6 Análisis poblacional y su desarrollo regional.

Del Censo de Población y Vivienda de 1990, se integró un estudio sobre los poblados más cercanos para los cerros seleccionados. Estas variables se consideraron sólo para los últimos sitios considerados por no ser éste un parámetro determinante, para tal efecto se obtuvieron los siguientes datos.

TABLA 6
Variables territoriales para cada sitio seleccionado.

Nombre del estado y municipio
Nombre de la ciudad o poblado
Número de habitantes
Sectores Productivos
Porcentaje de Servicios Básicos (agua, energía eléctrica, drenaje)
Vías de Comunicación (autopistas, carreteras, brechas)
Estaciones Ferroviarias (distancia en km)
Aeropuertos Nacionales e Internacionales (distancia en km.)
Nivel Académico

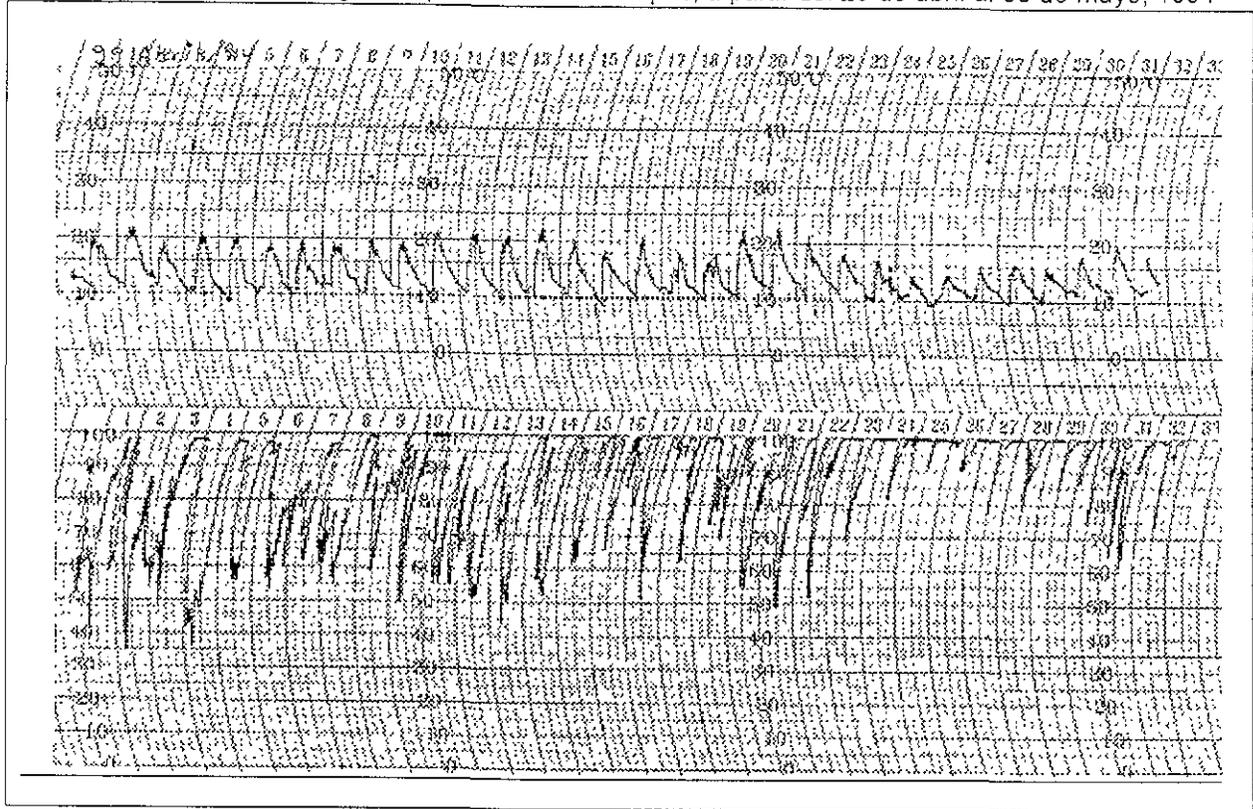
Para complementar esta información, también se obtuvo información de las Guías Turísticas de la República Mexicana y del Atlas de Carreteras de la editorial Guía Rojo, además de información general de los estados por medio de Internet Uniform Resource Locator (URL), cuyas direcciones se registran en la bibliografía.

3.7 Reducción de datos del termohidrógrafo:

El termohidrógrafo o hidrotermográfico es un instrumento que proporciona un registro continuo de la temperatura ambiente y la humedad relativa; los datos que se obtienen son plasmados sobre un diagrama, figura 5, en donde la temperatura en °C y la humedad relativa se registran en la parte superior e inferior, respectivamente y la información generada comprende alrededor de un mes

FIGURA 5

Representación Hidrotermográfica para el Cerro Tioteppec, a partir del 29 de abril al 30 de mayo, 1994



De este registro mensual se obtuvieron diariamente datos cada seis horas (6, 12, 18 y 24 horas), por lo que al día se asentaron cuatro referencias para ambas variables y al mes, si los datos son completos, se obtienen un total de 120 o 124 registros.

Posteriormente, de cada uno de los sitios donde se colocaron los termohidrógrafos, la información generada se capturó en una base de datos (Microsoft Excel versión 7.0) para determinar por medio de fórmulas la dispersión de los valores y la humedad específica, o sea, los gramos de agua por kilogramo de atmósfera. Esta base de datos se integró de la siguiente manera:

TABLA 6
 Variables hidrotermográficas, meteorológicas y
 regionales para cada sitio seleccionado.

Nombre del lugar
Fecha (mes/día/año)
Horas diarias (6, 12, 18 y 24)
Porcentaje de la humedad relativa (%HR)
Temperatura (T°C)
Tensión de vapor de agua (tenvap)
Humedad específica (Q)

Para obtener el valor de la tensión del vapor de agua, se aplicó la fórmula $4.582889 \cdot 10^{(7.5 \cdot T^{\circ}\text{C}) / (237.3 + T^{\circ}\text{C})}$, y para el caso de la obtención de la humedad específica (Q), se empleó la fórmula: $622 \cdot (\%HR/100) \cdot \text{tenvap} / 526.14$. Este último dato corresponde a la presión barométrica en milímetros de mercurio al nivel del mar, por lo que ésta varía según el lugar donde se ubique el termohidrógrafo.

Así pues, por el número elevado de información obtenida de la humedad específica (Q), se representó a ésta a partir de la elaboración de gráficas que muestren la dispersión de los datos, además de comparaciones entre los cinco sitios.

3.8 Reducción de datos radiométricos:

Si bien es posible tener ideas generales a partir de mediciones de radiosondeo, para asegurar mejor la calidad del aire de un sitio determinado, es necesario obtener datos más específicos. Para tal propósito la Universidad de Massachusetts proporcionó cinco radiómetros, cuya función es medir las emisiones atmosféricas a diferentes niveles y deducir así la profundidad óptica

Como se ha mencionado, la opacidad atmosférica reduce el nivel de la señal recibida e incrementa el ruido para los detectores debido a la emisión térmica. Por lo tanto la mínima opacidad en una columna de vapor de agua determina a un sitio como idóneo. Los radiómetros se construyeron para una frecuencia de 225 GHz, ya que a

Después de obtener las gráficas de los milímetros de agua y de la opacidad, se procedió a vaciar la información en una base de datos Excel para realizar gráficas más específicas que determinen los promedios diarios, mensuales y anuales y realizar comparaciones entre los diferentes lugares evaluados de fecha equivalente, y obtener así resultados aproximados que nos indiquen cuales son los sitios con menor porcentaje de humedad y, por lo tanto, cuales deben de considerarse, según este parámetro, como óptimos.

3.9 Visitas de Campo

Durante más de seis años se realizaron visitas periódicas a los diferentes sitios seleccionados para realizar las siguientes actividades:

- Verificación de la información en gabinete;
- Evaluación de la accesibilidad para eliminar los lugares considerados como inaccesibles;
- Determinar la pertenencia de la tierra,
- Valorización de las autoridades municipales para conocer su disponibilidad de colaboración en el proyecto del GTM;
- Observación de la geología de los sitios seleccionados;
- Colocación de radiómetros y termohidrógrafos en la cima de los cerros o alguna zona aledaña,
- Visitas periódicas para la recolección de los datos generados por ambos instrumentos.

Estas visitas a campo permitieron ir eliminando consecutivamente los lugares menos favorables para asegurar el buen desempeño del GTM.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

El establecimiento de diferentes métodos utilizados para determinar nuestro objetivo general que es identificar sitios adecuados para la instalación y construcción de un Radio Telescopio Milimétrico en la República Mexicana, ha generado diversos resultados en cada uno de los apartados analizados; éstos son:

4.1 Interpolaciones de la atmósfera:

A partir de las gráficas obtenidas, anexadas en el apéndice como Gráficos números 1 al 5, de los cortes atmosféricos realizados entre Mazatlán-Monterrey, Guadalajara-Monterrey y Cd. México-Monterrey y después de un análisis con base a la triangulación que cubre un amplio territorio del Altiplano, se pueden deducir los siguientes resultados:

- La mayor concentración de vapor de agua se encuentra distribuida por debajo de los 3 000 msnm, lo cual quiere decir que por arriba de esta altitud media prevalece sólo un 30% de humedad relativa.
- A esta altura de 3 000 msnm, la temperatura oscila en un rango no mayor a los 7.5° C

Con base en estos parámetros se inició la siguiente etapa de selección de sitios, tomando como mínimo una altura de 2 800 msnm

4.2 Eliminación de lugares por medio del examen de mapas topográficos

Junto con el criterio anterior se obtuvo un grupo de más de 400 lugares en toda la República Mexicana, de los cuales se eliminaron, primero, los que mostraron difícil acceso de acuerdo a las cartas topográficas, cuya inaccesibilidad fue comprobada en la primera visita de campo realizada. Posteriormente se consideró uno sólo de aquellos grupos geográficamente cercanos y que seguramente tenían condiciones climatológicas idénticas y similares facilidades de comunicación y servicios, reduciendo así el número a sólo 168 sitios base, con los cuales se iniciarán los siguientes estudios.

4.3 Análisis regional de variables meteorológicas:

Del total de las variables meteorológicas examinadas se eligieron tres de ellas para realizar algunas ponderaciones específicas, pero sin dejar de considerar las restantes para las evaluaciones globales, además de tomar en cuenta la variable de la latitud para complementar los resultados finales en este apartado que a continuación se definen:

4.3.1 Calificación por latitud:

Con base a este criterio se calificaron cada uno de los 168 sitios seleccionados, teniendo como resultado que los lugares más al sur quedaron con mayor calificación, representando así cada extremo del territorio nacional entre los 17° y 32° de latitud norte y desde los cuales se cubre entre el 92.4% y el 84.01% de la esfera celeste en 24 horas, respectivamente.

4.3.2 Calificación por número de días despejados:

Calificando los sitios bajo este criterio se obtiene como resultado que los lugares al norte de la República se ven mayormente favorecidos, aunque algunos sitios que se encuentran por debajo del trópico de Cáncer (23°27'), obtienen un buen promedio, como se aprecia en la siguiente tabla donde sólo se enlistan los 20 mejores resultados

TABLA 1.
Calificación por número de días despejados.

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	ESTADO	COORDENADAS		CALIFICACIÓN
		LONGITUD	LATITUD	
Sierra Pajarito	Chihuahua	106° 58'	29° 42 4'	218.12
Sierra Pajarito	Chihuahua	106° 57.8'	29° 42 5'	218.09
Cerro Alto de las Varitas	Chihuahua	106° 46 5'	29° 32'	214.09
San Pedro Mártir	Baja California	115° 29.2'	31° 1 7'	211.79
Cerro la Laja	Querétaro	99° 38.4'	20° 49 5'	190.12
Cerro sin nombre	Querétaro	99° 36 8'	20° 52.7'	190.60
Cerro Almagre	San Luis Potosí	100° 54'	23° 30 4'	187.16
Cerro el Barco	San Luis Potosí	100° 54.3'	23° 31 9'	187.12
Cerro Banxhú	Hidalgo	99° 13.2'	20° 35'	187.31
Cerro el Espolón	Querétaro	99° 33 9'	20° 47.4'	181.11
Cerro el Zamorano	Querétaro	100° 10 7'	20° 55 8'	180.97
Cerro de Enmedio	San Luis Potosí	101° 4 1'	21° 57 4'	179.89
Cerro Puerto Colorado	Zacatecas	101° 33.6'	22° 19.5'	179.51
Cerro los Pinos	Zacatecas	101° 32 6'	22° 20 1'	179.51
Cerro Chapultepec	Zacatecas	103° 7 6'	23° 27'	178.31
Cerro Grande	San Luis Potosí	100° 53 3'	23° 40'	178.07
Cerro Puerto del Aire	San Luis Potosí	100° 53 3'	23° 42 6'	178.03
Cerro la Descubridora	San Luis Potosí	100° 53 5'	23° 42 5'	178.03
Cerro Hualtepec	Hidalgo	99° 31 4'	20° 18 3'	177.04
Cerro Alto del Chorro	Durango	106° 1 4'	26° 3 2'	175.39

4.3.3 Calificación por el número de días nublados:

Esta calificación es más alta mientras el área de cielo nublado sea menor. Los lugares que resultaron con calificación más elevada son los que se encuentran en el estado de Chihuahua, como se observa en la siguiente tabla

TABLA 2
Calificación por número de días nublados

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	ESTADO	COORDENADAS		CALIFICACIÓN
		LONGITUD	LATITUD	
Sierra Pajarito	Chihuahua	106° 58'	29° 42' 4"	248 92
Sierra Pajanto	Chihuahua	106° 57' 8"	29° 42' 5"	248 98
Cerro Alto de las Varitas	Chihuahua	106° 46' 5"	29° 32'	275 79
San Pedro Mártir	Baja California	115° 29' 2"	31° 1' 7"	238 06
Cerro sin nombre	Chihuahua	107° 33.9'	29° 31' 6"	229 11
Cerro de Enmedio	Chihuahua	107° 33'	29° 30.9'	229 11
Cerro América	Chihuahua	107° 34' 3"	29° 31' 8"	229.08
Cerro la Aguja	Chihuahua	107° 34'	29° 33' 3"	229 05
Cerro sin nombre	Chihuahua	107° 13' 5"	28° 57' 2"	227.89
Cerro sin nombre	Chihuahua	107° 33' 2"	29° 27' 7"	227 07
Cerro los tres Picachos	Chihuahua	107° 35' 4"	29° 14' 3"	225 27
Cerro Cañón de la Cebadilla	Chihuahua	107° 32.5'	29° 14' 5"	225 27
Cerro el Zamorano	Querétaro	100° 10.7'	20° 55.8'	224 86
Cerro Cordón de San Juan	Chihuahua	107° 8.6'	28° 38' 9"	223.63
Cerro sin nombre	Chihuahua	106° 37.7'	28° 49' 7"	223.35
Cerro Chapultepec	Zacatecas	103° 7' 6"	23° 27'	222 89
Cerro Puerto Colorado	Zacatecas	101° 33' 6"	22° 19' 5"	222 15
Cerro los Pinos	Zacatecas	101° 32' 6"	22° 20' 1"	222 15
Cerro Machuaveachic	Chihuahua	107° 56.5'	28° 8' 3"	221 41
Cerro sin nombre	Chihuahua	106° 36'	29° 2' 3"	221 29

4.3.4 Calificación con base al número de días con insolación:

Con este criterio se obtuvo la calificación de los sitios en cuanto al porcentaje de cielo libre de nubes; aunque no por ello libre de humedad, teniendo dentro de los 20 mejores lugares a los que se localizan al norte del territorio nacional y algunos sitios en los estados de Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí, mismos que se señalan en la tabla 3

Junto a las variables meteorológicas empleadas y con base a los cuatro parámetros empleados (latitud, número de días despejados, número de días nublados y la insolación), se estableció una nueva etapa de selección de la cual se obtuvieron sólo 11 sitios, el 6%, aproximadamente, del total de sitios base seleccionado

TABLA 3
Calificación por número de días con insolación

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	ESTADO	COORDENADAS		CALIFICACIÓN
		LONGITUD	LATITUD	
Sierra Pajarito	Chihuahua	106° 58'	29° 42' 4"	100.04
Sierra Pajarito	Chihuahua	106° 57' 8"	29° 42' 5"	100.02
Cerro Alto de las Varitas	Chihuahua	106° 46' 5"	29° 32'	97.38
San Pedro Mártir	Baja California	115° 29' 2"	31° 1' 7"	96.97
Cerro la Laja	Querétaro	99° 38' 4"	20° 49' 5"	84.19
Cerro sin nombre	Querétaro	99° 36' 8"	20° 52' 7"	84.17
Cerro Chapultepec	Zacatecas	103° 7' 6"	23° 27'	82.45
Cerro Almagre	San Luis Potosí	100° 54'	23° 30' 4"	82.04
Cerro el Barco	San Luis Potosí	100° 54' 3"	23° 31' 9"	82.02
Cerro el Zamorano	Querétaro	100° 10' 7"	20° 55' 8"	80.82
Cerro el Espolón	Querétaro	99° 33' 9"	20° 47' 4"	80.20
Cerro Mesa del Serrano	Chihuahua	106° 11.9'	26° 4.4'	80.03
Cerro Banxhú	Hidalgo	99° 13' 2"	20° 35'	80.02
Cerro Alto del Chorro	Durango	106° 1' 4"	26° 3' 2"	79.91
Cerro sin nombre	Chihuahua	107° 13' 5"	28° 57' 2"	79.39
Cerro sin nombre	Chihuahua	107° 33' 9"	29° 31' 6"	78.94
Cerro de Enmedio	Chihuahua	107° 33'	29° 30' 9"	78.94
Cerro América	Chihuahua	107° 34' 3"	29° 31' 8"	78.93
Cerro la Aguja	Chihuahua	107° 34'	29° 33.3'	78.92
Cerro de Enmedio	San Luis Potosí	101° 4.1'	21° 57.4'	78.92

Como ya se ha mencionado, este análisis posee una limitante que es la ubicación de las estaciones climatológicas asentadas, por lo regular, en los valles, lo cual hace que las extrapolaciones realizadas nos den sólo una estimación del estado real de las condiciones meteorológicas a la altura requerida que es de, por lo menos, 2 800 msnm. Por ello, para la selección de los 11 lugares finales sólo se eligió un sitio representativo de cada una de las diversas regiones ponderadas y de mayor calificación, resultado que se registra en la siguiente tabla 4.

A partir de este enlistado se aplicarán algunos métodos y técnicas de evaluación y ponderación, los cuales nos darán resultados de carácter más específico.

TABLA 4

Resultado final de las calificaciones obtenidas por el análisis meteorológico

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	ESTADO	COORDENADAS		ALTURA msnm
		LONGITUD	LATITUD	
Sierra Pajarito	Chihuahua	106° 58'	29° 42' 4"	2820
San Pedro Mártir	Baja California	115° 29' 2"	31° 1' 7"	2830
Cerro la Laja	Querétaro	99° 38' 4"	20° 49' 5"	3120
Cerro Banxhú	Hidalgo	99° 13' 2"	20° 35'	3180
Cerro los Pinos	Zacatecas	101° 32' 6"	22° 20' 1"	2820
Volcán Nevado de Toluca	Estado de México	99° 38' 4"	19° 49' 5"	4690
Cerro Tiotepéc	Guerrero	100° 9' 4"	17° 28' 2"	3550
Cerro Grande	San Luis Potosí	100° 53' 3"	23° 40'	3180
Cerro las Antenas	Zacatecas	103° 47' 2"	23° 40' 7"	3100
Cerro la Negra	Veracruz	97° 18'	18° 58'	4580
Cerro la Ardilla	Aguascalientes	102° 35'	22° 16' 8"	2980

4.4 Análisis sísmico del territorio nacional:

Los resultados obtenidos de este análisis nos muestran que los sitios localizados al norte de la República Mexicana son los que presentan menor o nulo grado de movimientos telúricos. Por otra parte, los lugares sureños como son el caso del Nevado de Toluca y el Cerro la Negra, aunque se encuentran dentro de la zona del Eje Volcánico Transversal, éstos se consideran dentro de una área poco activa, ya que muchos de sus volcanes se considerarán extintos. La tabla siguiente nos presenta la calificación sísmica de los 11 sitios base:

TABLA 5

Calificación sísmica.

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	ESTADO	CALIFICACIÓN SÍSMICA	COMENTARIO
Sierra Pajarito	Chihuahua	0	
San Pedro Mártir	Baja California	1	
Cerro la Laja	Querétaro	2	
Cerro Banxhú	Hidalgo	2	
Cerro los Pinos	Zacatecas	2	
Volcán Nevado de Toluca	Estado de México	0	Bajo Falla
Cerro Tiotepéc	Guerrero	3	Bajo Falla
Cerro Grande	San Luis Potosí	0	
Cerro las Antenas	Zacatecas	1	
Cerro la Negra	Puebla	3	Bajo Falla
Cerro la Ardilla	Aguascalientes	1	

4.5 Procesamiento de las imágenes de satélite visibles e infrarrojas.

Como ya se he mencionado en el capítulo anterior, el análisis de las imágenes de satélite tiene como objetivo el obtener información de cada sitio a cerca del porcentaje de días despejados y/o nublados.

El total de imágenes de satélite capturadas y analizadas se presentan en la tabla 6, de donde los primeros diez sitios corresponden a los lugares predeterminados en los anteriores incisos, y que son la base para obtener, el resultado final; los diez sitios restantes se incluyeron para realizar comparaciones.

Tabla No 6 Totalidad de imágenes de satélite utilizadas en el análisis

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	FECHA DE INICIO		FECHA FINAL		TOTAL DATOS DIARIOS		TOTAL DATOS ACUMULADOS
	VISIBLE	INFRARROJA	VISIBLE	INFRARROJA	VISIBLE	INFRARROJA	
Cerro la Negra	27-04-92	27-04-92	24-03-93	30-03-93	235	271	506
Cerro Grande	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro la Laja	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro Banxhu	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro Pinos	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Voicán Nevado de Toluca	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro Tioteppec	02-01-92	26-02-92	20-12-93	30-11-93	459	415	873
Sierra Pajarito	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
San Pedro Mártir	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro la Ardilla	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro Chapultepec	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro el Barco	02-01-92	26-02-92	20-12-93	30-11-93	459	415	873
Cerro la Lagunita	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro Papantón	02-01-92	26-02-92	20-12-93	30-11-93	459	415	873
Cerro Valparaíso	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro el Espolón	02-01-92	26-02-92	20-12-93	30-11-93	459	415	873
Cerro Hualtepec	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerrito de Enmedio	02-01-92	26-02-92	20-12-93	30-11-93	459	415	873
Cerro el Cubo	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
Cerro Compadres	02-01-92	26-02-92	20-06-94	17-06-94	570	550	1 120
							20 551

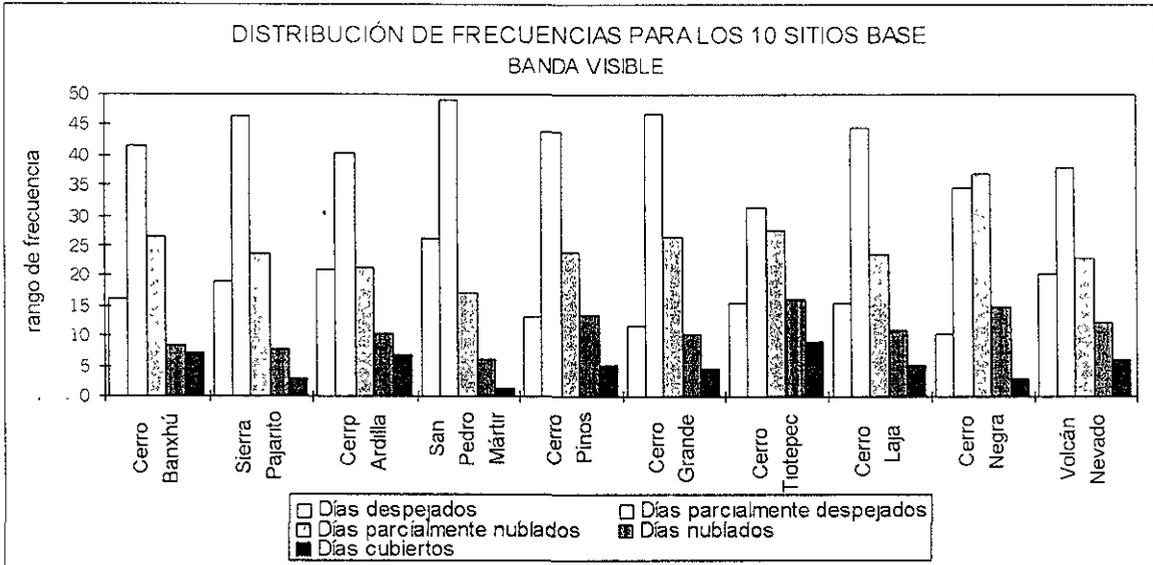
Para cada uno de los 20 sitios señalados en la tabla 6, con el total acumulado de 20,551 datos, se obtuvo su distribución de frecuencias, el cual nos permite extraer, precisamente, la frecuencia esperada de días despejados o nublados en cada sitio de estudio

Por ello, la información global de las distribuciones de frecuencias, así como el porcentaje final de este análisis, se muestra en las tablas 7 y 8, seguidas de la representación gráfica de dichos resultados por medio de histogramas de frecuencias, para cada uno de los lugares seleccionados. Esto nos dará la pauta para seleccionar los mejores sitios

TABLA 7
Porcentaje de frecuencias del total de días despejados y/o nublados para las Imágenes Visibles.

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	DÍAS DESPEJADOS	DÍAS PARCIALMENTE DESPEJADOS	DÍAS PARCIALMENTE NUBLADOS	DÍAS NUBOSOS	DÍAS CUBIERTOS
Cerro Banxhú	16.32	41.40	26.67	8.60	7.02
Cerro el Barco	1.74	40.96	36.38	13.07	7.84
Cerro el Cubo	7.89	50.35	26.49	10.53	4.74
Cerro Chapultepec	10.53	48.25	23.86	11.93	5.44
Sierra el Pajarito	19.12	46.49	23.68	7.90	2.80
Cerro los Compadres	24.91	44.74	20.53	6.14	3.68
Cerrito de Enmedio	1.96	32.90	41.83	15.25	8.06
Cerro el Espolon	4.14	43.79	29.19	15.47	7.41
Cerro la Ardilla	21.23	40.35	21.40	10.35	6.67
Cerro Hualtepec	7.19	44.21	27.89	14.74	5.96
Cerro la Lagunita	28.95	41.05	17.72	8.25	4.03
Cerro la Laja	15.44	44.56	23.86	10.88	5.26
Cerro la Negra	10.37	34.81	37.04	14.81	2.96
Volcán Nevado	20.53	37.89	22.98	12.28	6.32
Cerro el Papanton	21.79	35.08	24.40	12.85	5.88
San Pedro Mártir	26.14	49.12	17.19	6.32	1.23
Cerro Pinos	13.33	43.86	24.04	13.68	5.09
Cerro Grande	11.58	46.84	26.49	10.53	4.56
Cerro Tiotepic	15.69	31.59	27.67	16.12	8.93
Cerro Valparaíso	12.81	50.18	21.40	10.70	4.91

GRÁFICO 1



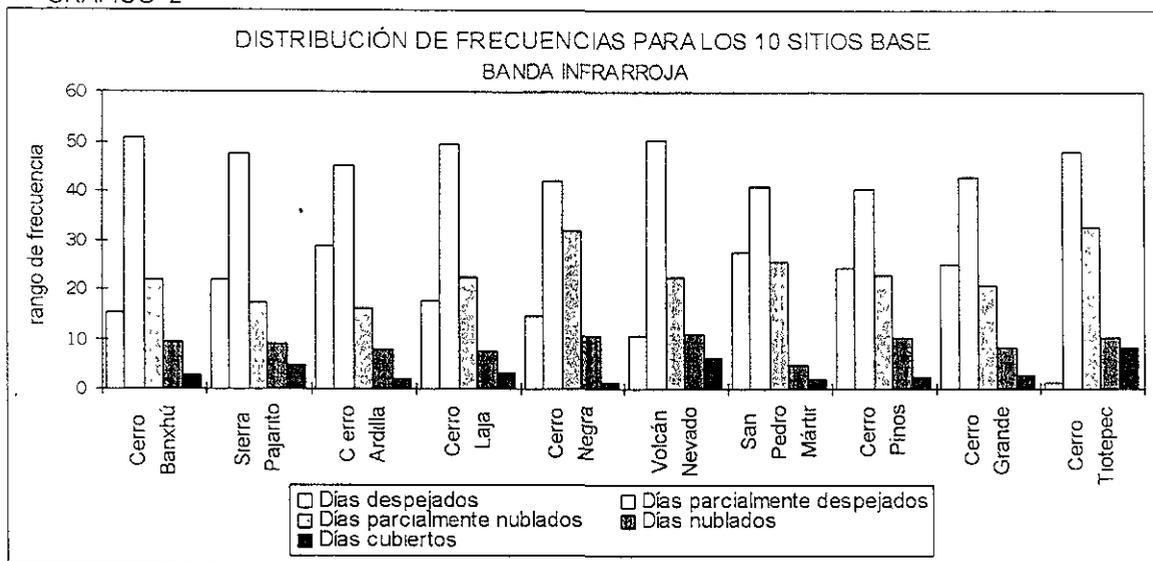
NOTA. para los valores de días parcialmente nublados, días nublados y días cubiertos, los mejores sitios corresponden a los de menor frecuencia.

Tabla 8.

Porcentaje de frecuencias del total de días despejados y/o nublados para las Imágenes Infrarrojas

NOMBRE DEL CERRO O LUGAR	DÍAS DESPEJADOS	DÍAS PARCIALMENTE DESPEJADOS	DÍAS PARCIALMENTE NUBLADOS	DÍAS NUBOSOS	DÍAS CUBIERTOS
Cerro Banxhú	15.42	50.64	21.96	9.26	2.72
Cerro el Barco	24.63	43.48	18.84	8.45	4.59
Cerro Chapultepec	16.18	50.36	19.82	8.55	5.09
Sierra el Pajarito	21.81	47.27	17.27	8.91	4.73
Cerro los Compadres	11.63	56.18	20.36	8.00	3.82
Cerro el Cubo	20.36	48.91	18.18	8.36	4.18
Cerrito de Enmedio	22.94	42.03	22.95	7.49	4.59
Cerro el Espolon	16.42	48.07	24.15	7.97	3.38
Cerro la Ardilla	28.72	45.27	16.18	8.00	1.82
Cerro Hualtepec	12.90	48.73	26.00	8.00	4.36
Cerro la Lagunita	13.63	55.27	19.64	7.82	3.64
Cerro la Laja	17.45	49.27	22.55	7.45	3.27
Cerro la Negra	14.61	42.11	31.58	10.53	1.17
Volcán Nevado	10.52	50.10	22.32	10.89	6.17
Cerro el Papanton	12.53	50.84	21.93	11.08	3.61
San Pedro Mártir	27.27	40.73	25.45	4.55	2.00
Cerro Pinos	24.13	40.29	22.69	10.34	2.54
Cerro Grande	25.27	42.73	20.91	8.18	2.91
Cerro Tlotepec	1.20	47.83	32.61	10.14	8.21
Cerro Valparaiso	17.63	51.27	19.09	7.64	4.36

GRÁFICO 2



NOTA: para los valores de días parcialmente nublados, días nublados y días cubiertos, los mejores sitios corresponden a los de menor frecuencia.

Con estos resultados podemos observar que los sitios más al norte del territorio nacional (Chihuahua y Baja California), son los que obtienen mayor porcentaje de días despejados, aunque no por ello libres de humedad, lo cual se puede comprobar, a partir del análisis de los sitios incluidos para comparaciones, tales como, el Cerro los Compadres (Chihuahua), el Cerro Valparaíso (Zacatecas) y el Cerro la Lagunita (Durango), que presentan un número elevado de días despejados al año, como se muestra en las siguientes gráficas:

GRAFICO 3

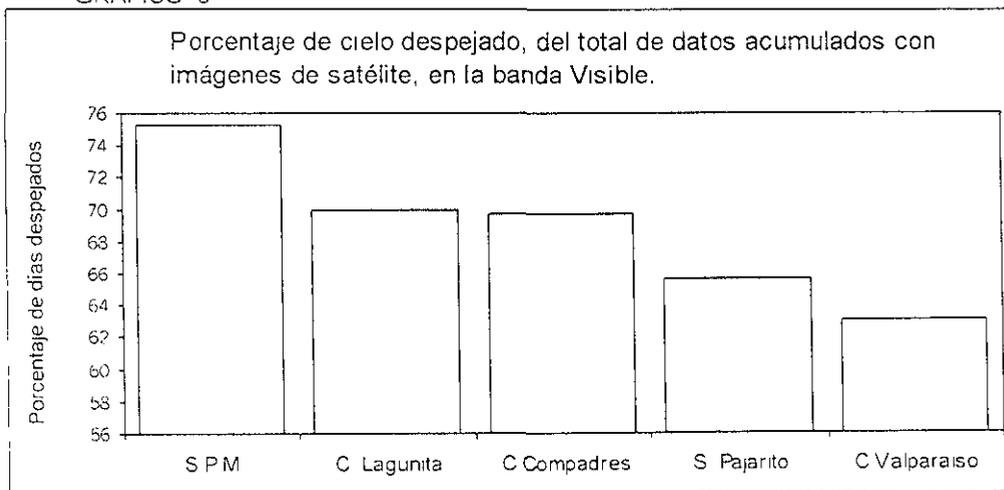
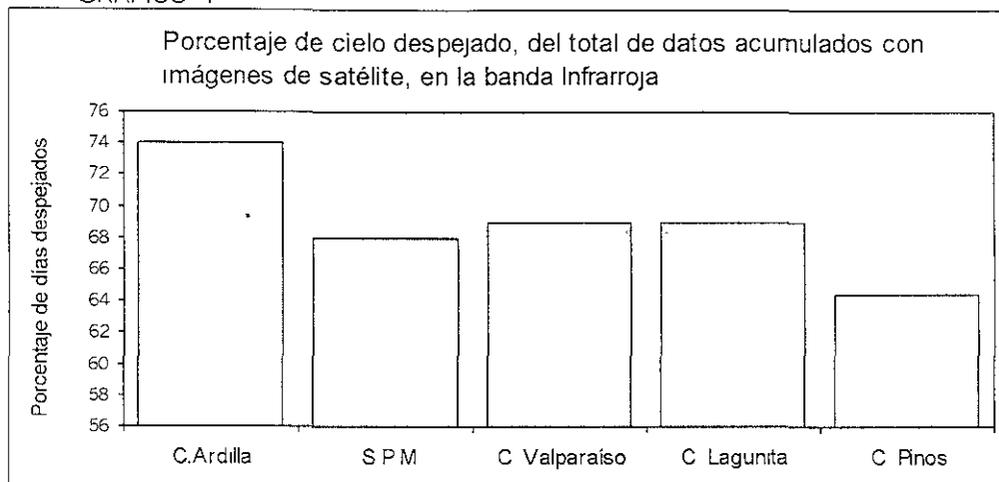


GRÁFICO 4



Como resultado del análisis estadístico de las imágenes de satélite visibles e infrarrojas, tenemos que los mejores cinco sitios, con menor número de días despejados al año son: San Pedro Mártir (Baja California, Sierra Pajaritos (Chihuahua), Cerro la Ardilla (Aguascalientes), Cerro Grande (San Luis Potosí) y Cerro Banxhú (Hidalgo).

4.6 Con base en un análisis poblacional y de desarrollo regional

Este análisis poblacional tuvo como resultado una descripción mínima de las ciudades más cercanas a los sitios base seleccionados. A continuación, para cada sitio se presenta un mapa topográfico de la región y una breve reseña, haciendo hincapié en su localización estratégica, el nivel socio-demográfico, los indicadores económicos, la infraestructura, las distancias en kilómetros entre las ciudades y algunos otros indicadores geográficos, marcando las ventajas y las desventajas que cada población halla presentando:



ESCUELA DE FILOSOFÍA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFÍA

Cerro Sin Nombre, Sierra el Pajarito, Buenaventura, Chihuahua:

Las desventajas que se presentan en esta región son: el difícil acceso para escalar el cerro, ya que sus pendientes son muy pronunciadas por lo que el introducir algún tipo de infraestructura redituaría en un gasto demasiado elevado, además de que los centros de provisión se ubicarían a gran distancia; ésto es, que de la cima del cerro al camino más próximo existen poco más de 40 km. de camino accidentado y distan de las ciudades de Chihuahua y Nuevo Casas Grandes 246 km. y 150 km respectivamente. Esto se traduce a más o menos 3 horas a la capital del Estado y cerca de 2 horas a la ciudad de Nuevo Casa Grandes.

Una notable ventaja es su cercanía con la ciudad de Chihuahua, que por ser capital del Estado, tiene un gran desarrollo urbanístico, gozando de las obras de infraestructura como caminos, líneas de carreteras, líneas ferroviarias, etc., que lo comunican a las principales ciudades del país y diversos poblados. Por otro lado, sus instalaciones aéreas tienen capacidad para recibir rutas comerciales nacionales e internacionales. Su nivel socioeconómico es considerado como óptimo pues cuenta con más del 90% de los servicios básicos de agua potable, drenaje, energía eléctrica, pavimentación y vivienda, además de una red telefónica. Su economía está sustentada, principalmente, en el sector secundario y terciario, además de contar con más de 10 instituciones de nivel superior; entre ellas la Universidad Autónoma de Chihuahua y el Instituto Tecnológico de Chihuahua.

Otra ciudad aún más cercana pero con un menor nivel socioeconómico es Nuevo Casa Grandes, ciudad de no más de 50 000 habitantes, dedicados a las actividades agrícolas y mineras. Sus vías de comunicación terrestre están limitadas a una carretera estatal y una línea ferroviaria que la comunica con las ciudades de Chihuahua y Ciudad Juárez; su ruta aérea es regular. En cuanto a sus servicios de agua, drenaje y energía eléctrica, están suministrados en un 78%. El nivel académico superior es mínimo, sólo cuenta con algunos institutos técnicos.

Observatorio San Pedro Mártir, Sierra de San Pedro Mártir, Ensenada, Baja California:

Este sitio cuenta con una localización estratégica, ya que al encontrarse aquí el Parque Nacional de San Pedro Mártir y el Observatorio Nacional, cuenta con toda una infraestructura establecida y, por estar cercano a la ciudad de Ensenada, de un nivel socio-demográfico y económico próspero, lo cual minimizaría el costo de la instalación del GTM, calificándolo, en este sentido, como uno de los lugares con mayores ventajas

La distancia entre la ciudad de Ensenada y San Pedro Mártir es de 235 km., poco más de 3 horas de trayecto por un camino pavimentado.

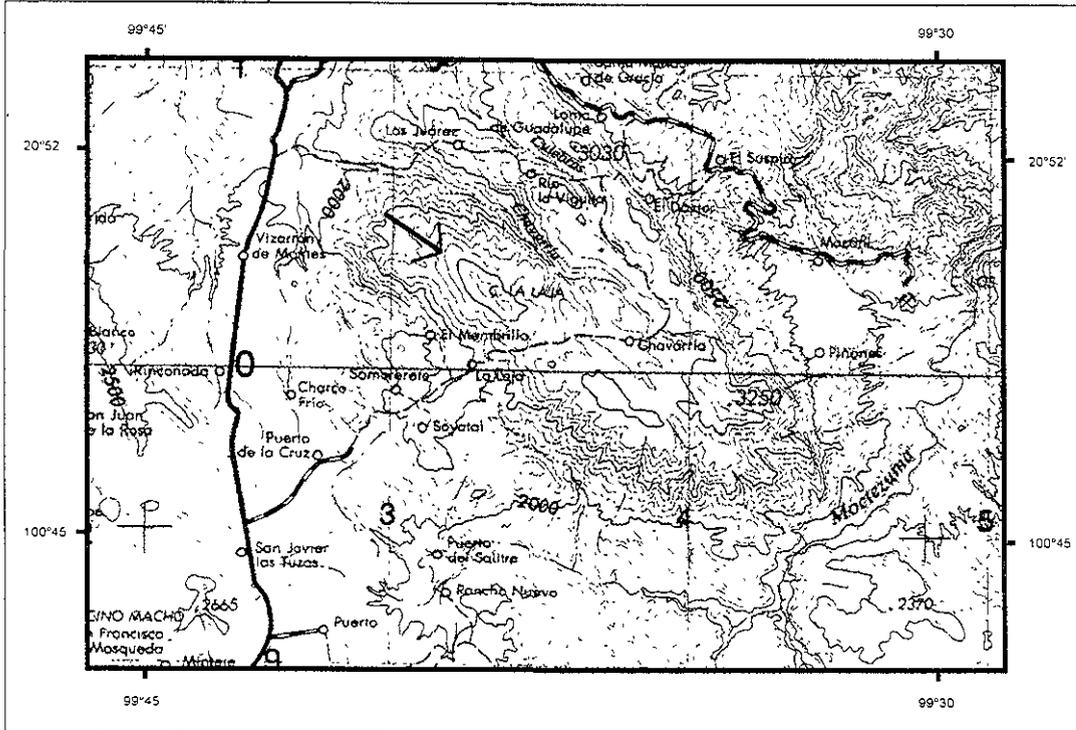
Con 106 000 habitantes, Ensenada es una ciudad cuya infraestructura le permite llevar a cabo actividades productivas y comerciales, siendo el total de sus servicios básicos de agua potable, drenaje y energía eléctrica de un 88%. Su economía está basada en el sector terciario como el turismo y los centros de recreo; también son importantes los puertos de altura y cabotaje. Su red de caminos es de diversos grados de calidad, que van desde autopistas hasta brechas; la autopista que la enlaza con la ciudad de Tijuana también la conecta con el aeropuerto de la misma ciudad, con vuelos nacionales e internacionales. Además, a menos de 200 km se encuentra, en la ciudad de Mexicali, otro aeropuerto internacional. La Universidad Autónoma de Baja California y demás instituciones de nivel superior lo ubican como un estado con alto nivel académico. Por consecuencia, estas características favorables convierten a este sitio en un candidato idóneo para la colocación del GTM

Cerro la Laja o Las Vigas, Sierra del Doctor, Cadereyta, Querétaro:

Uno de los mayores inconvenientes de este sitio es el acceso hacia el cerro, el cual se encuentra enclavado en una sierra de pendientes pronunciadas y con grandes

bloques de rocas de hasta dos metros de espesor, dificultando la llegada hacia la cima. La distancia de la cúspide del cerro hacia la carretera más cercana es de, aproximadamente, 12 km., lo que nos daría como consecuencia la elevación del costo por la introducción de la infraestructura necesaria.

MAPA 1 Cerro la Laja



FUENTE INEGI, Carta topográfica 1 250 000, Pachuca F14-11.

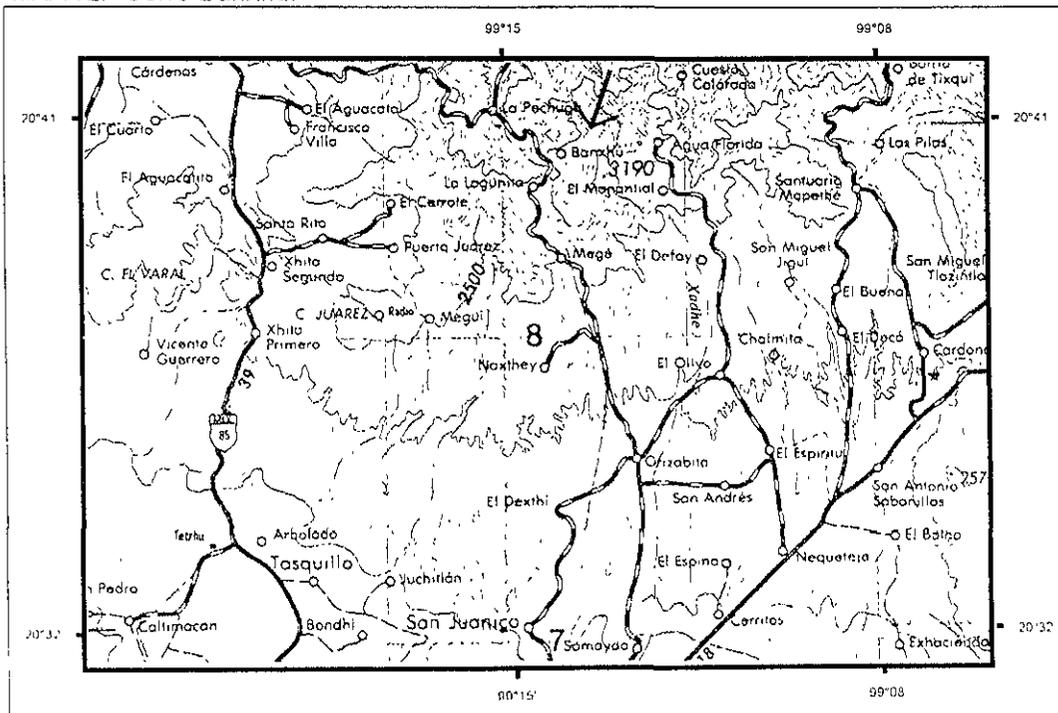
En sentido opuesto adquiere grandes ventajas por tener a poca distancia a la ciudad de Querétaro, más o menos a 136 km., aproximadamente, 1 hora con 30 minutos de recorrido. Esta cuenta con un alto desarrollo socio-demográfico-económico y es un importante eje de comunicación ya que se encuentra ubicado en el centro geográfico de la República Mexicana, en donde se realiza el tránsito entre el Bajío y la Altiplanicie Mexicana, siendo así que su sistema de comunicaciones a través de carreteras pavimentadas y vías de ferrocarril es bastante amplio y eficiente. Cuenta también con un aeropuerto de corto alcance, además de su cercanía a la ciudad de México, a 220 km de distancia, aproximadamente 2 horas con 50 minutos de recorrido.

Por ser la capital del Estado, cuenta con más del 90% de todos los servicios públicos, su economía esta basada en el sector terciario hasta en más de un 60%, aunque el sector industrial a tenido un importante despegue en las últimas décadas.

Su alto nivel académico está cimentado en la Universidad Autónoma de Querétaro, el Instituto Politécnico del Estado de Querétaro, de los cuales se desprenden convenios de colaboración académica para el desarrollo de proyectos de investigación, como es el caso del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) campus Juriquilla, Querétaro, cuya línea de investigación, entre otras disciplinas, son las Ciencias Materiales y Biomateriales, de gran importancia para estudios de investigación científica, o el Centro Nacional de Metrología (CENAM), donde existen áreas de investigación de Óptica y Radiometría (Metrología Física) en colaboración con el INAOE, en el municipio del Marqués, Querétaro.

Cerro Banxhú, Sierra de Pachuca, Ixmiquilpan, Hidalgo:

MAPA 2. Cerro Banxhú.



FUENTE INEGI, Carta topografica 1 250 000, Pachuca F14-11

Este cerro se localiza al norte de las inmediaciones de la sierra de Pachuca. Una de sus desventajas es su relieve escarpado con pendientes pronunciadas que lo convierten en un terreno poco accesible, tanto peatonal como vehicular, por lo que aumentaría considerablemente el costo por la introducción de cualquier tipo de infraestructura. La ciudad más cercana al cerro es el Banxhú, aunque de poco crecimiento urbano, es Ixmiquilpan. Esta se encuentra asentada sobre un territorio principalmente llano y cuenta con una población de alrededor de 65 000 habitantes, de los cuales, alrededor del 78% poseen los servicios básicos como agua, drenaje y energía eléctrica; presenta un escaso desarrollo académico ya que su sistema escolar comprende hasta el nivel medio superior. De esta ciudad al cerro distan, aproximadamente, 30 km. Su mayor ventaja es encontrarse próxima a una ciudad de gran progreso social y económico que lo es la ciudad de Pachuca. Desde el cerro el Banxhú hasta esta urbe, distan 121 km., o sea, 1 hora 40 minutos de tiempo de recorrido, aproximadamente. Esta cuenta con 125 000 habitantes y, por ser la capital del Estado, posee un 90% de los servicios básicos de agua potable, drenaje, energía eléctrica y pavimentación. Sus carreteras la conectan con la ciudad de México en, aproximadamente, 1 hora de trayecto; esto a través de la autopista. Además de estar enlazada con algunos puertos del estado de Veracruz, cuenta con una red ferroviaria, la cual procede de la ciudad de México. El aeropuerto más cercano está a una distancia de 92 km., que es el de la ciudad de México, a 1 hora de camino. Sus sectores productivos son el comercio y la actividad industrial, además de ser un centro minero importante a escala nacional.

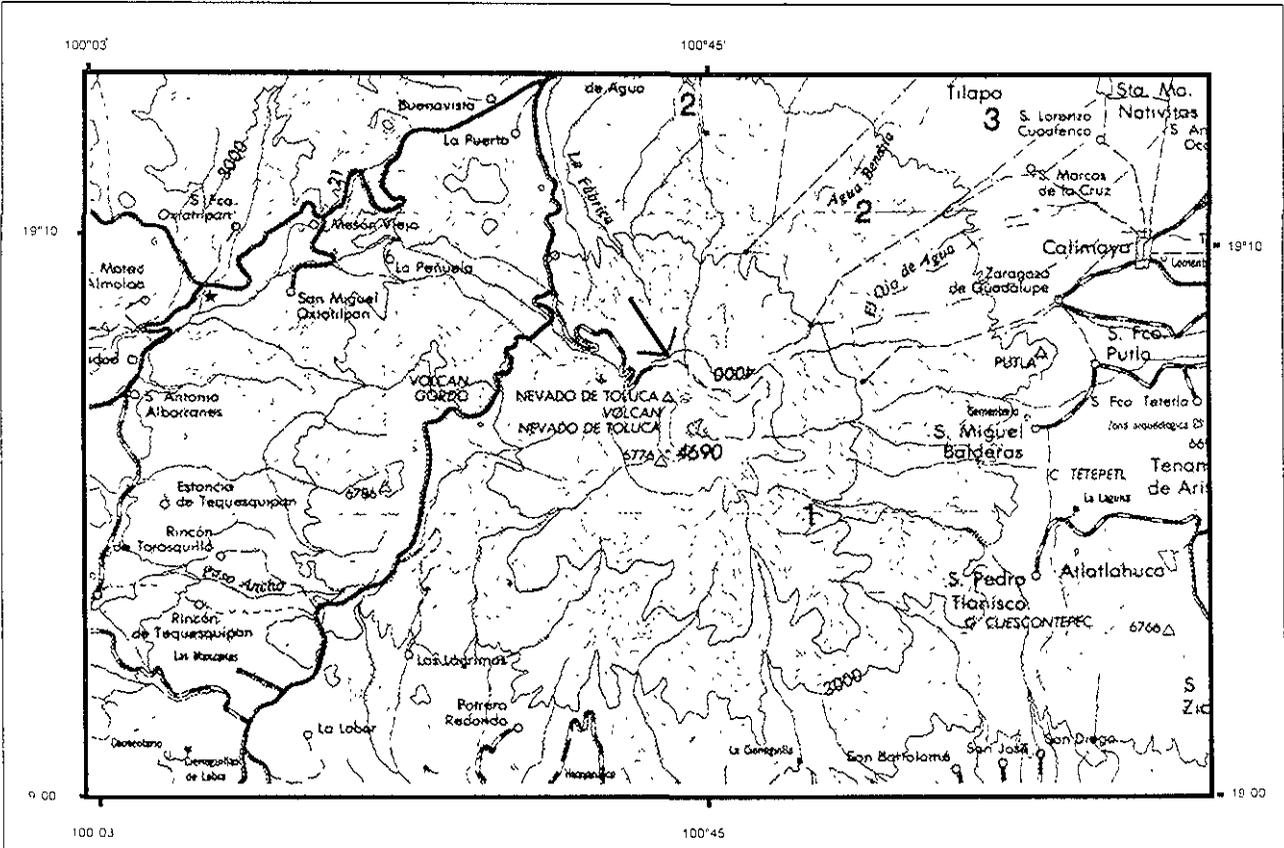
La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y otras, brindan a los residentes, la oportunidad de instruirse a niveles académicos superiores.

Volcán Nevado de Toluca, Temascaltepec, Sierra del Hospital, Estado de México:

El volcán Nevado de Toluca ofrece grandes ventajas, ya que se encuentra muy bien comunicado, pues existe un camino que llega hasta el fondo de su cráter.

prolongación de la carretera que proviene de la ciudad de Toluca. Por ser un sitio turístico, existen albergues y merenderos, originando que hasta en los alrededores del volcán lleguen la energía eléctrica y el agua potable, además de la energía trifásica, que proviene de una estación que da mantenimiento a un grupo de antenas de microondas instaladas a unos 300 metros de la cúspide del volcán

MAPA 3 Volcán Nevado de Toluca.



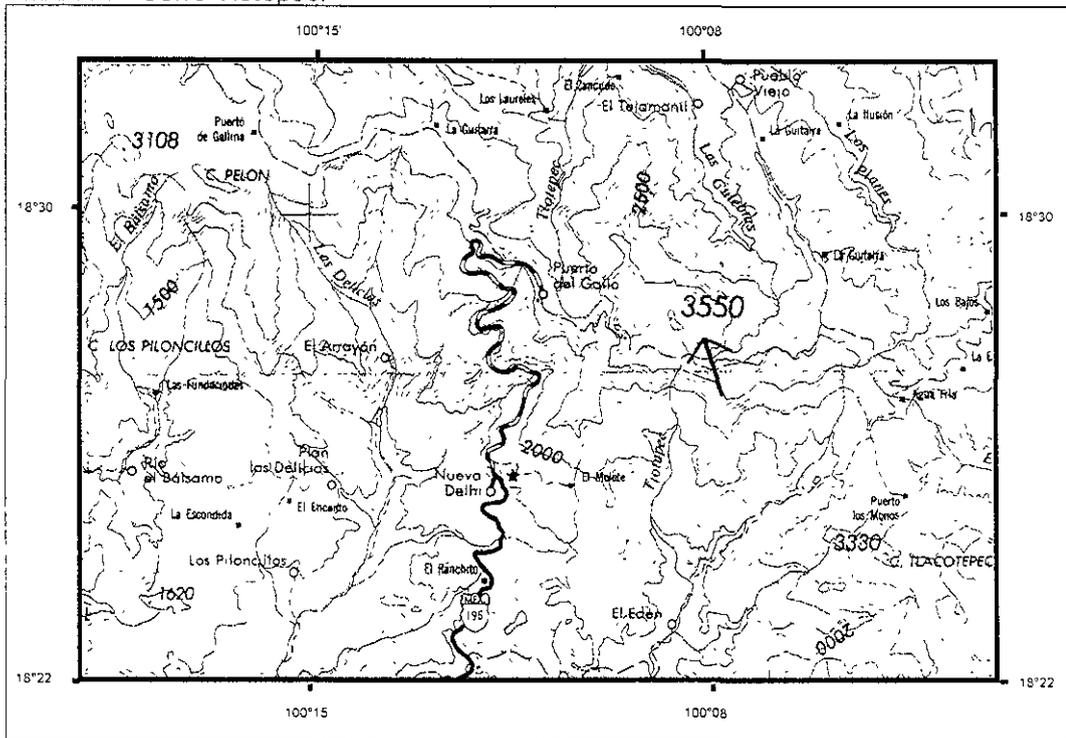
FUENTE INEGI, Carta topográfica 1.250 000 Ciudad de México E14-2

Por otro lado, la ciudad de Toluca, que se encuentra a una distancia de 22 km. del volcán, cuenta con un desarrollo socioeconómico avanzado, muestra de ello es el nivel académico que posee ya que, no sólo existe la Universidad Autónoma del Estado de México, sino algunas otras instituciones de nivel superior. Su sector industrial automotriz y la promoción del turismo se han convertido en las actividades más redituables para la ciudad. Su red de comunicaciones ocupa los primeros

lugares con tres autopistas a la ciudades de: México, Puebla y Querétaro, además de carreteras troncales; cuenta también con un aeropuerto internacional.

Cerro Tioteppec, Sierra Campo Morado, Quetzala del Progreso, Guerrero:

MAPA 4 Cerro Tioteppec.



FUENTE INEGI, Carta Topográfica 1 250 000 Zihuatanejo E14-7-10

El cerro de Tioteppec, uno de los de mayor altura en el estado de Guerrero, se localiza al suroeste de la sierra Campo Morado, la cual forma parte de la Sierra Madre del Sur. Por ser ésta una zona montañosa y boscosa, se dificulta, tanto la inspección del sitio, como la colocación de instrumentos de medición y aumentaría el costo por la introducción de la infraestructura necesaria para el proyecto GTM. Sin embargo, la distancia de la cima del cerro a la carretera más cercana no es mayor de 10 km., pero por ser un relieve escarpado, se obstaculiza el trayecto. Por otro lado, desde este punto a una ciudad con prosperidad estable, que en este caso sería Chilpancingo distan 142 km., poco más de 1 hora de recorrido, y a partir de aquí se cuenta ya con

la reciente autopista México-Acapulco, la cual comunica en corto tiempo a ambas ciudades.

Siendo así que su cercanía con la ciudad de Chilpancingo podría señalarse como una gran ventaja, ya que contaría con gran parte de las facilidades que otorga una gran urbe. La población de Chilpancingo es de 97 165 mil habitantes, de los cuales, el 29% se dedica a las actividades económicas terciarias, siendo el turismo el sector de mayor productividad, tanto a escala regional como estatal; aunque también la industria extractiva juega un papel importante. Por ser capital del Estado, se brinda a la población la oportunidad de contar con diversas instituciones de nivel medio superior como la Universidad Autónoma de Guerrero.

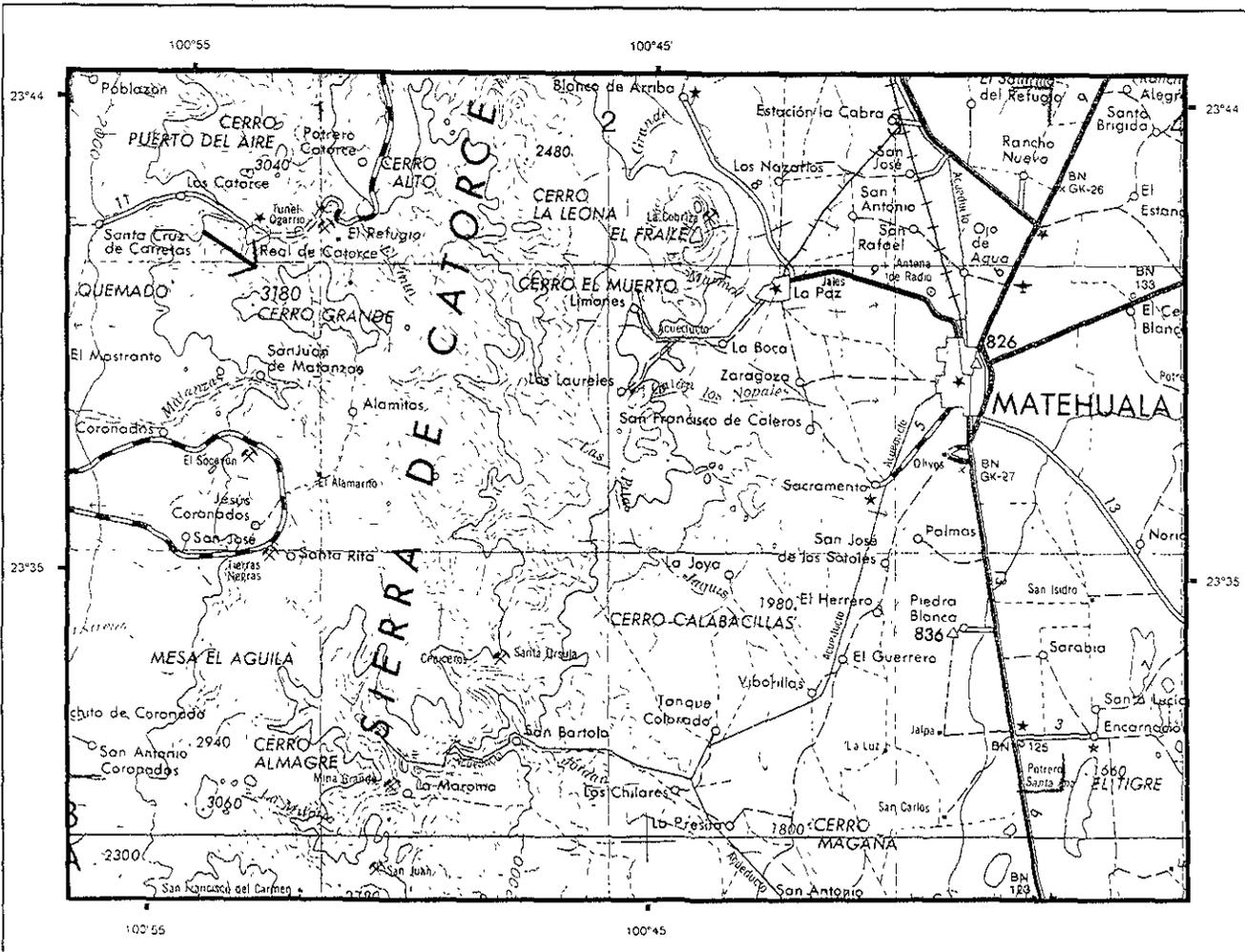
En cuanto a los servicios básicos de energía eléctrica, drenaje y agua potable, se cuenta en la urbe con un porcentaje promedio del 84%. Dispone de una amplia red de vías de comunicación que lo enlazan, en dirección sur, tanto por carretera federal como por autopista, con la ciudad de Acapulco y su aeropuerto internacional y hacia el norte, por ambas rutas, a la ciudad de Cuernavaca y la Ciudad de México.

Cerro Grande, Sierra de Catorce, Real de Catorce, San Luis Potosí:

En la Sierra de Catorce se sitúan tres cerros de características similares y de importancia relevante para nuestro estudio y son: el cerro Grande, el cerro de las Antenas y el cerro Puerta del Aire. En las faldas de la sierra de Catorce, al noroeste de ésta, se encuentra el poblado de Real de Catorce, cabecera municipal; desde esta población a los cerros el Grande y Puerta del Aire, existe una distancia de alrededor de 20 km y 12 km. respectivamente; esta villa, de no más de 2 500 habitantes, tiene como actividades económicas principales la minería y el turismo, contando con, por lo menos, dos hoteles bien equipados; entre ambos cerros existe otro conocido como Barriga de Plata en donde se hallan 5 torres de la Comisión Federal de Electricidad y, además cableado telefónico y un camino hasta el pico del cerro por donde pueden

subir vehículo estándar. La Presidencia Municipal de Real de Catorce ha mostrado interés en el proyecto del GTM y, los recursos con los que cuenta esta comunidad, dispone de amplias ventajas, ya que el costo de la infraestructura se minimizaría si se instalara en este cerro el Radio Telescopio.

MAPA 5 Cerro Grande.



FUENTE INEGI, Carta topográfica 1 250 000 Matehuala F14-1

La ciudad más próxima a este poblado es Matehuala, la cual se comunica a través de una carretera revestida con una extensión de 28 km, aproximadamente. Matehuala, ciudad y cabecera municipal con más de 70 mil habitantes, cuenta con un porcentaje del 87% de los servicios básicos de agua, drenaje y energía eléctrica, el comercio es su actividad principal, sus vías de comunicación la conectan hacia distintos puntos

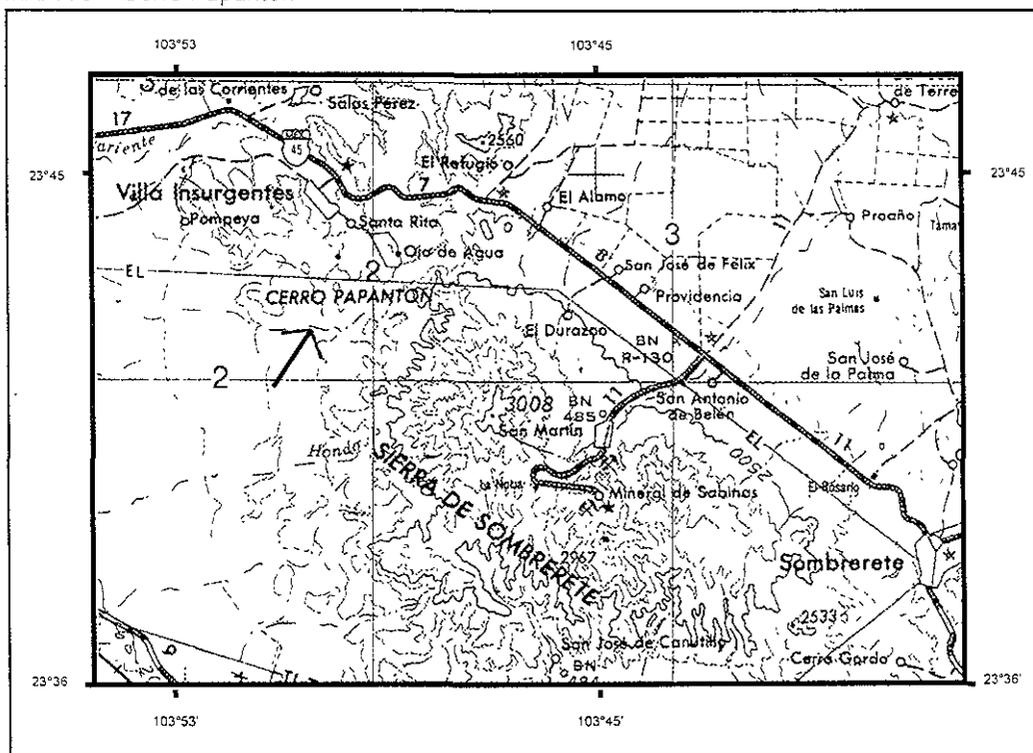
como el Estado de Zacatecas, las ciudades de Saltillo y Monterrey y hacia el sur, a 191 km., no más de 2 horas y 30 minutos de recorrido, a la ciudad de San Luis Potosí. también cuenta con un ramal ferroviario.

La ciudad con más alto desarrollo y más cercana a la Sierra de Real de Catorce es San Luis Potosí. Entre ésta y el cerro Grande hay una distancia aproximada, por carretera, de 130 km. Esta ciudad fue un importante centro de desarrollo minero, ganadero, industrial, ferroviario y comercial, con una población que rebasa los 500 000 habitantes, los cuales cuentan con un 95% de los servicios básicos de agua, drenaje y energía eléctrica; se encuentra bien comunicada, a través de sistemas carreteros pavimentados que la conectan al norte con las ciudades de Saltillo y Monterrey, y al sur con la ciudad de Querétaro y la ciudad de México; cuenta también con una red de vías férreas y un aeropuerto de corto alcance, académicamente se hallan diversas instituciones de nivel superior, además de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Algunas de las carreras que ofrece son: Ciencias Físico-Matemáticas, Ingeniería Electrónica, así como Posgrado en Física, etc., disciplinas importantes en el desempeño científico del GTM

Cerro las Antenas (Papantón), Sierra el Sombrerete, Sombrerete, Zacatecas:

El cerro de las Antenas es conocido en la localidad con el nombre de Papantón. Este cerro es de propiedad privada, en su cima se encuentran 8 torres y 1 antena parabólica, pertenecientes, algunas de ellas, a la empresa Televisa y otras al Instituto Mexicano del Seguro Social; también se hallan una mojonera de testigo de la Central Eléctrica Minera y un banco de la Secretaría de Industria y Minas Paraestatal. Desde la cima del cerro hasta el poblado San Martín existe una brecha en excelentes condiciones de 3 a 4 km por donde pueden circular vehículos compactos

MAPA 6 Cerro Papantón



FUENTE INEGI, Carta topográfica 1:250 000 Fresnillo, F13-3

Una de las desventajas en este sitio es que a corta distancia se encuentra la mina Unidad San Martín en la cual se registran explosiones y cuyos efectos vibratorios se extienden a más de 4 km de la mina las cuales pueden llegar al cerro el Papantón y afectar, en dado caso, al Radio Telescopio.

La región donde se hallan la mina Unidad San Martín, y el poblado del mismo nombre, el cerro la Gloria, el cerro Prieto y el cerro el Papantón, tiene cercana a la ciudad de Sombrerete, cabecera municipal, interesándose en el proyecto del GTM, el presidente municipal. Esta ciudad cuenta con alrededor de 15 000 habitantes y es un centro minero. Desde Sombrerete a la zona examinada, distan entre 10 y 15 km aproximadamente. Las ciudades más cercanas y con un desarrollo socioeconómico marcado son Durango y Zacatecas. Partiendo de Sombrerete, la primera se encuentra a una distancia de 125 km, más o menos a 1 hora con 15 minutos. y Zacatecas se halla a 165 km, alrededor de 1 hora con 40 minutos.

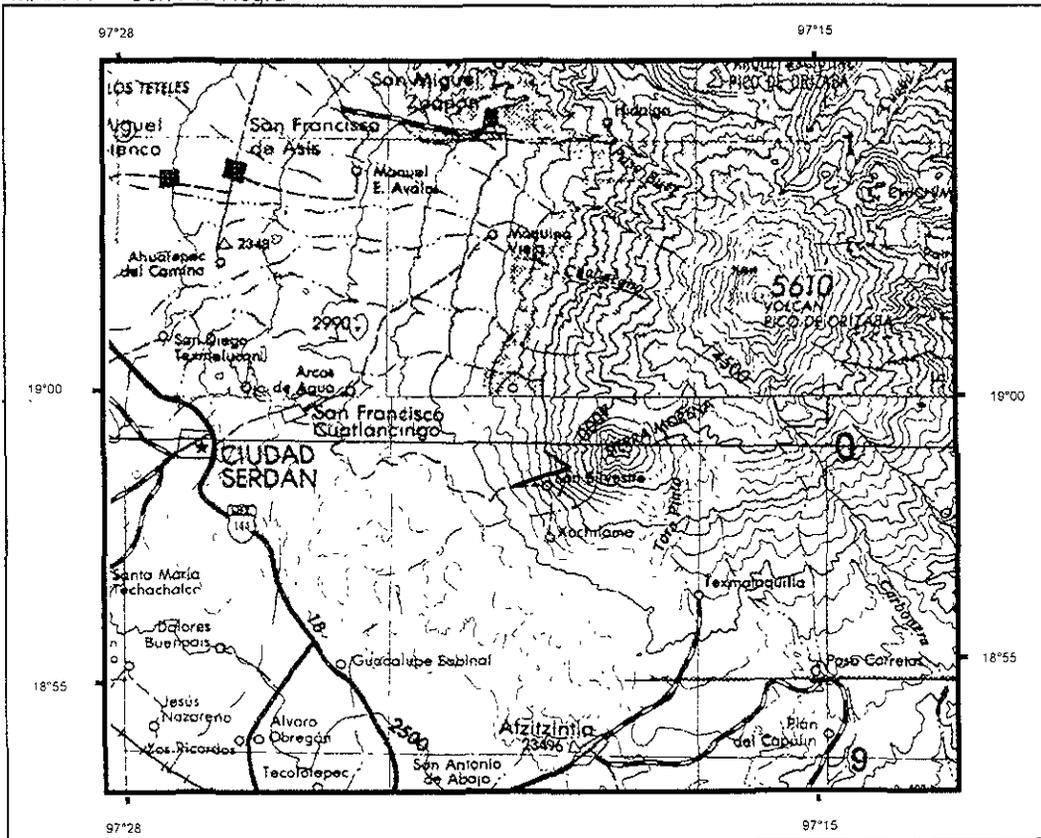
Durango se encuentra, aproximadamente, a 12 horas de la ciudad de México, lo cual equivale a más de 1 000 km., mientras que Zacatecas dista de ésta en 612 km., más o menos 7 horas de camino. Por esta razón, Zacatecas se ha elegido como la de mayor ventaja para el proyecto del GTM

La ciudad de Zacatecas, capital del estado del mismo nombre, ofrece grandes ventajas se localiza en el centro norte del país y cuenta con poco más de 90 000 habitantes, quienes, a su vez, cuentan con los servicios de agua, drenaje, energía eléctrica y pavimentación. Sus actividades económicas están relacionadas, en gran parte, a la industria minera. En cuanto a las opciones educativas, la ciudad cuenta con la Universidad Autónoma de Zacatecas, la cual dispone de poco más de 20 profesiones, entre ellas la Licenciatura y Posgrado en Física, así como diversas carreras de Ingeniería, de importancia para el proyecto del GTM, también cuenta con institutos tecnológicos y escuelas normalistas. Los servicios de comunicación terrestre son variados. por esta ciudad pasa una de las rutas ferroviarias más importantes del país conocida como el "Ferrocarril Central", que recorre la ruta Ciudad de México-Ciudad Juárez; además, la red de carreteras lo enlazan con importantes ciudades. La comunicación aérea cuenta con vuelos comerciales que transitan por casi todo el territorio nacional y algunas ciudades de Estados Unidos

Cerro la Negra, Sierra Negra, Atzitzintla, Puebla

El cerro la Negra, está ubicado en la sierra que lleva el mismo nombre y que forma parte del eje volcánico transversal, es una de las principales elevaciones del estado de Puebla, circunscrito en el límite oriental de esta cordillera entre los estados de Puebla y Veracruz. Para arribar a dicho cerro, se parte del poblado de Atzitzintla, siguiendo la ruta trazada que conduce al volcán Pico de Orizaba, unos 6 kms., para después desviarse hacia la cima del cerro atravesando por una vereda, aproximadamente de 5 km, cuya pendiente media es de 25 grados

MAPA 7 Cerro la Negra



FUENTE INEGI, Carta topográfica 1:250 000 Orizaba E14-6 y Veracruz E14-3

La superficie de la cima del cerro está conformada por dos puntas, o mejor dicho, por dos cráteres inactivos, de los cuales el de mayor área mide cerca de 80 x 60 m. localizado hacia la parte noreste y el segundo, de menor tamaño, mide alrededor de 30 x 20 m. y se ubica hacia el oeste. Una de las ventajas de este cerro es que esta cerca del Poblado de Texmalaquilla (más o menos 16 km), el cual cuenta con energía eléctrica y, además, existe un proyecto en la localidad para proveer de electricidad a dos de las poblaciones más cercanas a este punto, que son Ciudad Serdán, que se encuentra a 12 km y Esperanza que se ubica a 26 km

Mientras tanto, la presidencia municipal de Atzintzintla ha expresado interés en el proyecto del GTM, al igual que el gobierno del estado de Puebla, quienes, además, ofrecen su apoyo

El estado de Puebla se localiza en el sureste del Altiplano Central de la República Mexicana, cerca de la capital del país, a tan sólo 131 km., 1 hora 45 minutos, y, aproximadamente, a 301 km., más o menos 3 horas con 45 minutos del puerto de Veracruz, uno de los más importantes del país, lo cual le otorga ventajas competitivas en relación con otros sitios; cuenta, además, con eficientes vías de comunicación como las carreteras México-Puebla-Orizaba-Córdoba, Puebla-Tehuacán-Oaxaca, además de encontrarse muy bien comunicada con ambas costas del país; lo mismo ocurre con su servicio ferroviario, el cual lo vincula con Oaxaca y la Ciudad de México, sirviendo de enlace con el sureste de México, el aeropuerto internacional más cercano es el de la ciudad de México que se encuentra a 1 hora 45 minutos de la ciudad de Puebla. Sus sectores productivos principales son el comercio y su larga tradición en la actividad industrial, tales como la producción automotriz y la de acero.

Con una población que rebasa el 1,000,000 de habitantes y una cobertura del 87% en sus servicios básicos de energía eléctrica, agua potable y drenaje, la convierten, en una ciudad apta para establecerse, ya que también presenta un alto nivel académico, pues sus más de 20 Universidades son de gran prestigio nacional e internacional, como la Universidad Autónoma de Puebla, la Universidad de las Américas o la Universidad Ibero Americana y además de diversas instituciones docentes como el Instituto Nacional de Astro Física Óptica y Electrónica (INAOE), el cual alberga el proyecto del Gran Telescopio Milimétrico

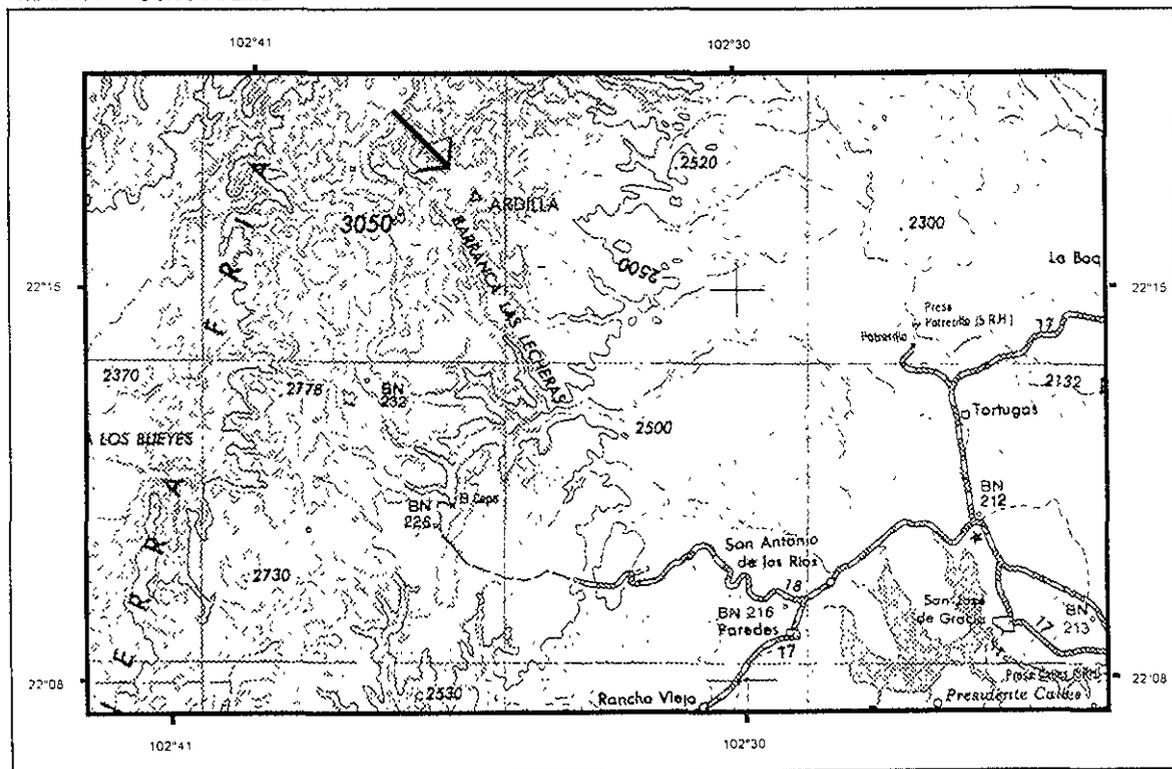
Cerro la Ardilla, Sierra Fría, San José de Gracia, Aguascalientes:

La sierra Fría atraviesa dos estados del territorio mexicano: la parte occidental de ésta, está localizada al sureste del estado de Zacatecas y la región oriental, al noroeste del estado de Aguascalientes

En la parte de la serranía ubicada al norte del estado de Aguascalientes, se encuentra el cerro la Ardilla, teniendo como poblado más próximo a San José de

Gracia, que se localiza al este de la sierra Fría, con no más de 3 000 habitantes, su cercanía con la presa Calles lo convierte en un lugar apto para el esparcimiento, para la pesca, la natación, el skí y las regatas, desde esta localidad a las faldas del cerro la Ardilla distan, aproximadamente, unos 36 km. de relieve accidentado, más o menos 2 horas de camino en un jeep. Y el ascenso, a pie, hasta la cima, tomaría entre 30 a 40 minutos, siendo así que las desventajas para la introducción de infraestructura son notables, ya que el costo se elevaría grandemente, tanto por el relieve como por la distancia entre la cima y el poblado de San José de Gracia.

MAPA 7 Cerro Ardilla



FUENTE INEGI Carta topográfica 1 250 000. Zacatecas F13-6

La ciudad de mayor progreso económico y cercana al cerro la Ardilla, es Aguascalientes. Esta se encuentra, próxima al poblado de San José de Gracia, a una distancia de 51 km., aproximadamente 50 minutos de trayecto. Esta ciudad presenta grandes ventajas, ya que en ella está concentrada más del 60% de la población del Estado obteniendo beneficios tales como una extensa red de servicios de agua

drenaje y energía eléctrica, los cuales cubren el 94% de las necesidades de la población. También cuenta con todos los niveles formativos, desde preprimaria hasta los niveles superiores, siendo el pilar de éstos la Universidad Autónoma de Aguascalientes, quien mantiene intercambio académico con CONACyT, la UNAM y organismos internacionales como la Universidad de Texas, ampliando las actividades de investigación.

Las principales actividades económicas, como la industrialización (34%) y el desarrollo de su sector comercial (59%), son la base de su economía en las últimas décadas.

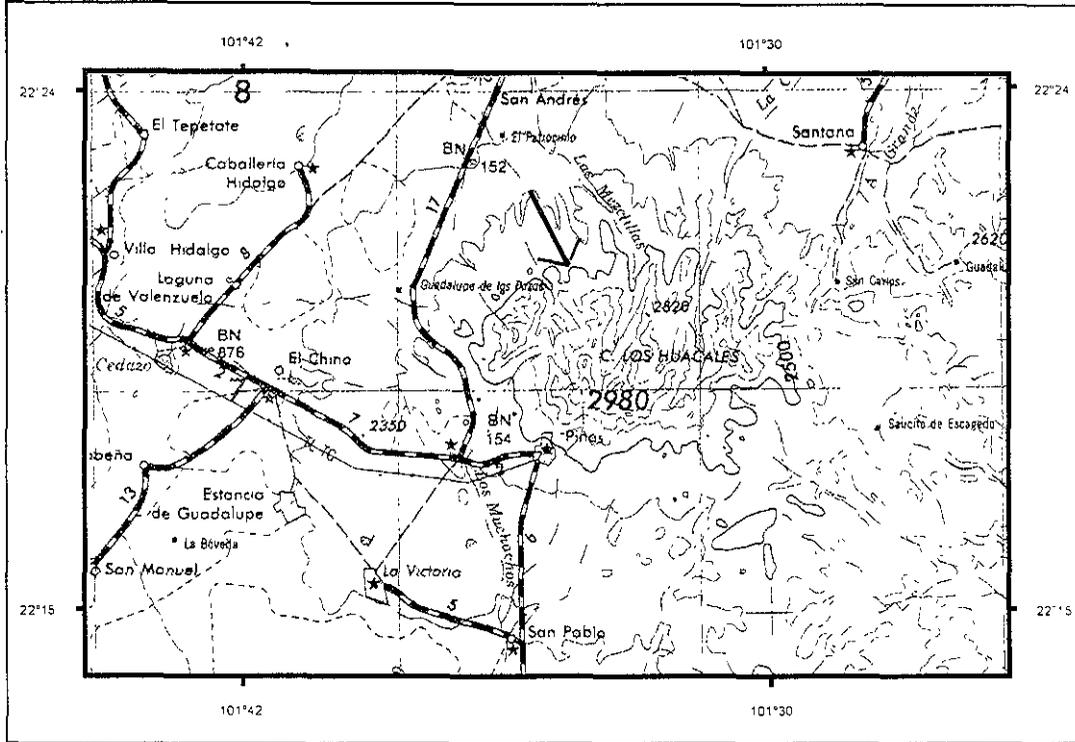
Gracias a su localización estratégica, el estado está perfectamente comunicado a través de 200 km de vía férrea que los conectan, al sur, hasta la ciudad de México y al norte, hasta Ciudad Juárez; lo mismo ocurre con su red de carreteras, por medio de las cuales se puede llegar en corto tiempo a Guadalajara, San Luis Potosí, Zacatecas y León. su aeropuerto internacional da servicio a las principales ciudades del país, ofreciendo conexiones internacionales. Dispone también de una excelente infraestructura en telecomunicaciones.

Cerro Pinos (la Gallina o los Huacales), Sierra los Pinos, Pinos, Zacatecas:

El cerro Pinos o Gallina, como se le conoce localmente, forma parte de la sierra de los Pinos, localizada al sureste del estado de Zacatecas. A unos 6 km del cerro, se encuentra el poblado de Pinos, el cual cuenta con menos de 5 000 habitantes y se halla ubicado en un lugar estratégico, pues está enclavada entre tres ciudades importantes: San Luis Potosí, Aguascalientes y Zacatecas. La distancia existente entre cada una de ellas, a partir de la localidad de los Pinos, es la siguiente: de la ciudad de San Luis Potosí distan 97 km., alrededor de 1 hora de camino, Aguascalientes está a poco más de 1 hora 15 minutos de trayecto, o sea 109 km.,

entre Pinos y Zacatecas la distancia es de 138 km., aproximadamente 1 hora con 40 minutos de recorrido.

MAPA 8 Cerro los Pinos



FUENTE INEGI, Carta topográfica 1 250 000 San Luis Potosí, F14-4

Entre el poblado de los Pinos y el cerro Gallina, a las faldas de éste, existe una distancia aproximada de 6 km., recorrido que puede realizarse en cualquier tipo de vehículo, a partir de este límite, se está construyendo un camino hasta la cima del cerro, pues existe un plan para colocar unas antenas para teléfono, lo cual beneficiaría, en un dado caso, al proyecto del GTM, para la reducción de gastos en cuánto a la infraestructura.

Al ubicarse, el cerro los Pinos, en un punto intermedio entre tres ciudades de un nivel económico sostenible y a menos de 1 hora y 15 minutos de recorrido en promedio, podemos deducir que éstas ciudades cubren, para estos criterios específicos, con los recursos de comunicaciones, servicios básicos, nivel académico, etc., calificándolo como altamente propicio para el proyecto del GTM

Las características de las ciudades de Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes, ya han sido descritas en incisos anteriores.

4.7 Reducción de datos del termohidrógrafo

La operación de los termohidrógrafos se presentó en los siguientes sitios y períodos, como se observa en la tabla 10.

TABLA 10
Fecha de operación en campo de los termohidrógrafos.

NOMBRE DEL CERRO	FECHA INICIAL	FECHA FINAL	Nº DIARIO DE DATOS
Nevado de Toluca	27 agosto 93	5 marzo 94	681
Cerro Tiotepac	1 octubre 93	31 diciembre 94	716
Cerro los Pinos	julio 94	8 marzo 95	849
Cerro Ardilla	3 agosto 93	8 marzo 95	1835
Cerro Grande	3 agosto 93	3 abril 96	2751
<i>TOTAL DE DATOS</i>			6832

El lapso de tiempo señalado en la tabla anterior para el inicio y el fin de la operación de los termohidrógrafos no es homogéneo, ya que no se logró contar con suficientes instrumentos, además de no haber tenido el apoyo necesario por parte de los funcionarios de los diferentes municipios, por lo que se instalaron termohidrógrafos en sólo cinco de los sitios base. Por ello los datos registrados entre uno y otro lugar varían, no permitiendo una comparación uniforme entre cada lugar. Tal es el caso del cerro Tiotepac y el Nevado de Toluca; el primero que acumuló 716 datos, no presenta continuidad en el tiempo, por lo tanto, su comparación con otros sitios marca cierta inexactitud, contrario al segundo que, si bien acumuló sólo 681 datos, si presenta continuidad durante varios meses, haciendo más fácil su comparación con los demás.

El número de datos diarios obtenidos y su fecha de operación para cada sitio, se señalan en la tabla 11:

TABLA 11.
Total de datos diarios obtenidos del termohidrógrafo

	NEV TOLUCA		C ARDILLA			C TIOTEPEC		C GRANDE				C PINOS	
	1993	1994	1993	1994	1995	1993	1994	1993	1994	1995	1996	1994	1995
Enero	-	93	-	124	75	-	114	-	124	87	86	-	124
Febrero	-	108	-	112	81	-	-	-	108	112	-	-	112
Marzo	-	66	-	43	52	-	-	-	124	124	120	-	29
Abril	-	-	-	120	-	-	-	-	120	63	43	-	-
Mayo	-	-	-	65	-	-	-	-	124	-	-	-	-
Junio	-	-	-	120	-	-	-	-	29	-	-	-	-
Julio	-	-	-	124	-	-	-	-	-	80	-	118	-
Agosto	18	-	58	90	-	-	-	50	-	119	-	80	-
Septiembre	78	-	120	106	-	-	115	113	24	118	-	19	-
Octubre	92	-	124	-	-	120	-	120	99	124	-	124	-
Noviembre	102	-	118	102	-	119	-	111	105	120	-	119	-
Diciembre	124	-	124	120	-	124	124	124	124	56	-	124	-
Total x sitio	414	267	544	1083	208	363	353	518	981	1003	249	584	265
TOTAL													6832

Para representar estos resultados se realizaron gráficas de dispersión de la humedad específica (Q), en un rango de tiempo de 4 meses (octubre, noviembre, diciembre y enero de los años 1993 y 1994, con excepción del cerro los Pinos cuyos datos son de los años 1994 y 1995) para obtener resultados comparables entre todos los sitios

GRÁFICO 5

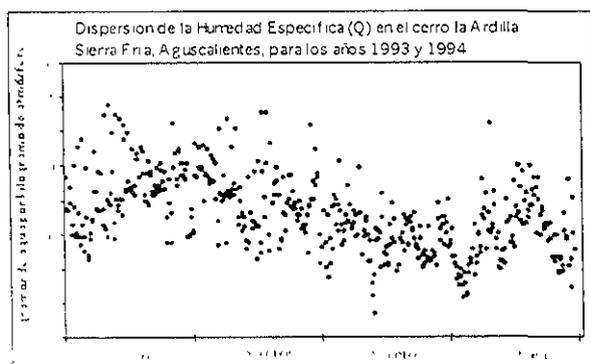
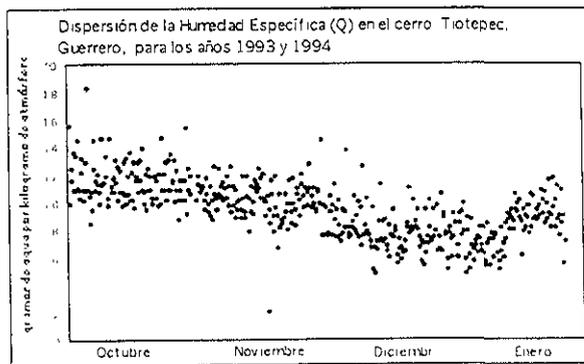


GRÁFICO 6



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA

GRÁFICO 7

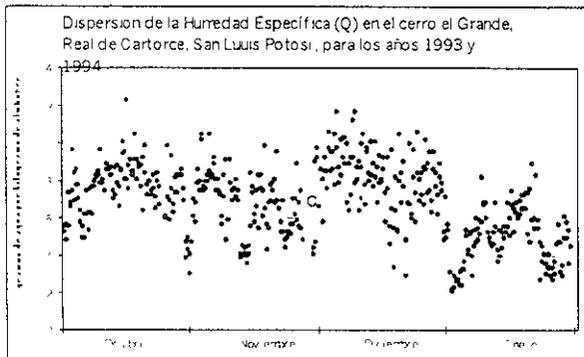


GRÁFICO 8

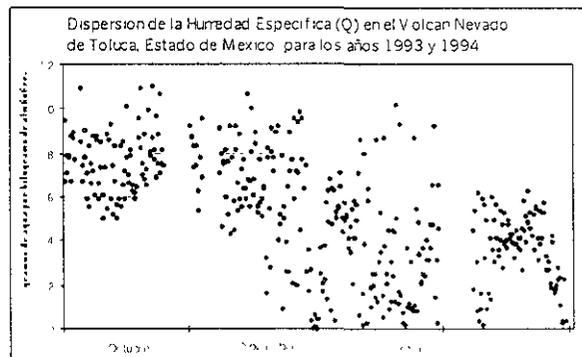
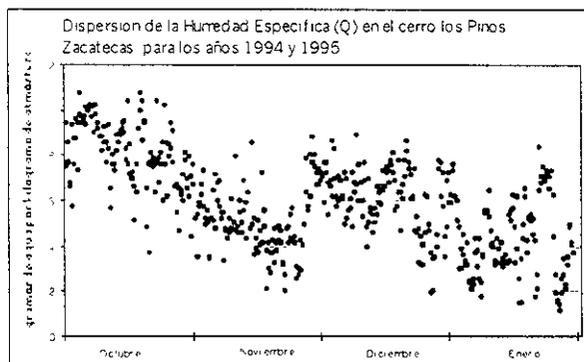


GRÁFICO 9



Las gráficas 5, 6, 7, 8 y 9 muestran la distribución de la humedad específica (Q), donde a simple vista se distinguen como los mejores sitios, en primer lugar, el Nevado de Toluca, que muestra un rango de acumulación entre 0.03 y 11.01 gramos agua por kilogramo de atmósfera; en seguida el cerro los Pinos, con un rango entre los 1.12 y 10.78, luego el cerro Grande con 2.08 y 12.35 gramos de agua; después el cerro la Ardilla, con un rango entre 1.37 y 13.57 y, finalmente el cerro Tlotepec, con 1.99 y 18.30 gramos de acumulación de agua. Debe aclararse que esta comparación entre una y otra gráficas sólo representa el 34% del total de datos, por ello, es necesario ejemplificar más claramente los resultados del termohidrógrafo.

Así pues, se calcularon los promedios mensuales de cada sitio (ver tabla 12), para poder realizar comparaciones más puntuales y específicas con otros fenómenos.

meteorológicos. También se presentan en la tabla 13 los rangos máximos y mínimos de la humedad específica (Q) en cada sitio, así como el mes correspondiente y su promedio general.

TABLA 12
Promedio mensual del total de datos diarios obtenidos del termohigrógrafo.

	NEV TOLUCA		C ARDILLA			C TIOTEPEC		C GRANDE				C PINOS	
	1993	1994	1993	1994	1995	1993	1994	1993	1994	1995	1996	1994	1995
Enero	-	3.59	-	6.00	6.41	-	8.12	-	4.96	4.41	5.27	-	4.36
Febrero	-	4.22	-	7.03	6.94	-	-	-	4.45	4.91	-	-	5.09
Marzo	-	3.84	-	7.40	6.92	-	-	-	4.83	4.96	5.56	-	6.05
Abril	-	-	-	7.08	-	-	-	-	5.51	5.04	5.61	-	-
Mayo	-	-	-	7.33	-	-	-	-	7.55	-	-	-	-
Junio	-	-	-	10.43	-	-	-	-	9.15	-	-	-	-
Julio	-	-	-	9.39	-	-	-	-	-	9.60	-	7.29	-
Agosto	7.72	-	11.40	9.81	-	-	-	8.39	-	10.23	-	8.01	-
Septiembre	7.78	-	10.65	8.73	-	-	11.38	8.26	6.66	9.87	-	7.54	-
Octubre	7.58	-	8.56	-	-	11.54	-	7.57	8.48	6.76	-	8.14	-
Noviembre	6.52	-	8.25	6.72	-	10.18	-	6.73	7.50	7.22	-	5.04	-
Diciembre	3.50	-	5.87	7.94	-	8.02	8.20	8.20	5.87	6.16	-	6.12	-

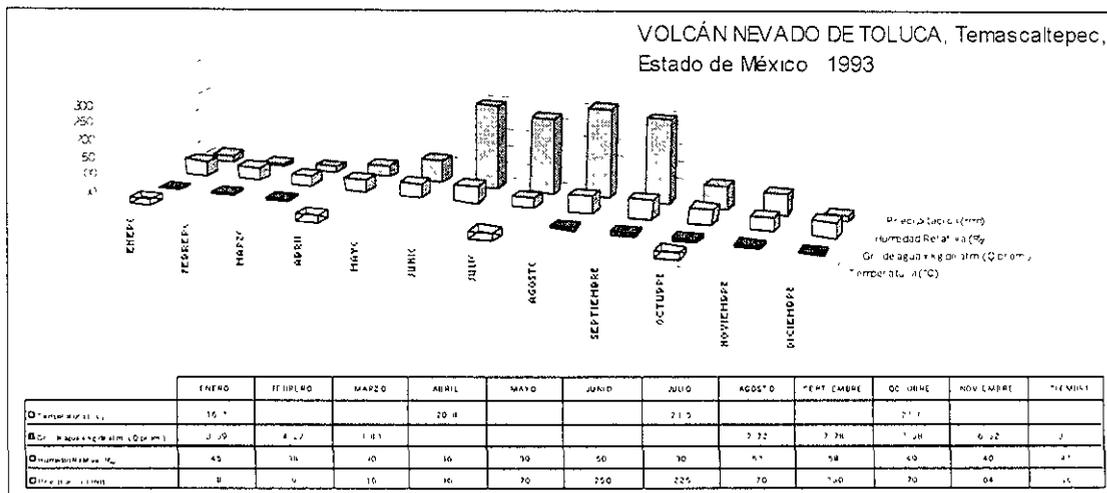
TABLA 13
Rangos de Dispersión diarios obtenidos del Termohigrógrafo.

NOMBRE DEL CERRO	RANGOS DE DISPERSIÓN				PROMEDIO GENERAL RANGOS DE DISPERSIÓN
	mes	mínimo	mes	máximo	
Nevado de Toluca	Dic	0.04	Sep	13.15	5.25
Cerro los Pinos	Mar	1.07	Ago	11.55	6.1
Cerro Ardilla	Dic	1.38	Jul	17.76	7.9
Cerro Grande	Feb	0.4	Sep	16.16	6.68
Cerro Tlotepec	Nov	1.99	Oct	18.31	9.58

Posteriormente se realizaron gráficas comparativas entre distintos fenómenos meteorológicos: precipitación, humedad relativa y temperatura, los cuales permiten una descripción más amplia de la variable Q estudiada (Humedad Específica en gramos de agua por kilogramo de atmósfera). La información necesaria para este estudio se obtuvo del Atlas del Agua (Capítulo 3, inciso 3.3 Análisis regional de variables meteorológicas).

Para iniciar la comparación de las variables anteriores, es necesario decir que el Cerro Tioteppec se descartó por falta de continuidad en sus datos mensuales, contrario al Nevado de Toluca que, aún con un número similar de datos, sí presenta continuidad en los datos durante algunos meses. De este modo, podemos observar en la gráfica 10, correspondiente al Nevado de Toluca, que durante los meses de mayor precipitación, se presenta un incremento en la humedad relativa incidiendo también en este período los mayores rangos de humedad específica, no superiores a 13.5 gramos de agua por kilogramo de atmósfera, lo cual se debe a la altura del volcán (de 4 690 msnm), donde existirá siempre una mínima cantidad de vapor de agua acumulable, en comparación con los demás sitios; mantiene un rango promedio de 5.25 gramos de agua por kilogramo de atmósfera, colocándose como el segundo mejor lugar en esta clasificación

GRÁFICO 10

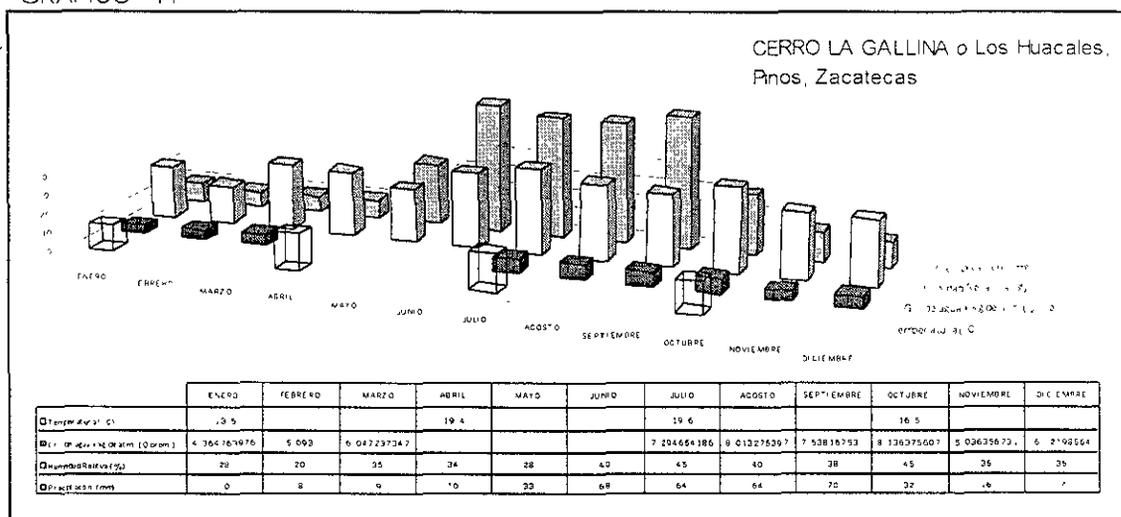


Nota: la información de los gramos de agua por kilogramo de atmósfera (Q) corresponden a dos períodos, de agosto a diciembre 1993 y de enero a marzo de 1994

En el caso del Cerro la Gallina o los Huacales, se sitúa como un sitio con escasa humedad específica (Q) acumulable, ya que su rango de dispersión es reducido y no rebasa los 12 gramos de agua por kilogramo de atmósfera (tabla 13) y conociendo que su altura es de 2 820 msnm, se considerará en el límite donde la concentración de humedad comienza a disminuir (ver capítulo 2, 2.2.1). Por otro lado, si observamos

la gráfica 11 podemos observar que los mayores registros de humedad específica coincide con la temporada de lluvias (julio a septiembre), con registros máximos de humedad específica de 11.55 gramos de agua (tabla 13) Promediando toda la información obtenida, vemos que mantiene un 6.1 gramos de agua por kilogramo de atmósfera, colocándolo como el mejor sitio en este apartado.

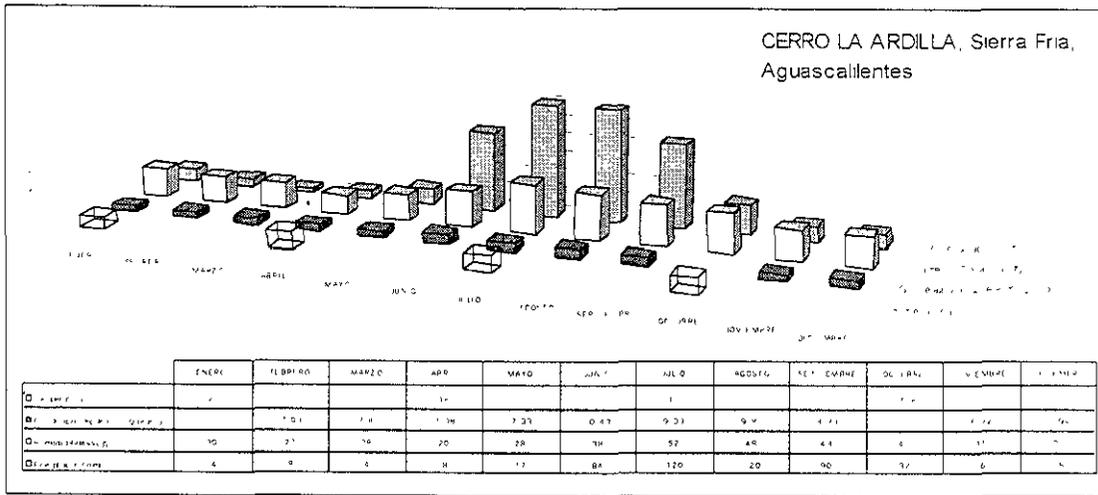
GRÁFICO 11



Nota la información de los gramos de agua por kilogramo de atmósfera (Q) corresponde a dos periodos de julio a diciembre 1994 y de enero a marzo de 1995

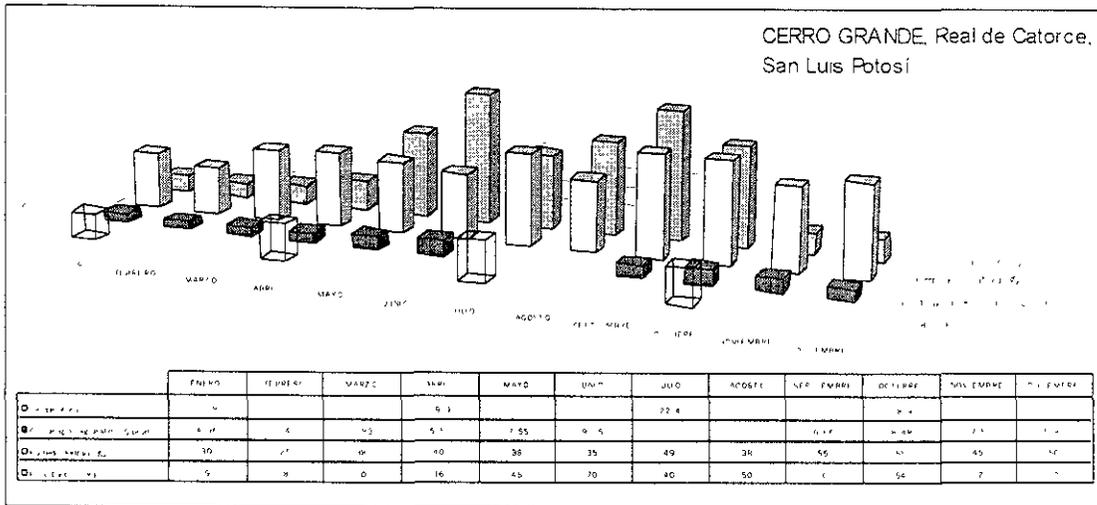
Para el Cerro la Ardilla, la gráfica 12 muestra que el período de lluvias está relacionado con los altos índices de humedad relativa y humedad específica (Q), alcanzando valores máximos, ésta última, durante junio, julio, agosto y septiembre, sus rangos mayor de dispersión se acercan a los 18 gramos de agua por kilogramo de atmósfera, manteniendo un promedio general de 7.9. Estas condiciones de un alto nivel de humedad se deben a que se encuentra en una zona boscosa, relegándose al último lugar en esta clasificación.

GRÁFICO 12



El Cerro Grande. Por ubicarse en una zona árida (13 minutos al norte del trópico de cáncer), presenta poca acumulación de vapor de agua en el ambiente, esto se observa en la gráfica 13, donde los milímetros de precipitación son bajos, aún en época de lluvias. En la gráfica también se puede apreciar que tanto la humedad específica (Q) como la humedad relativa son recíprocas a los milímetros de precipitación, puesto que los meses con los registros más elevados de humedad específica corresponden a septiembre, con 16.16 gramos de agua por kilogramo de atmósfera (ver tabla 13). Según el termohigrógrafo, el promedio general obtenido en el cerro Grande se encuentra alrededor de los 6.68 gramos de agua, situándolo como un sitio favorable por su poca cantidad de vapor de agua acumulable en una columna de aire durante el año

GRÁFICO 13



Al clasificar los cinco sitios estudiados, con base en los resultados del termohidrógrafo, podemos concluir que el Volcán de Toluca presenta un rango menor de acumulación de gramos de agua por kilogramo de atmósfera (5.25), seguido por del cerro la Gallina (6.1), el cerro Grande (6.68), el cerro la Ardilla (7.9) y por último el cerro Tioteppec (9.58).

4.8 Reducción de datos radiométricos:

Para iniciar el análisis radiométrico, cabe mencionar las dificultades que se presentaron en la instalación de los instrumentos. En primera instancia, la falta de ayuda local en los sitios base considerados y, por otra, la escasez de instrumentos. Estos dos aspectos no permitieron que los radiómetros se instalarán en los 11 lugares, ni que estuvieran funcionando todos al mismo tiempo, por lo cual, su operación entre uno y otro sitio no será en el mismo periodo de tiempo. Por ello, los radiómetros se instalaron sólo en cinco de los lugares base, además de otros cuatro sitios que, aunque no forman parte de los sitios base, fueron considerados, ya que presentaron buenas características meteorológicas, accesibilidad e interés del municipio al que pertenecen y, por otra parte, para realizar comparaciones y para

obtener resultados radiométricos más coincidentes. Estos sitios se señalan en la tabla 14

La operación de los radiómetros en campo fue la siguiente:

TABLA 14
 Fechas de operación de los radiómetros.

SITIOS	FECHAS INICIALES	FECHAS FINALES	TOTAL DE DÍAS ACUMULADOS
Cerro la Laja	25-Abr-95	31-Oct-95	70
Volcán Nevado de Toluca	07-Abr-93	07-Ago-96	342
Cerro Pinos	27-Sep-94	28-Jun-95	274
San Pedro Mártir	10-Dic-96	18-May-97	153
Cerro la Negra	27-Ago-95	12-Sep-97	428
Cofre de Perote **	23-Jun-95	08-Sep-95	70
Cerro Botella Azul **	25-Sep-95	04-Feb-97	329
Cerro Concepción del Oro **	15-Feb-95	21-May-95	61
Cerro Grande	23-Sep-94	29-May-96	504
			2 231

(**) lugares no considerados dentro de los sitios base

Con este total de 2 231 datos radiométricos diarios obtenidos, se analizó la opacidad del lugar, estableciendo diversos métodos para definir así los mejores lugares, con base al criterio siguiente: la opacidad en una columna de atmósfera muestra la transparencia del vapor de agua presente. Así pues, del total de sitios considerados, sólo se tomaron en cuenta los sitios con más de diez meses de información, o mayores de 300 datos diarios para realizar los diferentes cálculos descriptivos, ya que un restringido número de mediciones por sitio no logran ser totalmente confiables, excluyendo al cerro Concepción, cerro La Laja, la zona de San Pedro Mártir y el cerro Cofre de Perote.

Para analizar el total de datos radiométricos obtenidos, se optó por obtener mensualmente los promedios de cada uno de los 10 sitios estudiados, los cuales se presentan en la tabla 15, marcando, a la vez, los meses con los valores de máxima y de mínima opacidad

TABLA 15

Promedios mensuales del total de datos radiométricos para la opacidad

Año	Meses de Actividad	Cerro Grande	Cerro Pinos	Cerro Concepción	Cerro la Laja	Volcán Nevado	Cerro Botella A	San Pedro Mártir	Cerro la Negra	Cerro Cofre de P
1993	Enero									
	Febrero									
	Marzo									
	Abril					0 205				
	Mayo					0 2852				
	Junio					0 2862				
	Julio					0 4288				
	Agosto					0 459				
	Septiembre					0 5472				
	Octubre					0 3512				
	Noviembre					0 1857				
	Diciembre					0 1034				
1994	Enero					0 1095				
	Febrero					0 1574				
	Marzo					0 1936				
	Abril									
	Mayo									
	Junio									
	Julio									
	Agosto									
	Septiembre	0 4624	0 7724							
	Octubre	0 562	0 56112							
	Noviembre	0 3381	0 5277							
	Diciembre	0 3662	0 4583							
1995	Enero	0 1617	0 2309							
	Febrero	0 3266	0 4137	0 4						
	Marzo	0 2576	0 3197	0 309						
	Abril	0 241	0 288	0 2315	0 6681					
	Mayo	0 3019	0 5158	0 3116	0 6985					
	Junio	0 4865	0 6694		0 5567					0 5859
	Julio	0 84			0 7377					0 4884
	Agosto	0 6796			0 7893			0 615		0 5206
	Septiembre	0 5497					0 2209		0 46	0 5142
	Octubre	0 4056			0 491		0 13		0 4	
	Noviembre	0 3647					0 17		0 24	
	Diciembre	0 2579					0 11		0 15	
1996	Enero	0 134								
	Febrero	0 234								
	Marzo	0 202					0 14		0 295	
	Abril	0 2722					0 16		0 21	
	Mayo	0 4314					0 15		0 2	
	Junio					0 5367	0 17		0 52	
	Julio					0 4733	0 7		0 41	
	Agosto					0 3834	0 6		0 58	
	Septiembre						0 2		0 37	
	Octubre						0 17		0 2	
	Noviembre						0 16		0 17	
	Diciembre						0 14		0 18	
1997	Enero							0 4101	0 18	
	Febrero							0 4788	0 16	
	Marzo							0 3148	0 15	
	Abril							0 3058	0 27	
	Mayo							0 4163	0 28	
	Junio							0 6534	0 39	
	Julio								0 28	
	Agosto								0 4119	
	Septiembre								0 38	
	Octubre								0 5976	
	Noviembre									
	Diciembre									

MAXIMA OPACIDAD

MINIMA OPACIDAD

En dicha tabla se advierte que los meses con máxima opacidad corresponden al trimestre de julio-agosto-septiembre, periodo en el que se presentan las lluvias intensas y el inicio de los huracanes sobre el territorio mexicano, dejando estos fenómenos a su paso gran cantidad de vapor de agua y de gotas de agua suspendidas que producen absorción en la señal recibida por el radiotelescopio, degradando seriamente las observaciones. En cuanto a los meses con mínima opacidad, corresponden a la estación de invierno (diciembre, enero, febrero), cuando el territorio mexicano se cubre de frentes fríos y masas de aire frío provenientes del polo norte, los cuales contienen cristales de hielo, que contrariamente al caso del vapor de agua, son transparentes a las longitudes de onda. Para representar estas afirmaciones, se muestran dos gráficas de los sitios con mayor información recolectada:

GRÁFICO 14.

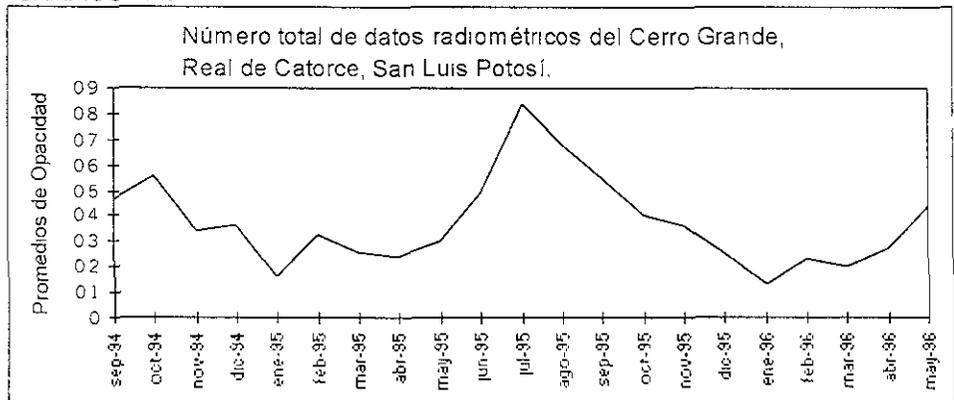
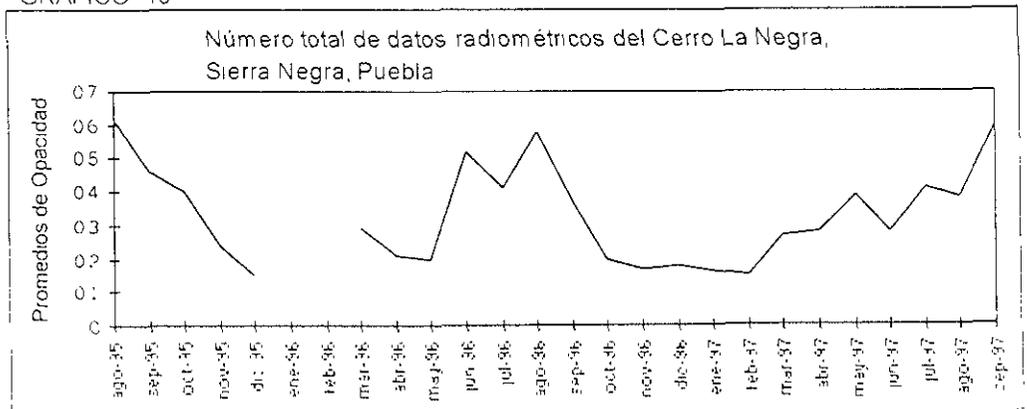


GRÁFICO 15



Estos dos sitios son los más representativos, lo cual se puede constatar de las gráficas de frecuencias (gráficas 16, 17, 18 y 19).

De este modo, en las siguientes gráficas se observan cuatro de los sitios con los mejores resultados; éstas muestran la distribución de la opacidad, en donde el rango con mayor número de ocurrencias es el de 0.2 a 0.3 para Sierra Negra, Botella Azul y Nevado de Toluca, dando una idea general sobre los días con un mínimo de vapor de agua. En el caso de Real de Catorce, el intervalo que predomina es el de 0.3 a 0.4, que si bien no coincide con los anteriores sitios, si muestra una curva de frecuencias que tiende a ser más constante a lo largo del tiempo, lo mismo sucede con el cerro la Negra

GRAFICO 16.

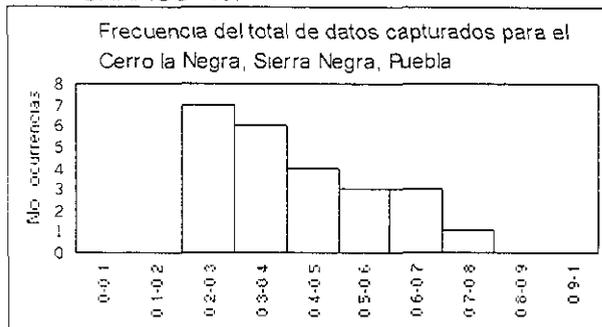


GRAFICO 17

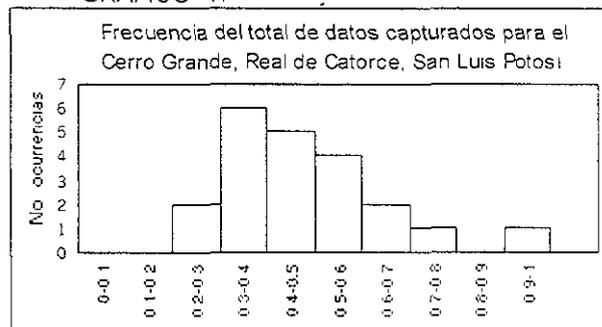


GRAFICO 18.

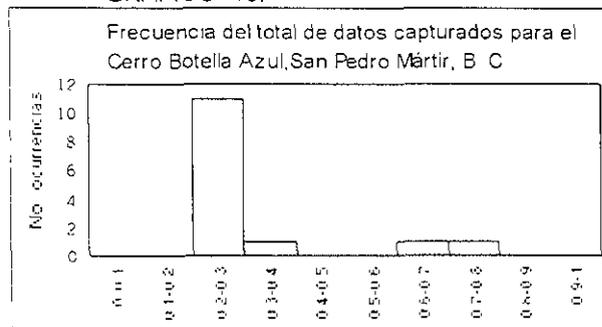
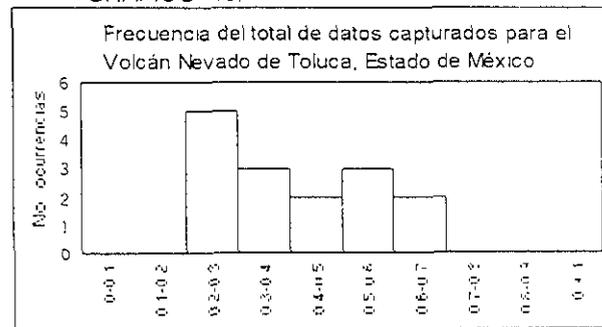
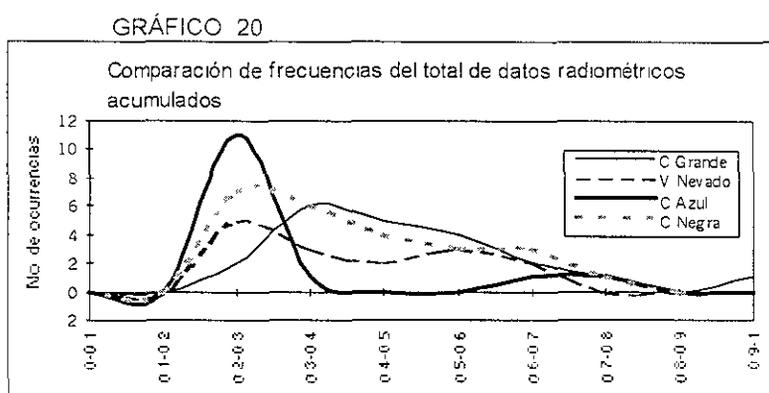


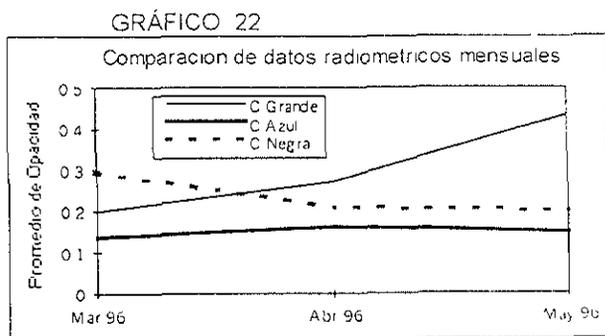
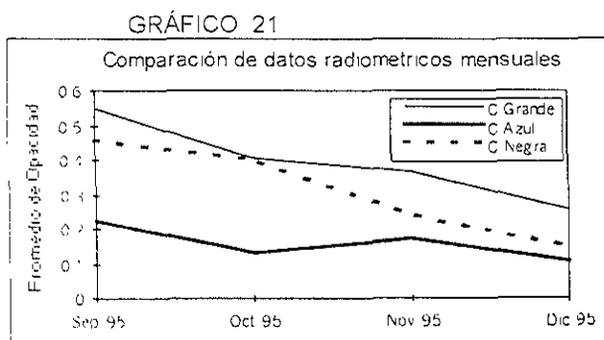
GRAFICO 19.



Por otra parte, se observa una gráfica comparativa con éstos cuatro sitios (gráfica No 20), obteniendo como mejor lugar al cerro Botella Azul, ya que la curva correspondiente indica gran acumulación de milímetros de agua precipitable, en el rango de 0.2-0.3, o sea, un 78% del total de datos recolectados. En el caso del cerro la Negra y del Nevado de Toluca, presentan, en el rango de 0.2 a 0.3, una acumulación de vapor de agua del 29% y 33%, respectivamente. Y en el caso del cerro Grande o Real, sus porcentajes tienden a ser más lineales pero con cierto predominio en el rango de 0.3 a 0.4.



Continuando con las comparaciones, se presentan dos gráficas con tres de los sitios con mejores resultados, y que muestran el comportamiento de la opacidad en un mismo lapso de tiempo, para constatar, como lugar más favorable, al cerro Botella Azul, por presentar el menor promedio de vapor de agua, según los datos radiométricos capturados



De éstos tres últimos lugares representativos, podemos deducir, según los promedios de opacidad obtenidos del radiómetro, que el cerro Botella Azul mantiene un primer lugar, seguido del cerro la Negra y, en tercer sitio, al cerro el Grande o Real de Catorce

4.9 Visitas de Campo

Las primeras visitas se realizaron únicamente a las zonas circundantes a los sitios seleccionados previamente en gabinete; se inspeccionaron y evaluaron las distintas vías de acceso a los cerros, carreteras, brechas, veredas, terracerías y las dificultades que se pudieran presentar al realizar las travesías por medio de vehículos standard, de doble tracción, mediante caballos o a falta de algún transporte, realizando caminatas hasta la cima de los cerros. Asimismo se cotejaron los caminos indicados en las cartas topográficas de escala 1:250 000 y 1 50 000, editadas por el INEGI, y en los mapas de Guía Roji, que en algunas ocasiones marcaron caminos inexistentes

En posteriores visitas se distinguieron las ciudades más cercanas a los sitios y que fueran. Preferentemente, cabecera municipal, ésto con el objeto de contactar a las autoridades municipales correspondientes, y conocer su posición con respecto al proyecto del GTM. Por otra parte también se verificó la pertenencia de las tierras adyacentes a los sitios de interés e información pertinente, tal como energía eléctrica cercana, altura de las nubes en la cúspide de los cerros, la presencia de vegetación, etc , todo aquello que nos permitiera tener una perspectiva favorable para nuestro análisis regional

Otro de los objetivos de las visitas a campo fue la instalación de los radiómetros y los termohidrógrafos en la cima de los cerros o zonas cercanas, para obtener mediciones in situ. Estos instrumentos se ubicaron en 11 de los sitios seleccionados previamente. Éstos operaron a lo largo de cuatro años, aproximadamente, tiempo en el que se realizaron visitas periódicas para la recolección de los datos que ayudarán a tomar una decisión definitiva acerca del lugar en donde se instalará el radio telescopio.

4.9.1 Estudio geológico de los sitios visitados:

De la visita de campo realizada del 18 al 28 de octubre de 1992, se obtuvo información geológica de cada uno de los lugares a los cuales se acudió. Esta información fue recabada por el Dr. Luis Fernando Vasallo, del Instituto de Geología, UNAM, Estación Regional del Centro, Guanajuato, Gto., presentando a PUIDE un reporte geológico, el cual se transcribe a continuación como parte del estudio geológico requerido:

Características y resultados geológicos de los sitios visitados:

1. San Martín, Sombrerete, Zacatecas. En esta localidad se visitaron dos cerros: el cerro Prieto que se ubica al lado sur de la mina de Sabinas, compuesto por derrames de rocas de composición riolítica y el cerro Papantón (o cerro de las Antenas) ubicado al norte de la mina San Martín, compuesto por calizas del tipo "grainstone" en alternancias de 5 a 40 cm. de espesor con ligera inclinación de 10° hacia el Este. Bajando del cerro de las Antenas, la secuencia sedimentaria cambia a rocas del tipo de lutitas, intercaladas con calizas con espesores muy delgados de menos de 5 cm., se presentan gran cantidad de pliegues cerrados de los llamados de chevron.

Por referencias mineras se podría decir que no es muy buen lugar para el GTM, dado que en unos 10 o 20 años las labores mineras se situarán abajo del cerro Papantón.

además de que las continuas explosiones de los trabajos mineros producen pequeñas vibraciones que podrían afectar el funcionamiento del Radiotelescopio

2 Real de Catorce, San Luis Potosí. En esta localidad se visitaron tres cerros. el cerro de las Antenas, el cual presenta una serie de estratos de calizas de más de 50 cm. de espesor del tipo "mudstone", en algunos casos se observan intercalaciones de pedernal, ya sea como boudines o como estratos, los estratos están casi horizontales; el cerro Puerto del Aire, que está compuesto por estratos de calizas de más de 50 cm de espesor, los estratos se observan casi horizontales o con ligero echado hacia el este; el Cerro Grande, que se ubica al sur de Real de Catorce, está compuesto por estratos de calizas de 20 a 30 cm. de espesor, casi en posición horizontal; en la base del cerro se pudo observar una secuencia metamorfizada compuesta por esquistos y filitas de color verde y rojo, la cual muestra fuerte diaclazamiento (fracturas)

En Real de Catorce, el cerro con mejores características, tanto desde el punto de vista geológico como de superficie horizontal, en donde se podría ubicar el GTM, es el cerro Grande. Éste será más accesible dado que se ampliará un camino que pasará casi al lado de él

3 Pinos, Zacatecas. El cerro visitado se ubica al norte de la ciudad de Pinos, y recibe localmente el nombre de cerro la Gallina o cerro los Huacales. El cerro está compuesto por derrames de andesitas, las cuales descansan sobre una secuencia de tobas, que, a su vez, están sobre unas calizas con abundantes fósiles (amonitas). Estos derrames lávicos cerca de Pinos tienen, al menos, 100 metros de espesor.

4 Cadereyta, Querétaro. En esta localidad se encuentra el cerro la Laja, que se encuentra al norte-este y a 25 km de Cadereyta. Geológicamente esta zona se conoce con el nombre de banco calcáreo el Doctor. El cerro la Laja está constituido por estratos de calizas grises de 0.5 a 2.0 m de espesor, presentándose

prácticamente horizontales, con un echado de 10° a 15° al suroeste, algunas capas son altamente fosilíferas

Se estima que, por lo menos, en esta zona hay más de 250 m. de espesor de las calizas, por lo que se podría considerar a este sitio bueno para hacer cualquier tipo de cimentación

5 Ixmiquilpan, Hidalgo En esta localidad se encuentra el cerro Banxhú, el cual se encuentra al norte del poblado de Ixmiquilpan, pasando por Orizabita. A partir del puerto de la Lagunita sale una vereda hacia el este que sube hasta el cerro. Éste está constituido por andesitas, presentando mucho diaclazamiento vertical. Este diaclazamiento no es muy claro en el Banxhú, pero en los cerros colindantes (El Retumbante) se observa claramente, por lo que se infiere que tiene carácter regional.

6 Volcán Nevado de Toluca, Estado de México Esta localidad es ampliamente conocida, caracterizado por las cenizas y piroclásticos de erupciones antiguas. Las zonas de topografía horizontal en donde se podría cimentar el GTM, tienden a estar ocupadas por las cenizas, mientras que las partes más altas, son riscos muy angostos. En general, se puede decir que la zona es muy inestable.

CONCLUSIONES

Basados en el análisis, la cuantificación y la valoración de los resultados presentados en el capítulo 4, hemos concluido que los siguientes 3 lugares reúnen una gran cantidad de condiciones favorables para la ubicación y construcción del GTM, y son el cerro la Negra en el estado de Puebla, el cerro Grande en Real de Catorce, San Luis Potosí y el sitio de San Pedro Mártir, en el Parque Nacional del mismo nombre, en Baja California

Estas conclusiones se determinaron, principalmente, con base a las condiciones climatológicas, la alta transparencia de la atmósfera para la radiación milimétrica, los perfiles meteorológicos favorables, su latitud meridional y los estudios meteorológicos de las imágenes de satélite y el análisis de los termohidrógrafos y los radiómetros

El total de la información generada de cada sitio a partir de los criterios examinados, se evaluó de la siguiente manera y se presentan en la tabla 1

- Sitios con información deficiente (**d**)
- Sitios con condiciones favorables (**f**)
- Sitios con resultados óptimos (**o**)
- Sitios sin datos o sin información (**sd**)

TABLA 1

Calificación de la Información genera de los sitios base analizados.

CRITERIOS	CP*	SP*	SPM	CB*	CT*	CAn	CL*	CA*	CN*	CG*	VNT
INTERPOLACIONES DE LA ATMÓSFERA	f	f	f	f	f	f	f	f	o	f	o
ANÁLISIS TOPOGRÁFICO Y VISITAS DE CAMPO	f.	sd	sd	f	d	sd	f	d	f	f	d
VARIABLES METEOROLÓGICAS	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f
ANÁLISIS SÍSMICO	d	o	f	d	d	f	d	f	d	o	f
IMÁGENES DE SATÉLITE	d	f	f	f	d	sd	f	f	d	f	d
ANÁLISIS POBLACIONAL	f	d	o	f	d	sd	f	d	o	f	o
DATOS DEL TERMOHIDRÓGRAFO	o	sd	sd	sd	d	sd	sd	d	sd	f	o
DATOS RADIOMÉTRICOS	d	sd	o	sd	sd	sd	d	sd	o	o	f
ALTITUD (msnm)	f	f	f	f	f	f	f	f	o	f	o

(*)NOTA CP (Cerro Pinos), SP (Sierra Pajarito), SPM (San Pedro Mártir),
 CB (Cerro Banxhú), CT (Cerro Tiotepic), CAn (Cerro las Antenas),
 CL (Cerro la Laja); CA (Cerro la Ardilla), CN (Cerro la Negra);
 CG (Cerro Grande), VNT (Volcán Nevado de Toluca)

Recapitulando los resultados finales para los tres sitios considerados como idóneos se presenta una breve descripción de sus características.

CARACTERÍSTICAS FAVORABLES PARA EL CERRO GRANDE, SIERRA DE CATORCE, REAL DE CATORCE, SAN LUIS POTOSÍ:

→ Altura, 3 100 metros sobre el nivel del mar

› Localización, en el estado de San Luis Potosí, en la Sierra de Real de Catorce, trayecto aproximado por carretera a la capital de dicho estado, 2 horas

→ Vías de comunicación Existen caminos cercanos al cerro el Grande que lo comunican con otros, entre ellos el cerro Barriga de Plata que cuenta con torres de la Comisión Federal de Energía

→ Porción de cielo observable, aproximadamente, 89.03 %. Latitud 23°40' N

→ Índice de opacidad, entre 0.2 y 1.0; se concentran en un 25% entre los 0.3 y 0.4 (gráfico 17, cap. 4). Total de días despejados al año 200, que produce una transparencia atmosférica capaz de permitir las señales de transmisión

→ Ciudades importantes cercanas. Monterrey, Saltillo, Zacatecas, la capital del país está a una distancia de 7 horas por carretera y a menos de una hora por aire.

Es importante mencionar que la presidencia municipal de Real de Catorce ha manifestado su interés y su apoyo para la realización de este proyecto.

CARACTERÍSTICAS FAVORABLES DE SAN PEDRO MÁRTIR, SIERRA DE SAN PEDRO MÁRTIR, ENSENADA, BAJA CALIFORNIA:

→ Ubicación, en el interior del Parque Nacional de San Pedro Mártir, donde se localiza también el Observatorio Nacional del mismo nombre, en el estado de Baja California

→ Altura, 2 830 metros sobre el nivel del mar

› Latitud 31°17' N. Visibilidad, hacia el espacio exterior, 84.71%

› Total de días despejados al año, aproximadamente. El índice de opacidad entre 0.2 y 0.8, acumulables en un 78%, sobre el rango de 0.2-0.3 (gráfico 18, cap. 4) permitiendo una estabilidad y transparencia atmosférica (estas medidas fueron

realizadas en el cerro Botella Azul, que tiene una altura de 2 956 msnm ubicado en el mismo Parque a unos 20 km hacia el sur)

→ San Pedro Mártir al ubicarse dentro de la zona asísmica, o sea, fuera del alcance de los movimientos telúricos

→ Vías de comunicación Llegan hasta el Parque Nacional caminos y carreteras, además de los servicios públicos como energía eléctrica, agua potable, telecomunicaciones, etc.

→ Ciudades cercanas importantes. Ensenada, Tijuana y Mexicali, se encuentran alrededor de tres horas de recorrido por carretera.

CARACTERÍSTICAS FAVORABLES DEL CERRO LA NEGRA, SIERRA NEGRA, ATZITZINTLA, PUEBLA

→ Ubicación, en el estado de Puebla, forma parte de la Sierra Negra localizada al este del Eje Neovolcánico Transversal, al sur del Pico de Orizaba, entre los límites de los estados de Puebla y Veracruz.

→ Altura, 4 600 metros sobre el nivel del mar.

→ Latitud, 18°59' N Posee un ángulo de observación hacia la bóveda celeste de 91.46%

> Índice de opacidad, entre 0.2 y 0.8, acumulables en un 29% dentro de los 0.2 y 0.3 (gráfico 16. cap 4) Presenta más de 150 días despejados al año, lo que permite una transparencia atmosférica y por lo tanto, un aumento en sus señales de transmisión.

→ La ciudad más cercana es Puebla, a poco más de 3 horas de trayecto, su red de carreteras lo comunican con ambas costas y en especial con la capital del país, existiendo entre la ciudad de México y la capital del estado una distancia de más o menos 131 km., aproximadamente 1 hora 45 minutos de recorrido. Se enlace vía aérea con diversos puntos del país y al aeropuerto internacional de la ciudad de México. Cercano se encuentra el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, quien funge como uno de los colaboradores principales en el proyecto del GTM

Colaboración de la autoridad local. El gobierno municipal y estatal muestran gran interés en el proyecto del GTM.

Por lo anterior, podemos concluir que de los tres lugares elegidos, el cerro la Negra presenta condiciones más favorables, seguido del cerro Grande y en tercer lugar el sitio de San Pedro Mártir; conclusión que se afirma por el hecho de la designación del Cerro la Negra como el lugar ideal para la construcción y ubicación del Radiotelescopio Milimétrico, teniendo el siguiente avance

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS AVANCES DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN EN EL CERRO LA NEGRA PARA AEL PROYECTO DEL GRAN TELESCOPIO MILIMÉTRICO, MAYO 2001.

- Ubicación a 7 km al sudeste del Pico de Orizaba, en el Cerro La Negra.
- Aplanado de la cima del Cerro La Negra con un suelo muy heterogéneo, compuesto por fragmentos de roca de 2 a 8 pulgadas de espesor, envueltos en una matriz arenosa en ocasiones escasa, la cual fue removida con la siguiente maquinaria: tractor D-9, retroexcavadora y motoconformadora
- Vías de acceso al Cerro La Negra, tramo construido. Texmalaquilla-Albergue Pico de Orizaba-Cima Cerro La Negra Inversión para concluir con el proyecto de la SCT es de \$70.000 000 00 m/n

- Actividades principales de la obra civil en el Cerro La Negra

Cimentación sobre una base de dos circunferencias de 39.60 m , 18 20 m. y una pila central restante, se fijó un sistema de soporte a partir de pilotes de 1 m. de diámetro por 20 m. de longitud, con 28 pilas en la mayor circunferencia y 8 para la menor. Para determinar este sistema se tomó en cuenta el estudio de Cross Hole, que se le hizo al suelo del cerro La Negra (Desarrollo Integrales de Ingeniería, 1998)

Losas y Muros: colado en la zona central del radiotelescopio, de una losa de 2 metros, que estabilizará la superficie inmediata a las pilas y también otro colado en la parte perimetral de 1 metro de espesor.

Armado del cono hasta el momento se lleva a cabo la adquisición de las anclas u placas para la fijación del riel donde se apoyará el Telescopio para realizar su movimiento azimutal.

- Situación geológica y sismológica del Cerro La Negra y mecanismos que se estudiaron para aminorar los sismos en el instrumento del radiotelescopio. Por especificación los desplazamientos, a nivel cimentación, del edificio que sustentará la antena, no deben ser mayores de 1,95 mm en sentido vertical y 0.8 mm en sentido horizontal. La descarga vertical del conjunto al terreno será algo menor a las 90 000 kN dependiendo de la combinación de cargas actuantes que se considere, siendo importantes las cargas accidentales por sismo o por viento. Dentro del área de cimentación se realizaron un total de seis tendidos de refracción sísmica de 25 y 35 m de longitud, tres de ellos en dirección N-S y los otros tres en dirección E-W.
- En términos muy generales los resultados de los estudios realizados fueron en el material granular los módulos de elasticidad varían de 128 a 658 Mpa, en la roca fracturada de 500 a 2817 Mpa y en la roca más sana de 3370 hasta 9770 Mpa
- Las medidas que se tomarán para aminorar los sismos son
 - 1 La cimentación del telescopio esta diseñada para soportar un sismo de 9.5 grados

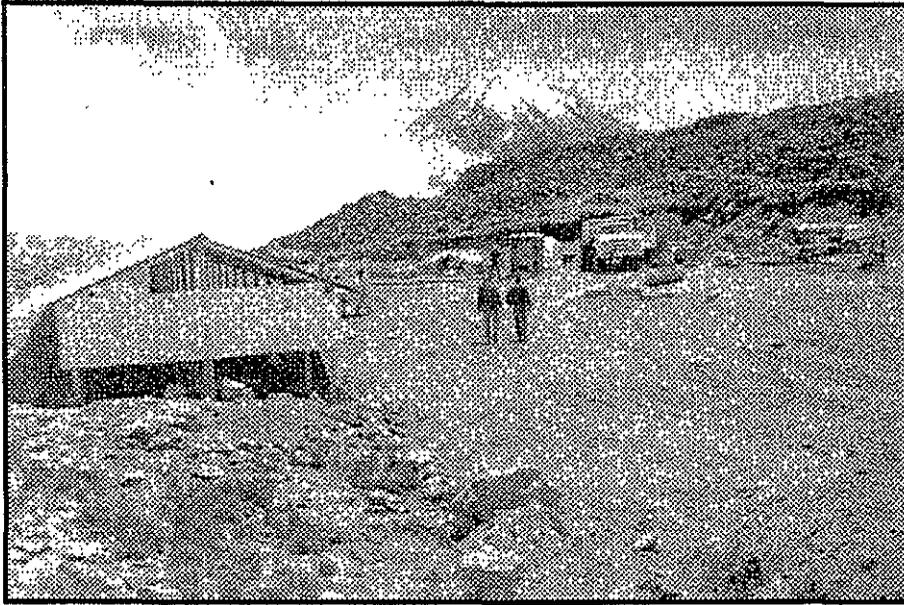
- 2 Se utilizará un sistema muy preciso en el área de relleno de la cimentación, teniendo el material una compactación del 100%, esto evitará fallas severas en casos de sismos. (resumen de actividades de la Montaña La Negra, mayo del 2001, Arq. López L., Ma. del Sagrado).

En la actualidad el proyecto del GTM en el Cerro la Negra consta de 3 etapas principales.

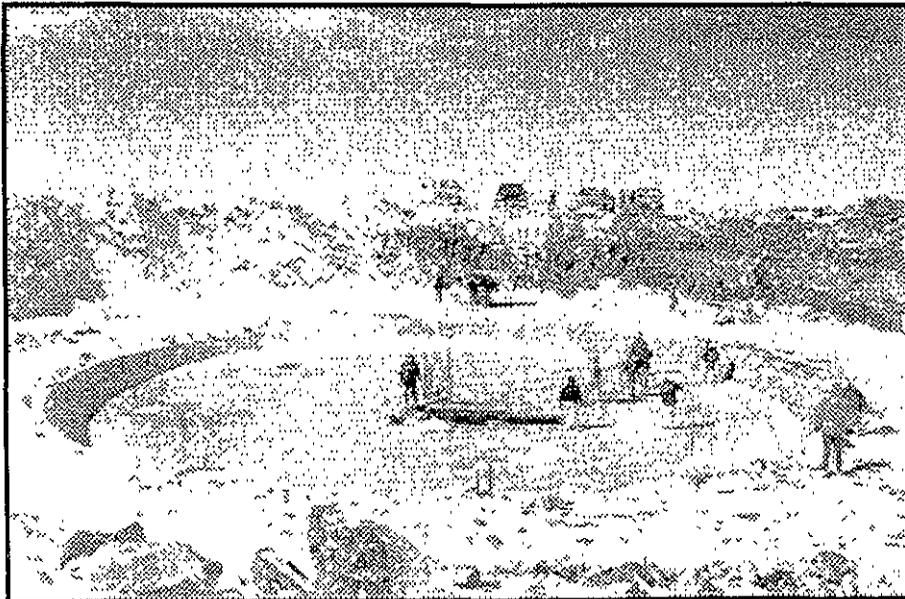
- a) “La construcción de una antena de 50 m. De diámetro, con una capacidad de apuntado de alta precisión.
- b) La integración de un sistema de control de la superficie activa, para corregir el tiempo real de las deformaciones del reflector primario
- c) El desarrollo de la instrumentación para el registro de la radiación milimétrica, lo cual implica la generación de tecnología de frontera.

El Gran Telescopio Milimétrico es el proyecto científico más ambicioso hasta ahora emprendido, por los retos tecnológicos que deben enfrentar. La industria nacional puede manufacturar más de dos tercios de los componentes, lo cual es una prueba de la capacidad tecnológica en las ramas metal-mecánica y de la construcción. Producirá avances en la Óptica y la Electrónica, así como en la capacidad de manufactura con materiales más ligeros y resistentes” (resumen de actividades de la Montaña La Negra, mayo del 2001, Arq. López L., Ma del Sagrado)

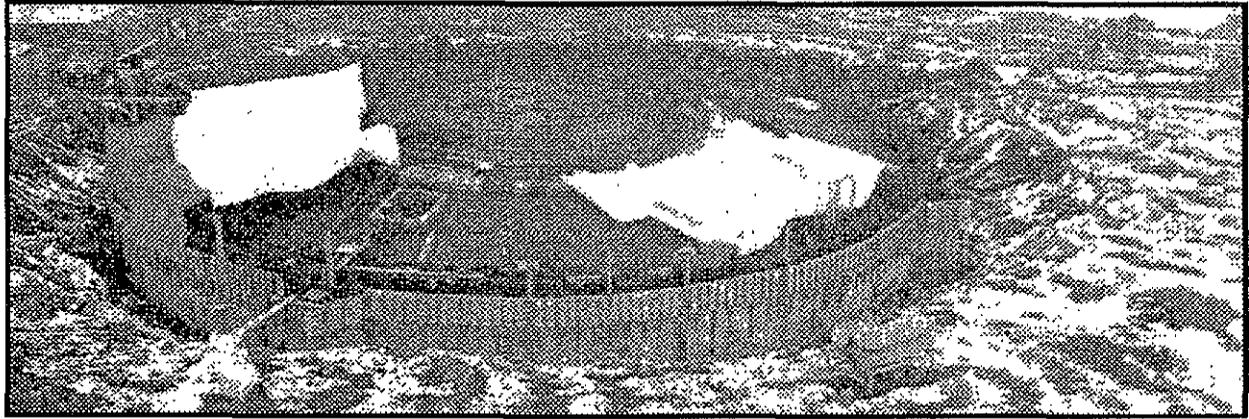
Para tener una representación visual de los avances realizados a últimas fechas en el Cerro la Negra, se presentan las siguientes fotografías.



La foto muestra la cima del cerro la Negra, donde se iniciará los trabajos para la construcción del GTM.



La foto muestra la base para la cimentación del GTM con una circunferencia de 39 60 m



La foto muestra el colado de muros perimetrales para la base del telescopio, donde se fijara un sistema de pilotes

A P É N D I C E

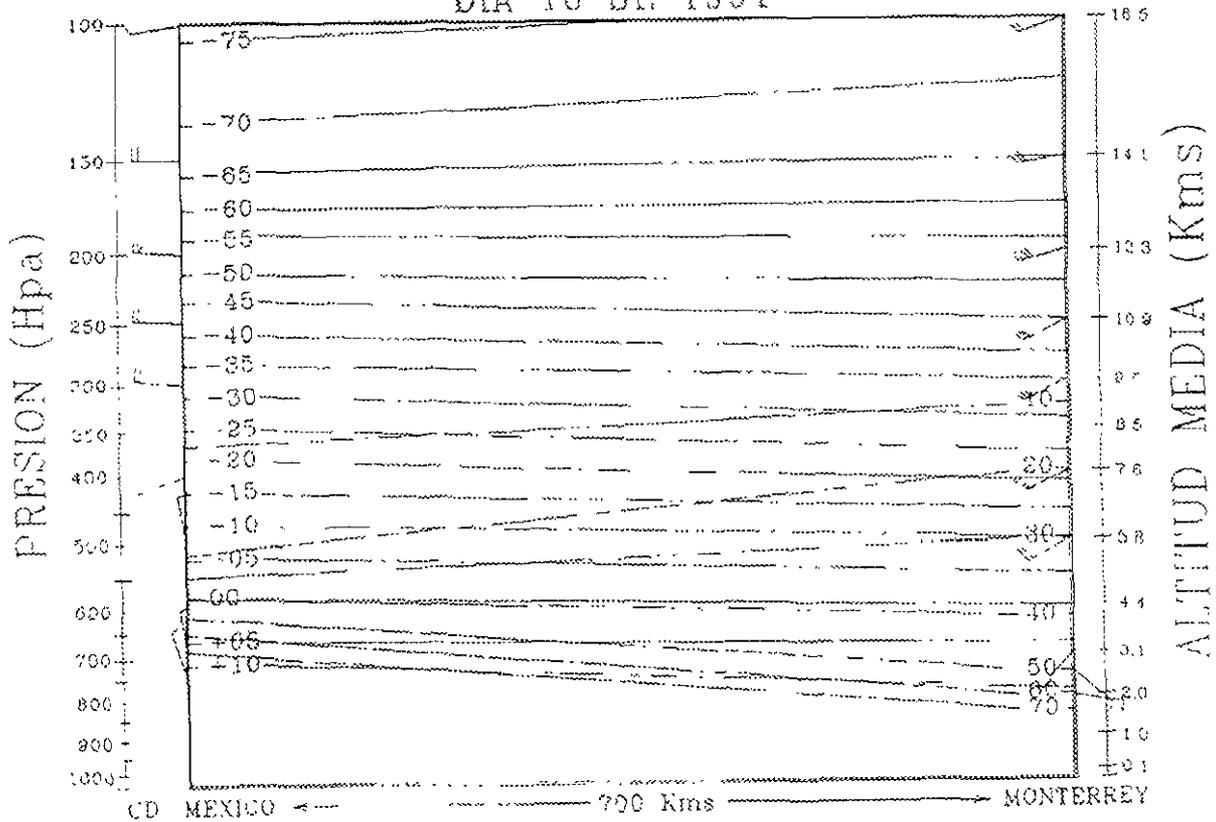
CONTENIDO:

Gráfico No 1 Corte Atmosférico México, D. F → Monterrey, N. L., 1981	I
Gráfico No 2 Corte Atmosférico: México, D. F. → Monterrey, N. L., 1982	ii
Gráfico No 3 Corte Atmosférico. Guadalajara, Jal → Monterrey, N L , 1981	iii
Gráfico No 4 Corte Atmosférico: Guadalajara, Jal. → Monterrey, N L , 1982	vi
Gráfico No 5 Corte Atmosférico Mazatlán, Sin → Monterrey, N L. 1981	v
Programa No 1. para la obtención de un punto, por medio de la intersección de dos líneas	vi
Programa No 2: para la recolección datos radiométricos	vii
Programa No.3. programa para reducir y depurar datos radiométricos	xi
Programa No 4 programa para graficar datos radiométricos	xvi
Programa No 5 programa para elaborar gráficas de la opacidad en base a la media y la mediana, a partir de los datos radiométricos obtenidos	xviii
Datos No.1. sin depurar, obtenidos directamente de los radiómetros que operan en los diversos sitios de elección	xix
Datos No.2: datos radiométricos depurados con el programa de Linear_red	xxiii

GRÁFICO No. 1

Cortes Atmosféricos: México, D. F. → Monterrey, N. L., 1991

COMISION NACIONAL DEL AGUA
 SUBDIRECCION GENERAL DE ADMINISTRACION DEL AGUA
 GERENCIA DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL
 SUBGERENCIA DE METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA
 SECCION TRANSVERSAL MEDIA ENTRE MEXICO, D.F. Y MONTERREY, N.L.
 DIA 10 DE: 1991



- VIENTO (DIR./VEL)
 - TEMPERATURA -C
 - HUMEDAD RELATIVA %

EL VIENTO ME FUE PASA DESDE PASAJOS

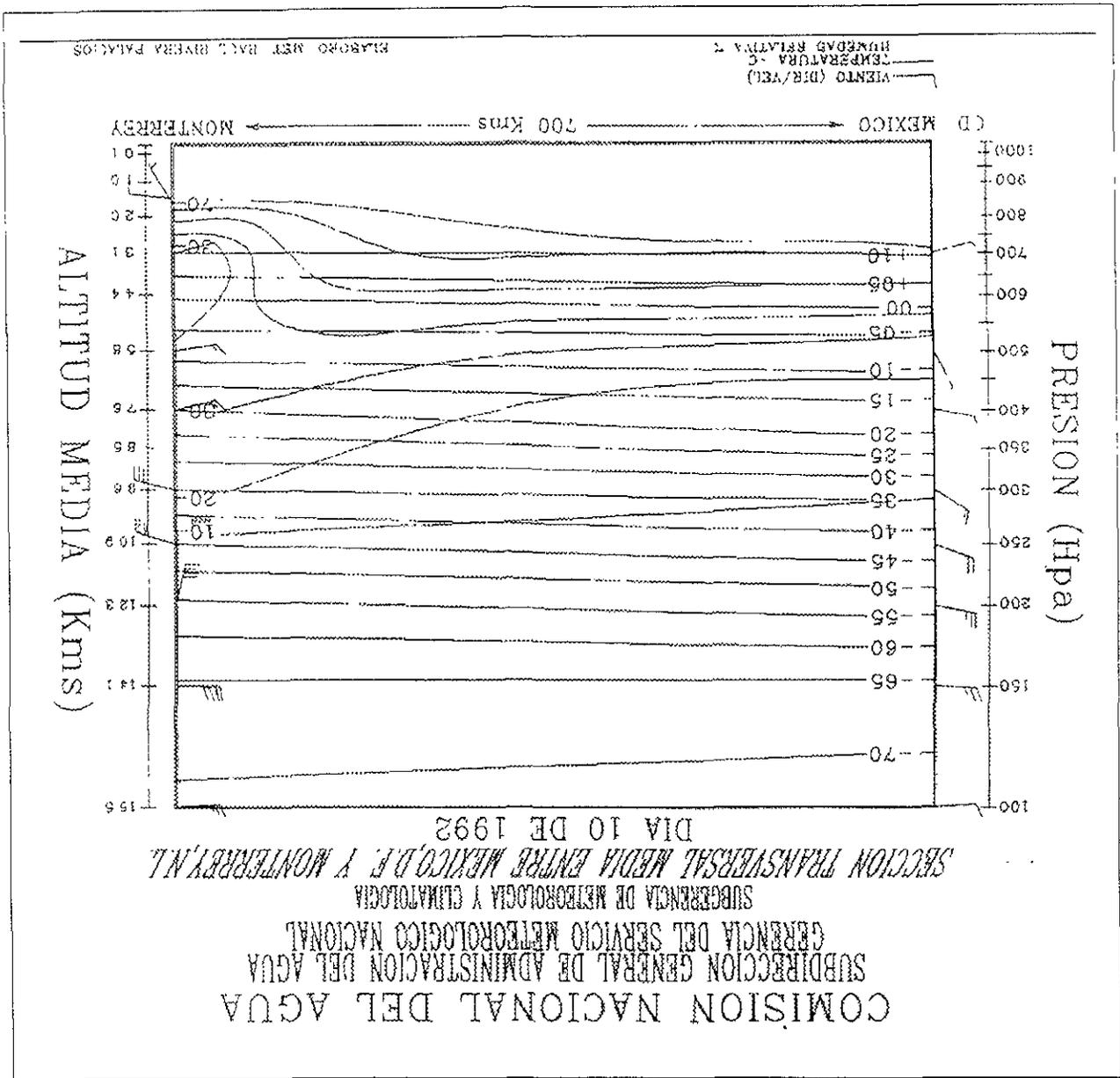


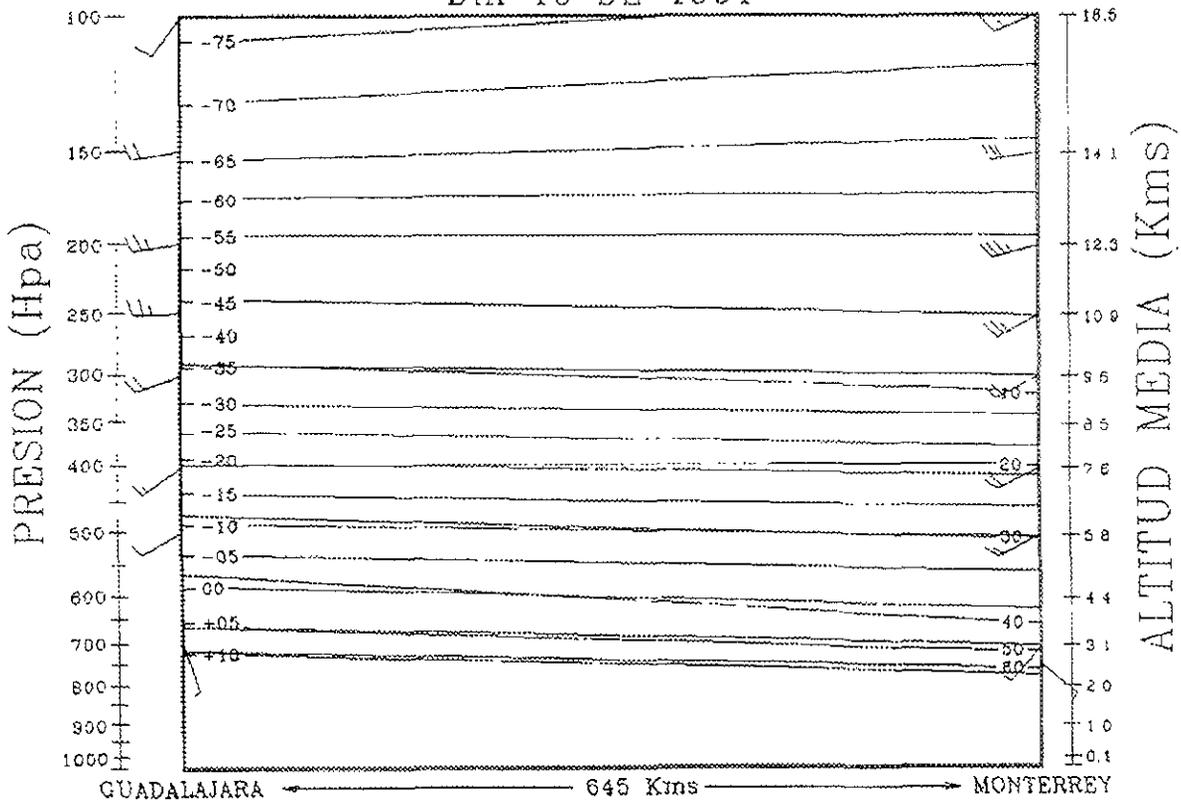
GRAFICO No. 2
 Cortes Atmosféricos, México, D. F. → Monterrey, N. L., 1992

GRÁFICO No. 3

Cortes Atmosféricos: Guadalajara, Jal. → Monterrey, N. L., 1991.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL DE ADMINISTRACION DEL AGUA
GERENCIA DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL
SUBGERENCIA DE METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

SECCION TRANSVERSAL MEDIA ENTRE GUADALAJARA, JAL. Y MONTERREY, N.L.
DIA 10 DE 1991



— VIENTO (DIR/VEL)
— TEMPERATURA -C
... HUMEDAD RELATIVA %

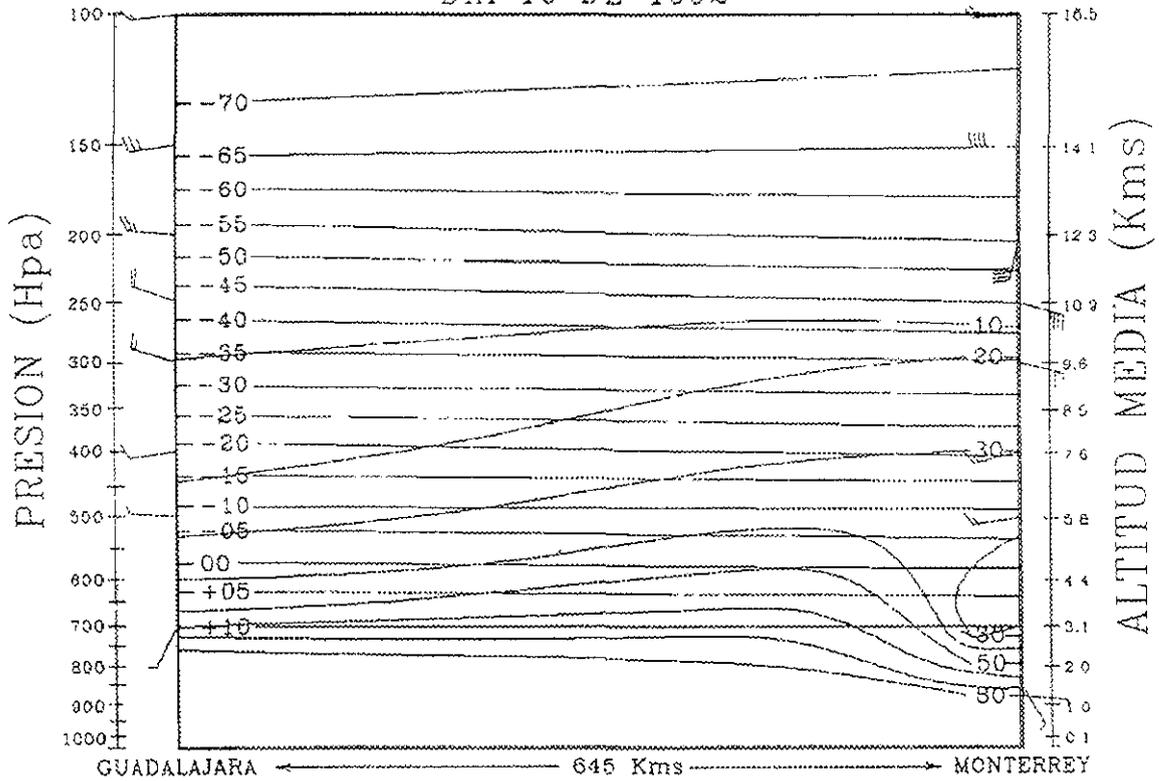
ELABORO MET. RAUL RIVERA PALACIOS

GRÁFICO No. 4

Cortes Atmosféricos. Guadalajara, Jal. → Monterrey, N. L., 1992

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL DE ADMINISTRACION DEL AGUA
GERENCIA DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL
SUBGERENCIA DE METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

SECCION TRANSVERSAL MEDIA ENTRE GUADALAJARA, JAL. Y MONTERREY, N.L.
DIA 10 DE 1992

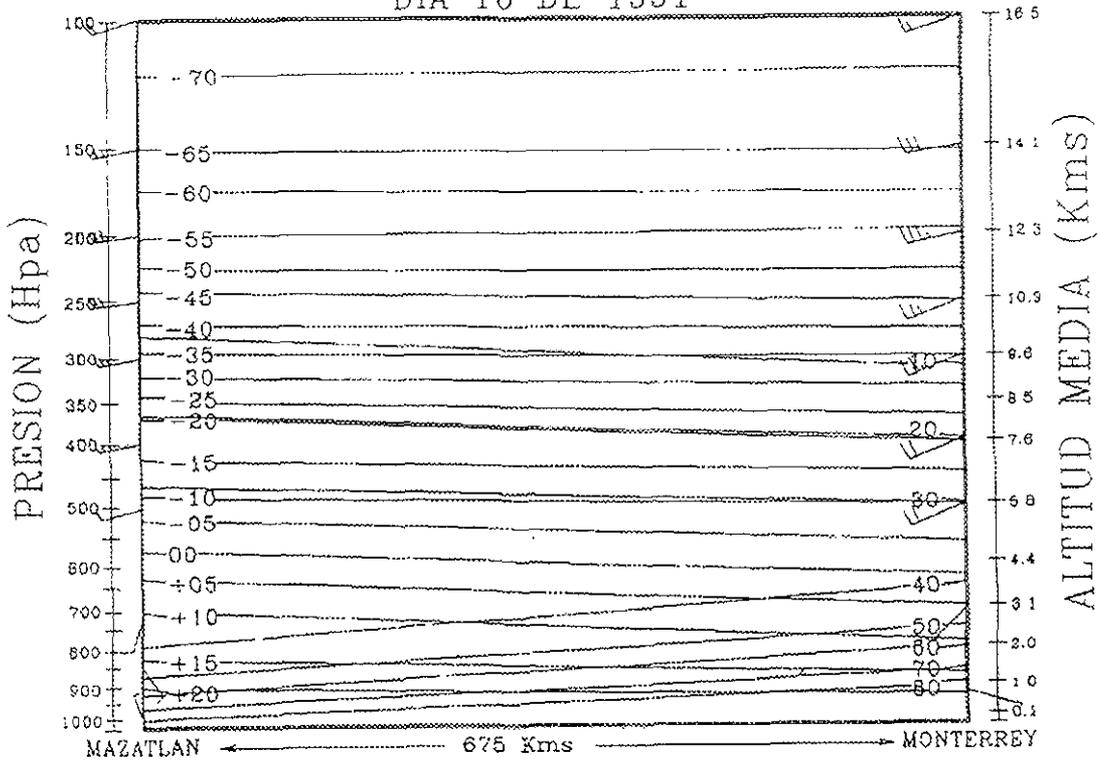


ELABORO MRT RAUL RIVERA PALACIOS

GRÁFICO No. 5

Cortes Atmosféricos: Mazatlán, Sin. → Monterrey, N. L. 1991.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
 SUBDIRECCION GENERAL DE ADMINISTRACION DEL AGUA
 GERENCIA DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL
 SUBGERENCIA DE METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA
 SECCION TRANSVERSAL MEDIA ENTRE MAZATLAN, SIN. Y MONTERREY, N.L.
 DIA 10 DE 1991



— VIENTO (DIR./VEL)
 — TEMPERATURA -C
 - - HUMEDAD RELATIVA %

ELABORO: NET RAGO ROERA PALACIOS

PROGRAMA No. 1

Programa para la obtención de un punto, por medio de la intersección de dos líneas

Lenguaje utilizado: C (para estación de trabajo)

Elaborado por: Jorge Alejandro Alcántara Hernández

Nombre de Archivo: Nolu.c

```
# include <stdio.h>
```

```
main()
{
    int x1,x2,x3,x4,
    int y1,y2,y3,y4,
    float ua,ub,uc,
    float x,y,

    printf("Coordenada de la primer recta. (x1,y1), (x2,y2)\n");
    scanf("%i %i %i %i",&x1,&y1,&x2,&y2);
    printf("Coordenada de la segunda recta. (x3,y3), (x4,y4)\n"),
    scanf("%i %i %i %i",&x3,&y3,&x4,&y4);
    printf("Los valores son x1 = %i, y1 = %i, x2 = %i, y2 = %i, x3 = %i, y3 = %i, x4 = %i, y4
    =%i\n",x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4);
    ub = ((x4-x3)*(y1-y3))-((y4-y3)*(x1-x3));
    uc = ((y4-y3)*(x2-x1))-((x4-x3)*(y2-y1));
    ua = ub/uc,
    printf("ua = %f, ub = %f, uc = %f\n",ua,ub,uc);
    if(ub == 0)
    printf("Son perp. las rectas con int en x = %f, y = %f\n",x1+((x2-x1)/2),y1+((y2-y1)/2)),
    else
    x = x1 + ua * (x2 - x1),
    y = y1 + ua * (y2 - y1);
    printf("El valor de la interseccion es x = %f, y = %f\n",x,y);
}
```

PROGRAMA No. 2

Programa para la recolección datos radiométricos

Lenguaje utilizado C (para estación de trabajo)

Nombre del archivo: Nsurvey.c

```
/*-----
                                210 GHz Site Survey Radiometer

David Hiriart & Luis Salas Sept-1992, Nov -1992
David Hiriart & Douglas McGonagle Oct-94, Nov-1994
                                -----*/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <bios.h>
#include <dos.h>
#include <time.h>
#include <math.h>
#include <process.h>

#define IGREG    (15+31L*(10+12L*1582))
#define TRUE    1
#define CONTROL(x) (x-0x40)
#define DEFAULT_ESC CONTROL(']')

extern int s_setup(), s_sendchar(), s_rcvchar(), s_setvals(),
        s_cleanup(), s_txqempty();
void time_out(), attention(),
int cbrk_handler(),

long julday();
struct time tiempo;
FILE *fp,

main()
{
    int i,day,now,ch,c=0,yr,
    long int relday;
    char name[12], outcom[20],

    struct date date;

    clrscr();
    printf("\n210 GHz Site Survey Radiometer"),
    printf("\nFor radiometers with Control Software Rev. 2.2\n");
    printf("\nDon't Forget to Turn On the Radiometer .\n"),
                                /* Initialize Serial Port */
    if(s_setvals("baud","2400") == 0) printf("Error Baud\n"),
    if(s_setvals("parity", "none") == 0) printf("Error parity\n");
    if(s_setvals("wordlength","8") == 0) printf("Error wordlength\n"),
    if(s_setvals("stopbits","1") == 0) printf("Error stopbits\n");
    if(s_setvals("xonxoff","off") == 0) printf("Error xonxoff\n"),

    s_setup()
    cti1brk(cbrk_handler);          /* Install the Control-Break handler*/
```

```

                /* Reset & Start Radiometer computer */
while((c=s_rcvchar()) != -1),
s_sendchar(3),

gettime(&tiempo),
now = tiempo.ti_sec,
do{
    if((c = s_rcvchar()) != -1);
    gettime(&tiempo);
    if((tiempo.ti_sec - now) > 2) time_out(),
    if ( kbhit() != 0)
        if( getch() == DEFAULT_ESC) attention(),
}while((c & 0xff) != '>');

sprintf(outcom,"RUN");
for(i = 0; (c = outcom[i]) != '\0', i++) s_sendchar(c);
s_sendchar(13),

gettime(&tiempo);
now =tiempo.ti_sec;
do{
    if((c = s_rcvchar()) != -1) putchar(c);
    gettime(&tiempo);
    if((tiempo.ti_sec-now) > 2) time_out();
    if( kbhit() != 0)
        if ( getch() == DEFAULT_ESC) attention();
}while((c & 0xff) != '?');

printf("\nFetching Time (UT) and Reference Day from PC (hh,mm,ss,refday)\n"),
printf("Reference Day since 1 January 1992\n");

gettime(&tiempo);
getdate(&date);

refday = julday(date.da_mon,date.da_day,date.da_year)-julday(1,1,1992)+1L;

sprintf(outcom,"%d,%d,%d,%ld",tiempo.ti_hour,tiempo.ti_min,tiempo.ti_sec,refday),
printf("%d,%d,%d,%ld\n",tiempo.ti_hour,tiempo.ti_min,tiempo.ti_sec,refday);
for(i = 0; (c = outcom[i]) != '\0', i++) s_sendchar(c);
s_sendchar(13);

printf("\nInitializing Mirror Reference...\n"),
gettime(&tiempo),
now = tiempo.ti_min;
do{
    if((c = s_rcvchar()) != -1) ,
    gettime(&tiempo);
    if((tiempo.ti_min-now) > 1) time_out(),
    if ( kbhit() != 0)
        if(getch() == DEFAULT_ESC) attention(),
}while((c & 0xff) != '?),

s_sendchar('A'),
while(TRUE){
    getdate(&date)
    day = date.da_day

```

```

if(date da_year< 2000) yr = date da_year-1900,
else yr = date da_year-2000,
sprintf(name,"su%2d%02d%02d",yr,date da_mon,day);
printf("\nData File %s\n",name),

```

```

if((fp = fopen(name,"a")) == NULL){
    fprintf(stderr,"Can't open file %s\n",name),
    exit(1),
}
do{
    if((c = s_rcvchar()) != -1){
        putchar(c);
        fputc(c,fp);
        if((c & 0xff) == 13)
            fflush(fp);
    }
    if ( kbhit() != 0)
        if ( getch() == DEFAULT_ESC) attention(),
        getdate(&date),
}while(date.da_day == day),
fclose(fp);
}
}

```

```

long julday(mm,id,iyyy)
int mm,id,iyyy;

```

```

{
    long jul,
    int ja,jy,jm,

    if(iyyy==0) printf("Error in JULDAY\n");
    if(iyyy<0) ++iyyy,
    if(mm>2){
        jy=iyyy,
        jm=mm+1;
    }
    else {
        jy=iyyy-1,
        jm=mm+13,
    }
    jul=(long)(floor(365.25*jy)+floor(30.6001*jm)+id+1720995);
    if(id+31L*(mm+12L*iyyy) >= IGREG ){
        ja=0.01*jy;
        jul+=2-ja+(int)(0.25*ja);
    }
    return(jul);
}

```

```

void time_out()

```

```

{
    sound(880); nosound();
    fprintf(stderr,"\nSerial Port Time Out Error");
    fprintf(stderr,"\nNow Exiting Program \n"),
    s_cleanup(),
    exit(1).
}

```

```

void attention()
{
    int nxt,c,now,

    sound(880); nosound(),
    printf("\nProgram Interrupted ...");
    printf("\n'c' to continue., 'q' to quit\n");
    nxt = getch();
    if(nxt == 'c' || nxt == 'C'){
        printf("Program Continues.. \n\n");
        return;
    }
    if (nxt == 'q' || nxt == 'Q'){
        if(fp != NULL) fclose(fp);
        s_sendchar(3);
        gettime(&tiempo);
        now =tiempo.ti_sec,
        do{
            if((c = s_rcvchar()) != -1);
            gettime(&tiempo),
            if((tiempo.ti_sec - now) > 2) time_out(),
        }while((c & 0xff) != '>');
        fflush(fp);
        s_cleanup();
        exit(1),
    }
}

```

```

int cbrk_handler(void)
{
    int c,now;

    if(fp != NULL) fclose(fp),
    s_sendchar(3);
    gettime(&tiempo),
    now =tiempo.ti_sec,
    do{
        if((c = s_rcvchar()) != -1),
        gettime(&tiempo),
        if((tiempo.ti_sec - now) > 2) time_out(),
    }while((c & 0xff) != '>');
    fflush(fp),
    s_cleanup(),
    exit(0),
}

```

PROGRAMA No. 3

Programa para reducir y depurar datos radiométricos.

Lenguaje utilizado. C (para estación de trabajo).

Nombre del Archivo Linear_red.c

```
/* -----
                215 GHz Site Radiometer Survey
                Reduction Program Ver 1 0
                David Hiriart
                Nov 1992
                Feb. 1994
                Sept. 1994
                Doug McGonagle
                Oct 1994
                Jan. 1995
                -----*/

#include <stdio h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib h>
#include <math.h>

#include "/home/hiriart/nr/nrutil.c"
#include "/home/hiriart/nr/gammq.c"
#include "/home/hiriart/nr/gcf.c"
#include "/home/hiriart/nr/gser.c"
#include "/home/hiriart/nr/gammln.c"
#include "/home/hiriart/nr/fit.c"

#define IGNORE 1
#define SI 1
#define NO 0
#define DEG_RAD 3.141592654/180.0
#define SQR(x) ((x)*(x))
#define REDANG 5 /* Number of angles to determine tau */
#define ANGOF 0.0 /* Angle offset */
#define DAYOF 0.0 /* Day Offset */
#define HROF 0.0 /* Hour Offset */

/* Get 'n' arguments from char string 'line'
and return them in 'args' array */

int getargs(line,n,args)
int n,
char *line,
float args[]
{
    int i,j,k,
    char numb[15],
    j=3.
```

```

for(i=0;i<n;i++){
    while(isdigit(line[j])==0) j++,
        k=0,
        while((isdigit(line[j])!=0) || (!line[j]=='.')){
            numb[k]=line[j],
                j++; k++;
        }
        numb[k]='\0';
        args[i]=atof(numb);
    }
}

/* Bemporad's polynomial approximation
for the air mass */

main(argc, argv)

int argc;
char *argv[];

{
    FILE *fp,*fpo, *fito,
    int i,j,perm=SI,flag=0, SDF=0,
    char infile[10],string[180],erof[8],*flo,
    float hour,min,sec,day,time,timin,t1,t2,t3,t4,v1,v2;
    float args[6],ang[8],ma[8],v[8],ref[8],tet,t,taum,num,offset,
    float afit,bfit,safit,sbfit,chi2f,qfit;
    float a2fit,b2fit,sa2fit,sb2fit,chi2f2,q2fit,
    float refm, refm_s, drefm, WARN,
    float *x,*y,*sig;
    float sigma1,sigma2,error,
    float v_sig[8], ref_sig[8],

    x=vector(1,REDANG),
    y=vector(1, REDANG),
    sig=vector(1,REDANG);

    if(argc == 1) {
        printf(" SYNTAX. linear_red <input_data.file> [<ouput file>]\n\n"),
            exit(1).
    }

    if((fp=fopen(argv[1],"r"))==NULL){
        printf("Error opening file %s data input.\n\n",argv[1]),
            exit(1),
    }

    if(argc <= 2) {
        if((fpo=fopen("prelimi.dat","w"))==NULL){
            printf("Error opening file prelimi.dat.\n\n");
            exit(1),
        }
    } else {

```

```

if((fpo=fopen(argv[2],"w"))==NULL){
    printf("Error opening file %s for output \n\n", argv[2]),
    exit(1),
}
}

if((fito=fopen("fit.dat","w"))==NULL){
    printf("Error opening file fit.dat for output.\n\n");
    exit(1);
}

        /* Data Input */
fprintf(fpo,
"# TIME  TAU  CHI2 Tamb  Tins  ERR  Vamb  STAB  MSIG 5V Vg\n");
do{
    WARN = 1 0;
    do{
        if(fgets(string,100,fp)==NULL) exit(1);
    }while(string[0]!='*');
    if(string[1]!='*') SDF = 1,      /* Check if Standard Data Format */
                                /*Time header */

    getargs(string,5,args);
    hour=args[0]+HROF;
    min =args[1];
    sec =args[2];
    day =args[3]+DAYOF,
    time=args[4];
    t = day+(hour*3600.0+min*60.0+sec+time)/(3600.0*24);

                                /* Temps and Voltages*/

    fgets(string,160,fp);
    if (SDF) {
        getargs(string,8,args),
    } else {
        getargs(string,6,args),
    }
    t1=args[0],
    t2=args[1],
    t3=args[2],
    t4=args[3],
    v1=args[4],
    if(SDF) {
        sigma1=args[5];
        v2=args[6],
        sigma2=args[7],
    } else {
        v2=args[5],
        sigma1 = sigma2 = 0 0.
    }
}

```

```

                                /* Scan */
for(i=0,i<8;i++){
    flo=fgets(string,100,fp),
    if(string[0]=='W'){
        fgets(string,100,fp);
        WARN = -1.0;
    }
    if(string[0]=='W'){
        fgets(string,100,fp),
        WARN = -1.0;
    }
    if (SDF) {
        getargs(string,6,args);
    } else {
        getargs(string,4,args);
    }
    ang[i]=args[0],
    ma[i] =args[1];
    v[i] =args[2],
    if (SDF) {
        v_sig[i] = args[3],
        ref[i]=args[4],
        ref_sig[i]=args[5],
    } else {
        ref[i]=args[3];
        v_sig[i] = ref_sig[i] = 0 0;
    }
}

                                /* Data transformation */
for(j=0;j<REDANG,j++){
    tet=ma[j],
    tet=acos(1 0/tet);
    x[j+1]=1.0/cos(tet+(ANGOF*DEG_RAD));
    num=fabs(ref[j]-v[j]),
    if(num ==0 0) num=1 0,
    y[j+1]=log(num);
    sig[j+1]=pow((SQR(v_sig[j])+SQR(ref_sig[j])),0 5)/num,
    fprintf(fito," %f %f %f\n", x[j+1], y[j+1], sig[j+1]);
}

                                /* Fit a straight line */
fit(x,y,REDANG,sig,0,&afit,&bfit,&safit,&sbfit,&chi2f,&qfit),
fprintf(fito," %f %f %f\n", afit, bfit, chi2f),
taum = -bfit*WARN,
error = 100.0*sbfit/fabs(bfit),
if(bfit>0.0) error=100.0;
if(error <60.0){

/** Calc mean ambient load volatage ***/
for(refm=0.0, i=0, i<8, i++) refm += ref[i];
refm/=8 0;

```

```

    /** Calc mean ambient load volatage sigma */
    for(refm_s=0.0, i=0; i<8; i++) refm_s += ref_sig[i],
    refm_s/=8.0,

    /** Calc ambiant load stability */
    for(drefm=0.0, i=0; i<8; i++) drefm = pow(ref[i]-refm,2.0)+drefm,
    drefm=sqrt(drefm/8.0),
    drefm= 100.0*drefm/refm;

    printf("%7.3f %7.4f %7.3f %6.2f %6.2f %5.2f %8.2f %6.2f %6.2f %8.2f %8.2f\n",
    t, taum, chi2f, t2, t4, error, refm, drefm, refm_s, v1, v2);
    fprintf(fpo,
    "%7.3f %7.4f %7.3f %6.2f %6.2f %5.2f %8.2f %6.2f %6.2f %8.2f %8.2f\n",
    t, taum, chi2f, t2, t4, error, refm, drefm, refm_s, v1, v2);
    }
}while(fio!=NULL);

fclose(fp);
fclose(fpo);
fclose(fito),
free_vector(sig,1,REDANG),
free_vector(y,1,REDANG),
free_vector(x,1,REDANG),
return 0,
}

```

PROGRAMA No. 4

Programa para graficar datos radiométricos.

Programa graficador utilizado SuperMongo

Macros elaboradas por: Gabriel Cruz González.

Nombre del Programa. Graf7

```
grafica      1
```

```
  erase
```

```
  data $1
```

```
  read t 1
```

```
  ptype 0 0
```

```
window 2 3 1 3
```

```
read tau 2
```

```
limits (t) 0 3
```

```
box
```

```
points t tau
```

```
xlabel dia
```

```
ylabel \gt
```

```
window 2 3 1 1
```

```
read temp 4
```

```
limits (t) 240 310
```

```
box
```

```
connect t temp
```

```
window 2 3 1 1
```

```
read temp 5
```

```
limits (t) 240 310
```

```
box
```

```
connect t temp
```

```
xlabel dia
```

```
ylabel temp
```

```
window 2 3 1 2
```

```
read err 6
```

```
set err1 = err / 100
```

```
limits (t) -0 1 0 3
```

```
box
```

```
points t err1
```

```
xlabel dia
```

```
ylabel err\d\gt
```

```
window 2 3 2 3
```

```
read ref 7
```

```
limits t ref
```

```
box
points t ref
xlabel dia
ylabel referencia
```

```
window 2 3 2 2
read dref 8
limits (t) -0 1 0 3
box
points t dref
xlabel dia
ylabel estabilidad (%)
```

```
window 2 3 2 1
set or = 0 , 30, 0.5
set tou = tau - 0 01
set mmh = tou / 0 04
set hi=histogram(mmh or)
limits or hi
histogram or hi
box
```

```
define a ( sum(mmh) / dimen(mmh) )
xlabel mm de H\2O
relocate 0 -45
label promedio de mmh $a
```

```
window 1 1 1 1
id
```

PROGRAMA No. 5

Programa para elaborar gráficas de la opacidad en base a la media y la mediana, a partir de los datos radiométricos.

Programa graficador utilizado: SuperMongo

Macros elaboradas por: Gabriel Cruz González.

Nombre del Archivo: Neoj

```
grafica      1
  erase
  data $1
  read t 1
  ptype 0 0

  window 2 1 1 1
  read tau 2
  limits (t) 0 1 5
  box
  points t tau
  xlabel day
  ylabel \gt @ 210 GHZ

  window 2 1 2 1
  set or = 0 , 1.25 , 0.05
  set mmh = tau
  set hi=histogram(mmh:or)
  limits or hi
  histogram or hi
  box
  xlabel OPACIDAD

  stats_med mmh b c

  define a ( sum(mmh) / dimen(mmh) )

  relocate 0 10
  label mean $a mm
  relocate 0 30
  label median $b mm

  window 1 1 1 1
  RELOCATE ( 32000 32400 )
  PUTLABEL 4 \-2\file: $data_file
```

DATOS No. 1

Datos sin depurar, obtenidos directamente de los radiómetros con el programa Nsurvey c, que operaron en los diversos sitios elegidos.

Lugar Sierra Negra Fecha octubre 1 de 1996

Nombre del archivo: su961001

1 8 7 47 1736 11306

282.23 275.75 277.74 281.56 5156.65 0.78 9853.85 2.01

23 1.084 1489.07 1.11 1510.33 0.67

29 1.399 1500.55 1.06 1509.79 0.55

32 1.752 1503.28 0.89 1509.65 0.54

33 1.930 1504.57 0.81 1509.75 0.66

34 2.158 1504.04 0.89 1509.71 0.64

35 2.459 1504.28 1.01 1509.63 0.75

36 2.869 1505.01 0.91 1509.75 0.72

37 3.461 1506.04 0.95 1509.72 0.60

1 8 7 47 1736 11648

282.34 275.97 277.91 281.71 5156.54 0.87 9853.74 1.96

23 1.084 1478.95 0.89 1510.51 0.59

29 1.399 1485.96 0.98 1510.40 0.70

32 1.752 1494.16 0.85 1510.55 0.64

33 1.930 1500.15 1.12 1510.49 0.78

34 2.158 1503.69 0.89 1510.60 0.64

35 2.459 1505.69 0.88 1510.63 0.68

36 2.869 1506.50 0.99 1510.68 0.76

37 3.461 1507.04 0.91 1510.78 0.66

1 8 7 47 1736 11991

282.46 276.08 278.06 281.82 5155.77 1.09 9853.63 1.90

23 1.084 1467.58 0.94 1511.43 0.75

29 1.399 1478.56 1.03 1511.58 0.71

32 1 752 1488 97 1 01 1511 56 0.63

33 1 930 1495 59 0 99 1511.69 0 61

34 2 158 1499 70 0 92 1511 55 0.69

35 2 459 1503.56 0.91 1511 76 0 74

36 2 869 1505 26 1 04 1512 02 0 60

37 3 461 1507 07 0 91 1512 00 0 63

1 8 7 47 1736 12333

282.55 276 06 278.06 281.88 5155.61 1 06 9852.54 0.00

23 1 084 1476 70 0 97 1513 43 0 73

29 1.399 1491.44 0.90 1513.20 0.75

32 1.752 1499 23 0 98 1513 20 0 64

33 1.930 1502 46 1.00 1513.46 0.66

34 2 158 1505 70 1.01 1513.53 0.60

35 2.459 1508.02 0.87 1513.49 0.70

36 2.869 1508.38 0.94 1513.46 0.69

37 3 461 1509 53 0 95 1513.42 0 57

1 8 7 47 1736 12676

282 66 276 30 278.16 281.97 5155 88 1 09 9852.76 0.95

23 1.084 1495 52 1 02 1513.14 0.62

29 1 399 1503.67 0 86 1512 90 0 59

32 1 752 1506 36 0 89 1512.79 0 65

33 1 930 1507 33 0 91 1512 92 0 64

34 2.158 1508 12 0 91 1512.54 0 45

35 2.459 1508 75 0 92 1512 51 0 54

36 2 869 1508.25 0 93 1512 72 0 65

37 3 461 1508 94 0 79 1512 77 0 73

1 8 7 47 1736 13019

282 78 276 36 278 35 282 13 5155 93 1 09 9852.54 0.00

23 1.084 1483.27 0.98 1513.28 0.49
29 1.399 1493.52 0.89 1513.47 0.67
32 1.752 1502.47 0.91 1513.66 0.59
33 1.930 1503.80 0.94 1513.51 0.54
34 2.158 1505.53 0.90 1513.40 0.59
35 2.459 1507.31 0.87 1513.80 0.50
36 2.869 1508.46 0.85 1514.08 0.68
37 3.461 1509.72 0.92 1513.97 0.54

1 8 7 47 1736 13361

282.82 276.30 278.36 282.15 5155.55 1.04 9852.65 0.68

23 1.084 1483.33 1.00 1515.55 0.71
29 1.399 1499.18 0.91 1515.68 0.67
32 1.752 1506.43 0.88 1515.74 0.66
33 1.930 1507.69 0.90 1515.70 0.86
34 2.158 1509.48 0.95 1515.81 0.79
35 2.459 1510.64 0.90 1515.82 0.55
36 2.869 1509.89 0.91 1515.71 0.77
37 3.461 1510.45 0.95 1515.68 0.64

1 8 7 47 1736 13704

282.80 276.17 278.30 282.17 5155.33 0.95 9852.87 1.15

23 1.084 1500.33 1.00 1516.33 0.64
29 1.399 1509.17 0.89 1516.19 0.59
32 1.752 1511.04 0.97 1516.25 0.66
33 1.930 1512.39 0.92 1516.58 0.71
34 2.158 1512.72 0.90 1516.38 0.60
35 2.459 1512.29 0.88 1516.27 0.63
36 2.869 1512.39 0.87 1516.31 0.68
37 3.461 1512.63 0.84 1516.45 0.62

1 8 7 47 1736 14047

282 78 276 19 278 24 282 09 5155 39 0.98 9852 76 0 95

23 1 084 1475.72 0 90 1516 09 0 61

29 1 399 1488.64 0 71 1515.98 0 59

32 1 752 1498 35 0.89 1515 96 0,61

33 1.930 1501 24 1.04 1515.92 0.63

34 2 158 1504 16 0.85 1515.94 0.58

35 2.459 1506.98 0.91 1515.96 0.69

36 2 869 1509 38 0 89 1515 79 0.62

37 3 461 1511 00 0.88 1515.60 0 66

?@

LMT SITE RADIOMETER CONTROL SOFTWARE REV. 2 2

University of Massachusetts, FCRAO @ 1994.

Radiometer # 1

Enter time and reference date (UT) hh,mm,ss, day number

Hit Return at the time specified

?

DATOS No. 2

Datos radiométricos depurados con el programa de Linear_red c

Lugar Sierra Negra Fecha octubre 1 de 1996

Nombre del archivo. re161001

#	TIME	TAU	CHI2	Tamb	Tins	ERR	Vamb	STAB	MSIG	5V	Vg
1736	001	1 2046	0 011	272.63	278.83	5.95	1490.34	0.00	0.64	5157.75	9858 25
1736	005	0 9831	0 025	272 51	278.73	10 97	1489 62	0.02	0.65	5158 02	9858 47
1736	009	0.9146	0.006	272 45	278 68	5.79	1488 92	0.02	0 67	5157 97	9858 80
1736	013	0 8367	0.005	272.45	278 61	5 56	1487.87	0.01	0 66	5158 30	9859 13
1736	017	1 0997	0 001	272 35	278 56	1.81	1487 19	0.01	0 68	5158 24	9859 13
1736.	021	1 2849	0 020	272.35	278 50	7 40	1487 57	0 09	0 68	5158 63	9858 80
1736	025	0 6928	0.011	272 33	278 48	10 20	1489 56	0.01	0 65	5158 24	9859 79
1736	029	0 9529	0 013	272 30	278.45	8.12	1489.08	0.01	0.65	5158.35	9859 13
1736	033	0.9175	0.022	272 24	278.40	10.83	1488 70	0.01	0.66	5158.63	9859 13
1736	037	1.1351	0.032	272 21	278.35	10.64	1487 80	0.01	0 65	5158 52	9859 79
1736.	041	1 2466	0.063	272.12	278.29	13.56	1487 34	0.01	0 69	5158 46	9859.57
1736	045	1.1314	0 065	272.02	278.20	15.22	1486 15	0.02	0 64	5158 79	9860 12
1736.	049	1 3629	0 164	272 00	278.15	20.08	1485.18	0 02	0.66	5159 01	9860 56
1736	053	0 9349	0.055	271 92	278.08	16.91	1484 43	0 01	0 65	5158 85	9860 45
1736	057	1.3132	0 035	271.91	278.05	9 57	1483.44	0 02	0.68	5158 96	9860 45
1736	061	0 6846	0.034	271.86	278 02	18.20	1483.22	0.01	0.66	5158.90	9860 78
1736.	065	1 8455	0.114	271.80	277.95	12 36	1482.74	0.02	0.66	5158.90	9860 78
1736	069	1.4217	0.043	271.70	277 92	9.85	1481.99	0.01	0 64	5159.12	9861 11
1736.	073	1 3221	0.004	271 58	277 80	3.17	1481 50	0.01	0 63	5159.01	9860.67
1736.	077	1 2482	0.004	271.58	277.73	3 42	1480 11	0.01	0.70	5159.01	9860 78
1736	081	1.3949	0 008	271.60	277.72	4.33	1479.10	0 02	0.64	5159.12	9861 32
1736.	085	1 2452	0.024	271.70	277.73	8.50	1478.43	0.01	0.69	5159.12	9861.21
1736.	089	1.0815	0.043	271.80	277.80	12.89	1478 73	0.01	0.69	5159.07	9860.67
1736	093	1.2374	0.005	271 84	277.86	3.75	1479.34	0.00	0.58	5159.12	9861 21
1736.	097	1 2902	0.021	271 83	277 92	7 62	1479.88	0.01	0.68	5159 12	9860 56
1736	100	1.1662	0 001	271.96	277.95	1.71	1479.80	0 01	0 67	5159.01	9861.00
1736.	104	1.2997	0 018	272 02	278.03	6.98	1480.28	0.01	0.68	5159.18	9860.56
1736	108	1.0761	0.015	272.10	278 08	7.65	1481.18	0.01	0.61	5158.90	9860.45
1736.	112	1.1030	0.041	272.13	278.14	12.38	1481.70	0.01	0.65	5159.01	9861.21
1736.	116	1 1398	0.004	272 12	278.19	3.59	1482.37	0.01	0.67	5159.01	9860 34
1736.	120	0 8185	0 002	272 15	278 25	3.50	1482.74	0.01	0.63	5159 12	9859.35
1736	124	0 9871	0 010	272 14	278.26	6.88	1482.99	0 01	0.66	5159.01	9859 68
1736	128	1 0667	0 001	272.13	278.28	2.41	1483.67	0 03	0 66	5158.85	9859.57
1736.	132	1.1101	0.002	272.18	278.28	2.80	1484.08	0.01	0.65	5158.90	9859 57
1736	136	1 1212	0 004	272 20	278 29	3.72	1484.31	0.01	0 65	5158.96	9859.35
1736.	140	1 1014	0 000	272 23	278.30	1.34	1484 59	0.01	0.69	5158.63	9859 90
1736.	144	1.0486	0.003	272.24	278.35	3 27	1484.54	0.01	0 61	5158.96	9859 24
1736.	148	1 0974	0.002	272.25	278.38	2 95	1484 90	0 01	0 62	5158.63	9859 24
1736	152	0.7925	0 017	272.32	278.40	10 99	1484 84	0.02	0.63	5158 63	9859 24
1736	156	0 5880	0.005	272.35	278.44	7.95	1485.13	0.01	0.63	5158 79	9858 80
1736	160	0 7232	0 005	272 35	278 46	6 82	1485 09	0 02	0 63	5158.74	9859.35
1736	164	0 8778	0 009	272.34	278 47	7.11	1485 31	0.01	0.65	5158 41	9858.80
1736	168	1 0143	0 002	272 35	278 48	3 02	1485 25	0 02	0 63	5158 74	9858 91

1736	172	1	3078	0	025	272.35	278	49	8	18	1484	90	0.01	0	66	5158.68	9858	58			
1736	176	1.0118	0.003	272.36	278.49	3.89	1485.42	0.01	0	62	5158	74	9859	02							
1736	180	0.8960	0	002	272.35	278.45	3	11	1485	36	0.01	0	64	5158.41	9858	58					
1736	184	1.1934	0.003	272.25	278.41	3	14	1485.49	0.01	0	59	5158.90	9858	91							
1736	188	1	2157	0.012	272	24	278.36	6.06	1484.91	0	01	0	64	5158	85	9859	24				
1736	192	1	1892	0	017	272.25	278	33	7.47	1484.67	0	01	0	65	5158	68	9859	79			
1736	196	1	3048	0	010	272.24	278	32	5	20	1484	46	0.01	0	65	5158	79	9859	79		
1736	200	1	2392	0	001	272.17	278	28	1	47	1484	36	0.02	0	66	5158	85	9859	90		
1736	204	1	3366	0	014	272	13	278	26	6.01	1484.06	0.01	0	67	5158	85	9859	46			
1736	208	1	1914	0.007	272	18	278.23	4.64	1483	42	0	02	0	64	5158	63	9859	57			
1736	212	1.4929	0	000	272	23	278.25	0.78	1483.40	0.01	0	62	5158.85	9859	24						
1736	216	0	9180	0.007	272.24	278	27	6	19	1483.42	0.01	0	64	5158.63	9859	24					
1736	220	1	3912	0	001	272	28	278.28	1	87	1483	72	0	00	0	62	5158	90	9859	57	
1736	224	1	7492	0	075	272.34	278	31	10	62	1484	08	0	01	0	64	5158	90	9859	46	
1736	228	1	5569	0	121	272	36	278	37	15	08	1484	25	0	01	0	67	5158	57	9858	91
1736	231	1	6471	0	180	272.41	278	39	17	43	1484	47	0	01	0	69	5158	74	9858	80	
1736	235	1	5895	0	032	272	45	278.44	7	60	1484	56	0.01	0	63	5158.79	9858	25			
1736	239	1.0071	0	177	272	46	278	49	28.22	1484.85	0.01	0	63	5158.63	9858	47					
1736	243	3.3412	6.551	272.46	278.50	51.80	1485.09	0	01	0	64	5158	52	9858	47						
1736	251	1.3592	0.064	272.57	278.60	12	62	1485.79	0.01	0	63	5158	30	9858	25						
1736	255	2.0096	1.161	272.57	278	61	36.26	1486	59	0.01	0	64	5158	57	9858	25					
1736	287	1.1400	0.466	272	77	278	80	40	47	1487.44	0.01	0	63	5157	97	9858	03				
1736	291	1.1231	0.094	272.79	278	82	18.49	1487.61	0.02	0	61	5158	08	9857	26						
1736	295	1	6542	0.450	272.79	278.84	27.42	1487.91	0.01	0	60	5158	08	9857	26						
1736	299	1	5379	0	158	272.82	278.84	17	48	1488.13	0.01	0	64	5158.08	9857	37					

BIBLIOGRAFÍA:

Proceedings of the IEEE. "Special Issue on Radio Telescopes".

Editado por William A. Imbriale, Guest Editors

Mayo 1994, vol 82, No 5

C. W. Allen **Astrophysical Quantities.**

Ed. The Athlone Press University of London.

2a ed, Oxford University, 1964.

Toscano, Ricardo. **Meteorología, descriptiva y dinámica.**

UNAM. México, 1970

Abetti, Giorgio **Historia de la Astronomía.**

2a.ed. Ed Fondo de Cultura Económica, México, 1983.

Kraus, John D., **Radio Astronomía.**

4a ed , Ed. Antennas, McCraw-Hill, 1991.

Martín Vide, Javier. **Fundamentos de Climatología Analítica.**

Ed. Síntesis, Madrid, 1991

Barry, R. G , Chorley, R. J **Atmósfera, Tiempo y Clima.**

Ed Omega S A., 3ra ed., Barcelona, 1980.

Radio Astronomy Course.

Swell, Goldsmith, Polívka. CI-UNAM, México, 1993.

Donn, William L., **Meteorología.**

Ed Reverté S A., España, 1978.

Downie, N.M **Métodos Estadísticos Aplicados.**

3a ed Ed Harla, México, 1973

Desarrollo Integrales de Ingeniería S.A. de C.V.

Ciudad de México, Diciembre de 1998

Direcciones de Internet utilizadas

- 1) URL [http //mexico.web.com.mx/fregional.html](http://mexico.web.com.mx/fregional.html)
- 2) URL: <http://www.geocities.com/Athens/Parthenon/3234/estados.htm>
- 3) URL [http //www.mhri.edu.au/ pdb/geometry/lineline/](http://www.mhri.edu.au/pdb/geometry/lineline/)
- 4) URL: <http://www.latu.vuva.es/meteorol/meteorol.html>
- 5) URL: <http://vppx134.vp.ehu.es/met/html/diccio/indice.htm>



ASOCIACIÓN DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLECCIÓN DE GEOGRAFÍA