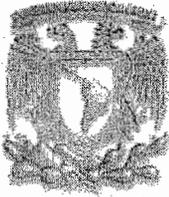


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**



**DIVISION DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y
GEODESICA**

FACULTAD DE INGENIERIA

**" ANALISIS DE ZONAS DE PELIGRO POR
INESTABILIDAD DE TALUD EN EL CERRO DEL
CHIQUIHUIE, D.F. MEDIANTE TECNICAS DE GPS "**

**POR:
MARIO ALBERTO MARTINEZ YAÑEZ**

**TESIS
PRESENTADA A LA *FACULTAD DE INGENIERIA*
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE
*INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA***

**Director de Tesis:
Dr. Enrique Cabral Cano**

**CD. UNIVERSITARIA
2004**



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).

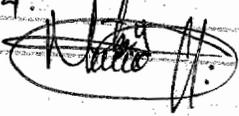
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo de tesis.

NOMBRE: Mario Alberto
Martínez Yáñez

FECHA: 19/09/09

FIRMA: 



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/042/03

Señor
MARIO ALBERTO MARTÍNEZ YÁÑEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. ENRIQUE CABRAL CANO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA.

"ANÁLISIS DE ZONAS DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE TALUD EN EL CERRO DEL CHIQUIHUIE, D.F., MEDIANTE TÉCNICAS DE GPS"

INTRODUCCIÓN

- I. ANTECEDENTES GEOLOGICOS DE LA CUENCA DE MÉXICO
- II. PELIGROS GEOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS
- III. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL CERRO DEL CHIQUIHUIE
- IV. GEODESIA SATELITAL
- V. APLICACIÓN DEL SOFTWARE REQUERIDO
- VI. RESULTADOS
- VII. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 22 Abril 2003.

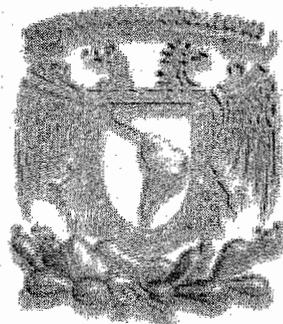
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

ANALISIS DE ZONAS DE PELIGRO POR
INESTABILIDAD DE TALUD EN EL CERRO DEL
CHIQUIHUIITE, D.F. MEDIANTE TECNICAS DE
GPS

Mario Alberto Martínez Yáñez

CD. UNIVERSITARIA
2004



AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero hacer mención de las personas que contribuyeron en el desarrollo y culminación de mi tesis.

Primeramente al Dr. Enrique Cabral Cano, por brindarme su confianza, así como su orientación y sobre todo por el apoyo incondicional, el cual fue de suma valía, para que pudiera llegar al término de tan deseado proyecto. Muchas Gracias.

Al Ingeniero Francisco Correa Mora, por sus invaluable conocimientos, los cuales fueron indispensables para la culminación de mi tesis, Gracias.

Al maestro en Ciencias Oscar Díaz Molina, por su indiscutible ayuda siempre que la necesite. Y por supuesto, a los Ingenieros Teodoro Hernández Treviño y Gerardo Cifuentes Nava, quienes siempre me brindaron su apoyo durante mi estancia en el Instituto de Geofísica. Gracias.

DEDICATORIA

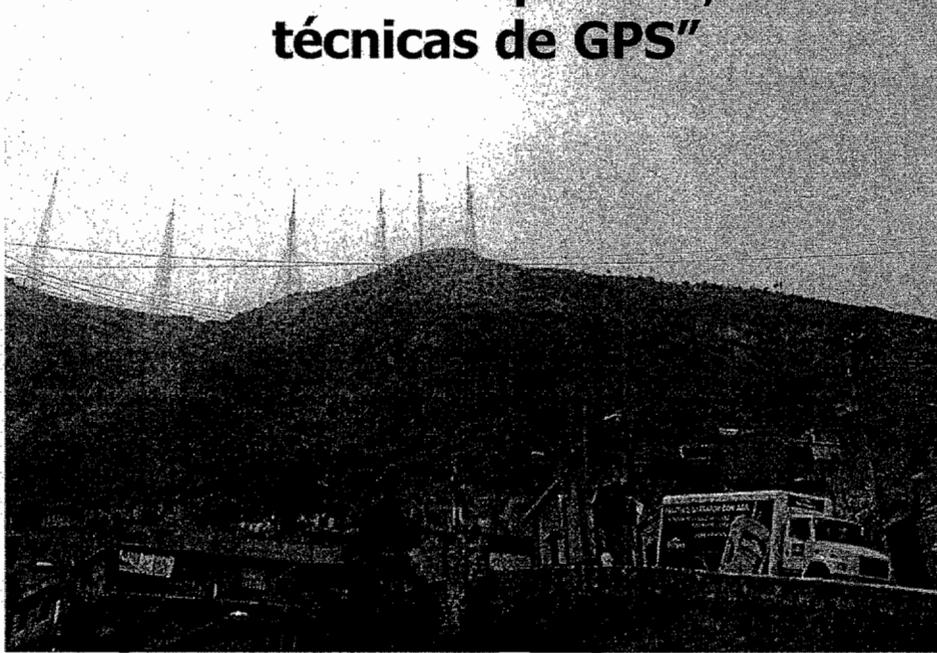
Con dedicatoria a quienes fueron el motor que me impulso a poder concluir esta profesión: **MIS PADRES BALDO E HILDA**; ya que gracias a ellos soy lo que soy, por su apoyo incondicional, así por su siempre ejemplo de trabajo, honestidad y lucha. Y sobre todo por su inmenso amor hacia mi persona, ya que sin esperar nada a cambio lo dieron todo por mi; y por tantas cosas más. Para ustedes con todo mi cariño. A mis hermanos (**Adrián, Mary, Charly, Mont y Gemma**) quienes fueron parte de esa estructura, la cual fue fundamental para poder concluir mi carrera y que por lo mismo este logro es también de ustedes, Gracias.

A **Claudia**, que me dio esa estabilidad emocional, que me sirvió poder continuar con este sueño; así también por todo su apoyo y cariño sin reservas e incondicional.

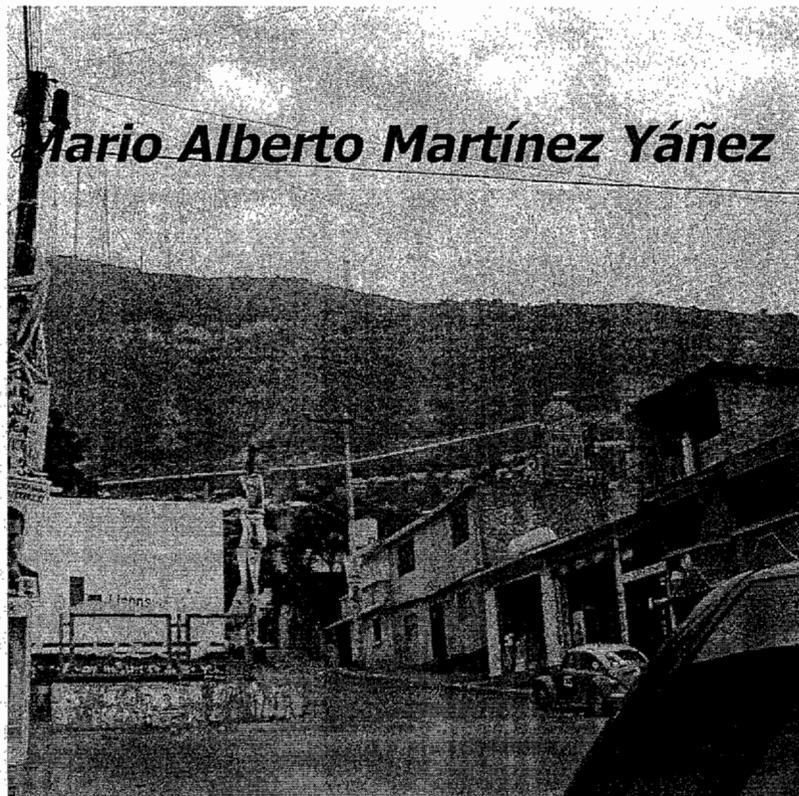
Gracias Merel.

Y como olvidar a todas las personas, que me brindaron su amistad, confianza y apoyo durante el desarrollo de la carrera. Muchas Gracias.

“Análisis de zonas de peligro por inestabilidad de talud en el Cerro del Chiquihuite, D.F. mediante técnicas de GPS”



Tesis para obtener el grado en Licenciatura de Ingeniero Topografo y Geodesta.



INDICE

"Análisis de zonas de peligro por inestabilidad de talud en el Cerro del Chiquihuite, D.F. mediante técnicas de GPS"

	PAGINA
INTRODUCCIÓN.....	05
I.- Antecedentes geológicos de la Cuenca de México.....	07
II.- Peligros geológicos y ecológicos.....	11
II.1. Riesgos geológicos ambientales.....	11
II.2. Tipos de suelos.....	17
III.- Análisis de la problemática del Cerro del Chiquihuite.....	18
III.1. Ubicación de la zona de estudio (Cerro del Chiquihuite).....	18
III.2. Antecedentes.....	19
IV.- Geodesia satelital.....	31
IV.1. Instrumentación de campo.....	31
IV.1.1. Antecedentes del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	31
IV.1.2. Aplicaciones y Procedimientos.....	33
V.- Aplicación del software requerido.....	37
V.1. Orbitas Precisas.....	37
V.2. Waypoint Consulting GrafNet.....	38
V.3. Sistemas de Información Geográfica (ArcView).....	39
V.4. Otros análisis.....	39
VI.- Resultados.....	45
VI.1. Análisis de datos Geodésicos.....	45
VI.2. Integración de resultados en un Sistema de Información Geográfica.....	74
VI.3. Análisis de pendientes.....	80
VII.- Conclusiones.....	85
Conclusiones y Bibliografía.....	87

INTRODUCCIÓN

A causa del rápido crecimiento de la población y de la tendencia migratoria desde el campo hacia las concentraciones urbanas, la mayoría de las ciudades del mundo están sometidas a fuertes expansiones. Por otra parte, las ciudades constituyen un riesgo inherente puesto que un gran número de personas y un enorme patrimonio en infraestructura urbana se concentran en un espacio restringido. En dicho marco de desarrollo urbano desproporcionado se coloca la Ciudad de México, unas de las primeras megalópolis del mundo.

La Ciudad de México presenta la mayoría de los problemas que se derivan de un desarrollo urbano impetuoso dentro de una situación de fuertes contrastes económicos. A causa de este enorme desarrollo la ciudad debe afrontar una vasta gama de riesgos naturales y de otro tipo, puesto que el comportamiento humano se vuelve cada día más heterogéneo, ocasionando nuevos y más fuertes riesgos. Ejemplo de esto es, cuando las áreas de fuerte pendiente se encuentran pobladas por el hombre, es frecuente que los daños a casas habitación proporcionen una clara muestra de la magnitud de los movimientos del terreno y de las áreas donde el problema es crítico. En efecto la Ciudad de México representa un ejemplo de área en que se presentan importantes riesgos naturales, pero existen también peligros relativos a problemas especiales (contaminación ambiental, subsidencia, deterioro de acuíferos). Todo esto se traduce en una zona urbana que a crecido sin control, y en muchas ocasiones en lugares poco apropiados. Este es el caso de familias que al no encontrar lugar apropiado para vivir, construyen sus casas en las faldas de los cerros o cauces de arroyo sin contemplar que tan peligroso es establecerse en esas zonas.

Un ejemplo claro de este tipo de riesgos es el Cerro del Chiquihuite, ubicado en los límites de la Delegación Gustavo A. Madero (Distrito Federal) y de Tlalnepantla, Estado de México, figura 1; en donde se han establecido de manera irregular familias y con el paso del tiempo, la mancha urbana se ha ido expandiendo. Por lo mismo, las autoridades correspondientes, solicitaron al Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. realizar estudios y así poder estimar el peligro que corren los pobladores al vivir en las faldas y poder determinar cual zona tiene mayor potencial de riesgo.

Entre otros estudios se realizaron estudios geodésicos mediante técnicas GPS, para conocer la posible existencia de deslizamientos en las laderas del Cerro del Chiquihuite. Esto se llevo a cabo mediante la creación de una red geodésica formada por 12 estaciones de control, que fueron monitoreadas en campañas realizadas periódicamente cada 30-60 días. Posteriormente, mediante un procesamiento preciso y de diferencias dobles se obtuvieron posiciones de las estaciones. Finalmente se realizó la interpretación y alcances de resultados en el contexto de riesgo geológico.

Por otra parte, se llevó a cabo un análisis mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), tomando en cuenta factores naturales como la fuerte pendiente que existe en algunos lugares; la caída de agua en las épocas de lluvia y lo inestable de algunas zonas del cerro del Chiquihuite. Todos estos factores implican una vulnerabilidad existente para los pobladores que habitan los alrededores del Cerro; por lo tanto, mediante este análisis es posible saber cuáles son los inmuebles que se localizan en zonas con mayor posibilidad de sufrir un deslizamiento de su superficie.

Estos diferentes factores de riesgo se ejemplifican mediante capas (que se aprecian mejor en el SIG), anexando para mayor descripción la topografía del lugar, los parteaguas existentes que estos a su vez dan origen a polígonos que indicaran que tan fuerte es la pendiente para cada una de las zonas en la periferia del Cerro del Chiquihuite; y así generar una serie de mapas que permitirán visualizar que zonas son las de mayor riesgo debido a la intensidad con que actúan los factores de riesgo en determinadas zonas del cerro.

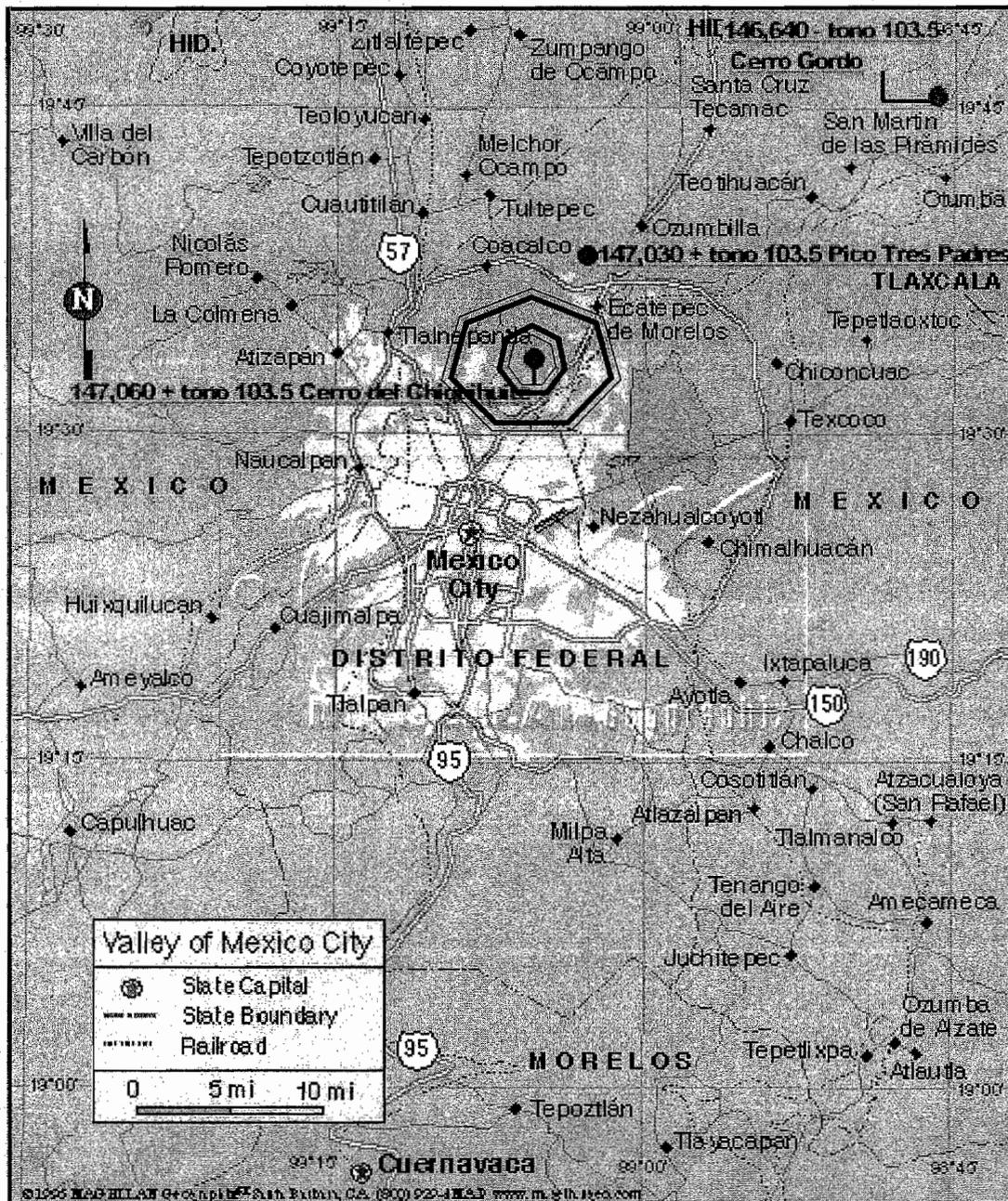


Figura No. 1.- El recuadro muestra la ubicación del área de estudio (Cerro del Chiquihuite) en la Ciudad de México, Distrito Federal.

I.- ANTECEDENTES GEOLOGICOS DE LA CUENCA DE MEXICO

La cuenca de México está localizada en la parte central de la Faja Volcánica Mexicana con un área aproximada de 9000 Km², de los cuales 2400 km² corresponden al área urbana.

La cuenca de México está limitada al sur por la Sierra de Chichinautzin, al norte por la Sierra de Pachuca que la separa de la Cuenca de Tula, al este por la Sierra Nevada y al oeste por la Sierra de Las Cruces que también define a la Cuenca de Toluca. Esta cuenca es endorreica, es decir que su drenaje fluye hacia el centro de ésta sin tener una salida natural y pertenece a planicies escalonadas (Lugo-Hubp, 1984), es una extensa altiplanicie lacustre con altitud promedio de 2240 m.s.n.m.. Las Sierras que delimitan la cuenca son esencialmente productos volcánicos y abanicos aluviales (Damon et al., 1981). Lamentablemente, la mancha urbana se ha extendido a zonas de alto peligro alterando las condiciones naturales del ambiente, lo que aunado a lluvias y/o sismos favorece los derrumbes o deslaves (Vázquez-Sánchez, 1989).

La geología de la Cuenca está compuesta de rocas volcánicas y sedimentos de origen lacustre. Las primeras fueron originadas por varios aparatos volcánicos en diferentes períodos de actividad. Encontramos rocas del Mioceno-Pleistoceno (andesitas, dacitas, riodacitas) en la Sierra de Las Cruces y Nevada y en el Cerro Ajusco; del Plioceno-Pleistoceno (basaltos, andesitas) en el núcleo de la Sierra de Santa Catarina; del Cuaternario (basaltos, andesitas) en la Sierra de Chichinautzin. En el entorno de las Sierras existen alternancias de derrames lávicos, piroclásticos y cenizas (Rodríguez et al, 2000).

A mediados del Siglo XIX, se inicia la extracción de agua subterránea en las zonas urbanas y en sus proximidades, iniciando el proceso de hundimiento irregular del subsuelo. Ya en la segunda mitad del Siglo XX, la población y la industria aumentan, incrementándose la extracción de agua y los hundimientos, provocando la ruptura de las arcillas. Las fracturas se extienden rompiendo la infraestructura urbana.

La sobreexplotación de los mantos acuíferos, durante los últimos 50 años, ha provocado en la zona metropolitana de la Ciudad de México hundimientos, agrietamientos y fallamiento, los cuales hacen más vulnerable a la capital ante los sismos, ya que cientos de construcciones están debilitadas en sus estructuras. Los análisis más recientes indican promedios de subsidencia que en algunas zonas de la Ciudad pueden llegar hasta 1mm/día (Cabral-Cano, et. al., 2002).

La necesidad de encontrar cada día mayores cantidades de agua (se calcula que para las necesidades civiles e industriales serían hoy necesarios unos 60m³/seg) lleva a un incremento de la explotación de las napas hídricas. Por la naturaleza de los acuíferos y su excesiva explotación lleva necesariamente a provocar fenómenos de subsidencia, a menudo muy acentuados. Por último las numerosas actividades humanas agudizan el problema de contaminación tanto de las napas hídricas como de la atmósfera.

El ambiente del Valle de México podría llevar a consideraciones varias y contrastantes, ya sólo observándolo con la rapidez con que se acaba de presentar. Ciertamente que el territorio, ya de por sí, está variamente expuesto a una serie de fenomenologías naturales que incrementan su índice de peligrosidad, en el que el elemento hombre eleva los valores de riesgo a niveles frecuentemente superiores a los umbrales de seguridad.

Por otra parte la actividad humana, aun constituyendo el factor negativo en la evaluación de riesgos, también está dirigida a la atenuación del riesgo mismo a través de la prevención y la gestión de las emergencias.

El que la mancha urbana se desarrollara sobre la antigua región lacustre no implica únicamente problemas desde el punto de vista hidrogeológico. Las necesidades de abastecimiento de agua potable rebasaron los caudales disponibles de los manantiales desde el siglo XVII. A partir del siglo XVIII, se inicia la explotación de formaciones acuíferas someras por medio de norias (pozos sin equipar de gran diámetro). No es hasta principios del siglo XX que se pasa de norias a pozos profundos (mayores a 50 m). Para los años 50's la profundidad de los pozos alcanza los 100 m. Los flujos requeridos para los 60's hacen alcanzar la profundidad de 200 m.

El régimen de extracción trae como primera consecuencia negativa la subsidencia de los terrenos de área lacustre lo que obliga a las autoridades hidráulicas a establecer baterías de pozos que exploten ya no la formación lacustre somera (acuífero semi-permeable), sino acuíferos más profundos. Estos pozos, denominados profundos llegan a rebasar los 400 metros.

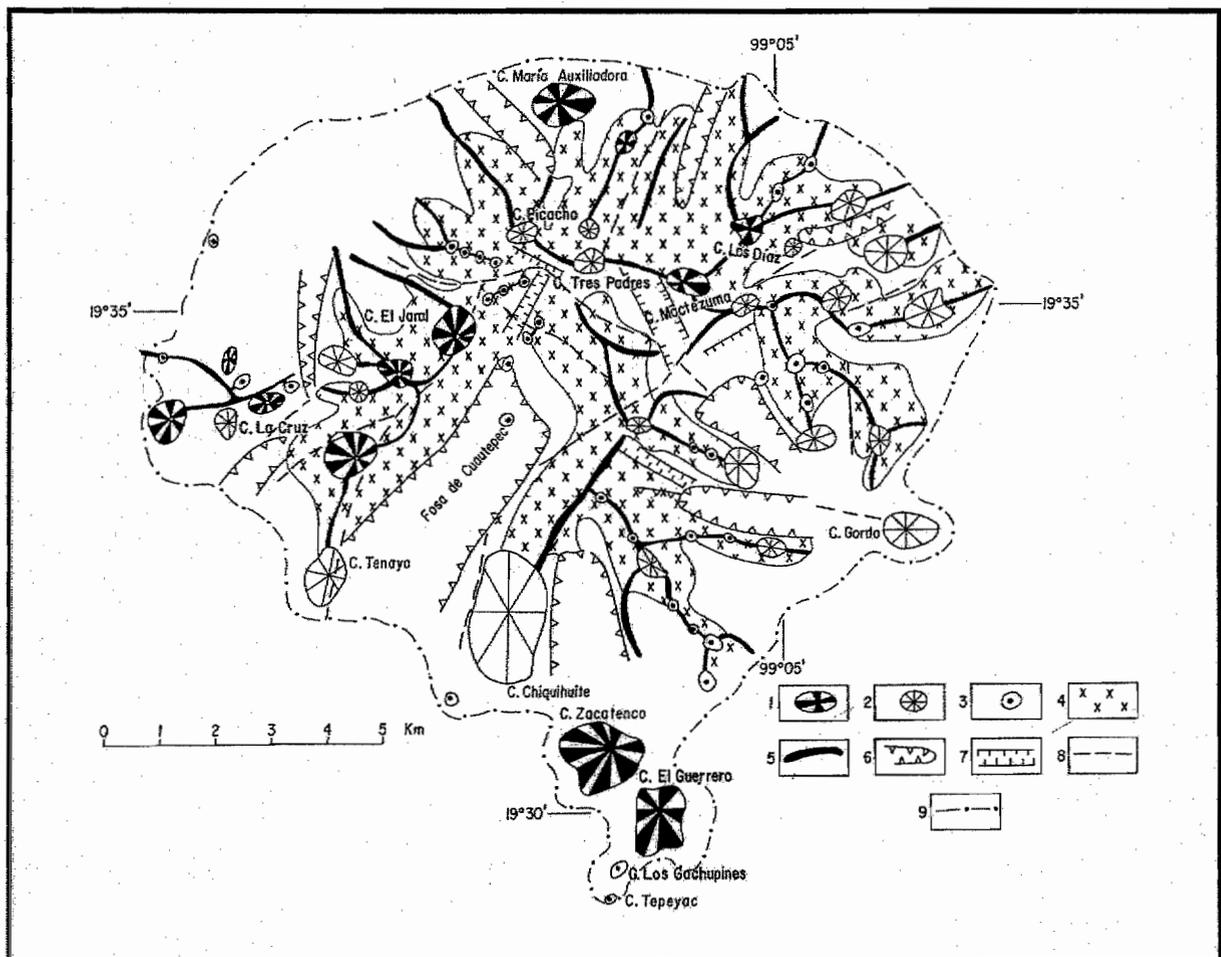


Figura No. 2.- Mapa morfoestructural, de las principales formas estructurales pliocénicas, ubicadas en la Sierra de Guadalupe (Lugo, Hupb, 1996). 1. Estratovolcanes; 2. domos volcánicos principales; 3. domos volcánicos secundarios; 4. crestas de lava; 5. superficie de divisoria (corresponde con las fracturas que favorecieron el ascenso magmático); 6. depresiones tipo fosa; 7. depresiones estrechas controladas por fracturas; 8. fracturas; 9. límite de la zona cartografiada.

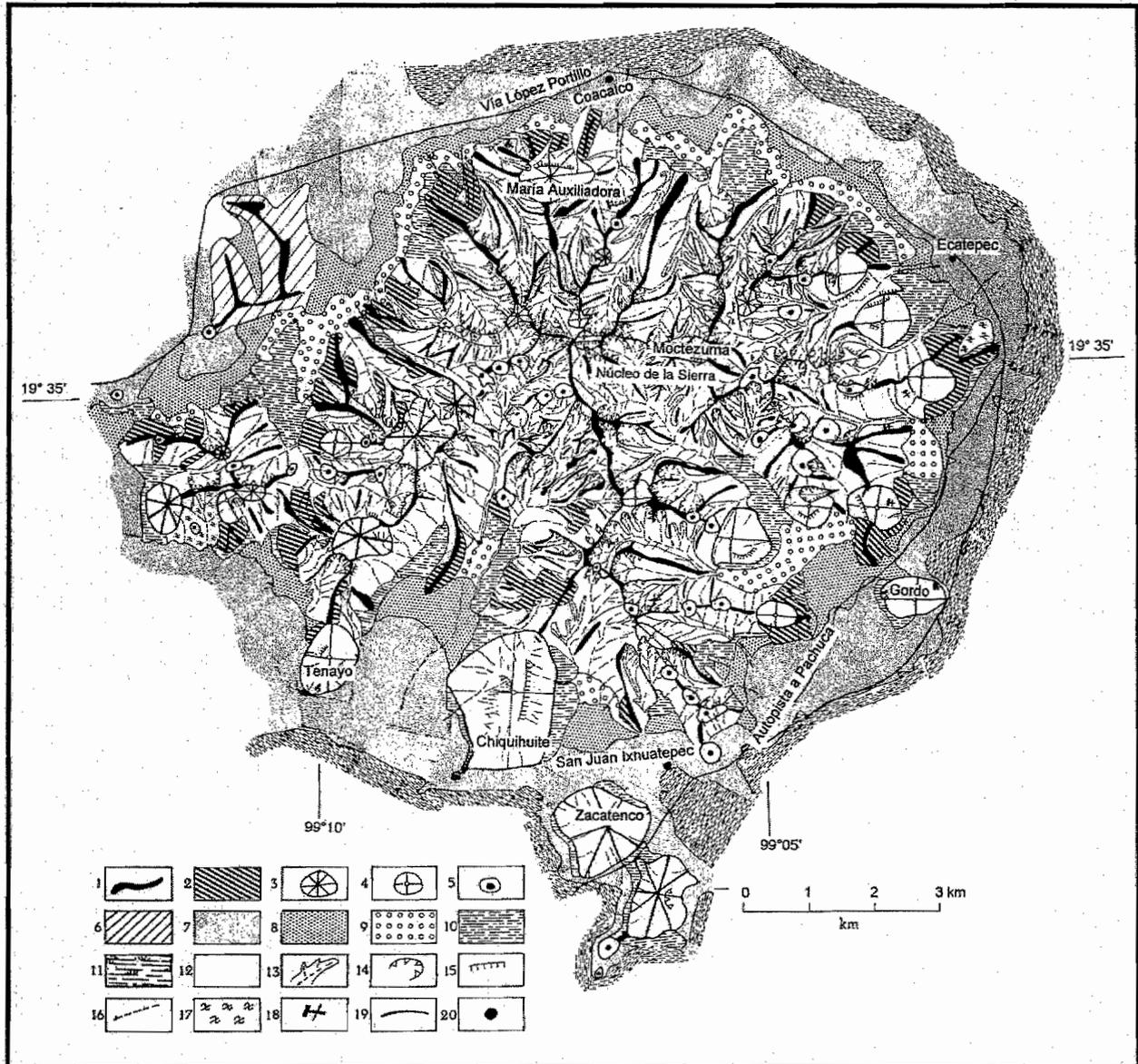


Figura No. 3.- La figura indica las formas primarias y secundarias del relieve de la Sierra de Guadalupe(Lugo, Hupb, 1996). Mapa morfo-genético. 1. Superficie de divisoria de aguas; 2. Laderas convexas, de lava, poco modificadas por la erosión; 3. estratovolcanes; domos volcánicos (4-5): 4, principales o mayores; 5, secundarios (subordinados a las anteriores); 6, mesa de lava; piedemonte (7-10): 7, planicie de acumulación lacustre, fluvial y volcánica, inclinada 0.5-1.5°, de 2,240 a 2,260 m s.n.m.m. ; 8, con inclinación de 1.5-3°, de 2,260-2,280 m s.n.m.m., de origen esencialmente volcánico; 9, de origen esencialmente volcánico, con inclinación de 3-6°; 10, superficie de erosión formada por retroceso de las laderas de lava, con pendiente de 1.5-6° y a más de 2,260 m s.n.m.m.; 11, planicie lacustre (nivel base), limitada de manera convencional a 2,240 m s.n.m.m.; formas de disección (12-17): 12, laderas cóncavas y rectas; 13, valles erosivos; 14, circos erosivos; 15, escarpes; 16, cauces fluviales; relieve antrópico (17-18): 17, terrazas; 18, canteras; 19, vías de comunicación; 20, poblaciones.

II.- RIESGOS GEOLOGICOS Y ECOLOGICOS

II.1. RIESGOS GEOLÓGICOS-AMBIENTALES

La definición básica de la evaluación de riesgos ecológicos es la determinación de la probabilidad de que un sistema ecológico sufra un efecto adverso. Los componentes más importantes de una evaluación de riesgos son las estimaciones del peligro en función de la exposición a una o varias sustancias identificadas y la probabilidad de que esa exposición ocurra. Desde el punto de vista ecológico, el problema consiste en analizar las condiciones complejas de exposición y sus efectos en un sistema. Esto contrasta con el método normal actual de la evaluación de riesgos ambientales que se basa en la hipótesis de que si se protege una especie, la "especie más sensible", automáticamente se protege al ecosistema en que vive.

Los problemas ecológicos desencadenados por el desarrollo económico, la expansión de los contingentes humanos y el impacto del gradual aumento de la demanda de recursos naturales - renovables y no-renovables - representan otra dimensión. Los impactos ambientales generados por los grandes asentamientos humanos, la intervención del hombre en los entornos naturales, la forma de apropiación de los recursos, los modos de consumo y, sobre todo, la interacción e influencia de las múltiples transformaciones desde los entornos locales hacia el plano global, ponen cada vez más de relieve el debate acerca de los riesgos y responsabilidades globales de los problemas ecológicos que afectan al planeta.

Para el caso del cerro del Chiquihuite, debe quedar claro que se debe proteger al ecosistema en que viven cientos de familias; pero protegerlo en cuanto a salvaguardar la integridad de las personas que viven a los alrededores, dado que el cerro del chiquihuite presenta un alto grado de erosión, lo cual hace que la estabilidad del suelo sea poco estable y que se presenten derrumbes periódicamente. Esto hace ver que se deben reforzar las medidas de seguridad para evitar algún percance que ponga en riesgo a las comunidades que habitan las laderas del cerro del Chiquihuite.

Por lo que se refiere a riesgos geológicos, podemos decir que el Valle de México representa un ecosistema complejo. El ambiente del Valle tiene una serie de características que teóricamente limitarían el pleno e incondicionado disfrute de dichos territorios por parte del hombre. El Valle de México está sujeto a un conjunto de riesgos naturales inducidos por la antropización sobre un territorio que a menudo posee elevados índices de peligrosidad. El Valle de México está ubicado, en efecto, en una zona sísmicamente activa; además las características, estratigráficas más someras, son tales que constituyen un óptimo amplificador de ondas sísmicas. Los riesgos geológicos se deben a movimientos o actividad en la superficie terrestre, que pueden ser peligrosos para los humanos y para su propiedad. Estos riesgos pueden ser naturales o humanos. Los naturales son terremotos, volcanes, huracanes, tormentas extremas, etc. Cuando los seres humanos influyen en el medio, por ejemplo la extracción de agua subterránea que genera hundimientos y agrietamientos, se les denomina riesgos humanos (Ramos, et al., 2000). Entre algunos de los variados tipos de riesgos naturales, donde podemos mencionar casos de derrumbes, deslizamientos, inestabilidad de taludes o deslizamientos.

Los derrumbes son desprendimientos violentos de suelo y de fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes empinadas y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando. Y los deslizamientos son movimientos de materiales térreos (rocas, suelo y su combinación) pendiente abajo, delimitados por una o varias superficies de falla o ruptura.

Estas superficies de falla pueden ser curvas y/o planas, y son, sobre ellas, que deslizan los materiales colapsados de una ladera.

Por qué se ocasionan los derrumbes y deslizamientos?

Los derrumbes son ocasionados principalmente por las siguientes causas:

- a) Caída y desprendimiento de rocas.
- b) Flujos de tierra o aluviones.

Así mismo, del crecimiento sin planeación se pueden presentar riesgos por medio de deslizamientos, como por ejemplo:

- a) Rompimiento y deslizamiento de bloques de roca que pueden afectar a los diversos asentamientos irregulares.
- b) Deslizamiento de terreno donde el mecanismo del derrumbe es la desintegración por bloques pero de manera horizontal.

Los fenómenos naturales, son los principales agentes que ocasionan ciertos riesgos, aunados a la conjunción de tres factores o el predominio de uno de ellos; que son los siguientes:

1. Pendiente del terreno pronunciada.
2. Saturación de agua en el suelo.
3. Asentamientos humanos que alteran las condiciones naturales.

Entre los factores naturales podemos encontrar, por ejemplo: a las fracturas, que es una ruptura del suelo o roca por los esfuerzos que se dan en el subsuelo, o fallas cuando existe desplazamiento o movimiento relativo entre uno y otro lado. Las fracturas y fallas tienen un origen asociado a la evolución geológica de la zona. En el caso del Distrito Federal y sus alrededores, se forman principalmente por los hundimientos diferenciales que se generan por la compactación de la arcilla, que se manifiestan en forma lineal sobre el terreno, pudiendo cruzar y romper la infraestructura urbana.

Los riesgos naturales se producen de interacciones entre los diversos ambientes naturales (litósfera, hidrósfera, atmósfera y biosfera) y grupos sociales y económicos. El conocimiento y evaluación de los riesgos geológicos (sísmicos, volcánicos e hidrogeológicos) representa un capítulo fundamental en el ámbito de estos estudios.

Los altos costos sociales y económicos relacionados con catástrofes naturales han dado lugar a que sea necesario establecer una correcta evaluación de los riesgos potenciales, mediante el conocimiento del medio ambiente y del grado de vulnerabilidad del sistema natural. Un desastre ocurre cuando un considerable número de personas experimenta una catástrofe y sufre daño serio y/o perturbación de su ecosistema, de tal manera que la recuperación resulta improbable sin ayuda externa.

Los altos costos sociales y económicos relacionados con desastres naturales, han dado lugar a estudios geológicos, geofísicos y con ayuda de técnicas topográficas, para establecer una correcta evaluación de los riesgos potenciales, mediante el conocimiento del medio ambiente y del grado de vulnerabilidad del ecosistema natural.

En los últimos años algunos organismos internacionales como UNDRO y UNESCO han elaborado una terminología unificada para el estudio y la administración de desastres naturales (Salazar, 1999 y Bellia et al., 1992):

- (D) Desastre es el evento que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, y causa alteraciones considerables sobre los elementos sometidos, representadas en la pérdida de la vida y la salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de la

comunidad, la desorganización de los patrones normales de vida y/o daños al medio ambiente.

- (P) Preparación es el conjunto de acciones encaminadas al aislamiento adecuado de la sociedad en general para afrontar un posible desastre y que conduzca a la reducción al máximo posible de la duración del periodo de emergencia posterior al desastre.
- (H) Amenaza o peligro es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante un cierto periodo de tiempo en un sitio dado.
- (E) Elementos bajo riesgo corresponden a la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades socioeconómicas, los servicios públicos y, en general, la infraestructura expuesta en un área determinada.
- (R) Riesgo es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento perturbador y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.
- (Rt) Riesgo total es el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económicas debido a la ocurrencia de un evento desastroso; en otras palabras, es el resultado de un riesgo específico y de los elementos bajo riesgo.
- (V) Vulnerabilidad es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, y que se expresa en una escala que va de 0 (sin daño) a 1 (con pérdida total).

El análisis de los parámetros anteriores se relacionan entre sí de la forma siguiente:

$$R_t = (E) (R) = (E) (H*V)$$

Los peligros naturales se producen a la interacción entre los diversos ambientes naturales (litosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera), grupos sociales y económicos. Esto hace que el conocimiento y evaluación de los riesgos geológicos (p. ejemplo sísmicos, volcánicos e hidrogeológico) sean necesarios para establecer una correcta evaluación de los riesgos potenciales (Bellia et al., 1992).

Los riesgos que se pueden presentar en la Cuenca de México se han dividido en naturales y antrópicos (Tabla 1). Como se puede apreciar, existen riesgos que se pueden clasificar como naturales y antrópicos (p. ejemplo subsidencia, erosión), así como también algunos se relacionan entre sí; por lo que es conveniente llamarlos riesgos geológicos-ambientales (p. ejemplo sismicidad, subsidencia, fallamiento activo, inestabilidad de taludes).

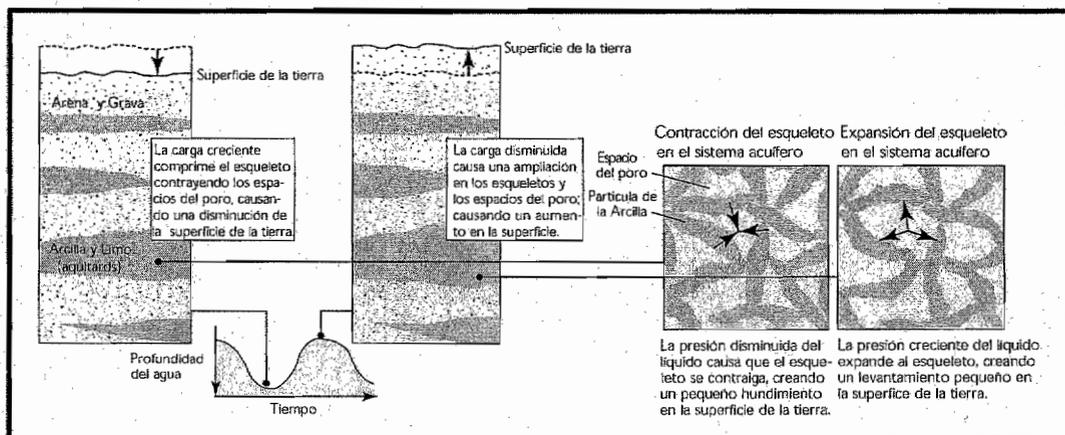


Figura No. 5.- En la figura se observan los casos (recarga y descarga) en el sistema acuífero. Del lado derecho existe la falta de presión del líquido lo cual ocasiona una deformación en el esqueleto del sistema y por lo tanto una disminución en la superficie terrestre. Del lado izquierdo se observa el fenómeno opuesto, en donde se da la recarga del sistema y por lo tanto se da la expansión del esqueleto y el aumento en la superficie terrestre. Ambos sucesos los podemos ver graficados y en donde la parte baja o valle de la gráfica es cuando hay una descarga en el sistema y la parte alta o cresta, se muestra cuando hubo una recarga en el acuífero (Galloway, R.-Jones;1999).

NATURALES	ANTROPICOS
SISMICIDAD VULCANISMO INUNDACIONES MOVIMIENTOS DE TIERRA AGRIETAMIENTOS FALLAMIENTO ACTIVO EROSION SUBSIDENCIA	CONTAMINACION DE AGUA AIRE Y SUELOS INCENDIOS Y EXPLOSIONES SUBSIDENCIA EROSIÓN DEFORESTACION INESTABILIDAD DE TALUDES

TABLA 1.- Clasificación de los riesgos posibles en la Cuenca de México (Salazar, 1996).

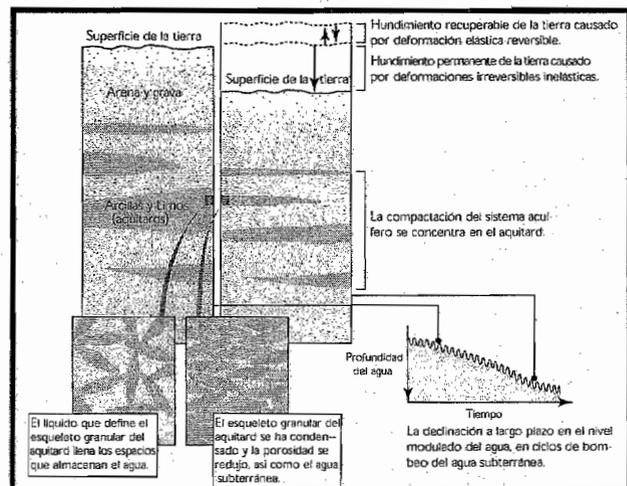
Fracturamiento debido a la extracción de Agua.

El hundimiento o subsidencia permanente puede ocurrir cuando el agua almacenada debajo de la superficie de la tierra es quitada por bombeo o drenaje. La reducción de la presión del líquido en los poros y las grietas de los sistemas del acuífero y especialmente en rocas no consolidadas es acompañada inevitablemente por una cierta deformación del sistema; porque la estructura granular del esqueleto en el sistema acuífero no es rígida, sino más o menos flexible. Casi todo el hundimiento permanente que ocurre, es debido a la compresión o a la consolidación irreversible de los equitardos durante un proceso típicamente lento (Tolman and Poland, 1940).

La deformación reversible ocurre en todos los sistemas acuíferos, debido a la relación existente entre los cambios de nivel en el agua subterránea y la compresión del sistema acuífero se basa en el principio de la tensión eficaz primero propuesta por Karl Terzaghi (Terzaghi, 1925). Cuando la presión del líquido disminuye, por consiguiente se da una disminución en el nivel del agua subterránea y por lo tanto, hay una determinada compresión en el esqueleto del sistema acuífero. Y de forma inversa ocurre cuando existe una recarga en el sistema acuífero, ocasionado que el esqueleto sufra una expansión. De esta manera el esqueleto del sistema acuífero sufre compresiones y expansiones, debido a las descargas y recargas en el sistema acuífero (Ver figura 5). Cuando la carga del sistema acuífero es menor a una recarga mayor ya ocurrida, la deformación del esqueleto será pequeña. Y estas deformaciones completamente recuperables se dan en todos los sistemas acuíferos.

La compactación inelástica e irreversible afecta al Sistema Acuífero; al nivel máximo de tensionar un elemento esquelético se llama tensión de preconsolidación. Cuando se excede la tensión de preconsolidación (más allá del nivel de la tensión eficaz) el acuífero puede experimentar el cambio significativo, permanente dando por resultado el derrumbamiento irreversible del poro (compactación). Ver figura 6.

Figura No. 6.-La figura muestra un acercamiento de las dos situaciones que se presentan en los acuíferos, en el primer bloque se aprecia como los acuíferos están abastecidos de suficiente agua, la cual llena la estructura del esqueleto y por lo tanto, se da un pequeño incremento en la superficie de la tierra. Y en el segundo bloque se da la otra parte del proceso, cuando se da la extracción o bombeo del agua, lo cual ocasiona una disminución en la elevación de la superficie terrestre; en la ampliación se observa como el esqueleto sufre una contracción y cerrándose así los poros debido al bombeo del agua. (Galloway, R.-Jones; 1999).



El drenaje vertical de los acuíferos bombeados pueden proceder muy lentamente; si los acuíferos son finos drenaran primero y si son gruesos puede llevar décadas completamente el dren. Por consecuencia, el esqueleto ira teniendo un exceso de presion y tendrá una compresión hasta el grado de que se cierren los poros y por lo tanto, se origina la compresión irreversible.

Desde el punto de vista de protección civil, las laderas son vulnerables a las lluvias, a movimientos sísmicos y a las fallas locales y regionales; en tanto para las autoridades del Medio Ambiente, los asentamientos en estas zonas aceleran los daños a la recarga de los acuíferos y la deforestación.

La explosión demográfica en la ciudad ha obligado a que su población, ante la necesidad de espacios para vivir, se haya asentado en las laderas con pendientes abruptas, generando un crecimiento anárquico del espacio urbano. Las condiciones de riesgo que prevalecen en las zonas de laderas están representadas por la posibilidad que existe de rodamientos de rocas, y deslizamientos de laderas. Estas condiciones amenazan constantemente a la población que se encuentran asentadas en las zonas de lomas con fuertes pendientes, situación que se ve agravada en la temporada de lluvias, ya que las precipitaciones pluviales que se presentan favorecen que los suelos se deslicen por efecto de la saturación de agua, y que las corrientes de los escurrimientos arrastren gran cantidad de material compuesto por fragmentos de rocas y tierra; (figura 7).

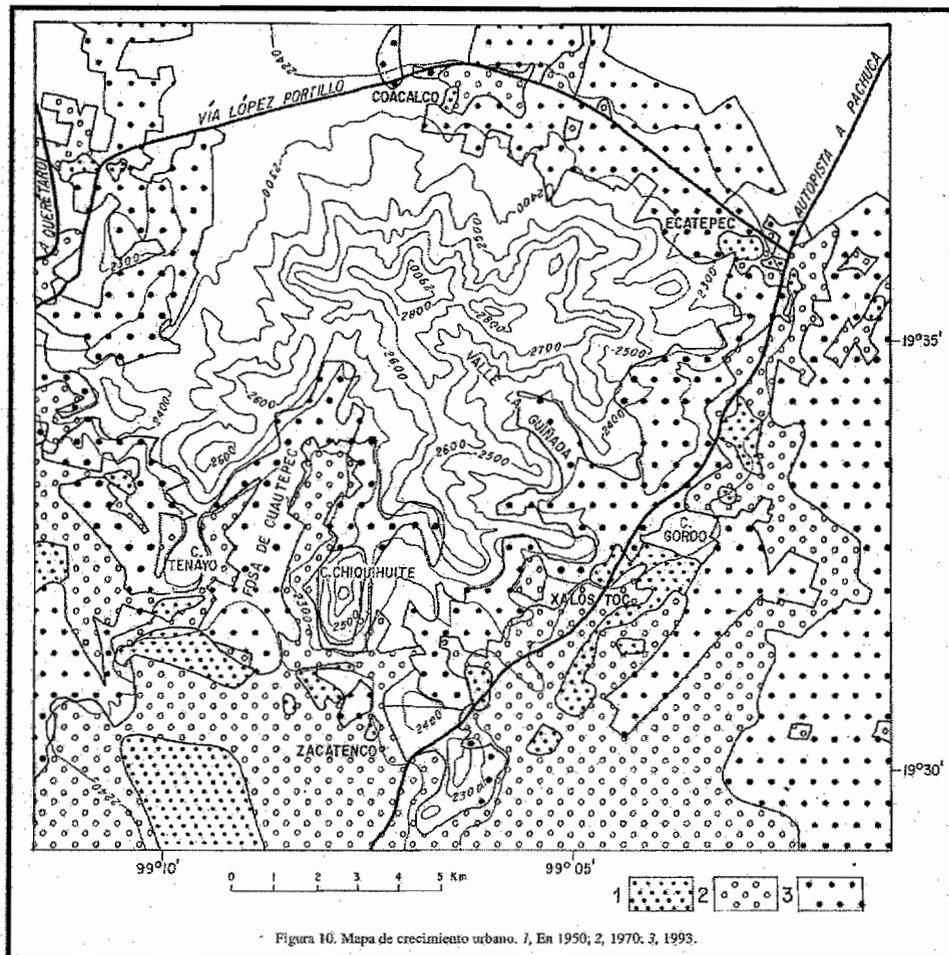


Figura 10. Mapa de crecimiento urbano. 1. En 1950; 2. 1970; 3. 1993.

Figura No. 7.- La ilustración muestra como se ha ido desarrollando la población, al grado de comenzar a establecerse en lugares poco aconsejables dadas las características del lugar, ya que en la mayoría de estos lugares, se presentan fuertes pendientes lo cual pone en riesgo a los pobladores de dichas zonas. (Lugo-hubp, Salinas-Montes; 1996)

Miembros del Servicio Geológico Metropolitano han urgido a los Jefes Delegacionales, a que no se permitan más invasiones y no dotar de servicios a la gente que se asiente en las laderas, ya que estas zonas son de alto riesgo. Así mismo, se estima que cerca de 100 mil son las personas que se encuentran asentadas en zonas de alto riesgo; mientras que para las autoridades de Medio Ambiente estiman 50 mil familias, las cuales, desde hace varias décadas, fueron poblando las laderas y las pasadas autoridades dotaron de todos los servicios.

Las áreas en donde no debe extenderse la mancha urbana son: las Sierras de Santa Catarina, las Cruces y Guadalupe, así como el Cerro del Chiquihuite y zonas montañosas que se asientan en las delegaciones Iztapalapa, Tláhuac, Gustavo A. Madero, Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras.

Las autoridades de las delegaciones Iztapalapa, Tláhuac, Álvaro Obregón y Gustavo A. Madero coinciden en que la mayoría de los asentamientos en las laderas ha sido un proceso paulatino que lleva por lo menos tres décadas, y a muchos de ellos se les dotó de servicios, por lo que los pobladores no aceptan ninguna reubicación, y ante esto las obras para mitigar riesgos se han intensificado. Con la finalidad de plantear estas acciones en el valle de México, los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, instalaron la Comisión Metropolitana de Protección Civil.

II.2. TIPOS DE SUELO

Las laderas pueden estar formadas por diferentes materiales, tales como rocas, fragmentos de rocas, suelo o una combinación de todos ellos. Estos materiales tienen diferente resistencia por lo que se comportan de manera distinta en las laderas. Por lo tanto, el tipo de suelo es un parámetro importante en la determinación de la peligrosidad, y poder tener en determinado momento un conocimiento de que tanto pueden influir sus características físicas junto con otros factores naturales, en la peligrosidad que puedan generar hacia los pobladores. Dado que el suelo naturalmente se moverá hacia abajo y hacia adentro, causando un peligro potencial que amenaza la vida del trabajador. Un suelo puede pesar entre 45.36 kg y 65.77 kg por 30 cm³ (equivalente a 1512000 kg/m³). Con el efecto de succión se puede necesitar una fuerza de 340.19 kg, para sacar el pie enterrado de un trabajador. Lo que hace ver, que es de suma importancia conocer las características del suelo y así tratar de evitar posibles daños.

Por lo mismo, se tomo la clasificación que hace OSHA (La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional —conocido como OSHA por sus siglas en inglés—) de los tipos de suelos. Como a continuación sigue:

- 1.- Roca estable
- 2.- Bien estable: arcilla, arcilla fangosa y estratos o capas duras (resisten la penetración)
- 3.- Estabilidad media: cieno, barro arenoso grava, arcilla media y rocas secas inestables.
- 4.- Terreno estable: grava. Arena limosa, arcilla suave, suelo sumergido o denso.
- 5.- Rocas pesadas inestables. Las excavaciones hacen éste suelo inestable.

Así mismo, la clasificación del suelo, evalúa también las diferentes cualidades del mismo. dichas cualidades son las siguientes:

- a) Tamaño del grano,
- b) Saturación,
- c) Cohesividad y
- d) Fuerza compresiva ilimitada.

Para el tamaño del grano; en general, mientras más grande es el grano, menos estable es el suelo, por lo tanto se debe ser más cuidadoso.

La saturación se refiere a la cantidad de agua se encuentra en los vacíos que existen entre los granos. Cuando los vacíos se llenan con agua, el suelo está saturado; cierta cantidad de agua hace que el suelo sea estable, pero mucha o muy poca agua, causan derrumbes.

La cohesión o estabilidad, se refiere a qué tan juntos se mantienen los granos. También predice qué tan bien la pared de la zanja se mantendrá firme y si la zanja requiere protección o no. La fuerza compresiva ilimitada, se refiere a cómo el suelo reacciona bajo presión. Así mismo, es necesario tener en cuenta la edafología existente en la zona de estudio, así como en algunas de las colonias aledañas.

III.- ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL CERRO DEL CHIQUIHUIE.

III.1.- UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Cerro del Chiquihuite, es una de las zonas en donde existe una gran cantidad de familias asentadas irregularmente, y en específico a la ladera occidental del Cerro del Chiquihuite.

Forma parte de la Sierra de Guadalupe, la cual incluye también los Cerros El Tepeyac, Guerrero y Santa Isabel. Y se encuentra ubicado en la parte norte de la Ciudad de México. Figura No. 8

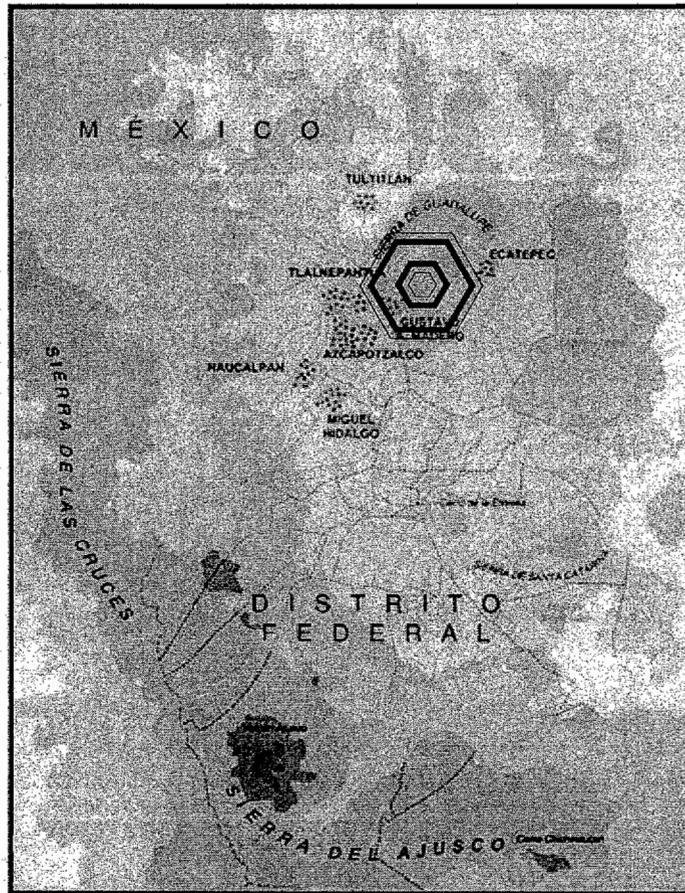


Figura No. 8.- Localización del Cerro del Chiquihuite (recuadro) en la Ciudad de México, que forma parte de la Sierra de Guadalupe y siendo colindante en su periferia con la Sierra de Las Cruces, Del Ajusco y de Nevada.

La Sierra de Guadalupe es una de las estructuras de la cuenca de México, que está considerada entre las más antiguas de la cuenca. La Sierra está constituida esencialmente de lavas, lo que se aprecia prácticamente en todas las laderas. Es la parte inferior la que en mayor grado ha sido transformada por la erosión.

La forma del conjunto de volcanes que constituyen la Sierra de Guadalupe ha sido alterada sustancialmente, con excepción de los volcanes Tenayo y Chiquihuite, más jóvenes que el resto de los que conforman la sierra. En especial, los que constituyen la divisoria han perdido la forma original, están disectados por numerosos barrancos ya se han desarrollado circos de erosión. Es evidente un rápido retroceso actual de las laderas empinadas, con escarpes.

Se puede apreciar que la destrucción de la Sierra de Guadalupe se ha llevado a cabo por erosión remontante. Algunos valles montañosos han pasado a un proceso de erosión lateral y acumulación; el mayor sigue una dirección NE y se sitúa entre los volcanes Tenayo y Chiquihuite, con dimensiones de 4.5 por 1.5 Km. Los valles erosivos, de fondo estrecho y perfil en "V", se disponen en forma radial y sus cabeceras se aproximan a la divisoria. La disección de las vertientes montañosas es de 2.5 a 3 Km/Km² (Lugo, 1981) y la profundidad de corte de 100 a 300 m, valores elevados si se considera que el desnivel entre las cimas y la planicie lacustre es de 400-700 m. Los valles montañosos presentan cabeceras amplias de diámetro de 0.5 a 2 Km. Predomina el escurrimiento fluvial sobre la infiltración, intenso en el verano; el promedio anual de precipitaciones pluviales es del orden de 630-800 mm. (Lugo, 1990).

Estas características la convierten en una de las más importantes reservas bióticas del Valle de México. La variación natural de la Sierra se caracteriza por tener usos de tierra predominantemente forestal y de afloramientos diversos con alto índice de deforestación y de asentamientos irregulares que propician la erosión, que pone en peligro el equilibrio ecológico de la zona; su clima es húmedo y por su altitud que es de 2700 m.s.n.m. es una zona fría, tiene escurrimientos que desembocan en las barrancas y forman pequeños arroyos en las colonias y los barrios de Cuauhtepac, los cuales son encausados como drenaje pluvial hasta el vaso regulador del Arbolillo.

III.2. ANTECEDENTES

Sucesos ocurridos con anterioridad en el Cerro del Chiquihuite, nos demuestran que tan grande puede ser el irregular establecimiento de cientos de familias a lo largo del talud del cerro. Uno de los acontecimientos más recientes ocurridos, fué durante 1998 cuando una roca rodó hasta la zona poblada y llegó a la calle Coatlicue, en la colonia La Pastora; a partir de ese momento se iniciaron los trabajos para mitigar riesgos. Ver figura 9.

Aunque las autoridades comenzaron a implementar medidas diversas para evitar que las rocas caigan, aún así existen zonas en que esos trabajos no han beneficiado. Al comenzar 1999, la Delegación Gustavo A. Madero inició la construcción de un muro de amortiguamiento en el Cerro del Chiquihuite, que en su primera etapa -200 metros- costo 6 millones 500 mil pesos. La segunda parte de la obra -otros 200 metros- y el costó aproximado a los 7 millones. Ver figura 10. (González, 2000).

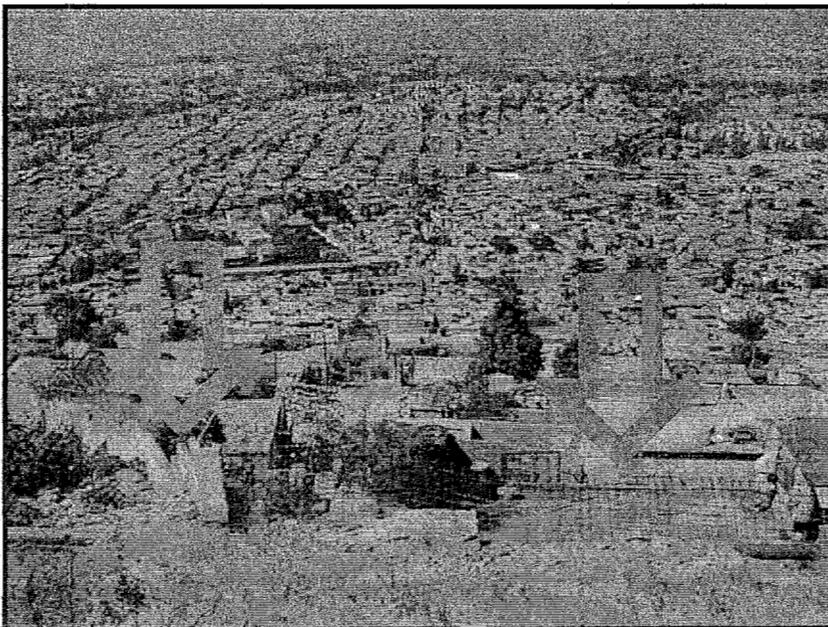


Figura No. 9.- Imagen que muestra el sitio donde una roca cayera y estuviera a punto de causar daños a los pobladores. Una de las flechas marca la continuidad de la barda ecológica y la otra el lugar en donde cayó la roca. En la misma se puede apreciar la magnitud del daño ocasionado a la barda que funge como límite entre la zona urbana y el cerro.

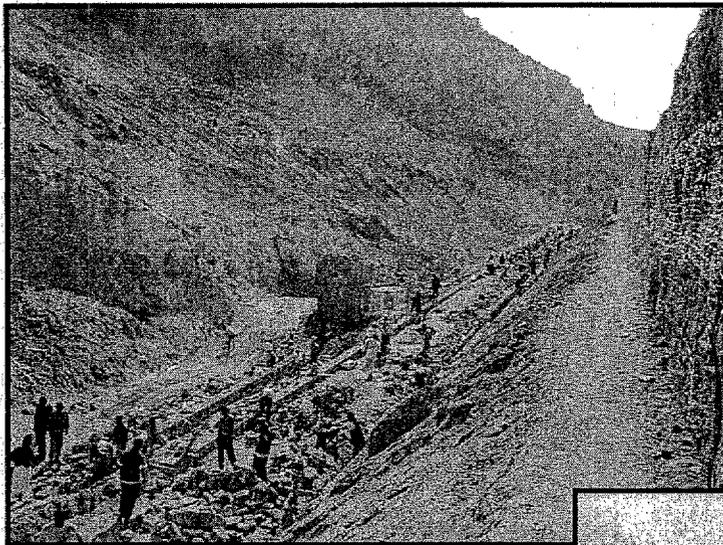


Figura No. 10 (a)

Figura No. 10.- Las autoridades de la Delegación Gustavo A. Madero realizan medidas de prevención para evitar que se vuelvan a suscitar hechos en donde se ponga en riesgo a las familias establecidas sobre el talud. Dentro de estas acciones se llevo a cabo la construcción del muro de amortiguamiento. En la figura 9a, se aprecian las obras de construcción del muro de amortiguamiento y en la figura 9b la obra finalmente terminada.

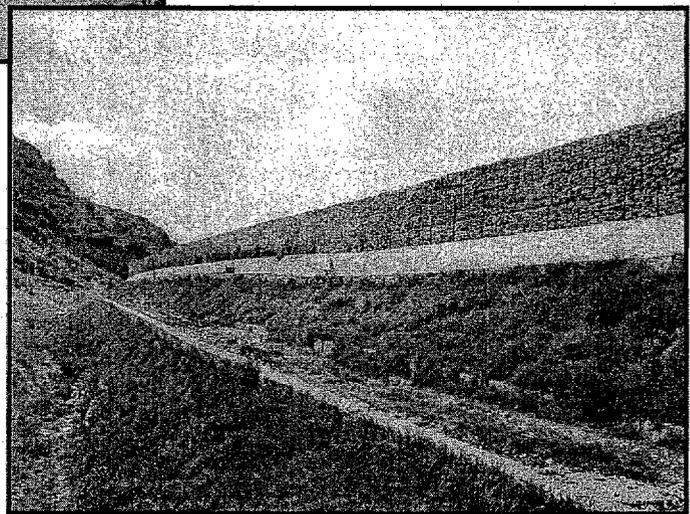


Figura No. 10 (b)

Algunas rocas recibieron tratamiento especial porque ya no había tiempo de esperar a que la plataforma de amortiguamiento, que en total mide 500 metros de longitud, llegara hasta ese lugar (Ver figura 12). Dicho elemento de contención ya tuvo su primera prueba. Durante la primera etapa de construcción una roca rodó desde lo alto del Cerro del Chiquihuite y la construcción la detuvo.

Según el departamento de Operaciones y Servicios Urbanos en Gustavo A. Madero, en cualquier momento, tal vez a causa de la lluvia o algún sismo, pueden registrarse desprendimientos de rocas hasta de 200 toneladas. (Luis Saldaña Ortiz, Servicios Urbanos de la Del. Gustavo A. Madero) A pesar de las protecciones colocadas, se ha comprobado que estas no han sido lo suficientemente adecuadas. A fines de Junio del 2000, un desprendimiento en la ladera Este del Cerro del Chiquihuite, provocó la muerte de una persona a consecuencia de la caída de toneladas de piedras, lodo y escombros de casas afectadas por las intensas lluvias que se registraron en la colonia Lázaro Cárdenas segunda sección. En otra ocasión una fuerte lluvia provocó el desprendimiento de una barda de 40 metros de largo por 15 metros de alto, ubicada en la cara Noroeste del Cerro del Chiquihuite, lo que ocasionó el derrumbe de cuatro casas, y afectó una franja de 20 metros de longitud, con un área aproximada de 600 metros cuadrados.

Las colonias consideradas de alto riesgo son Chalma de Guadalupe, Luis Donaldo Colosio y La Pastora. (Ver tabla No. 2)

El estado en que se encuentran los habitantes de los alrededores del Cerro del Chiquihuite, sigue siendo de alto riesgo, porque aunque se siguen colocando medidas para reforzar la seguridad, estas no resultan suficientes o adecuadas, sobre todo porque se sigue extendiendo la mancha urbana, y estableciéndose en lugares donde la pendiente del cerro se incrementa y están expuestos a desprendimientos de rocas, y en épocas de lluvia estar expuestos a deslaves de diversos materiales.

El Cerro del Chiquihuite es una de las zonas en donde el riesgo existente pone en peligro a un gran número de habitantes tanto en la Del. Gustavo A. Madero, como en Tlalnepantla. La Delegación Gustavo A. Madero ocupa el 11o. de las 16 delegaciones del Distrito Federal en densidad poblacional con 145.1 hab./ha en 1995. Sin embargo, dentro del territorio de la delegación se tienen áreas tanto de alta como de baja densidad, en consecuencia muchas familias se establecen en lugares poco propicios para ser habitados, como en el caso de muchos de los cerros que se ubican en el Distrito Federal, siendo el caso del Cerro del Chiquihuite, que ha sido poblado toda su periferia.

En el Cerro del Chiquihuite, uno de los principales factores que ponen en riesgo la integridad de cientos de familias, son las pendientes, que en algunos casos son muy pronunciadas, como se observa en la figura 11.

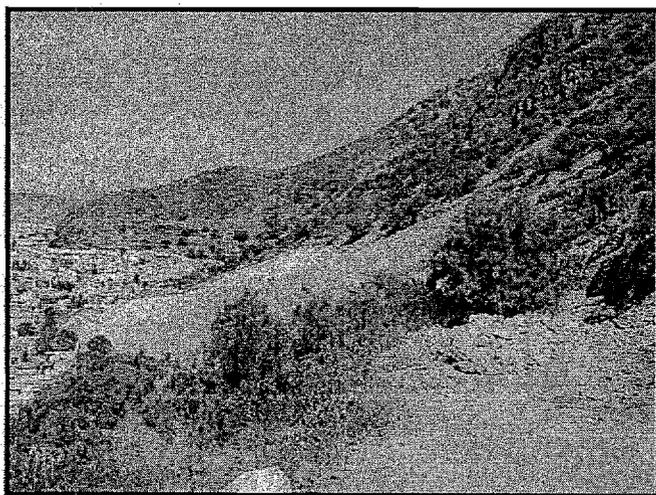
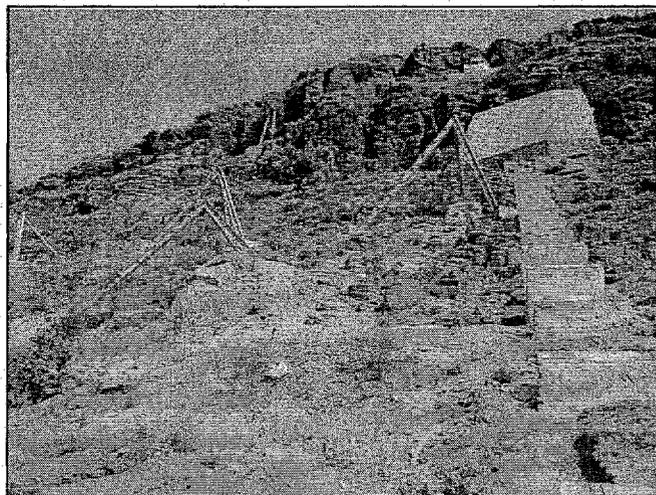


Figura No. 11.- La imagen muestra la situación actual en que se encuentra la parte Oeste del Cerro del Chiquihuite, observándose inclinación predominante y que pone en constante riesgo a los pobladores de las zonas aledañas.

Figura No. 12.- Elementos de contención: como muros de concreto que funcionan como sosten en algunos sectores del cerro y cables que forman una red con triángulos de acero, que tiene la función de contener alguna gran roca que pueda desprenderse.

Estas son algunas de las medidas de prevención que han realizado las autoridades correspondientes, medidas que no han sido las suficientes para evitar derrumbes.



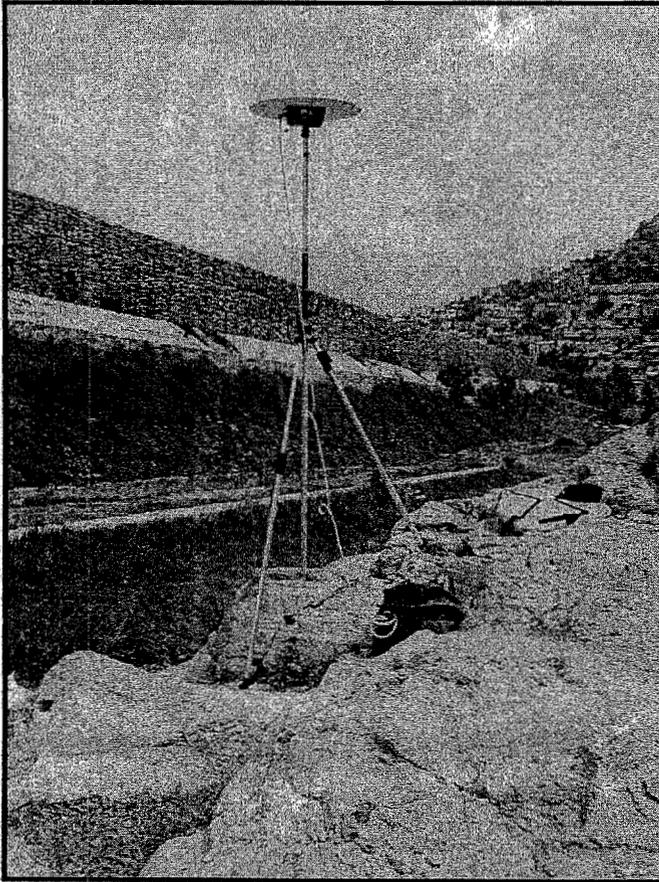
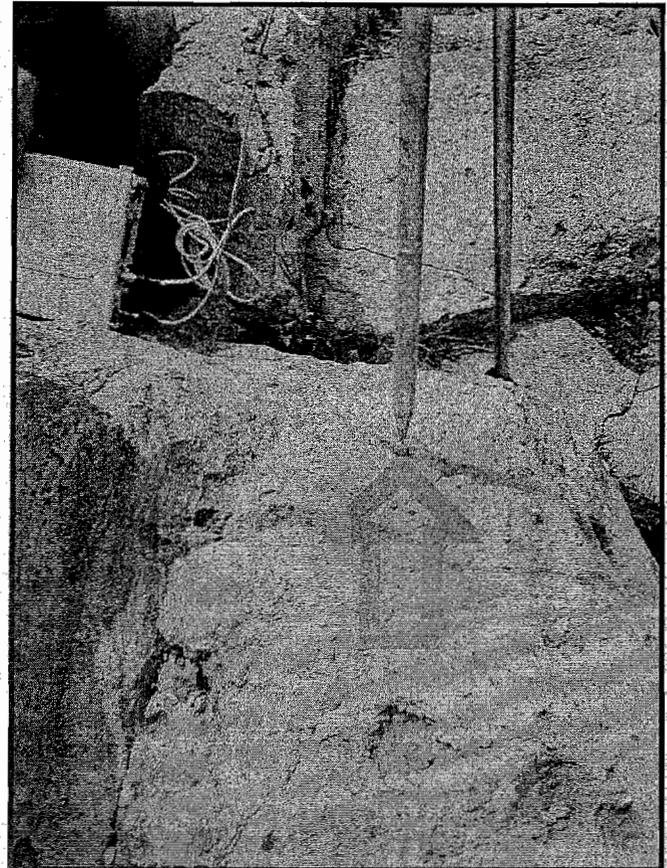


Figura No. 13.- En la imagen se aprecia uno de los sitios en el cual se ubica un afloramiento de roca sobre el talud del cerro del Chiquihuite, observándose también que este sitio está a unos metros de un elemento de contención que en este caso es la barda de contención, construida para contener algún posible derrumbe.

Figura No. 14.- Esta imagen muestra la marca o testigo que fue colocado para la realización del estudio, dicha marca se ubica sobre un afloramiento de roca descrito para el análisis como CH10.



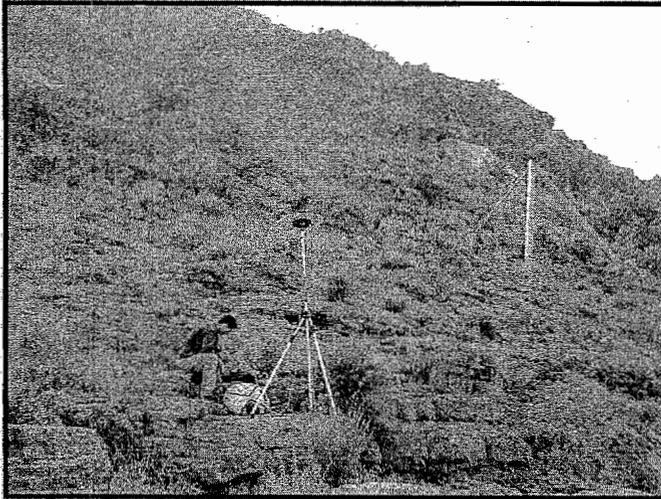


Figura No. 15.- La imagen muestra el levantamiento de uno de los lugares utilizados para el análisis. Se ilustra también el momento en que se configura el receptor para comenzar la toma de datos, así mismo se aprecia el tripie colocado en la marca con su respectiva antena geodésica colocados en el sitio con marca CH80.

Figura No. 16.- En esta imagen podemos apreciar nuevos elementos de contención que se han anexado a los ya ubicados.

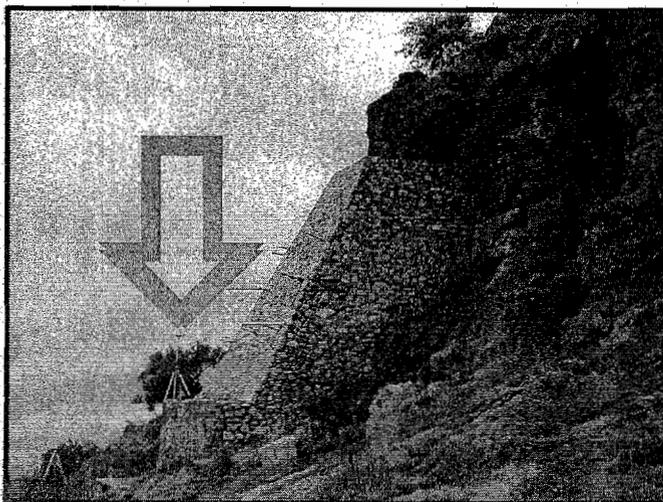
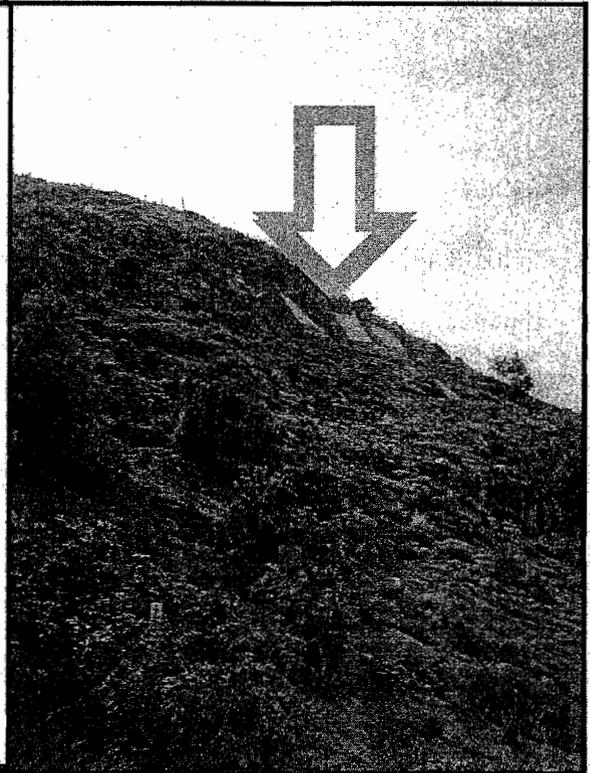


Figura No. 17.- En esta figura se indica uno de los sitios ocupados para el estudio, para este caso dicho sitio con marca CH60, está colocado en un elemento de contención.

No.	Colonia	Pob_1	Densidad Habitan-tes por ha	Sup._2/Ha	Características Físicas 3/			
					Alt. Máx. Niv.	Alt. Prom. Niv.	Lote Prom m	Area Libre %
01	Barrio La Lag. Ticomán	6586	70	96.22	5	2	250	30
02	Benito Juárez	6640	248	27.95	2	1	180	30
03	Candelaria Ticomán	8401	183	46.71	3	2	180	40
04	Castillo Chico	3482	232	15.47	2	1	150	30
05	Castillo Grande	4462	194	18.65	2	1	120	20
06	Cocoyotes	10125	217	46.19	2	1	150	20
07	Cuautepec de Madero	14794	181	87.08	2	1	160	30
08	Cuautepec el Alto	5109	138	37.81	2	1	180	40
09	Cuautepec el Bajo	2888	169	18.78	2	1	180	35
10	El Árbol	784	273	2.95	2	1	180	40
11	LA PASTORA	9012	183	49.26	2	1	160	40
12	San Juan y Guadalupe Ticomán	7894	253.7	70.53	2	1	200	30
13	San Rafael Ticomán	18	19	0.97	3	2	120	35
14	Unidad Habitacional El Arbolillo I	10359	345	29	5	5	400	30
15	Unidad Habitacional El Arbolillo II	10594	226	47.42	5	5	350	30
16	Unidad Habitacional El Arbolillo III	12250	350	35	5	5	350	35
17	Zona Escolar Oriente	3851	207	8.6	2	1	150	30

TABLA. 2.- Características de los asentamientos irregulares, ubicados en la Delegación Gustavo A. Madero, en la periferia al Cerro del Chiquihuite; dentro de la cual se localiza la Colonia La Pastora. Fuentes: INEGI, 1993.

Existen 17 asentamientos irregulares en el área de Suelo de Conservación. Estos asentamientos se han estado regularizando poco a poco; sin embargo, la mayoría de éstos carecen de los principales servicios urbanos como agua, drenaje y electricidad.

Estos asentamientos han surgido en los límites del polígono del decreto de zonas de preservación, en parte a que el muro que limita al suelo de conservación del suelo urbano, no se ha terminado de construir. Los Asentamientos Irregulares que se detallan en la tabla 3, son los asentamientos proporcionados por la Comisión de Recursos Naturales (CORENA). Esta considera que son los asentamientos que tienen una superficie extensa y que pueden llegar a consolidarse como Programa Parcial o incorporarse a la zona urbana. Cabe señalar que los asentamientos irregulares que ha detectado la delegación son en su mayoría de dimensiones reducidas y con pocas viviendas y pocas familias. (Ver tabla 2.- Características de los Asentamientos Irregulares).

NUMERO	ASENTAMIENTO
1	Forestal
2	Forestal I
4	Castillo Grande
5	Castillo Chico
6	El Carmen o Peña Pintada
7	Ampliación Tlalpexco
8	Tlalpexco C.C.I.
9	Ampliación Malacates
10	Malacates
11	San Pedro Zacatenco

□

NUMERO	ASENTAMIENTO
12	Franja Jacinto López
13	La Cruz o Manzana 20 A
14	Manzana 82
15	Forestal II
16	Arboledas
17	Casila

TABLA 3.- Asentamientos irregulares, entre los que destacan las Colonias Castillo Grande y Castillo Chico, las cuales forman parte de la Delegación Gustavo A. Madero, D.F., y así mismo, son colindantes con los taludes del Cerro del Chiquihuite. Fuente: CORENA.

Adicionalmente existen varios predios irregulares en 24 colonias que no se pueden considerar como asentamientos irregulares, debido a que ya se tienen muy avanzados sus trámites de regularización ante las instancias oficiales.

COLONIA	SUBDELEGACIÓN
Barrio P. Ticomán	7
Sn. José Ticomán	7
LA PASTORA ALTA	8
Candelaria Alta	8
San Rafael Ticomán	8
San José Ticomán	8
Castillo Chico parte Alta	9
Ampliación Castillo Grande	9

TABLA 4.- Colonias con predios irregulares aislados, estando entre estas Colonias La Pastora, siendo está la zona de interés de los estudios realizados. Fuente: G.A.M.

En las tablas anteriores se muestran, con letra negrita, las colonias que se encuentran sobre las faldas del Cerro del Chiquihuite. Con lo que respecta al Cerro del Chiquihuite, esta considerado por la Delegación Gustavo A. Madero como una de las zonas susceptibles para darles protección, como lo indica la tabla 5.

Por lo consiguiente, es necesario saber cuales son los tipos de riesgos que ponen en peligro la integridad de cientos de familias que viven a las orillas del Cerro del Chiquihuite.

NOMBRE	TIPO DE VEGETACIÓN	ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA	ACTIVIDADES NO COMPATIBLES	PLANEACIÓN	LINEAMIENTOS DE MANEJO
Sierra de Guadalupe	Matorral Pastizal Bosque Inducido, Cedro Blanco y Pirul.	Muy perturbado Áreas con erosión fuerte.	Agricultura	Sin Plan de Manejo.	Restauración Ecológica. Mecanismo de control de la Erosión: Terraceo, control de cárcavas. Reforestación con especies adecuadas a las condiciones actuales del suelo.
Cerro del Chiquihuite	Matorral Pastizal	Muy perturbado Fuerte Erosión	Agricultura	Zonificación preliminar 1986.	Restauración Ecológica Mecanismo de control de la Erosión: Terraceo, control de cárcavas. Reforestación con especies adecuadas a las condiciones actuales del suelo.

NOMBRE	TIPO DE VEGETACIÓN	ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA	ACTIVIDADES NO COMPATIBLES	PLANEACIÓN	LINEAMIENTOS DE MANEJO
Cerro de Zacatenco	Matorral Relictos de Pino, Cedro y Pirul.	Muy perturbado Erosión moderada		Zonificación preliminar 1986,	Restauración Ecológica. Mecanismo de control de la Erosión: Terraceo, control de cárcavas. Reforestación con especies a las condiciones actuales del suelo.

TABLA 5.- Areas susceptibles de protección en la región de la Sierra de Guadalupe; en donde localizamos al Cerro del Chiquihuite. Fuente: CORENA, Distrito Federal, 1995.

Riesgos y vulnerabilidad

De acuerdo con el diagnóstico, se consideran los siguientes elementos de riesgo que impactan el desarrollo urbano:

- a) Inundaciones
- b) Fallas geológicas
- c) Derrumbes
- d) Zona sísmica
- e) Densidad de Deslaves

Por lo que se refiere a deslaves y deslizamiento de rocas, existen 8 puntos en la delegación Gustavo A. Madero que se consideran de riesgo, de los cuales dos se localizan en la colonia Ahuehuetes y dos en Chalma de Guadalupe uno en Barrio las Rosas del Tepeyac. Existen cuatro colonias con casos de riesgo de este tipo: Arboledas Cuauhtepac el Alto, La Casilda, Malacate y Vista Hermosa, que es la más afectada en este rubro, dadas sus condiciones de urbanización precaria y semiconsolidada. Por tal motivo, se hace necesario diseñar e instrumentar políticas de consolidación de construcciones precarias, de mantenimiento y construcción de redes de alcantarillado, así como establecer unidades que atiendan a la población civil en caso de deslave, particularmente en épocas de lluvia (mapa de localización de las Colonias (Ver figura 18).

Respecto a derrumbes, existen 18 casos de riesgo, de los cuales tres se localizan en la colonia La Pastora, 3 en Tlalpexco, 2 en Ampliación Benito Juárez y 2 en Candelaria Ticomán, algunas colonias tienen un sólo punto de riesgo de derrumbe. Los deslaves y derrumbes son riesgos que existen en virtud de las condiciones geológicas en la zona norte de la delegación, incluyendo la Sierra de Guadalupe, de origen volcánico. El suelo en esta área se compone de piroclastos, aglomerados, tobas y depósitos de aluvión conformados por gravas y arenas.

Las tobas son cenizas de origen volcánico ya consolidadas que resisten bien las tensiones verticales, pero no las diagonales u horizontales. Las tensiones horizontales producen derrumbes en el suelo conformado por tobas, por lo que existe un riesgo permanente y latente en las viviendas establecidas en este tipo de rocas, particularmente las viviendas en las faldas de la Sierra de Guadalupe, donde el riesgo aumenta en virtud de las fuertes pendientes que existen. (hasta un 60% de pendiente).

Las gravas y arenas que conforman los depósitos de talud no constituyen un sustento estable para las construcciones y menos en pendientes fuertes como es el caso de los asentamientos en las faldas de la Sierra de Guadalupe. En este tipo de suelo son muy comunes los deslaves y el riesgo se incrementa en aquellas zonas donde existe una fuerte deforestación a causa del crecimiento del área urbana, lo que se traduce en erosión y desgaste del terreno.

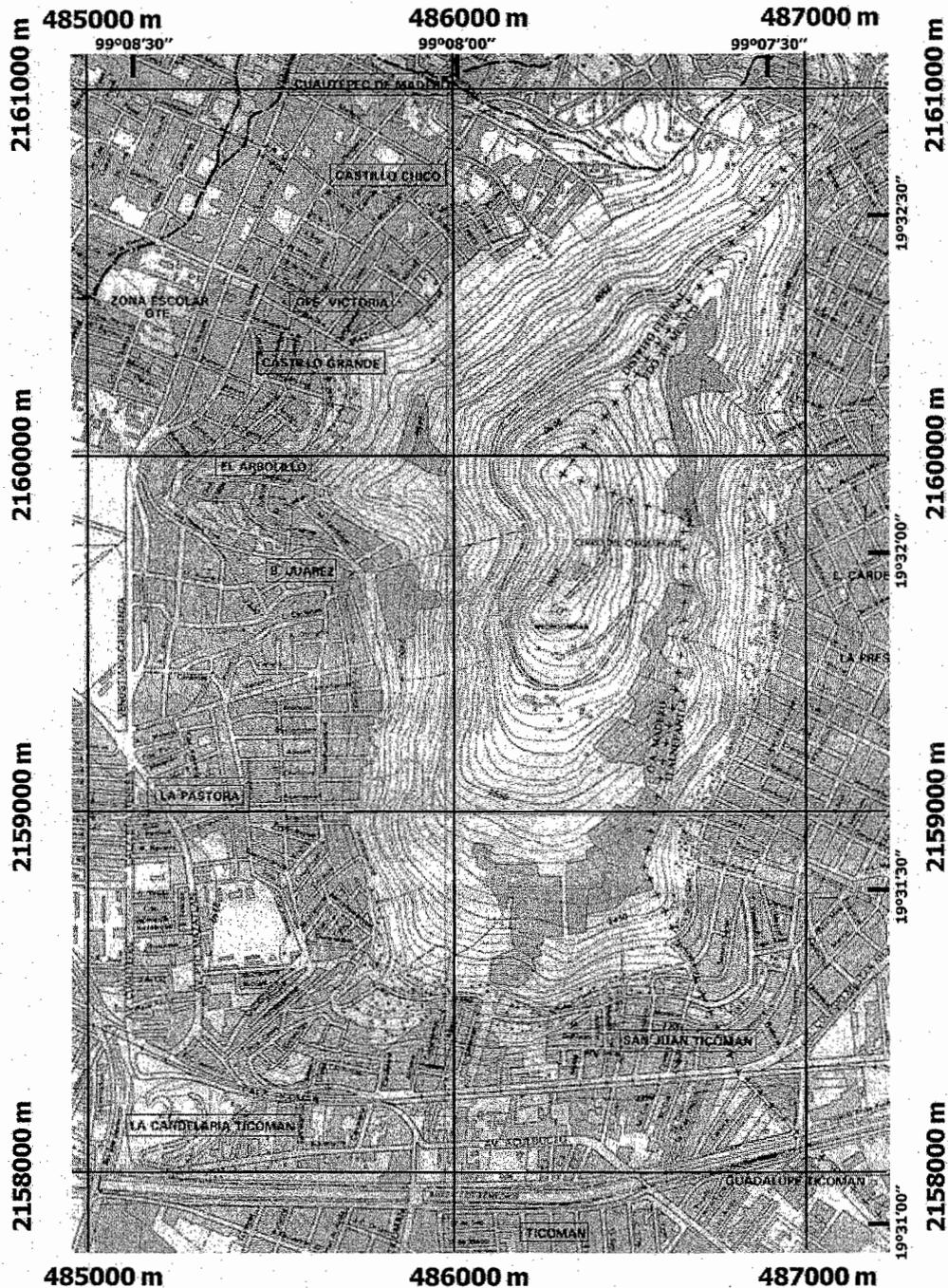


Figura No. 18.- Ubicación de Colonias (en recuadros rojos) que se encuentran ubicadas en la periferia del Cerro del Chiquihuite, siendo la Colonia La Pastora, la de mayor interés debido a que es donde se encuentra la zona de estudio.

Tanto para deslaves como para derrumbes, es conveniente además del diseño e instrumentación de las políticas antes señaladas sobre consolidación de las zonas precarias, promover una reforestación de la zona, a fin de disminuir el riesgo en ambos sentidos, así como mejorar las condiciones naturales de la delegación.

El hecho de que existan fuertes pendientes en los asentamientos alrededor de la Sierra de Guadalupe, afecta la capacidad de respuesta de las instancias dedicadas a atender emergencias, dificulta el acceso de ambulancias, patrullas, así como camiones de bomberos.

Existen 15 puntos de inundación, de éstos, la colonia Zona Escolar es la que más riesgo presenta. Sin embargo, existen algunas otras zonas donde se presentan este tipo de riesgos. En este sentido, es necesario tomar en cuenta los posibles conflictos viales que se pueden presentar en épocas de lluvia, además de la dificultad que ello representa para vehículos de emergencias como patrullas y ambulancias.

En la delegación existen 2 fallas geológicas de importancia: una de ellas la atraviesa de surponiente a nororiente, pasando por el centro de la Ciudad de México y la otra la atraviesa por el extremo suroriente (Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Gustavo A. Madero). En estas zonas se debe poner énfasis en las especificaciones de construcción según el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, a fin de garantizar la seguridad tanto de las construcciones ya consolidadas y las que se vayan a realizar, como la de los usuarios.

La densidad de población promedio en la Del. Gustavo A. Madero es de 201 a 300 hab./ha., aunque existen colonias con mayor o menor densidad. Entre las de mayor densidad y por lo tanto mayor vulnerabilidad, está la colonia Gabriel Hernández con una densidad superior a los 400 hab./ha., lo que representa un alto riesgo debido a las pérdidas humanas en caso de siniestro por lo inaccesible del terreno. Las colonias Acueducto de Guadalupe, Casas Alemán, Ampliación Emiliano Zapata, Ampliación Gabriel Hernández, Dinamita, Faja de Oro, La Esmeralda, Nueva Vallejo, San José de la Pradera, San Juan Ticomán, Unidad Habitacional Acueducto de Guadalupe, Unidad Habitacional Atzacolco C.T.M. y Vallejo La Patera, tienen una densidad de entre 301 a 400 hab./ha., lo que significa un riesgo menor, pero igualmente importante.

Los riesgos alto, medio y bajo (como se indica en la tabla no. 7) se definieron con base en la interacción de todos los factores de riesgo en conjunto dentro de cada colonia, así como la densidad y la presencia de la zona sísmica. Cada factor de riesgo tiene cierto grado de factibilidad, y en la medida en que dicho grado aumente, el grado de riesgo de cada colonia aumenta, acentuándose o no, dependiendo de la zona sísmica y de la densidad de población. Así, la ocurrencia de algún siniestro en colonias de riesgo bajo es de 0 a 10%. La probabilidad en colonias con riesgo medio es de 11 a 25% y las colonias con riesgo alto, tienen un porcentaje mayor del 25% de ocurrencia.

De las 194 colonias que conforman la delegación, se hizo un recuento por colonia, tomando los criterios antes mencionados para evaluar el grado de riesgo que existe dentro de la misma. Existen 63 colonias con riesgo bajo (34% del territorio delegacional); 58 colonias con riesgo medio (31% del territorio delegacional) y 66 colonias con riesgo (35% del territorio delegacional). En la tabla No. 6, se muestran algunas de las colonias que se encuentran clasificadas como riesgosas, entre las que destacan las ubicadas en la periferia al Cerro del Chiquihuite:

• Ampliación Casas Alemán.	• Guadalupe Victoria.	• San José de la Escalera.
• Aragón Inguarán.	• Juan González Romero.	• San Juan Ticomán.
• Chalma de Guadalupe.	• La Laguna Ticomán.	• Santiago Atepetlac.
• Constitución de la República.	• La Pastora.	• Tabla de San Agustín.
• Del Obrero.	• La Purísima Ticomán.	• Ticomán.

TABLA 6.- Colonias con riesgo de la Del. Gustavo A. Madero, encontrándose en zonas más vulnerables las Colonias La Pastora y Ticomán. Fuente G.A.M.

Análisis de Zonas de Peligro por Inestabilidad de Talud en el Cerro del Chiquihuite, D.F. Mediante Técnicas de GPS

Colonia	Deslaves	Derrumbes	Riesgo de inundación	Zona Sísmica	Falla Geológica	Ductos	Densidad Hab./ha	FACTOR DE VULNERABILIDAD
Acueducto de Guadalupe	-	-	-	3	-	2	301 - 400	RIESGO
Ampliación Arboledas Cuautepec El Alto.	-	-	-	1	-	-	200	R. Bajo
Ampliación Benito Juárez	-	2	-	1	-	-	201 - 300	R. Medio
Ampliación Castillo Grande (Irregular)	-	-	-	1	-	-	201 - 300	R. Bajo
Barrio Purísima Ticomán	-	-	-	1	-	-	101 - 200	R. Bajo
Benito Juárez	-	-	-	1	-	-	201 - 300	R. Bajo
Candelaria Alta	-	-	-	1	-	-	200	R. Bajo
Candelaria Ticomán	-	2	-	2	-	1	101 - 200	R. Medio
Castillo Chico	-	-	-	1	-	-	101 - 200	R. Bajo
Castillo Chico Parte Alta (Irregular)	-	-	-	1	-	-	101 - 200	R. Bajo
Castillo Grande	-	-	-	1	-	-	201 - 300	R. Bajo
Cuautepec de Madero	-	-	1	1	-	-	101 - 200	R. Medio
Cuautepec El Alto	-	-	-	1	-	-	101 - 200	R. Bajo
Cuautepec El Alto (Pueblo)	-	-	1	1	-	-	101 - 200	R. Medio
El Arboillo	-	-	-	1	-	-	201 - 300	R. Bajo
Guadalupe Ticomán	-	-	-	2	-	-	101 - 200	R. Bajo
La Pastora	-	3	-	1	-	-	101 - 200	Riesgo
La Pastora Alta	-	-	-	1	-	-	101 - 200	R. Bajo
La Purísima Ticomán	-	-	-	2	-	3	101 - 200	Riesgo

Colonia	Deslaves	Derrumbes	Riesgo de inundación	Zona Sísmica	Falla Geológicas	Ductos	Densidad Hab. / ha	FACTOR VULNERABILIDAD
Lomas de Cuauhtepac	-	-	-	1	-	-	101 - 200	R. Bajo
San José Ticomán	-	-	-	1	-	1	0 - 100	R. Medio
San Juan Ticomán	-	1	-	2	-	-	301 - 400	Riesgo
San Rafael Ticomán	-	-	-	1	-	-	0 - 100	R. Bajo
Santa María Ticomán	-	-	-	-	-	-	0 - 100	R. Bajo
Ticomán	-	-	-	3	-	-	101 - 200	Riesgo
Zona Escolar Oriente	-	-	-	1	-	-	101 - 200	R. Bajo

TABLA 7.- Características del tipo de riesgo existente en algunas colonias cercanas al Cerro del Chiquihuite, entre las que destaca la Col. La pastora que se encuentra ubicada en zona de alto riesgo en la ladera Oeste del Chiquihuite. Fuente: Diario Oficial de la Federación.

USO DE SUELOS

El suelo es uno de los medios naturales donde se realizan procesos bióticos y muchas actividades humanas. Los suelos son formados por materiales orgánicos y minerales que constituyen la delgada capa de la corteza terrestre. Como base de todos los ecosistemas terrestres, los suelos se producen por la combinación de varios factores ambientales: geológicos, fisiográficos, climáticos y biológicos.

La interacción de estos factores ha determinado la gran variedad de suelos que existen en México 23 de las 25 grandes categorías reconocidas en el mundo— y se distribuyen en: montañas, planicies, marismas, islas y zonas costeras, diversidad que es regionalizada en cuatro zonas ecológicas dominantes: zona árida, templada, trópico húmedo y trópico seco (Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Gustavo A. Madero).

La distribución del uso de suelo, en la zona de estudio se considera predominantemente habitacional, ya que son zonas en donde a pesar de tener comercio básico, prevalece la vivienda unifamiliar y plurifamiliar. Por otra parte, la delegación Gustavo A. Madero ocupa el 11o. lugar de las 16 delegaciones del Distrito Federal en densidad teniendo en 1995 145.1 hab./ha. Sin embargo dentro del territorio de la delegación se tienen áreas de muy alta y muy baja densidad. Así tenemos por ejemplo, la zona en donde se encuentran las colonias Lindavista, Capultitlán, San Pedro Zacatenco, Torres Lindavista y San José Ticomán, son las zonas que tienen más baja densidad menos de 100 hab./ha teniendo un uso de suelo de H2 y H2B. Las zonas en donde se encuentra la densidad más alta es en la zona de la colonia Gabriel Hernández, Triunfo de la República, la zona habitacional de Magdalena de la Salinas, las Unidades Habitacionales Vallejo la Patera, Lindavista Vallejo, y Acueducto de Guadalupe; éstas son de entre 300 y 800 hab./ha teniendo un uso de suelo de H2 y H4. La denotación de H2 y H4, indica que una casa habitación tendrá un máximo de 2 y 4 pisos respectivamente.

IV.- GEODESIA SATELITAL

IV.1. INSTRUMENTACION DE CAMPO

V.1.1. Antecedentes del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Este sistema de navegación está basado en una red de más de 24 satélites que orbitan alrededor de la Tierra completando dos órbitas en solo 24 horas a razón de 1.8 millas por segundo. El sistema de Posicionamiento Global GPS, es un método de posicionamiento y navegación basado en las señales transmitidas por una constelación de satélites, que son recibidas por los receptores portátiles en Tierra. Las señales múltiples que se reciben simultáneamente provenientes de las sucesivas posiciones de los satélites, se utilizan para resolver las ambigüedades y permitir con esto, la determinación de la posición tridimensional del punto por conocer.

Desde 1973 se empezó a desarrollar el proyecto de la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging - satélite de navegación, cronometría y distanciametría) y el 22 de febrero de 1978 se lanzó el primer satélite. La responsabilidad del desarrollo, prueba y despliegue del sistema recayó en el Joint Program Office del U.S. Air Force, organismo militar estadounidense. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos, puede modificar sin previo aviso (y de hecho lo hace) su funcionamiento, emisión del mensaje de navegación y/o códigos, acceso a éstos, información de tiempos, etc. Pero el GPS es algo más que un mero sistema de navegación: con él se pueden hacer diferentes tipos de posicionamiento y navegación, del máximo interés en nuestras técnicas, por la elevada precisión alcanzable.

El 22 de febrero de 1978 se puso en órbita el primero de los satélites NAVSTAR. Posteriormente el proyecto GPS determinó en un principio el lanzamiento de un grupo de 10 satélites o bloque experimental, que tuvo como objetivo determinar la efectividad del sistema. Después de estos trabajos de investigación se puso en marcha el bloque operativo, que el 26 de junio de 1993 colocó en órbita el satélite número 24, con lo cual quedó completa la constelación que permite un cubrimiento espacial de 24 horas en cualquier parte del mundo. Actualmente la precisión de un levantamiento GPS está cifrada en el rango de los 3-10 metros en tiempo real, esto es en el momento de la observación, sin embargo, la exactitud puede mejorar por medio de varias técnicas.

¿COMO FUNCIONA EL GPS?

Saber que una señal electromagnética viaja a la velocidad de la luz ($C = 300,000 \text{ Km/s}$) en el vacío es la clave para comprender el funcionamiento del GPS. Determinando cuánto tiempo (Dt) toma la señal en viajar desde el satélite al receptor, puede calcularse la distancia (d) que existe entre ambos.

La posición del receptor en un sistema cartesiano X, Y podría calcularse por intersección cuando se tengan calculadas las distancias precisas hacia por lo menos tres satélites de posición conocida. En realidad el posicionamiento GPS no es tan sencillo, pero el planteamiento anterior anticipa la base teórica del sistema.

ESTRUCTURA DE LA SEÑAL

Las señales que emiten los satélites NAVSTAR son ondas electromagnéticas (figura 19) transmitidas en la banda L del espectro electromagnético (entre las microondas, las ondas de radio y de radar), en dos frecuencias, L1 y L2 y moduladas por los códigos P y C/A de acuerdo con la siguiente tabla:

FRECUENCIA FUNDAMENTAL	$f_0 = 10.23 \text{ MHz}$
FRECUENCIAS PORTADORAS	$L1 = 154 \times f_0 = 1,575.42 \text{ MHz}$ $L2 = 120 \times f_0 = 1,227.60 \text{ MHz}$
CÓDIGO C/A:	$C/A = f_0/10 = 1.023 \text{ MHz}$
CÓDIGO P:	$P = f_0 = 10.23 \text{ MHz}$
CÓDIGO Y:	Código P encriptado

TABLA 8.- Características de las ondas eletromagnéticas emitidas por los satélites Navstar.

El código de acceso claro (C/A) está sobrepuesto en la banda L1 únicamente. El código de precisión (P) aparece sobrepuesto tanto en L1 como en L2.

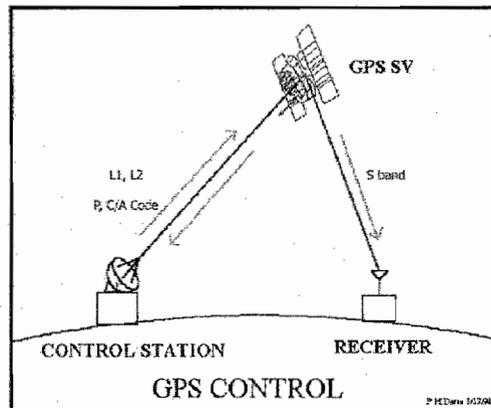


Figura No. 19.- Descripción gráfica de como circulan las ondas eletromagnéticas emitidas por los satélites Navstar.

La función de los códigos es por un lado establecer una diferencia entre los usuarios, pero primordialmente sirven como marcas de tiempo. Los receptores GPS tienen relojes que aunque no son tan precisos, los consideramos por el momento como "sincronizados" con los relojes de los satélites. Los GPS mediante algoritmos y cálculos dan una localización extremadamente precisa, sin interesar en que parte del globo terráqueo se encuentre el usuario.

El sistema de Posicionamiento Global tiene una variedad de aplicaciones. La tecnología GPS puede ser utilizada en cualquier lugar, menos en los cuales es imposible recibir señal, como por ejemplo dentro de edificios, subterráneos, o debajo del agua. Así mismo, puede ser también utilizado para determinar posiciones y velocidades tanto en la tierra como en el espacio.

Mediante un GPS puede conocerse la posición tridimensional (latitud, longitud y altura) a partir de la recepción de un mínimo de 4 satélites. Con 3 satélites también conoceremos la posición, pero sólo bidimensional (latitud y longitud).

Los posicionamientos realizables con el GPS se pueden dividir en dos, según respecto a qué queramos definir la (o las) posiciones:

- Si las coordenadas se determinan respecto a un sistema de coordenadas previamente definido, el posicionamiento se llama absoluto.
- Si las coordenadas se determinan respecto a otro punto, que constituiría el origen o referencia de un sistema local de coordenadas, el posicionamiento se llama relativo.

También puede hacerse una clasificación según el receptor se mueva o no:

- Si el receptor se mueve, el posicionamiento se llama dinámico.
- Si el receptor no se mueve, el posicionamiento se llama estático.

IV.1.2. APLICACIONES Y PROCEDIMIENTOS

El equipo que se utilizó para realizar el estudio geodesico, fue un Receptor Trimble 4000SSi, el cual utiliza diversas aplicaciones. Una aplicación es un tipo de tarea que los receptores GPS pueden utilizar; y un procedimiento es una serie de pasos bien definidos para lograr tal tarea. Por ejemplo:

* Control topográfico, es una aplicación. Levantamiento estático y estático rápido son dos procedimientos que pueden ser utilizados para realizarlo.

* Levantamiento topográfico, es una aplicación. Levantamiento cinemático es un procedimiento que puede ser utilizado para ejecutarlo.

Levantamiento de control	Levantamiento topográfico	Stakeout	Posicionamiento preciso	Adquisición de datos GIS	Navegación	PROCEDIMIENTO
X						Levantamiento estático (inició rápido)
X						Levantamiento estático rápido
X	X			X		Levantamiento cinemático
X	X	X	X	X	X	Levantamiento cinemático en tiempo real (RTK)
		X	X	X	X	Diferencial GPS
				X	X	Operación autónoma

X Una aplicación primaria para éste procedimiento.

x Una aplicación auxiliar para éste procedimiento (puede requerir características opcionales).

TABLA 9.- Descripción del tipo de levantamientos mediante GPS.

DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS

Levantamientos GPS estáticos.

Para obtener la precisión máxima, se emplean procedimientos GPS estáticos en los levantamientos de control geodésico. Se usan dos (o más) receptores y el proceso comienza cuando uno está situado en una estación de control existente, y el otro en el primer punto desconocido. Se hacen observaciones simultáneas desde ambas estaciones a cuatro o más satélites durante una hora o más, dependiendo de la longitud de la línea base (líneas base muy grandes requieren mayor tiempo de observación). Luego se mueve el receptor en la estación de control a la segunda estación desconocida, y la otra pertenece en la primera para otra sesión de observación. Al completar está sesión, el receptor de la primera estación desconocida se mueve a la tercera, y la otra permanece en la segunda. Éste procedimiento se continúa hasta que el receptor llega a otra estación existente de control.

La mayoría de los receptores tienen memoria interna para almacenar los datos observados. Cuando se han hecho todas las mediciones, los datos se transfieren a una computadora para su posprocesamiento. El posprocesamiento de los datos de levantamiento GPS estáticos usan normalmente las efemérides radiodifundidas, pero si se desea, pueden usarse las efemérides ra-

CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA GPS

PROCEDI-MIENTO.	NUMERO MINI-MO DE SATELI-TES.	TIEMPO MINI-MO DE OBSER-VACION.	PRECISON TIPICA.	OTRAS CARACTERISTICAS.
Estático	4	1 Hora	Con frecuencia simple +/- 20 mm + 2 ppm Con doble frecuencia 5 mm + 1 ppm	La mejor precisión en líneas de base menor o igual a 15 Km con un receptor frecuencia simple, y no limitado con un receptor de doble frecuencia.
Estático Rápido.	4	5-20 Min.	1 cm + 1 ppm	
Cinemático	4	Se recomiendan 2 minutos.	2 cm + 2 ppm	Las líneas de base están limitadas cerca de 15 Km. Rover debe ser reinicializado si pierde satélites en cualquier momento.
RTK (Cinemático en tiempo real)	4	Posicionamiento fijo 2 Hz	2 cm + 2 ppm	El límite en líneas de base es cerca de 10 Km. Requiere un radio de enlace. Rover debe ser reinicializado si pierde satélites en cualquier momento.
DGPS (Diferencial GPS)	2D Fijo: 3 3D Fijo: 4	Mayor de 2 Hz	Mod. Maxwell menor a 1 m en RMS horizontal con 5 satélites, PDOP menor de 4. Otros modelos 1-3 m en las mismas condiciones.	Requiere un radio de enlace.
Operación Autónoma	1D Fijo: 2 2D Fijo: 3 3D Fijo: 4	Arriba de 2 Hz En horizontal en RMS disponible si es activado; y aproximadamente de 10-20 m	Aproximadamente 30-100 m	Se requiere solamente de un receptor.

TABLA 10.- Características principales de los tipos de metodologías GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

diodifundidas, pero si se desea, pueden usarse las efemérides "precisas" para obtener un mayor grado de precisión. Las diferencias de coordenadas entre estaciones se calculan comenzando desde la primera estación de control, se suman progresivamente para obtener las coordenadas de todas las estaciones, incluyendo la de control de cierre.

Cualquier error de cierre se ajusta a lo largo de la red. Las precisiones relativas alcanzadas con éste método son en general de aproximadamente $\pm 5\text{mm} + 1\text{ ppm}$.

Levantamientos GPS estáticos rápidos.

Éste procedimiento es similar al levantamiento estático, excepto que un receptor siempre permanece en la primera estación de control mientras que el otro se mueve sucesivamente de un punto desconocido al siguiente. Además las sesiones son más cortas que en el método estático.

El procedimiento es adecuado para medir líneas base cortas y aplicable para proyectos de control de bajo orden, para control cartográfico y para levantamientos de linderos. Las precisiones alcanzables son aproximadamente de $\pm 10\text{ mm} + 1\text{ ppm}$ o mejores. Cabe señalar que éste fué el método utilizado para la realización del proyecto en el Cerro del Chiquihuite.

Levantamientos GPS cinemáticos.

Este procedimiento requiere también dos o más receptores. Al principio, los receptores deben ser inicializados. Esta inicialización se puede efectuar de varias maneras.

Un método requiere dos estaciones de control. Se lleva a cabo una sesión corta de observación estática (aproximadamente de 2 a 15 min.) usando ambos instrumentos simultáneamente en las dos estaciones. Como se conocen las diferencias de coordenadas de la línea base, la diferenciación de las observaciones, dará la ambigüedad desconocida del ciclo. Los cálculos de diferenciación se efectúan en una operación de posprocesamiento por computadora usando los datos de ambos receptores. Si sólo se dispone de una estación de control, una segunda estación puede establecerse usando los procedimientos de levantamiento estático. Esto permitirá la inicialización por el procedimiento de diferenciación.

Un procedimiento alternativo de inicialización, llamado cambio de antena, es también apropiado si sólo se dispone de una estación de control. En éste procedimiento se coloca el receptor A en el punto de control, y el receptor B en un punto cercano desconocido. Por conveniencia, el punto desconocido puede estar en un radio de aproximadamente de 10m de la estación de control. Después de recolectar datos durante algunos minutos con ambos receptores, sus posiciones se intercambian mientras se mantienen funcionando. En el proceso de intercambio debe tenerse cuidado de hacer rastreo continuo, o mantener contacto con por lo menos cuatro satélites. Después de algunos minutos más de observación, los receptores se intercambian de nuevo, retornándolos a sus posiciones iniciales. Esto permite determinar las diferencias de coordenadas de la línea base y la ambigüedad del ciclo, nuevamente con la técnica de diferenciación.

Después de la inicialización, un receptor, llamado "base", permanece en la estación de control mientras que el otro, llamado "móvil" (Rover), se desplaza de punto a punto a lo largo de una línea.

Las posiciones de la antena del móvil se determinan a intervalos incluso menores a 1 segundo. La precisión de los puntos intermedios es del orden de centímetros. En los levantamientos cinemáticos, ambos receptores deben mantener contacto con por lo menos cuatro satélites a lo largo de la sesión. Si se pierde contacto, los receptores deben reinicializarse. Debe tener cuidado por ello de evitar que la antena que obstruida al ubicarla cerca de edificios, debajo de árboles o puentes, etc.

Al terminar el levantamiento, el receptor móvil se regresa a su estación inicial de control u otra, para verificarlo. El método GPS cinemático es aplicable por ejemplo a levantamientos topográficos, hidrográficos y trazos de construcciones. Nuevas aplicaciones incluyen: (1) proporcionamiento de control suplementario de posición y altitud en el levantamiento aéreo fotogramétrico, colocando el receptor móvil en una aeronave y determinado de la posición de la cámara precisamente en el instante de cada exposición fotográfica; y (2) colocación del receptor móvil en un excavadora para proporcionar control por computadora en tiempo real de operaciones de movimientos de tierra. Los sistemas inerciales para levantamientos están siendo investigados como medios para recuperar la inicialización en caso de perderse el contacto en los levantamientos GPS cinemáticos.

Levantamientos GPS pseudocinemáticos.

Éste procedimiento, igual que los anteriores, requiere un mínimo de dos receptores. Elimina la necesidad de mantener contacto constante con los satélites, lo que puede ser un problema. En el levantamiento pseudocinemático, se efectúan dos sesiones relativamente cortas (alrededor de 5 minutos de duración) en cada estación con aproximadamente 1 hora de separación. Los procedimientos de reducción son similares a los del modo estático, y las precisiones se acercan a los del levantamiento estático.

Levantamientos GPS cinemáticos en tiempo real.

Los procedimientos GPS cinemáticos y pseudocinemáticos en tiempo real descritos anteriormente requieren que los datos recolectados por los receptores sean posteriormente almacenados hasta que se termina el trabajo de campo. Los datos son procesados para obtener posiciones de los puntos levantados. Sin embargo, el levantamiento cinemático en tiempo real (RTK), tal como lo implica su nombre, permite que las posiciones de puntos sean determinadas instantáneamente conforme al receptor (o receptores) móvil ocupa cada punto.

Al igual que los otros métodos cinemáticos, el levantamiento cinemático en tiempo real requiere que dos (o más) receptores operen simultáneamente. El aspecto único para intercomunicar a los receptores de éste procedimiento de levantamientos GPS es que se usan radiomodem. Un receptor ocupa una estación de referencia y radiodifunde observaciones GPS a la unidad (o unidades) móvil. En el receptor móvil, las mediciones GPS de ambos receptores se procesan en tiempo real por la computadora interna de la unidad para producir una determinación inmediata de su posición.

Las pruebas de levantamientos cinemáticos en tiempo real han demostrado que se obtienen precisiones en la posición equivalentes a las obtenidas con los métodos cinemáticos que emplean postprocesamiento. Como se conocen inmediatamente con alta precisión las posiciones de puntos, el levantamiento cinemático en tiempo real es aplicable al estacado de construcciones.

También es apropiado para la localización de detalles de la cartografía topográfica y para muchos otros trabajos de topografía.

GPS CON ÓRBITAS PRECISAS.

El método más exacto para posicionar una estación es el que utiliza las órbitas corregidas de la constelación de satélites para calcular la posición. Uno de los programas que puede manejar estas correcciones y de encontrar la matriz de transformación basada en un gran número (>500) de estaciones GPS para ser aplicada a la estación por posicionar, es el software GIPSY-OASIS II.

V. APLICACION DEL SOFTWARE REQUERIDO

V.1. ORBITAS PRECISAS (GIPSY)

El software GIPSY (GPS Inferred Positioning System) fue desarrollado por JPL (Jet Propulsion Laboratory) su primera demostración fue en 1985 con el análisis del Mach 1985 High Precision Baseline Test. En éste proyecto se logró una precisión de 1 parte en 10 y se demostró la validéz de los conceptos involucrados tanto en el software de GIPSY como en la aproximación fiducial. Desde entonces, GIPSY ha demostrado buenas precisiones en las líneas de base y consistencias en las órbitas de satélites GPS.

GIPSY tienen sus orígenes en dos sistemas independientes: El software para la determinación de órbitas, desarrollado durante los años de la navegación espacial y del software para la geodesia con VLBI (Very Long Baseline Interferometry), incluyendo el modelado de la dinámica terrestre y el retraso de la señal del radio.

En 1985, estos dos sistemas más la adición de un filtro Kalman para la estimación de parámetros y posproceso para editar los datos con gráficas interactivas fueron combinados para formar a GIPSY. Al mismo tiempo, un software similar con algunos módulos comunes fue desarrollado, y fue llamado OASIS, el que es aún utilizado para el análisis de covarianza de misiones orbitales terrestres. También se incorporó la capacidad para estudiar estrategias de estimación de los coeficientes de campo de gravedad y parámetros orbitales de satélites con receptores GPS.

El término GIPSY-OASIS se refiere entonces a la unión de estos programas, aunque la mayoría de los investigadores usan uno u otro. El desarrollo inicial de GIPSY-OASIS tomó lugar en computadoras VAX y MicroVAX sobre sistemas operativos VMS. En 1991 y 1992, GIPSY fue reescrito para correr bajo UNIX en estaciones Sun y HP y recientemente bajo LINUX.

En el transcurso de la conversión del código todos los módulos mayores recibieron cambios significativos y actualizaciones. El software resultante bajo UNIX se llamo GIPSY-OASIS II.

La aplicación básica de GIPSY es para el posicionamiento preciso y el cálculo de líneas base con distancias que van desde metros hasta cientos de kilómetros. Se puede utilizar para posicionamiento con receptores funcionando en modo de levantamiento estático (varias horas de ocupación en cada sitio), que usualmente son levantamientos a escalas regionales.

Otro uso importante de GIPSY es la determinación precisa de órbitas GPS utilizando una red de receptores distribuida en todo el mundo. Para la determinación de las órbitas, algunas de las coordenadas de la red son fijadas (o ligeramente ajustadas) a valores previamente determinadas por GPS o alguna otra técnica, como la interferometría de línea de base grande (Very Long Baseline Interferometry, VLBI) o por medición con láser desde satélites (Satellite Laser Ranging, SLR).

GIPSY ha sido mejorado para permitir el análisis de los datos tanto de la orbitografía y radioposicionamiento con doppler por satélite (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite, DORIS) como para la utilización de la medición con láser desde satélite (SLR) de forma conjunta o separada con datos de GPS.

La solución absoluta se obtiene al procesar la información de los receptores mediante GIPSY-OASIS II (GIPSY). GIPSY se utiliza en modo de posproceso, debido a que la preparación del modelo orbital y de la estimación de las órbitas corregidas deben de realizarse consecutivamente, lo que no permite la posibilidad de análisis en modo real.

El objetivo principal de GIPSY es lograr el posicionamiento preciso. Para lo cual, se utilizan los "mejores" modelos y los algoritmos de estimación posibles, y en ocasiones más de 500 estaciones GPS repartidas alrededor del mundo.

Entre las principales características de GIPSY se encuentran:

- El procesamiento de la red completa, en la que la localización de las estaciones se hace con referencia a un sistema global de coordenadas (con parámetros geodésicos fundamentales);
- La integración de órbitas usando una expansión esférica armónica del campo de gravedad, los efectos del Sol, la Luna y los Planetas, más las fuerzas no gravitacionales por la presión de la radiación solar.
- Modelación de la dinámica conocida de la Tierra, incluyendo las mareas sólidas terrestres, movimiento de precesión, movimiento polar, mareas polares y carga del océano; modelo relativista general de los retrasos de la fase y el pseudorange;
- Modelos de retraso troposférico seco y húmedo incluyendo el desdoblamiento de los rayos, la curvatura terrestre y la estimación estocástica de los retrasos mapeados del cenit y de las desviaciones del reloj como el ruido en el proceso Gauss-Markov;
- Estimación estocástica de gradientes troposféricos;
- Varias posibilidades de resolver en entero en la ambigüedad del ciclo (integer cycle ambiguity) en la fase portadora observada,
- Determinación de la covarianza completa, incluyendo sensibilidad a parámetros no incluidos en el modelo (p.ej. valores incorrectos de la posición del polo).

V.2. GRAFNET DE WAYPOINT CONSULTING

GrafNet es un programa para post proceso de datos de GPS diseñado para operar bajo Windows 9x/NT y obtener la solución de levantamientos estáticos. Incluye el ajuste de la red y un algoritmo inteligente de cierre de poligonales. El software se puede utilizar para procesos automáticos aplicados a sesiones estáticas múltiples con una estación base.

Entre sus principales características están:

Se pueden obtener varios tipos de soluciones (Fixed, Float y Quick static), además de un algoritmo para el ajuste ponderado de la red. Tiene la posibilidad de procesar datos de receptores de frecuencia sencilla o doble, líneas de base grandes y la posibilidad de utilizar efemérides precisas.

Acepta varios tipos de formatos en los que se incluyen: Allen Osborne Associates (AOA), Ashtech (todos los modelos de 12 canales), Canadian Marconi (Allstar), JAVAD, Motorola (6/8 canales Oncore, PVT6), NavSymm/Navstar (todos los modelos), Foruno, NovAtel (todos los modelos), Rockwell (Jupiter y PLGR), Trimble (4000 y formato DAT), Rinex y UKOOA. Además de soporte para efemérides precisas de formato SP3. Es también posible utilizar el programa como una librería dinámica de Windows (DLL), lo que permite integrarlo en programas generados por el usuario.

El programa tiene interfase interactiva en la que se puede obtener de manera gráfica la posición de las estaciones, los vectores entre estas y la elipse de error para cada uno de ellos. Además es posible obtener un archivo de texto con la información de las coordenadas, vectores y ajustes de la red.

V.3. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (ArcView)

Los Sistemas de Información Geográfica, son un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar, cartografiar y modelar datos espaciales.

En otras palabras, permite representar visualmente los datos almacenados en cualquier campo de una tabla o representados en un mapa bajo la forma de distintas tonalidades de colores, así como distintos símbolos.

La intención es proporcionar un material con el cual, poder abordar las determinadas problemáticas; como para éste caso, que es el poder ejemplificar la situación que se vive en el Cerro del Chiquihuite. Para este caso se utilizó ArcView, siendo una herramienta que permite visualizar, explorar y analizar datos geográficamente.

Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta algunas preguntas:

- 1.- ¿Qué medio se necesita para llegar a lo deseado?
- 2.- ¿Qué información se requiere para llevar a cabo el proyecto?
- 3.- ¿Con que información se cuenta?

En consecuencia, será necesario tomar en cuenta ciertas generalidades en cuenta al manejo y tratamiento de la información territorial que utilizan los Sistemas de información Geográfica. Y que para este caso, será ArcView el SIG que se utilizara para realizar el estudio de riesgos en el Cerro del Chiquihuite.

Generalidades de los Sistemas de información Geográfica:

- 1.- Modelos y estructuras de datos
 - El modelo raster
 - El modelo vectorial

En lo que se refiere a los datos, existirán dos clases de datos, que serán los raster y vector. Para esto, los datos vector describe los diferentes rasgos geográficos que son representados en la cartografía básica y temática, conceptualizándolos en forma de entidades que gráficamente son representadas como puntos, líneas y áreas, como por ejemplo planos. En lo que se refiere a los datos raster, estos contienen los elementos descriptivos de los productos que se ajustan a las estructuras en rejilla o celdas(pixeles), tales como ortofotos, espaciomapas y modelos digitales de elevación.

- 2.- Naturaleza, características y componentes de los datos geográficos
 - La componente espacial
 - La componente temática.

Tanto para la componente espacial, como la temática, podemos decir que son atributos de almacenamientos, siendo para la componente espacial la descripción y ubicación de los elementos, es decir, la geometría de los elementos.

Y para la componente temática, serán las especificaciones y condiciones simbólicas, es decir, los atributos.

- 3.- Estructura de la base de datos de un SIG
 - Bases de datos relacionados
 - Manipulación de bases de datos relacionados.

4.- La entrada de datos en un SIG

- Procedimientos de captación y conversión a formato digital de la información espacial.
- Características geométricas de la información geográfica.
- La entrada de información temática.

5.- Las funciones básicas de un SIG vectorial

- Funciones de captura y organización de datos.
- Funciones de gestión de tablas alfanuméricas.
- Funciones de documentación.
- Funciones de análisis espacial.

6.- La administración de la información territorial

- La selección /recuperación de la información geográfica.
- La superposición de mapas.
- El análisis de proximidad, contigüidad e inclusión.
- La agregación de los objetos geográficos.

7.- La organización de los datos en el programa de ArcView

- La visualización de la base espacial y temática.
- El manejo de las bases de datos de atributos.
- Representación de gráficos.

9.- La administración de la información territorial en el programa ArcView

- Identificación de los elementos geográficos.
- Conocer los atributos de los elementos geográficos seleccionados.
- Encontrar elementos que cumplan determinadas condiciones.
- Operaciones a realizar con los elementos seleccionados.

Metodología realizada para el estudio.

Primeramente se procedió a estructurar la Red Geodésica, que está formada por 12 sitios para la realización del estudio, los sitios de interés están ubicados en la zona poniente del Chiquihuite, y esta zona comprende las colonias La Pastora y B. Juárez. Ver figura 20.

En los sitios de interés fueron colocadas marcas permanentes ó testigos; las marcas colocadas son clavos de acero, los cuales fueron fijados con resina epoxica en orificios previamente realizados (Ver figura 14). Estos fueron colocados en afloramientos de roca (figura 13), en elementos de contención y en guarniciones de banquetas en algunas calles. Esto fue para apreciar las variaciones en el movimiento de cada uno de los sitios para esa sección del talud. Así mismo, se colocó una estación de referencia, la cual en un principio fue UTEO (Observatorio Geomagnético de Teoloyucan, Estado de México)(Ver figuras 21, 22 y 23), dos campañas después se procedió a utilizar ahora como base, a la estación ubicada en el Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. (UIGF), y por último se hizo la referencia con la estación colocada en el Cerro del Chiquihuite (UCHI), la cual fue colocada para proporcionar una mejor precisión debido a su mayor cercanía, poder obtener líneas base más cortas para cada uno de los sitios de interés.

La posición de las bases UTEO, UIGF y UCHI fue mediante posicionamiento de punto preciso, utilizando soluciones de ambigüedades mediante GIPSY que utiliza orbitas precisas.

Las campañas realizadas se llevaron a cabo con dos receptores Trimble series 4000 ssi de doble frecuencia, un receptor estaría colocado en la estación que hace las funciones de base de coordenadas conocidas, y el otro funcionado de manera móvil en cada uno de los lugares de interés de manera simultánea. Una vez posicionado cada uno de puntos de control, se procedió a llevar los datos obtenidos al laboratorio, en donde se realizó el proceso de la información mediante GrafNet de Waypoint Consulting, y con el siguiente procedimiento:

- 1.- Se realizó primeramente, la transformación de los archivos originales o crudos (.DAT) a un formato propietario de GrafNet.
- 2.- Crea un nuevo proyecto, en donde se da la dirección en donde quedara guardado el proyecto y el nombre de este.
- 3.- Posteriormente se adiciona las observaciones, y en caso de algún error en los parámetros de entrada en los archivos en el momento de la toma de datos, se podrán hacer las correcciones pertinentes.
- 4.- Seleccionar el punto de control de coordenadas conocidas.
- 5.- El menu de Output, permite crear una mascarilla, en donde se estipula como obtener el archivo de datos finales, por ejemplo: el tipo de coordenadas, el tipo de altura (elipsoidal, ortométrica, etc.), el factor de escala entre otros y de acuerdo a las necesidades específicas del trabajo.
- 6.- Una vez estipulados los parámetros para el post proceso, se da la instrucción de procesar la sesión.
- 7.- Finalmente, despliegan los vectores de posición de cada uno de los sitios de interés referidos a la posición de la base UCHI, como lo muestra la figura 24. Así como también, despliega el archivo con formato .txt, que mostrará las coordenadas de los puntos deseados con los parámetros estipulados previamente.

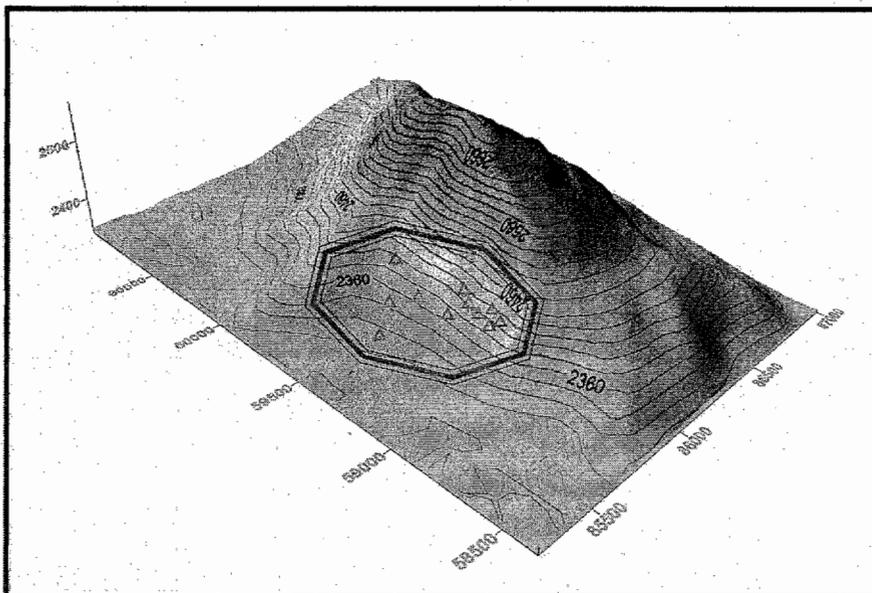


Figura No. 20.- La imagen señala la ubicación (parte occidental) de la Red Geodésica establecida para la realización del estudio. Además la imagen marca por colores los intervalos que delimitan los diferentes grados de inclinación, así como la elevación equidistante en el cerro del Chiquihuite.

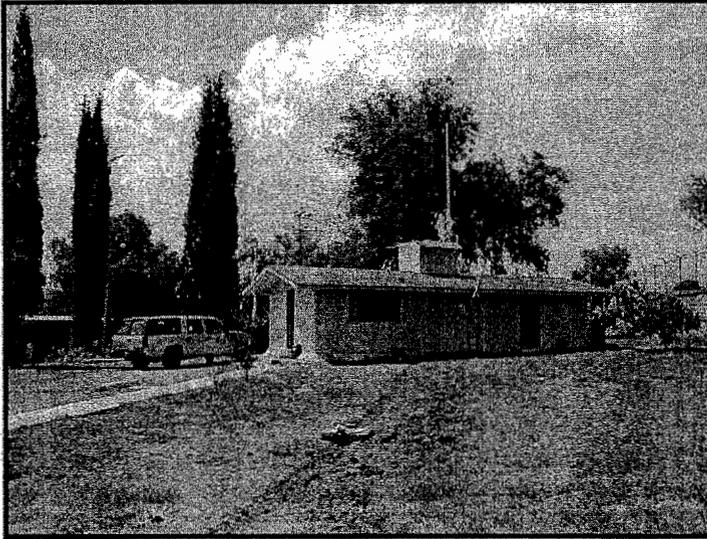


Figura No. 21.- Observatorio magnético de Teoloyucan, en el Estado de México.

Figura No. 22.- Estación GPS permanente colocado en instalaciones del Observatorio de Teoloyucan, que es colocado en una caja la cual va introducida en un registro de tabique a nivel de suelo.

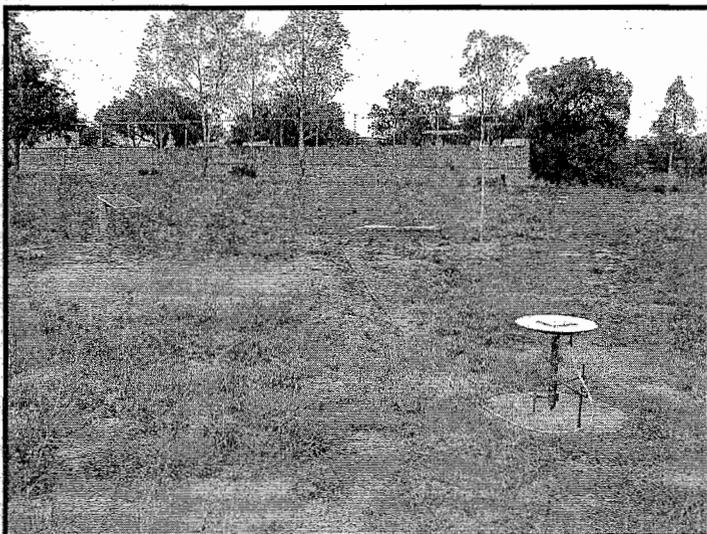
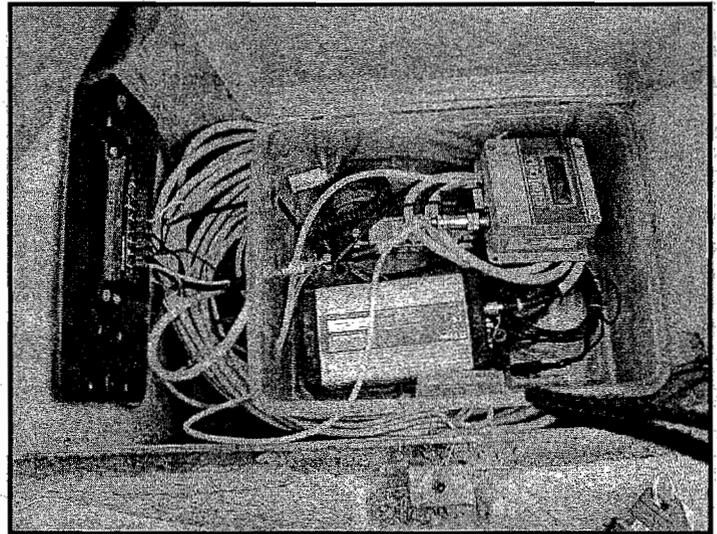


Figura No. 23.- Antena geodésica, la cual esta colocada sobre un monumento de concreto, y sobre este la marca de acero o testigo.

Una vez obtenidas las coordenadas de los puntos ubicados sobre la ladera del Cerro del Chiquihuite, por medio de Waypoint GrafNet, se procedió a trabajar en Microsoft Excel, el cual nos permite analizar como los resultados cambian con respecto al tiempo, así como la forma de poder expresarlos de una manera en que se pueda apreciar el cambio, e incluso poder determinar con que velocidad se mueven los puntos de control, de manera individual o por zona.

Entre los análisis realizados, se encuentran también los hechos en Ilwis (Sistema de Información Geográfica que incorpora herramientas para tratamiento digital de imágenes. Permitiendo almacenar, analizar y transformar datos, a partir de los cuales se genera información para realizar modelos y simulaciones de procesos que se dan en la superficie terrestre.), en donde se llevo a cabo el análisis de pendientes, a partir de un modelo de elevación (DEM), generado previamente en el mismo software.

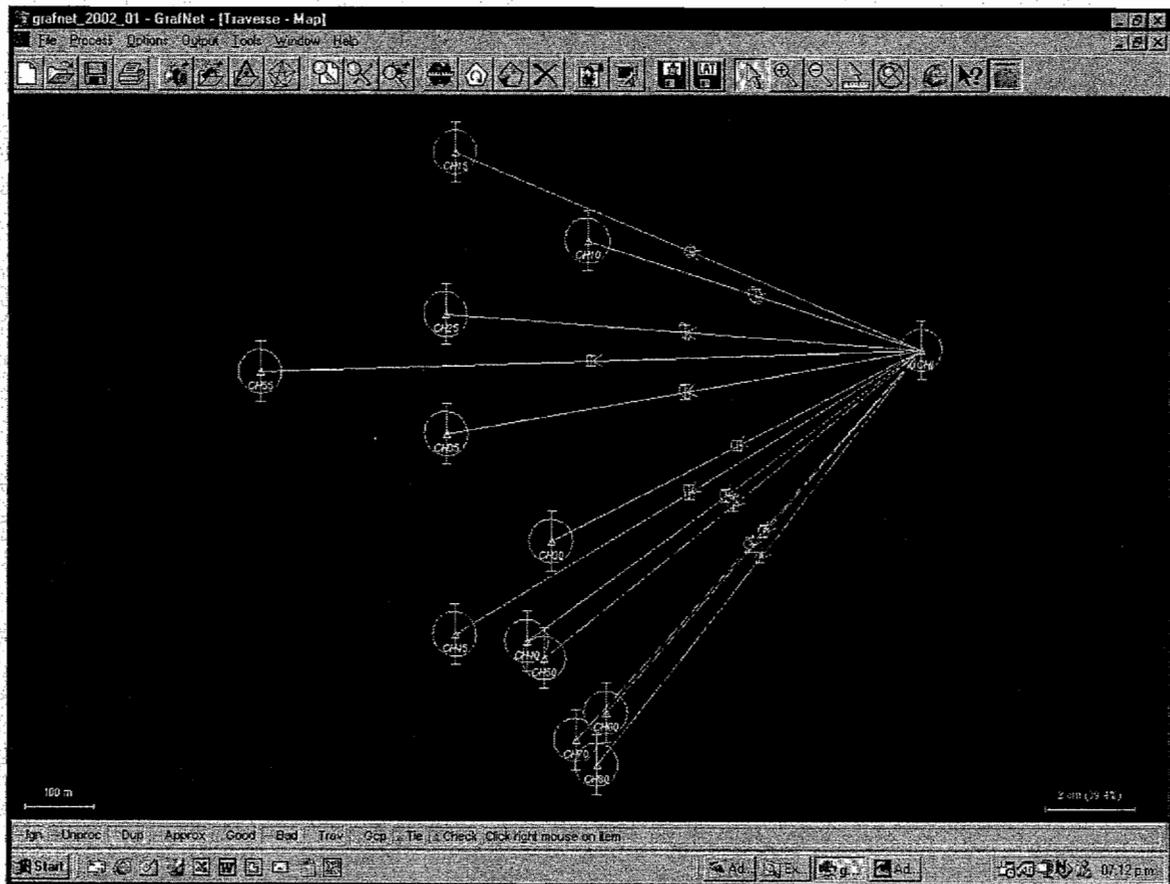


Figura No. 24.- Vectores generados con GrafNet de Waypoint, los cuales indican la posición de cada uno de los puntos de control con sus respectivas elipses de error 1 sigma (e) a partir de un punto de referencia, el cual es de coordenadas conocidas y permite en combinación con otros procesos, obtener la posición de los puntos de interés.

Ilwis, nos permite diversas aplicaciones, entre ellas: digitalizar, crear modelos de elevación digital, así como el poder sobreponer Ortofotos sobre el mismo DEM, aunado a diversas aplicaciones más, como a continuación se enumeran:

- 1.- Introducción de Datos al sistema.
- 2.- Preproceso de Datos.
- 3.- Visualización de Datos.
- 4.- Tratamiento digital de Imágenes.
- 5.- Análisis de Datos.

6.- Cálculos Estadísticos.

7.- Presentaciones de Resultados.

En este caso, se utilizó para determinar el porcentaje de las pendientes predominantes sobre los taludes del Cerro del Chiquihuite.

Así mismo, y de forma paralela, se llevo a cabo la obtención del análisis de pendientes por medio de Surfer. Para lograr esto se realizó el modelo de elevación, siendo digitalizado en Surfer, y a partir de esta digitalización, se realizó una comparación por dos métodos de interpolación, para comprobar la calidad en la digitalización hecha. Entonces se procedió obtener las curvas de nivel, con espaciamento de 4 m (siendo el espaciamento de la rejilla en momento de la interpolación), esto es, el tamaño de las celdas que contendrá toda la malla del modelo de elevación digital, y con la variación del método de interpolación Kriging y Minimos Cuadrados.

Se decidió a realizar la interpolación por los dos métodos, para observar que interpolado se asemeja más a las curvas originales de la digitalización y en base a esto poder generar un mejor modelo de elevación, que posteriormente serviría para realizar el análisis de pendientes. Una vez terminada la interpolación con las dos variantes, se procedió a sobreponer las curvas de nivel con cada uno de los métodos, sobre la imagen original, para así determinar cual método era el que más se ajustaba a las curvas originales, y por lo tanto, obtener un modelo de elevación digital lo más preciso posible.

El método elegido fué Kriging, dado que este presentó una mejor interpolación asemejandose más a las curvas de nivel de origen. (Fig. 25-B).

Finalmente se compararon las dos imágenes obtenidas para el análisis de pendientes generadas con Surfer e Ilwis (Figuras 26 y 27), lo cual permitió tener un resultado más confiable de cómo se presentan las pendientes en el Cerro del Chiquihuite, y además de conocer los diferentes grados de inclinación, poder contar con la ubicación de las zonas en donde predominan pendientes de mayor riesgo. El conocer estos datos, implica tener mayor conocimiento de que tanto puede afectar a los habitantes establecidos irregularmente a las faldas del cerro del Chiquihuite.

V.4. Otros análisis.

Parte importante en la complementación de los estudios realizados, es el análisis de pendiente existente en el Cerro del Chiquihuite, ya que aparte de confirmar que es un factor de alto riesgo, ayuda en la ubicación de las zonas potenciales de riesgo.

Para la obtención de un análisis de pendientes en el Chiquihuite, se procedió a utilizar a Ilwis, Academic y Golden Surfer para la obtención de dichos estudios auxiliares. Cabe señalar que el motivo por el cual se utilizaron dos alternativas, fué en cierto modo, el confirmar que efectivamente se estaban obteniendo los resultados deseados y aunque los dos elementos difieren en cuanto a su aplicación y su precisión, debieran llegar a resultados similares, lo cual incrementaría el acierto en los resultados y existiendo una mejor precisión en cuanto a la determinación de las zonas con mayor potencial de riesgo.

Así mismo, al confirmar los resultados también aseguran un mejor complemento en cuanto a los resultados para el sistema de información geográfica, ya que un dato importante son las pendientes existentes en el cerro y complementado con los demás factores (parte aguas, escurrimientos así como las zonas de materiales inestables) dar una mejor interpretación acerca de la ubicación de que zonas son las que tienden a poder generar riesgo a las comunidades ubicadas en la periferia del Cerro del Chiquihuite.

VI.- RESULTADOS**VI.1. Análisis de datos Geodésicos.**

La finalidad por la que se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para este estudio, fue poder cuantificar el posible movimiento que se presenta en el talud occidental del Cerro del Chiquihuite. Para esto, fue necesario establecer una red geodésica, que nos permita tener un control de la zona de interés que está comprendida por 12 puntos de control colocados en el talud del cerro así también, sobre algunas calles de la Col. La Pastora (Ver figura 20). Tales puntos fueron monitoreados durante un periodo aproximado de un año, mediante campañas realizadas con espaciamento aproximado de un mes entre una y otra; tales resultados fueron obtenidos mediante GrafNet de Waypoint Consulting. Todos los datos están referidos en proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) en sus tres componentes con sus respectivos errores para cada uno de los puntos.

Los resultados fueron referidos a su media, y a partir de estas media se realizó una diferencia contra cada uno de los datos, y finalmente estas diferencias fueron los datos a graficar contra el tiempo (Ver figura 29).

La tabla No. 11 muestra los datos obtenidos a partir de un pos-proceso, y ordenados de acuerdo a lugar en que están ubicados:

**Sitios colocados en Afloramientos de Roca
CH 10**

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2159700.855	0.013	485818.414	0.013	2377.695	0.014
12/07/2000	2159700.882	0.022	485818.400	0.018	2377.739	0.038
01/12/2001	2159700.862	0.014	485818.419	0.015	2377.706	0.021
02/09/2001	2159700.862	0.013	485818.418	0.015	2377.702	0.025
07/24/2001	2159700.853	0.013	485818.420	0.015	2377.697	0.025
04/07/2003	2159700.884	0.013	485818.400	0.013	2377.735	0.017

CH 30

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2159271.128	0.012	485767.367	0.013	2379.988	0.017
11/07/2000	2159271.126	0.013	485767.367	0.014	2380.006	0.020
12/07/2000	2159271.139	0.013	485767.357	0.014	2380.015	0.017
01/12/2001	2159271.144	0.016	485767.368	0.015	2380.019	0.019
02/09/2001	2159271.132	0.013	485767.361	0.014	2380.002	0.018
07/24/2001	2159271.143	0.013	485767.363	0.018	2380.015	0.040
10/19/2001	2159271.139	0.013	485767.360	0.013	2380.011	0.020
02/12/2002	2159271.132	0.013	485767.367	0.013	2380.023	0.014
04/07/2003	2159271.145	0.013	485767.359	0.013	2380.028	0.015

CH 50

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
12/07/2000	2159102.959	0.013	485757.196	0.014	2370.684	0.021
01/12/2001	2159102.957	0.013	485757.206	0.015	2370.671	0.016
02/09/2001	2159102.956	0.013	485757.202	0.013	2370.685	0.016
07/24/2001	2159102.983	0.013	485757.198	0.013	2370.689	0.014
10/19/2001	2159102.964	0.012	485757.196	0.013	2370.674	0.013
02/12/2002	2159102.960	0.013	485757.210	0.013	2370.667	0.014
04/07/2003	2159102.963	0.013	485757.195	0.013	2370.687	0.013

CH 80

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2158950.513	0.013	485831.503	0.013	2363.249	0.013
11/07/2000	2158950.501	0.020	485831.490	0.027	2363.267	0.056
12/07/2000	2158950.502	0.013	485831.500	0.014	2363.252	0.019
01/12/2001	2158950.503	0.013	485831.495	0.013	2363.245	0.016
02/09/2001	2158950.500	0.015	485831.503	0.015	2363.255	0.021
07/24/2001	2158950.521	0.013	485831.497	0.014	2363.252	0.014
10/19/2001	2158950.515	0.013	485831.492	0.013	2363.262	0.014
02/12/2002	2158950.500	0.012	485831.497	0.013	2363.262	0.014
04/07/2003	2158950.503	0.013	485831.491	0.013	2363.260	0.016

Sitios colocados en Guarniciones de Banquetas

CH 15

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2159827.130	0.013	485627.925	0.012	2322.146	0.013
12/07/2000	2159827.142	0.013	485627.935	0.014	2322.144	0.014
01/12/2001	2159827.149	0.014	485627.942	0.015	2322.134	0.020
02/09/2001	2159827.158	0.014	485627.938	0.013	2322.109	0.018
07/24/2001	2159827.157	0.013	485627.927	0.013	2322.128	0.017
10/19/2001	2159827.160	0.013	485627.932	0.013	2322.124	0.013
02/12/2002	2159827.161	0.013	485627.940	0.013	2322.163	0.013
04/07/2003	2159827.152	0.012	485627.931	0.013	2322.145	0.014

CH 25

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2159594.692	0.013	485614.786	0.013	2319.572	0.015
11/07/2000	2159594.689	0.013	485614.784	0.014	2319.580	0.018
12/07/2000	2159594.683	0.013	485614.786	0.014	2319.577	0.014
01/12/2001	2159594.688	0.014	485614.782	0.020	2319.559	0.038
02/09/2001	2159594.690	0.014	485614.783	0.013	2319.578	0.016
07/24/2001	2159594.685	0.014	485614.769	0.013	2319.576	0.015
10/19/2001	2159594.680	0.013	485614.783	0.013	2319.573	0.013
02/12/2002	2159594.695	0.013	485614.792	0.013	2319.587	0.014
04/07/2003	2159594.682	0.013	485614.775	0.013	2319.566	0.014

CH 35

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2159422.792	0.013	485616.214	0.013	2312.240	0.017
12/07/2000	2159422.782	0.014	485616.205	0.013	2312.226	0.016
01/12/2001	2159422.783	0.013	485616.213	0.013	2312.222	0.017
02/09/2001	2159422.789	0.015	485616.209	0.015	2312.221	0.018
07/24/2001	2159422.783	0.014	485616.207	0.013	2312.216	0.016
10/19/2001	2159422.787	0.012	485616.199	0.013	2312.201	0.019
02/12/2002	2159422.790	0.013	485616.218	0.013	2312.248	0.016
04/07/2003	2159422.792	0.013	485616.209	0.013	2312.203	0.015

CH 45

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2159137.819	0.013	485628.624	0.013	2318.900	0.014
11/07/2000	2159137.826	0.014	485628.632	0.014	2318.883	0.015
12/07/2000	2159137.815	0.014	485628.626	0.013	2318.899	0.015
01/12/2001	2159137.815	0.013	485628.636	0.014	2318.898	0.020
02/09/2001	2159137.815	0.014	485628.627	0.014	2318.883	0.017
07/24/2001	2159137.828	0.014	485628.625	0.013	2318.923	0.016
10/19/2001	2159137.824	0.013	485628.631	0.013	2318.905	0.017
02/12/2002	2159137.824	0.013	485628.623	0.013	2318.917	0.014
04/07/2003	2159137.816	0.013	485628.632	0.013	2318.884	0.015

CH 55

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2159512.480	0.013	485348.792	0.013	2259.394	0.014
11/07/2000	2159512.485	0.014	485348.796	0.013	2259.386	0.015
12/07/2000	2159512.532	0.014	485348.800	0.013	2259.419	0.015
01/12/2001	2159512.494	0.014	485348.792	0.013	2259.408	0.016
02/09/2001	2159512.461	0.014	485348.785	0.015	2259.386	0.020
07/24/2001	2159512.493	0.013	485348.777	0.013	2259.416	0.016
10/19/2001	2159512.483	0.013	485348.789	0.013	2259.407	0.015
02/12/2002	2159512.481	0.013	485348.811	0.014	2259.467	0.016
04/07/2003	2159512.500	0.013	485348.790	0.013	2259.450	0.015

Sitios colocados en Elementos de Contención

CH 40

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
11/07/2000	2159127.386	0.021	485732.110	0.016	2361.057	0.038
01/12/2001	2159127.406	0.013	485732.115	0.015	2361.081	0.015
07/24/2001	2159127.398	0.013	485732.107	0.013	2361.064	0.018
10/19/2001	2159127.396	0.012	485732.106	0.013	2361.053	0.014
02/12/2002	2159127.403	0.013	485732.116	0.013	2361.072	0.014
04/07/2003	2159127.408	0.013	485732.082	0.013	2361.103	0.014

CH 60

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
01/12/2001	2159025.479	0.013	485844.432	0.017	2393.536	0.019
02/09/2001	2159025.484	0.013	485844.451	0.013	2393.501	0.014
07/24/2001	2159025.493	0.013	485844.401	0.014	2393.531	0.014
10/19/2001	2159025.492	0.012	485844.447	0.013	2393.490	0.013
02/12/2002	2159025.497	0.013	485844.460	0.013	2393.526	0.014
04/07/2003	2159025.492	0.013	485844.460	0.013	2393.490	0.016

CH 70

FECHA	NORTE	e-N	ESTE	e-E	VERTICAL	e-V
10/03/2000	2158985.892	0.013	485802.979	0.013	2360.964	0.013
12/07/2000	2158985.902	0.014	485802.979	0.014	2360.959	0.016
01/12/2001	2158985.901	0.014	485802.980	0.014	2360.969	0.018
02/09/2001	2158985.907	0.018	485802.983	0.016	2360.972	0.019
07/24/2001	2158985.900	0.013	485802.962	0.013	2360.976	0.015
02/12/2002	2158985.900	0.013	485802.978	0.013	2360.976	0.015
04/07/2003	2158985.885	0.013	485802.970	0.013	2360.951	0.014

Tabla 11.- Resultados de ocupaciones GPS en el Cerro Chiquihuite, referidos en componentes Norte, Este y Vertical con su correspondiente error (e=1 sigma).

Sitios colocados en Afloramientos de Roca (Valores Δ)

CH 10

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	11.333	12.500	-2.167	12.500	17.333	14.400
12/07/2000	-15.667	21.500	11.833	18.200	-26.667	38.200
01/12/2001	4.333	14.200	-7.167	14.600	6.333	21.000
02/09/2001	4.333	13.300	-6.167	14.900	10.333	25.400
07/24/2001	13.333	13.000	-8.167	15.100	15.333	25.300
04/07/2003	-17.667	12.900	11.833	13.000	-22.667	17.300

CH 30

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	8.444	12.400	-3.778	12.500	23.889	16.900
11/07/2000	10.444	13.400	-3.778	14.100	5.889	19.800
12/07/2000	-2.556	13.400	6.222	14.100	-3.111	17.100
01/12/2001	-7.556	15.700	-4.778	14.800	-7.111	19.100
02/09/2001	4.444	13.000	2.222	13.800	9.889	17.800
07/24/2001	-6.556	13.300	0.222	18.400	-3.111	40.200
10/19/2001	-2.556	12.700	3.222	13.200	0.889	20.200
02/12/2002	4.444	12.600	-3.778	12.600	-11.111	13.600
04/07/2003	-8.556	13.200	4.222	12.800	-16.111	15.000

CH 50

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
12/07/2000	4.143	13.100	4.429	14.100	-4.429	20.700
01/12/2001	6.143	13.100	-5.571	15.300	8.571	16.100
02/09/2001	7.143	13.000	-1.571	13.300	-5.429	15.500
07/24/2001	-19.857	12.700	2.429	12.900	-9.429	13.700
10/19/2001	-0.857	12.400	4.429	12.500	5.571	13.100
02/12/2002	3.143	12.600	-9.571	12.600	12.571	14.300
04/07/2003	0.143	12.600	5.429	12.600	-7.429	12.800

CH 80

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	-6.556	12.700	-6.556	12.500	7.000	13.000
11/07/2000	5.444	19.700	6.444	27.400	-11.000	55.600
12/07/2000	4.444	13.100	-3.556	14.400	4.000	19.200
01/12/2001	3.444	13.100	1.444	13.300	11.000	15.800
02/09/2001	6.444	15.400	-6.556	15.300	1.000	20.900
07/24/2001	-14.556	13.100	-0.556	13.600	4.000	14.300
10/19/2001	-8.556	12.500	4.444	12.600	-6.000	14.000
02/12/2002	6.444	12.400	-0.556	12.600	-6.000	14.000
04/07/2003	3.444	12.600	5.444	12.600	-4.000	15.500

Sitios colocados en Guarniciones de Banquetas (Valores Δ)

CH 15

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	21.125	12.500	8.750	12.400	-9.375	13.000
12/07/2000	9.125	13.300	-1.250	13.500	-7.375	14.300
01/12/2001	2.125	13.600	-8.250	14.500	2.625	19.500
02/09/2001	-6.875	13.800	-4.250	13.400	27.625	17.900
07/24/2001	-5.875	13.300	6.750	12.600	8.625	15.900
10/19/2001	-8.875	12.600	1.750	12.500	12.625	12.700
02/12/2002	-9.875	12.500	-6.250	12.700	-26.375	12.900
04/07/2003	-0.875	12.400	2.750	12.500	-8.375	13.500

CH 25

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	-4.889	12.900	-3.778	12.500	2.222	14.700
11/07/2000	-1.889	12.800	-1.778	13.700	-5.778	17.500
12/07/2000	4.111	13.100	-3.778	13.500	-2.778	14.400
01/12/2001	-0.889	14.000	0.222	19.700	15.222	38.100
02/09/2001	-2.889	13.600	-0.778	13.300	-3.778	16.200
07/24/2001	2.111	14.300	13.222	12.800	-1.778	15.600
10/19/2001	7.111	12.600	-0.778	12.600	1.222	12.900
02/12/2002	-7.889	12.600	-9.778	13.200	-12.778	13.800
04/07/2003	5.111	12.500	7.222	12.600	8.222	14.100

CH 35

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	-4.750	13.000	-4.750	12.600	-17.875	17.400
12/07/2000	5.250	13.500	4.250	13.200	-3.875	15.600
01/12/2001	4.250	13.200	-3.750	13.200	0.125	16.800
02/09/2001	-1.750	15.200	0.250	14.900	1.125	17.600
07/24/2001	4.250	13.700	2.250	12.700	6.125	16.400
10/19/2001	0.250	12.400	10.250	12.800	21.125	19.400
02/12/2002	-2.750	12.500	-8.750	13.400	-25.875	15.600
04/07/2003	-4.750	12.600	0.250	12.600	19.125	15.100

CH 45

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	1.222	12.500	4.444	12.500	-0.889	13.500
11/07/2000	-5.778	13.700	-3.556	14.000	16.111	14.900
12/07/2000	5.222	13.800	2.444	13.300	0.111	15.300
01/12/2001	5.222	13.100	-7.556	14.000	1.111	20.000
02/09/2001	5.222	14.100	1.444	13.500	16.111	17.000
07/24/2001	-7.778	13.900	3.444	12.800	-23.889	14.800
10/19/2001	-3.778	12.800	-2.556	12.900	-5.889	16.600
02/12/2002	-3.778	12.600	5.444	13.400	-17.889	14.100
04/07/2003	4.222	12.600	-3.556	12.600	15.111	14.800

CH 55

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	9.889	12.500	0.444	12.500	20.778	13.700
11/07/2000	4.889	13.600	-3.556	13.200	28.778	15.000
12/07/2000	-42.111	13.600	-7.556	13.300	-4.222	14.900
01/12/2001	-4.111	13.500	0.444	13.400	6.778	15.900
02/09/2001	28.889	13.600	7.444	14.800	28.778	19.900
07/24/2001	-3.111	12.800	15.444	12.800	-1.222	17.100
10/19/2001	6.889	12.500	3.444	12.600	7.778	14.600
02/12/2002	8.889	12.500	-18.556	14.000	-52.222	16.100
04/07/2003	-10.111	12.900	2.444	12.600	-35.222	15.000

Sitios colocados en Elementos de Contención (Valores Δ)

CH 40

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
11/07/2000	13.500	20.700	-4.000	16.300	14.667	38.000
01/12/2001	-6.500	13.000	-9.000	14.600	-9.333	14.900
07/24/2001	1.500	12.700	-1.000	13.000	7.667	17.700
10/19/2001	3.500	12.400	0.000	12.600	18.667	14.400
02/12/2002	-3.500	12.600	-10.000	12.600	-0.333	13.900
04/07/2003	-8.500	13.400	24.000	12.800	-31.333	13.900

CH 60

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
01/12/2001	10.500	13.200	9.833	16.800	-23.667	18.900
02/09/2001	5.500	13.200	-9.167	13.300	11.333	14.300
07/24/2001	-3.500	12.800	40.833	13.600	-18.667	14.000
10/19/2001	-2.500	12.400	-5.167	12.500	22.333	12.700
02/12/2002	-7.500	12.600	-18.167	12.500	-13.667	14.100
04/07/2003	-2.500	12.700	-18.167	13.100	22.333	16.300

CH 70

FECHA	NORTE (Δ)	e-N	ESTE (Δ)	e-E	VERTICAL (Δ)	e-V
10/03/2000	6.143	12.700	-3.143	12.600	2.714	12.900
12/07/2000	-3.857	14.100	-3.143	13.900	7.714	16.400
01/12/2001	-2.857	13.700	-4.143	13.900	-2.281	17.700
02/09/2001	-8.857	17.500	-7.143	15.800	-5.280	19.300
07/24/2001	-1.857	12.700	13.857	13.200	-9.286	15.100
02/12/2002	-1.857	12.500	-2.143	12.600	-9.286	14.500
04/07/2003	13.143	12.700	5.857	12.600	15.714	14.300

Tabla 12.- La tabla muestra los valores Δ (Delta en milímetros), obtenidos a partir de la diferencia de los valores respecto al primer dato, en sus componentes Norte, Este y Vertical y su respectivo error (e=1 sigma) dado en milímetros.

La tabla no. 11 está compuesta por las siguientes columnas: fecha en que se realizó la campaña; las columnas para las componentes Y –Norte "N", X –Este "E", y Z –Vertical "H" (representadas con unidades de metros); e inmediatamente a la derecha de cada una de las componentes, las columnas con los errores (con unidades de metros) de cada una de las componentes respectivamente, que están denotadas como e-E para el caso del Norte.

En base a los resultados obtenidos, podemos apreciar diferentes variaciones en cada una de las componentes, de las estaciones de la red en el Cerro del Chiquihuite, localizadas en afloramientos de rocas como en elementos de contención y banquetas.

Para las estaciones ubicadas sobre afloramientos de roca (CH10, CH50 y CH80), se puede ver que los movimientos presentados para las estaciones colocados en rocas, no resultan significativos. Aunque cabe señalar que debido a que generalmente el error en la componente vertical siempre tiende a ser mayor, por lo tanto, hay que observar como se dan estos incrementos para el CH10 y el CH30 en la vertical.

Respecto a los colocados sobre elementos de contención, podemos apreciar que para las estaciones CH40 y CH60, son las que presentan mayores variaciones en la componente Vertical; aunque cabe recordar que los mayores errores generalmente se presentan en la componente vertical. Aun así, se puede considerar que la variabilidad no es significativa dado que la que más presenta variaciones es en la estación CH60 (componente Vertical) con una variación de aproximadamente +/- 4.5cm, lo cual no es considerado relevante.

Finalmente, las estaciones ubicadas sobre la zona urbana, la estación CH55 muestra un movimiento considerable en la última campaña en sus tres componentes, lo que hace ver que será necesario tener más seguimiento a mediano plazo de los lugares, para poder determinar con mayor certeza el cambio repentino presentado para esta estación. Los puntos CH15, CH25 y CH45, aunque también se presenta el movimiento en la última estación, la dispersión fue menos significativa, y permaneciendo constante con las ocupaciones anteriores. Y con el sitio CH45 se puede considerar que no sufre movimientos de consideración.

Ahora, para la tabla no. 12, se ubican los valores reales a graficar (sólo para los casos de las componentes, Norte, Este y Vertical), siendo esto la diferencia existente entre cada uno de los valores con respecto al primer valor, obteniendo valores a los cuales se les aplicó una conversión y así obtener valores con dimensión en milímetros. Así mismo, también se ubican las columnas denotadas con e-E que indican el error ($e=1$ sigma), siendo estos valores expresados en milímetros. Y por último, las columnas para el tiempo.

Sitios colocados en Afloramientos de Roca (Coordenadas Geográficas)**CH 10**

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'55.248	99°08'06.638	2377.695	0.013	0.013	0.014
07-12-00	19°31'55.249	99°08'06.639	2377.739	0.022	0.018	0.038
12-01-01	19°31'55.248	99°08'06.638	2377.706	0.014	0.015	0.021
09-02-01	19°31'55.248	99°08'06.638	2377.702	0.013	0.015	0.025
24-07-01	19°31'55.248	99°08'6.6383	2377.697	0.013	0.015	0.025
04-07-03	19°31'55.249	99°08'06.639	2377.735	0.013	0.013	0.017

CH 30

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'41.266	99°08'08.378	2379.988	0.012	0.013	0.017
07-11-00	19°31'41.266	99°08'08.378	2380.006	0.013	0.014	0.019
07-12-00	19°31'41.267	99°08'08.379	2380.015	0.013	0.014	0.017
12-01-01	19°31'41.267	99°08'08.378	2380.019	0.016	0.015	0.019
09-02-01	19°31'41.266	99°08'08.379	2380.002	0.013	0.014	0.018
24-07-01	19°31'41.267	99°08'08.379	2380.015	0.013	0.018	0.040
19-10-01	19°31'41.267	99°08'8.3787	2380.011	0.013	0.013	0.020
12-02-02	19°31'41.266	99°08'08.378	2380.023	0.013	0.013	0.014
04-07-03	19°31'41.267	99°08'08.379	2380.028	0.013	0.012	0.015

CH 50

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
07-12-00	19°31'35.795	99°08'08.723	2370.684	0.013	0.014	0.020
12-01-01	19°31'35.795	99°08'08.722	2370.671	0.013	0.015	0.016
09-02-01	19°31'35.795	99°08'08.723	2370.685	0.013	0.013	0.016
24-07-01	19°31'35.796	99°08'08.723	2370.689	0.012	0.012	0.013
19-10-01	19°31'35.795	99°08'08.723	2370.674	0.012	0.013	0.013
12-02-02	19°31'35.795	99°08'08.722	2370.667	0.013	0.013	0.014
04-07-03	19°31'35.795	99°08'08.723	2370.687	0.012	0.012	0.012

CH 80

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.249	0.013	0.013	0.013
07-11-00	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.267	0.020	0.027	0.056
07-12-00	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.252	0.013	0.014	0.019
12-01-01	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.245	0.013	0.013	0.016
09-02-01	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.255	0.015	0.015	0.021
24-07-01	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.252	0.013	0.014	0.014
19-10-01	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.262	0.013	0.013	0.014
12-02-02	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.262	0.012	0.013	0.014
04-07-03	19°31'30.837	99°08'06.169	2363.260	0.013	0.013	0.016

Sitios colocados en Guarniciones de Banquetas (Coordenadas Geográficas)**CH 15**

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'59.351	99°08'13.178	2322.146	0.013	0.012	0.013
07-12-00	19°31'59.352	99°08'13.178	2322.144	0.013	0.014	0.014
12-01-01	19°31'59.352	99°08'13.178	2322.134	0.014	0.015	0.020
09-02-01	19°31'59.352	99°08'13.178	2322.109	0.014	0.013	0.018
24-07-01	19°31'59.352	99°08'13.178	2322.128	0.013	0.013	0.017
19-10-01	19°31'59.352	99°08'13.178	2322.124	0.013	0.013	0.013
12-02-02	19°31'59.352	99°08'13.178	2322.163	0.013	0.013	0.013
04-07-03	19°31'59.352	99°08'13.178	2322.145	0.012	0.013	0.014

CH 25

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'51.789	99°08'13.623	2319.572	0.013	0.013	0.015
07-12-00	19°31'51.789	99°08'13.623	2319.577	0.013	0.014	0.014
12-01-01	19°31'51.789	99°08'13.623	2319.559	0.014	0.020	0.038
09-02-01	19°31'51.789	99°08'13.623	2319.578	0.014	0.013	0.016
24-07-01	19°31'51.789	99°08'13.624	2319.576	0.014	0.013	0.015
19-10-01	19°31'51.789	99°08'13.623	2319.573	0.013	0.013	0.013
12-02-02	19°31'51.789	99°08'13.623	2319.587	0.013	0.013	0.014
04-07-03	19°31'51.789	99°08'13.623	2319.566	0.013	0.013	0.014

CH 35

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'46.196	99°08'13.569	2312.240	0.013	0.013	0.017
07-12-00	19°31'46.196	99°08'13.570	2312.226	0.013	0.013	0.015
12-01-01	19°31'46.196	99°08'13.569	2312.222	0.013	0.013	0.017
09-02-01	19°31'46.196	99°08'13.569	2312.221	0.015	0.015	0.018
24-07-01	19°31'46.196	99°08'13.569	2312.216	0.013	0.012	0.016
19-10-01	19°31'46.196	99°08'13.570	2312.201	0.012	0.013	0.019
12-02-02	19°31'46.196	99°08'13.569	2312.248	0.013	0.013	0.016
04-07-03	19°31'46.196	99°08'13.569	2312.203	0.012	0.012	0.015

CH 45

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'36.926	99°08'13.136	2318.900	0.013	0.013	0.014
07-11-00	19°31'36.926	99°08'13.135	2318.883	0.013	0.014	0.014
07-12-00	19°31'36.925	99°08'13.136	2318.899	0.013	0.013	0.015
12-01-01	19°31'36.925	99°08'13.135	2318.898	0.013	0.014	0.020
09-02-01	19°31'36.925	99°08'13.135	2318.883	0.014	0.014	0.017
24-07-01	19°31'36.926	99°08'13.136	2318.923	0.014	0.012	0.015
19-10-01	19°31'36.926	99°08'13.135	2318.905	0.013	0.013	0.017
12-02-02	19°31'36.926	99°08'13.136	2318.917	0.013	0.013	0.014
04-07-03	19°31'36.925	99°08'13.135	2318.884	0.012	0.012	0.014

CH 55

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'49.107	99°08'22.748	2259.394	0.013	0.013	0.014
07-11-00	19°31'49.107	99°08'22.748	2259.386	0.013	0.013	0.015
07-12-00	19°31'49.109	99°08'22.748	2259.419	0.013	0.013	0.014
12-02-01	19°31'49.108	99°08'22.748	2259.408	0.014	0.013	0.016
09-02-01	19°31'49.107	99°08'22.748	2259.386	0.014	0.015	0.020
24-07-01	19°31'49.108	99°08'22.749	2259.416	0.013	0.012	0.015
19-10-01	19°31'49.107	99°08'22.748	2259.407	0.013	0.013	0.015
12-02-02	19°31'49.107	99°08'22.747	2259.467	0.013	0.014	0.016
04-07-03	19°31'49.108	99°08'22.748	2259.450	0.012	0.012	0.015

Sitios colocados en Elementos de Contención (Coordenadas Geográficas)

CH 40

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
07-11-00	19°31'36.589	99°08'09.584	2361.057	0.020	0.016	0.038
12-01-01	19°31'36.589	99°08'09.584	2361.081	0.013	0.015	0.015
24-07-01	19°31'36.589	99°08'09.584	2361.064	0.012	0.013	0.017
19-10-01	19°31'36.589	99°08'09.584	2361.053	0.012	0.013	0.014
12-02-02	19°31'36.589	99°08'09.584	2361.072	0.013	0.013	0.014
04-07-03	19°31'36.590	99°08'09.585	2361.103	0.013	0.012	0.013

CH 60

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
12-01-01	19°31'33.276	99°08'05.727	2393.536	0.013	0.017	0.019
09-02-01	19°31'33.276	99°08'05.727	2393.501	0.013	0.013	0.014
24-07-01	19°31'33.277	99°08'05.728	2393.531	0.012	0.013	0.014
19-10-01	19°31'33.277	99°08'05.727	2393.490	0.012	0.013	0.013
12-02-02	19°31'33.277	99°08'05.726	2393.526	0.013	0.013	0.014
04-07-03	19°31'33.277	99°08'05.726	2393.490	0.012	0.013	0.016

CH 70

FECHA	LATITUD	LONGITUD	VERTICAL	e-Lat	e-Lon	e-V
03-10-00	19°31'31.987	99°08'07.148	2360.964	0.013	0.013	0.013
07-12-00	19°31'31.988	99°08'07.149	2360.959	0.014	0.013	0.016
12-01-01	19°31'31.988	99°08'07.149	2360.969	0.014	0.014	0.018
09-02-01	19°31'31.988	99°08'07.149	2360.972	0.018	0.016	0.019
24-07-01	19°31'31.988	99°08'07.149	2360.976	0.012	0.013	0.015
12-02-02	19°31'31.988	99°08'07.149	2360.976	0.013	0.013	0.015
04-07-03	19°31'31.987	99°08'07.149	2360.951	0.012	0.012	0.014

Tabla 13.- La tabla muestra los valores obtenidos a, en sus componentes Latitud, Longitud y Vertical, con su respectivo error (e=1 sigma) dado en metros.

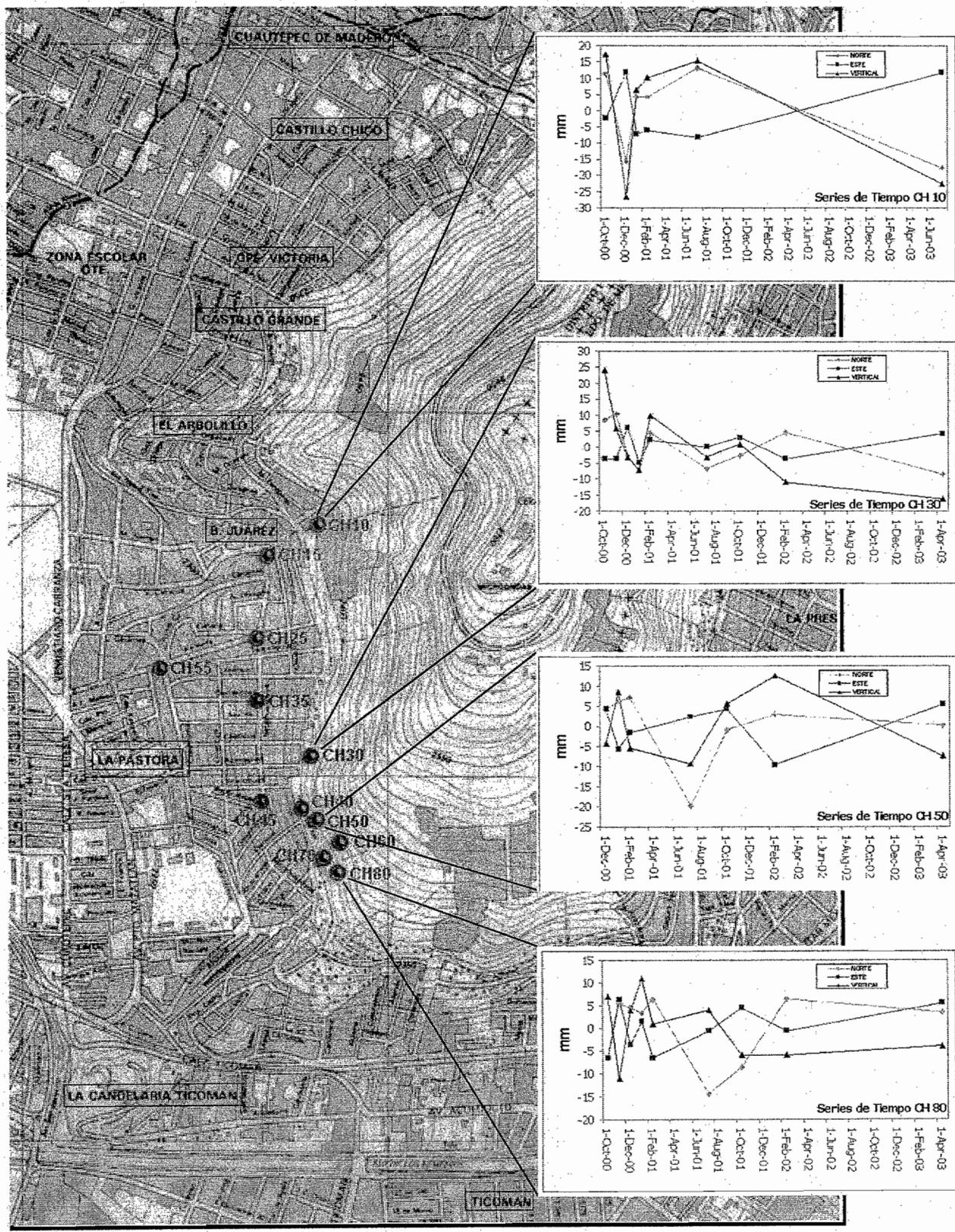
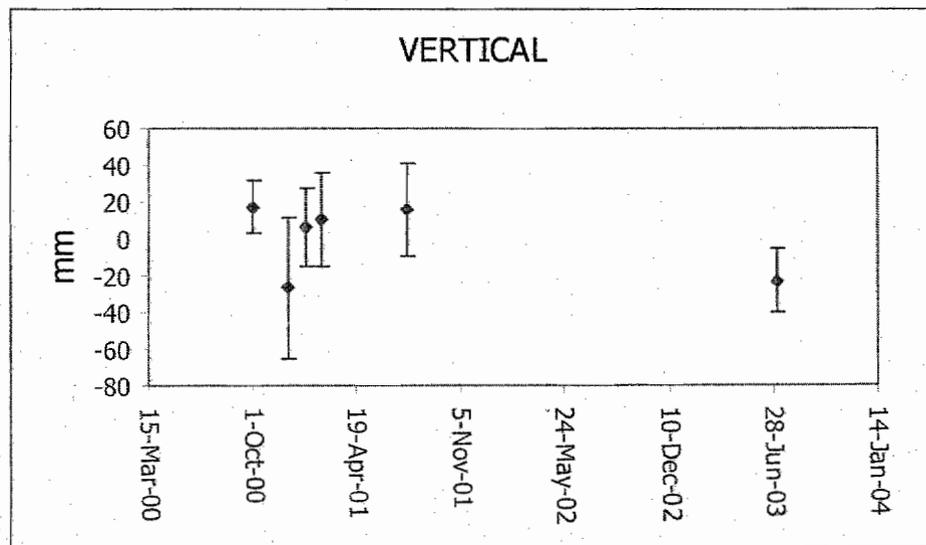
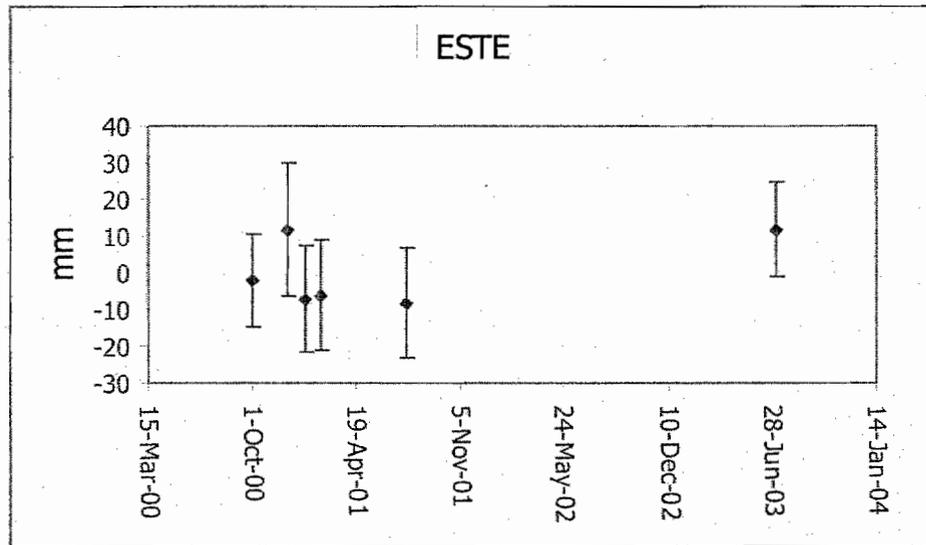
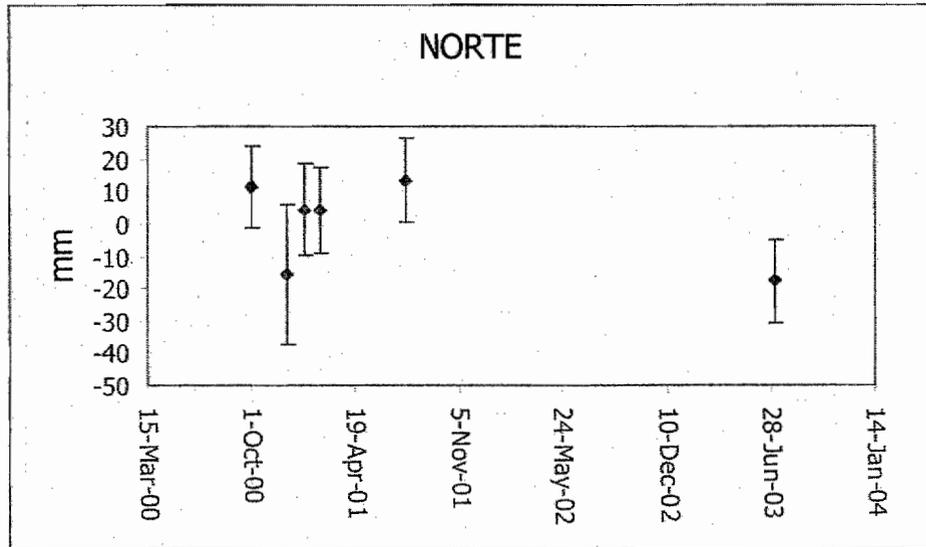
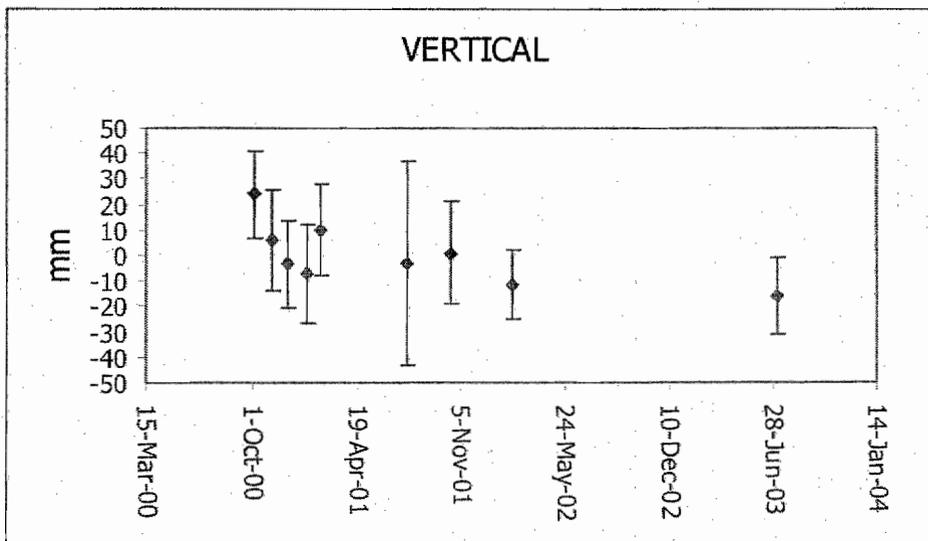
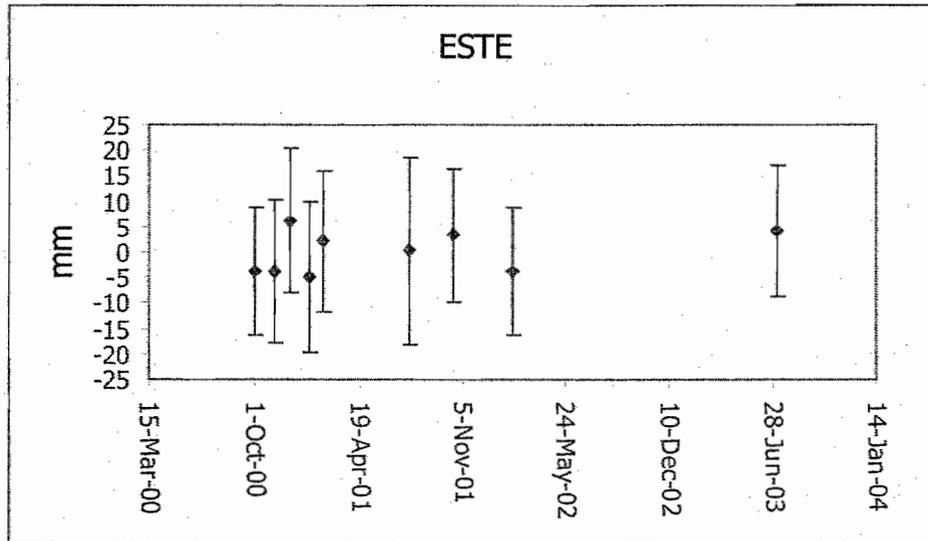
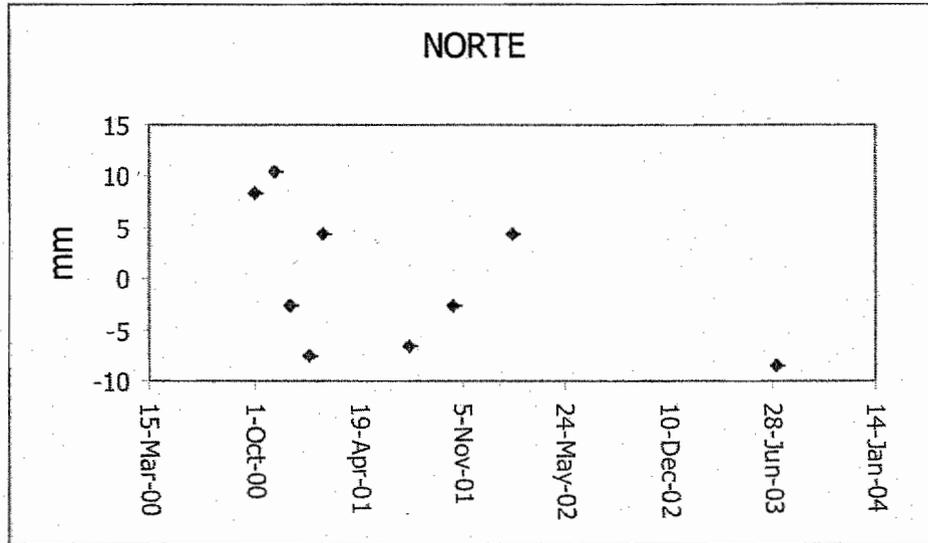


Figura No. 23.- Estaciones ubicadas sobre roca.

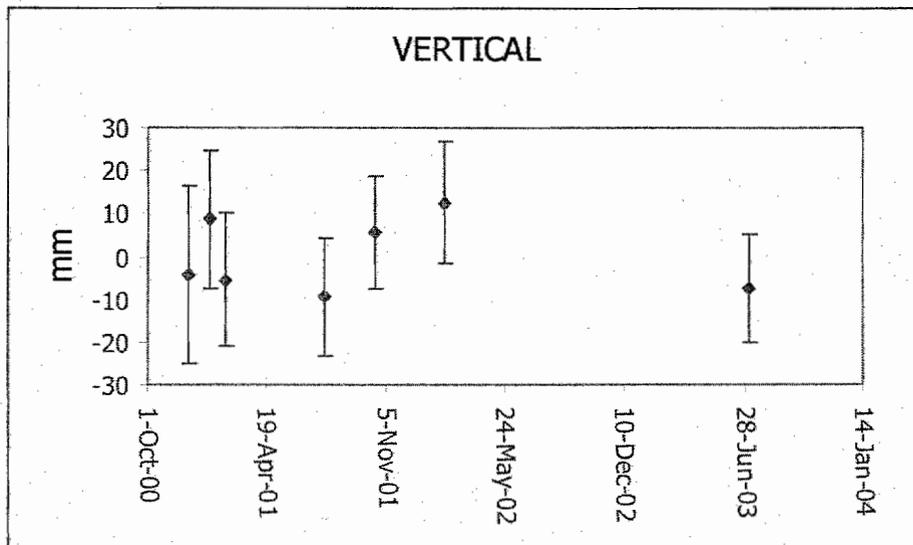
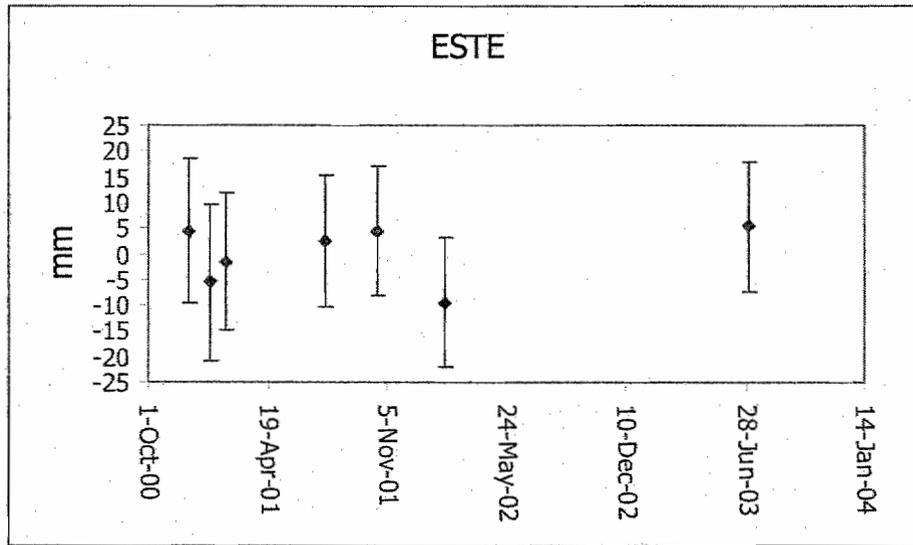
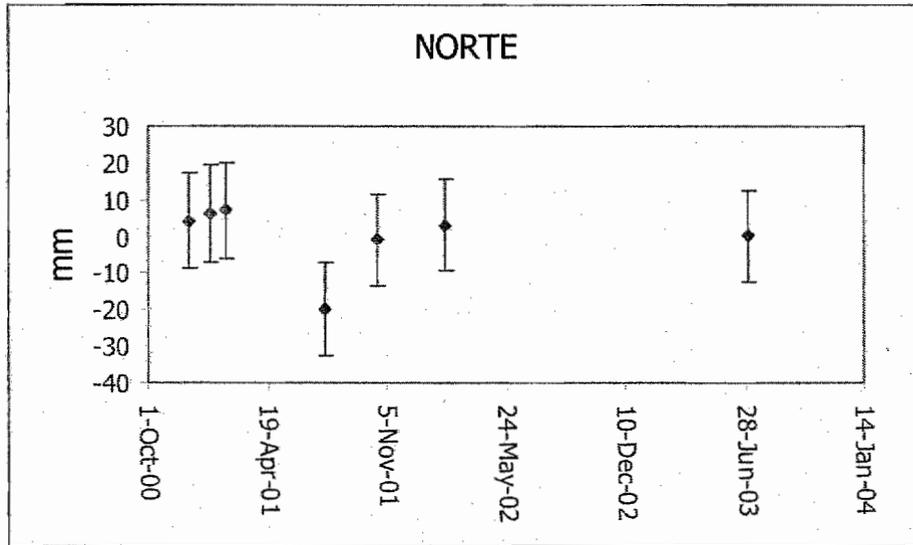
**CH10
ROCA**



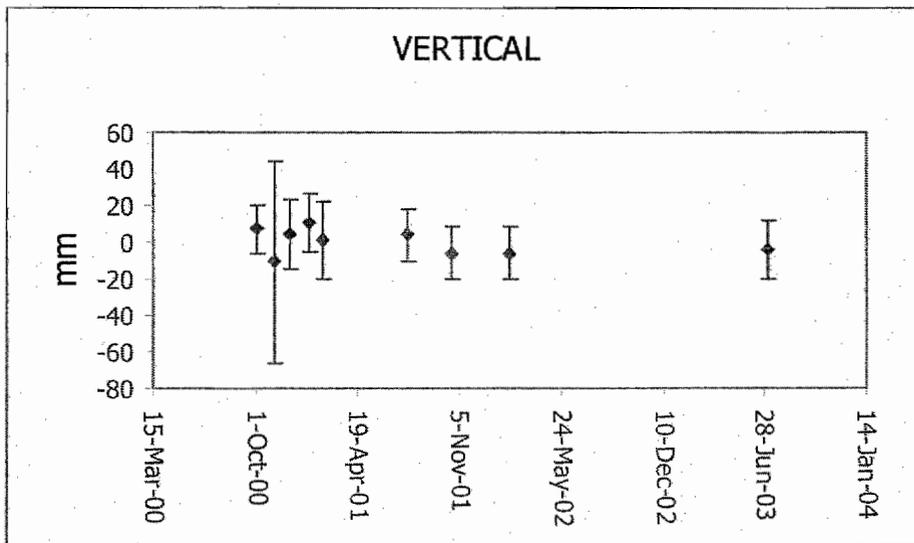
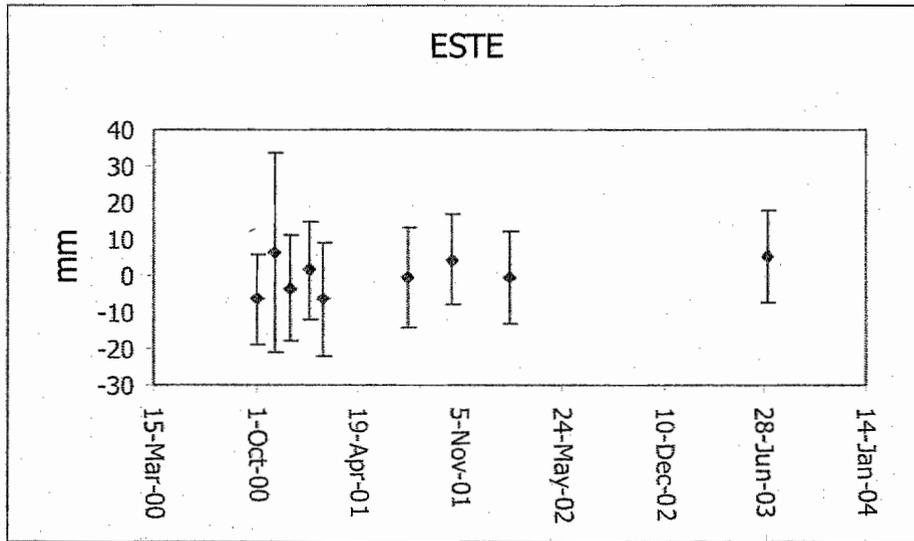
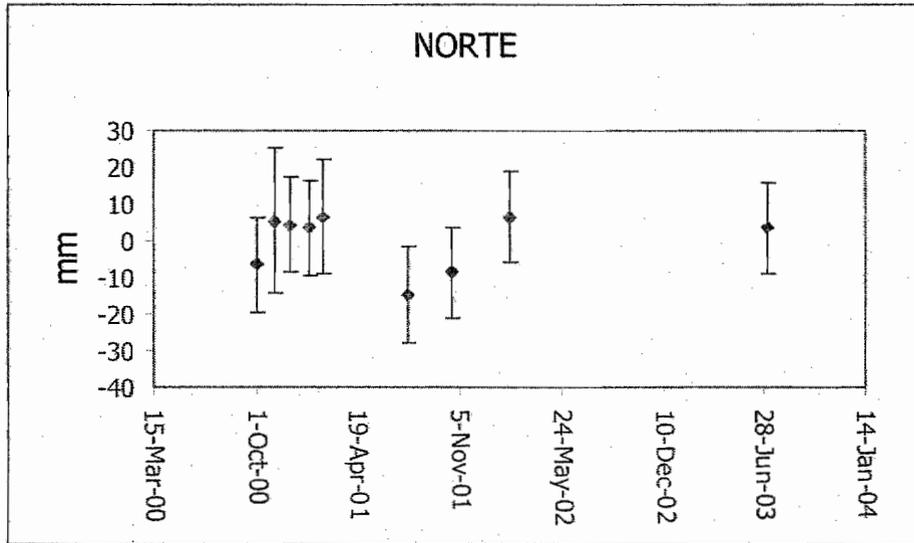
**CH 30
ROCA**

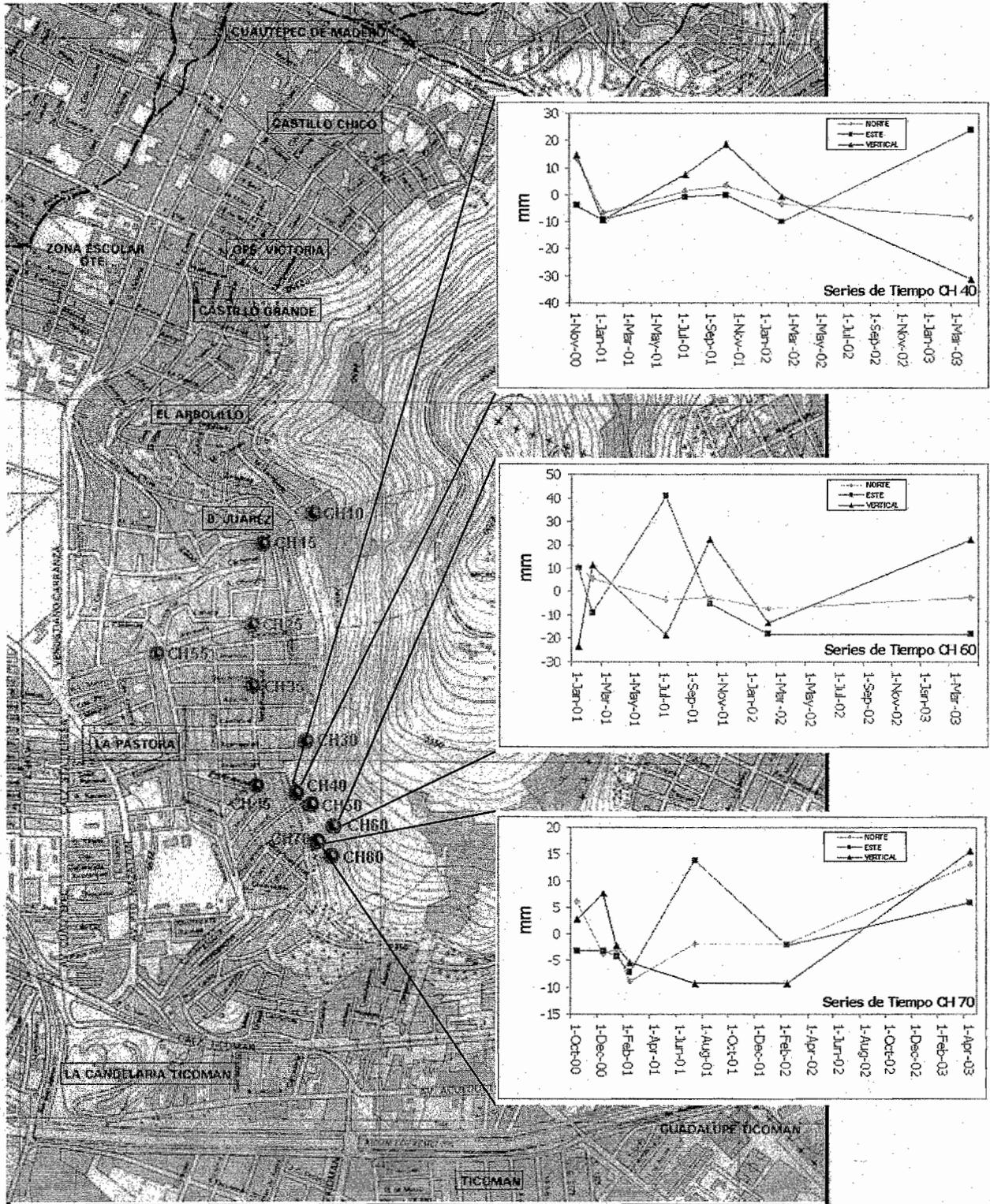


**CH50
ROCA**

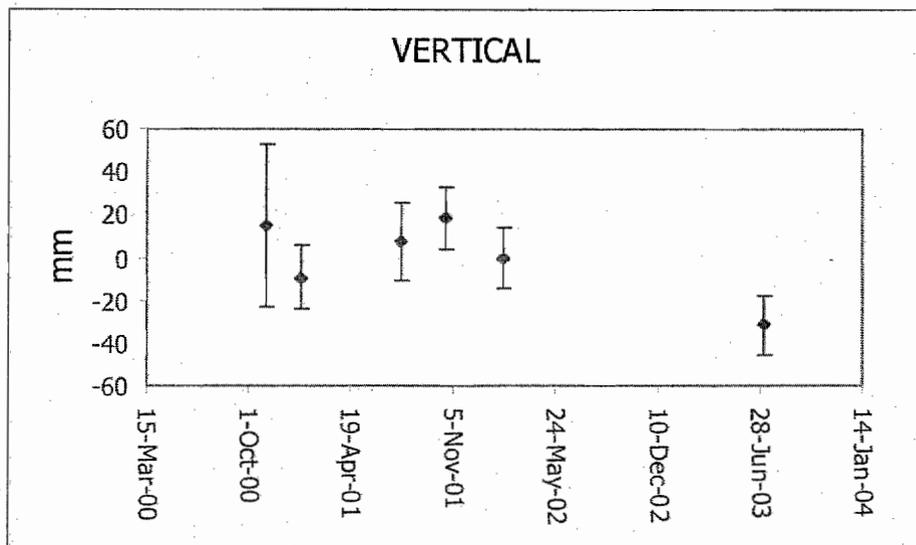
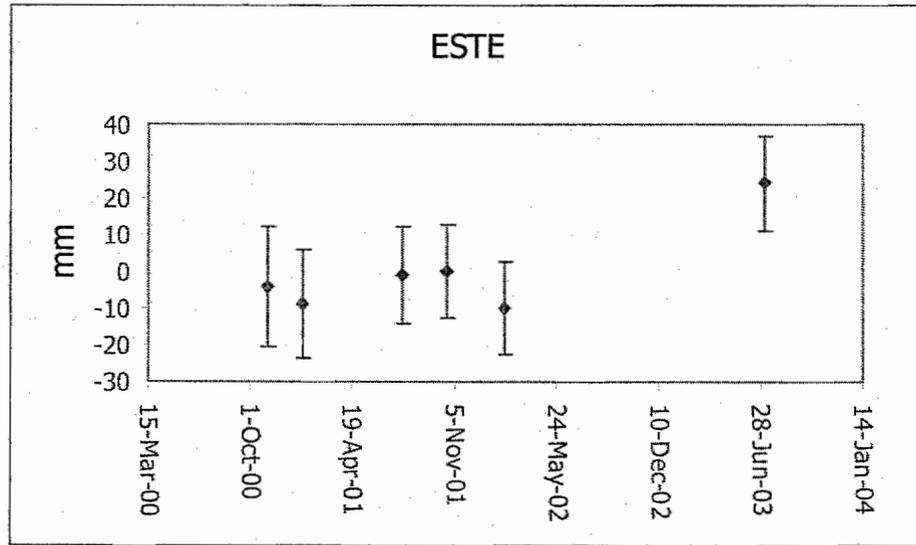
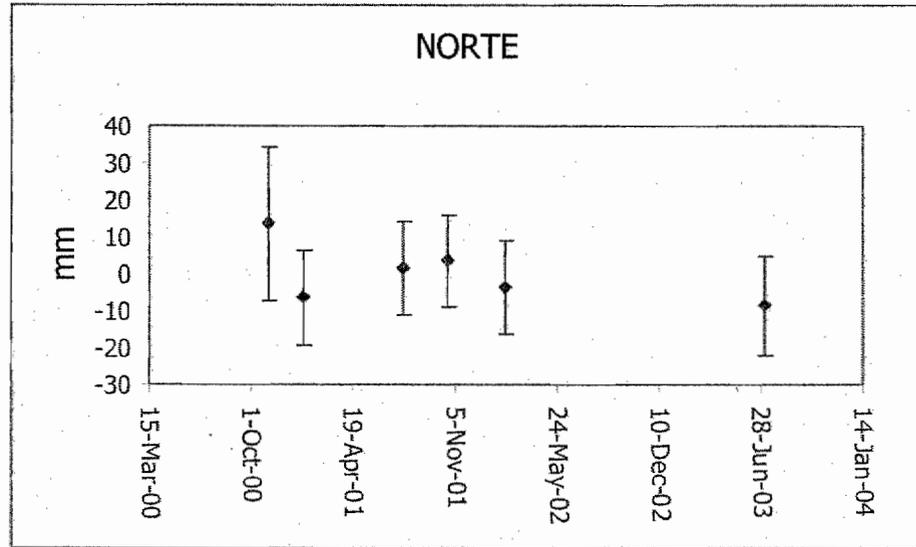


**CH80
ROCA**

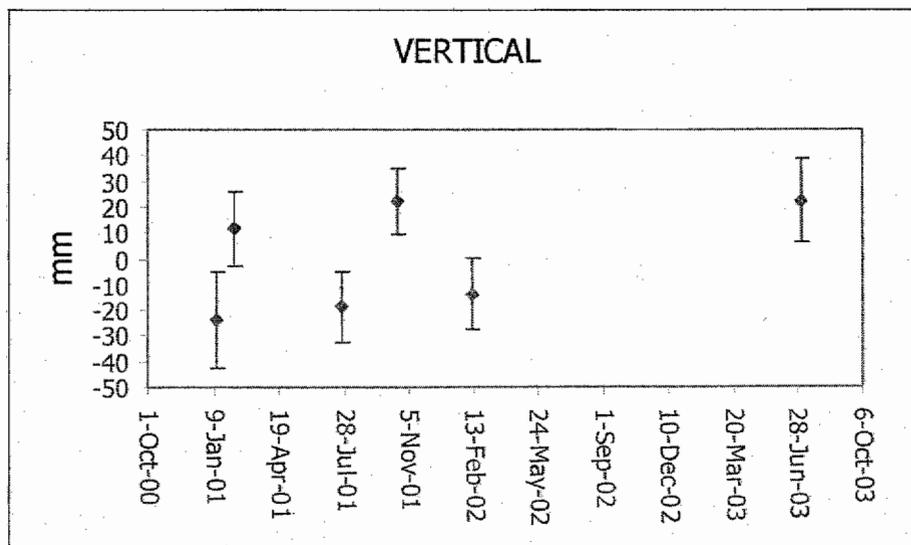
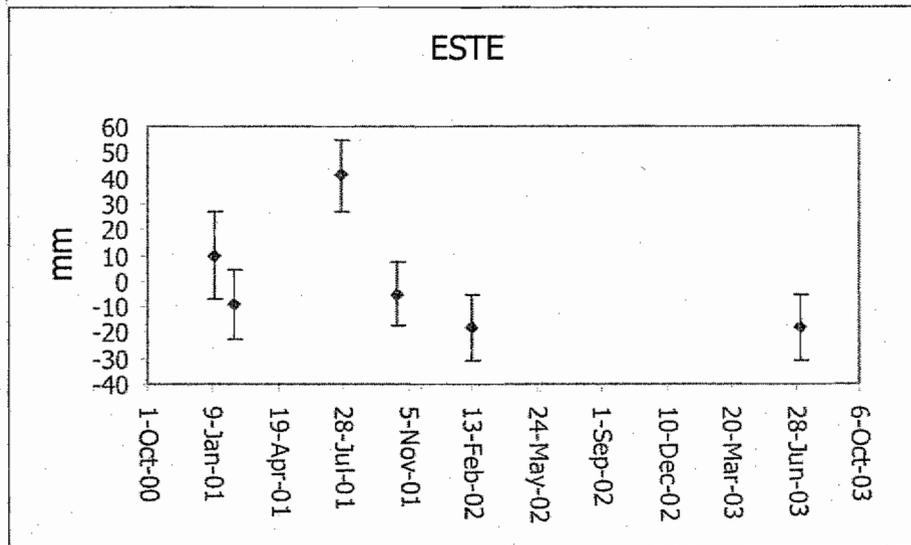
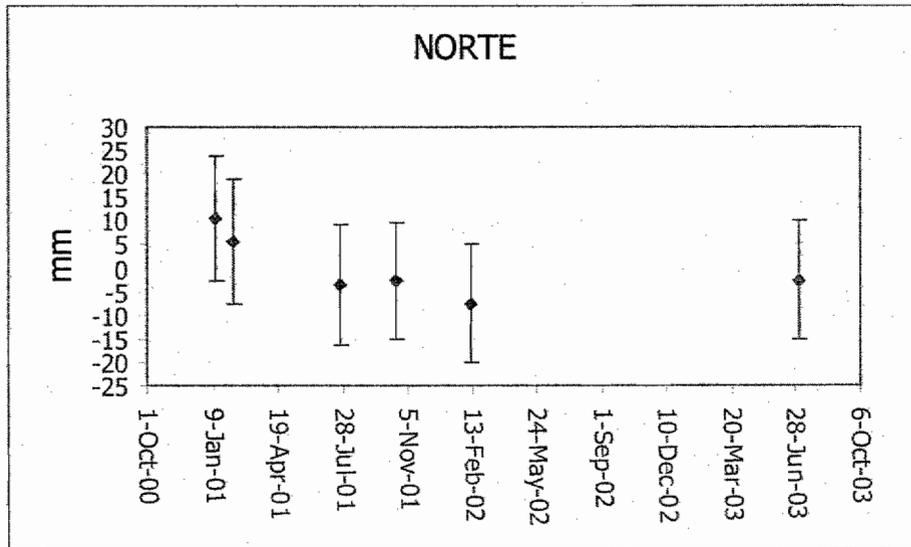




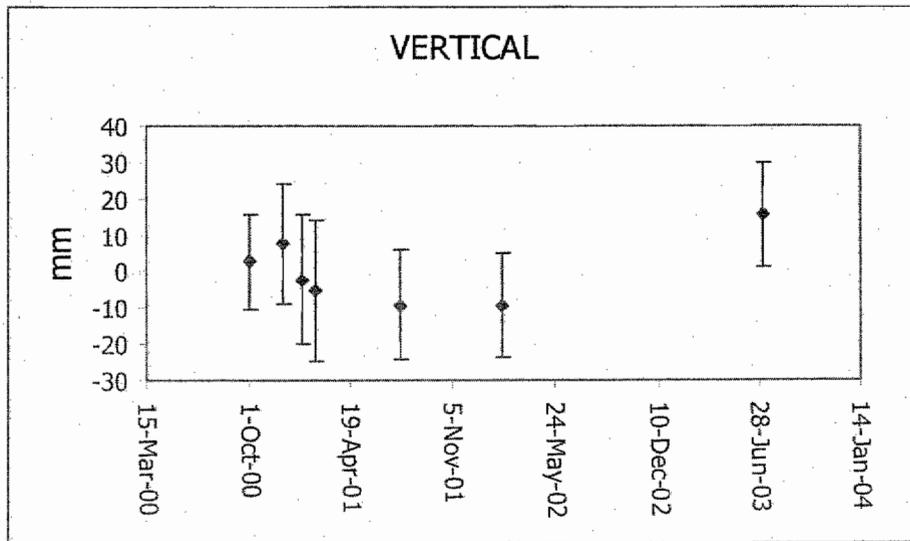
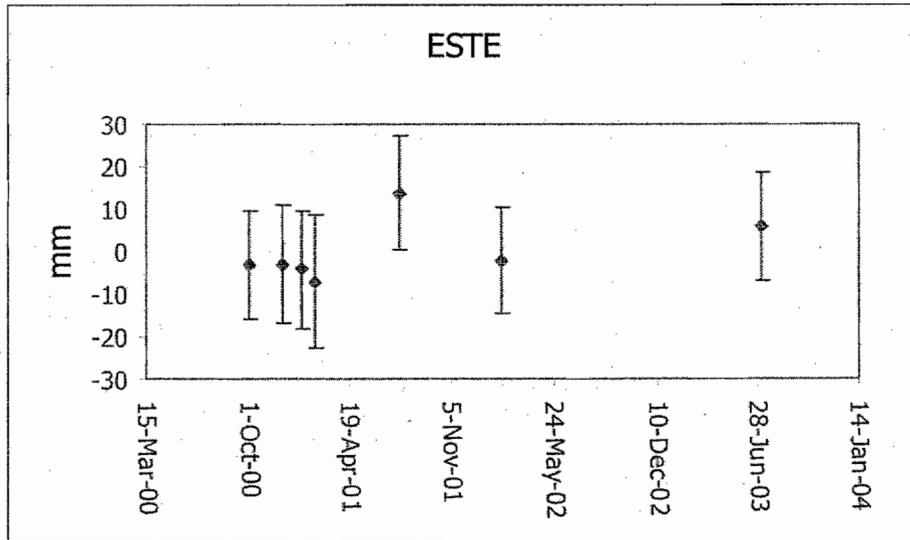
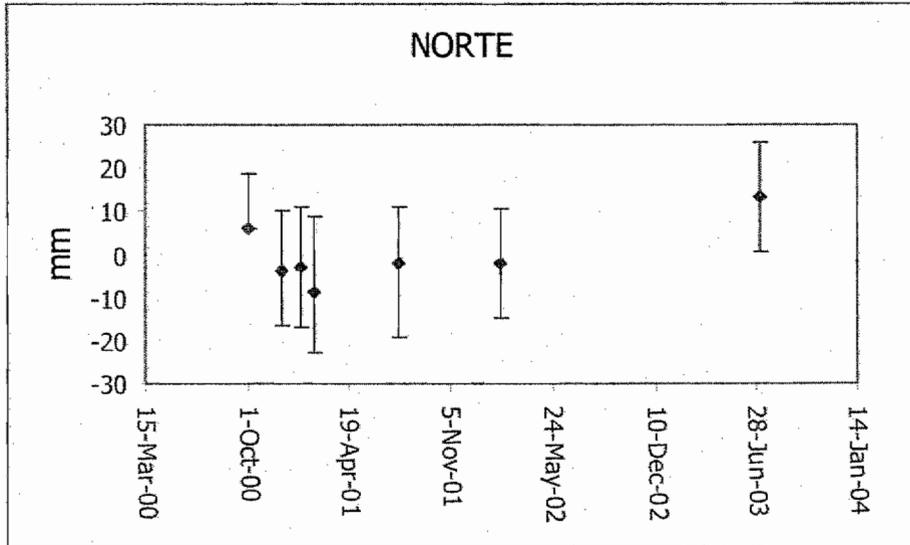
CH40
ELEMENTOS
DE
CONTENCION



CH60
ELEMENTOS
DE
CONTENCION



CH70
ELEMENTOS
DE
CONTENCION



Análisis de Zonas de Peligro por Inestabilidad de Talud en el Cerro del Chiquihuite, D.F. Mediante Técnicas de GPS

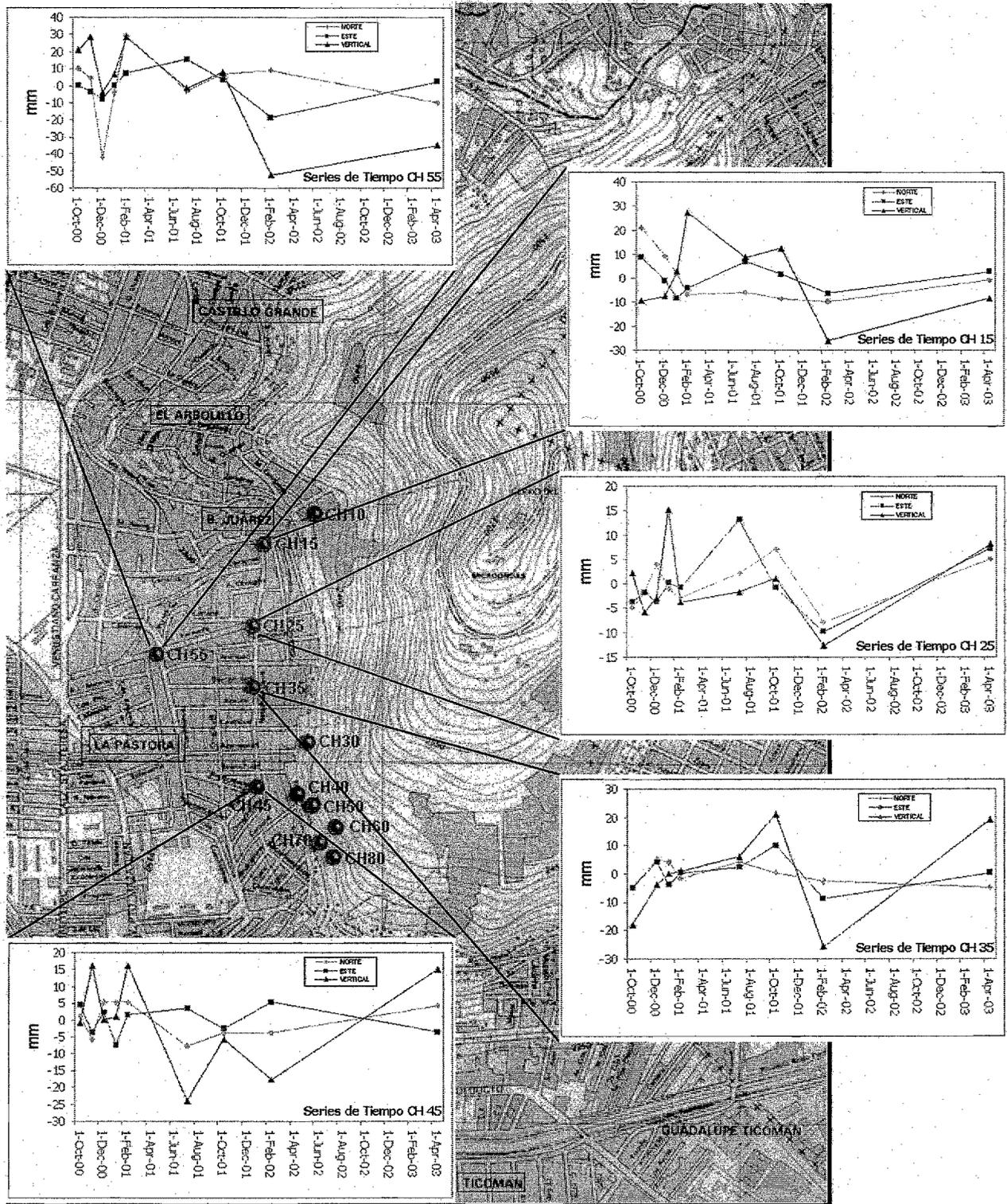
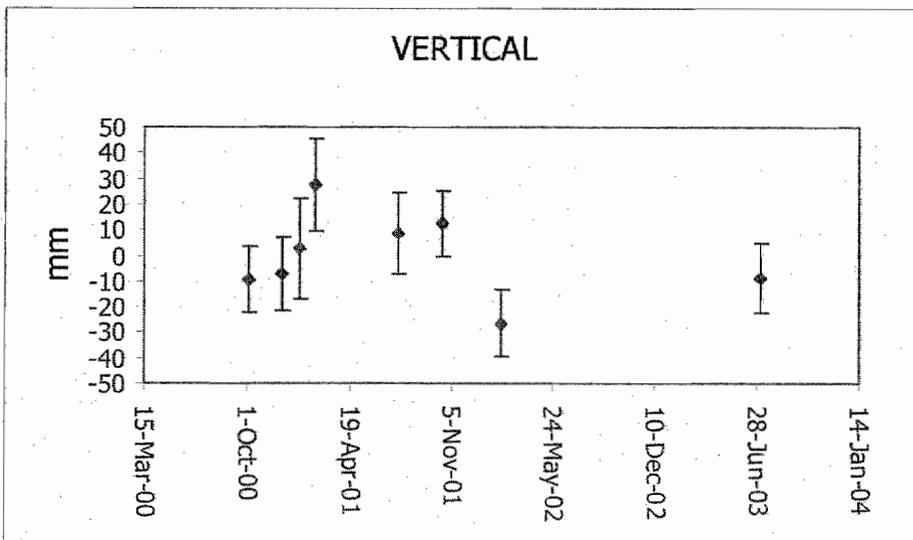
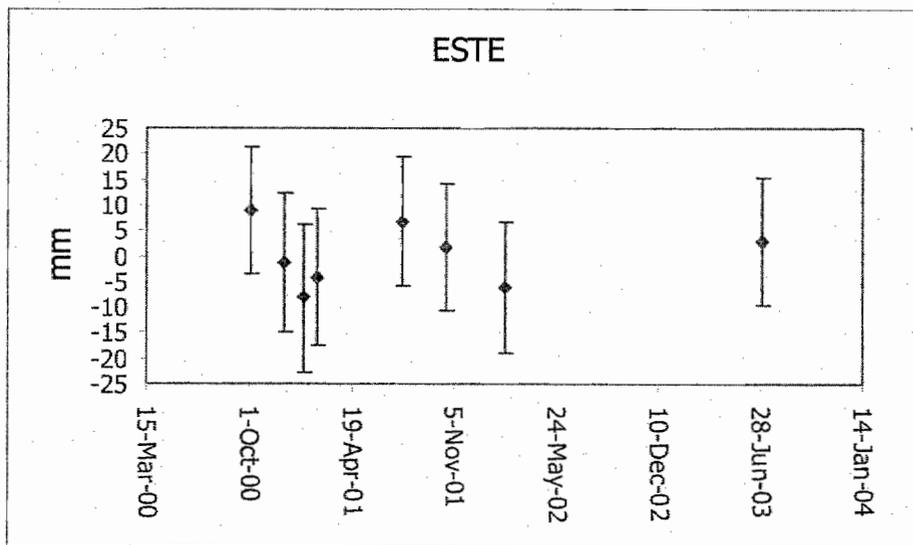
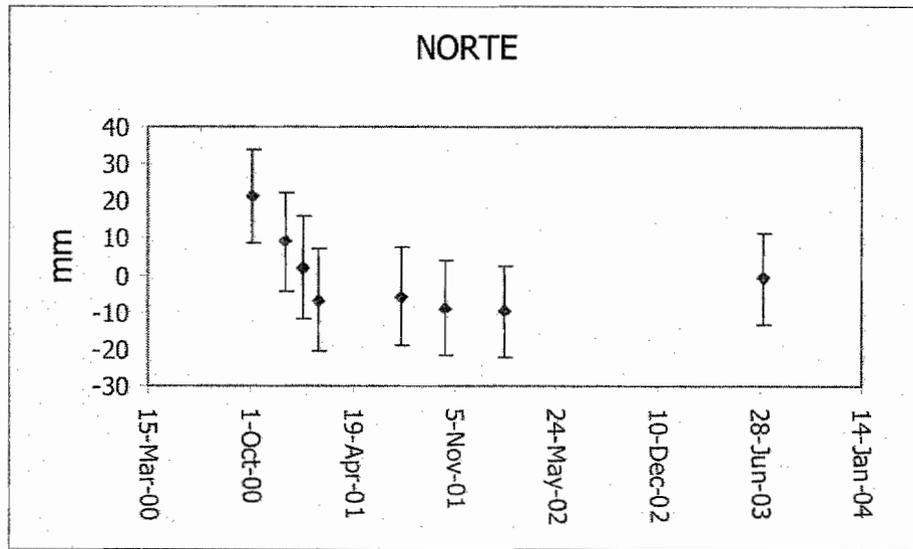
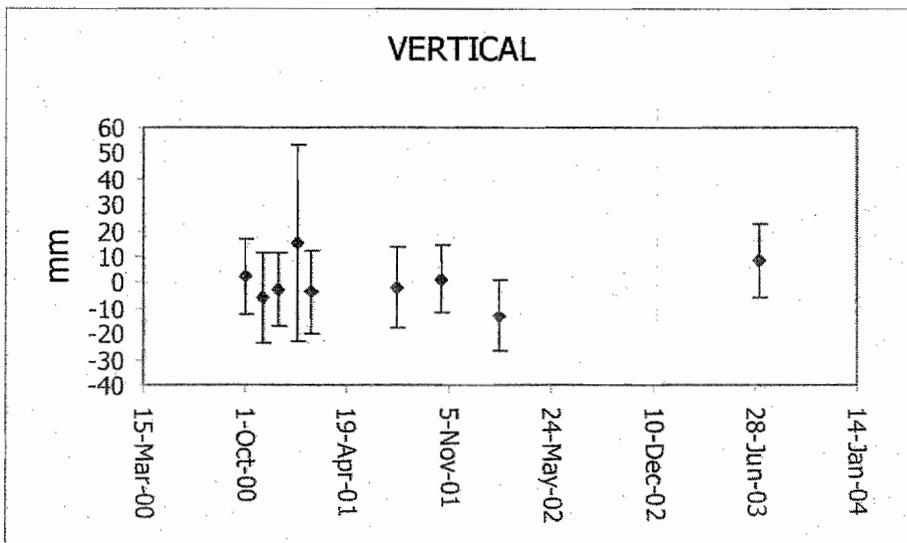
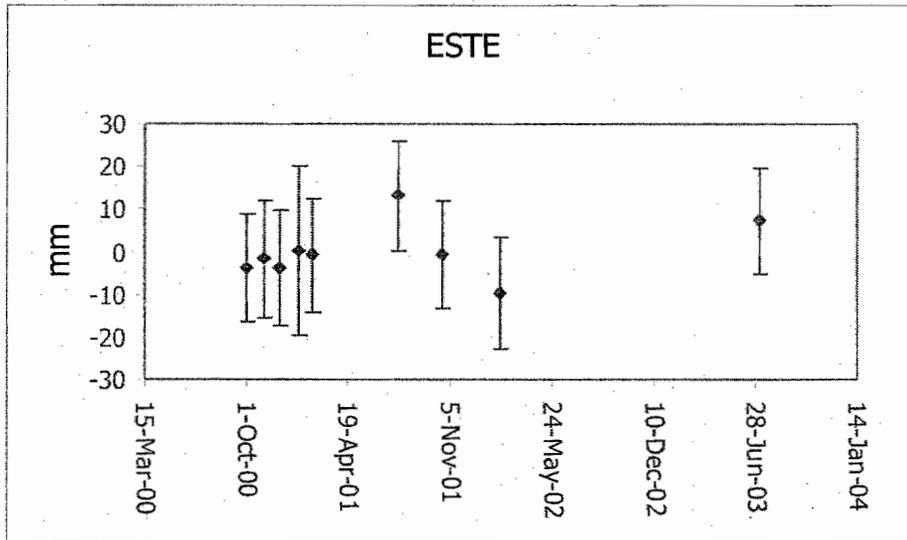
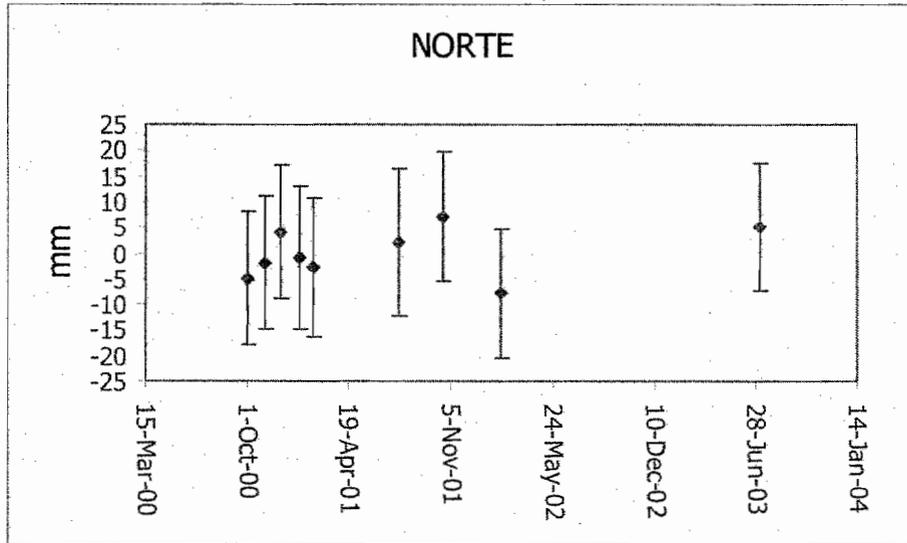


Figura No. 31.- Estaciones ubicadas en obras urbanas (banquetas) de la Col. La Pastora.

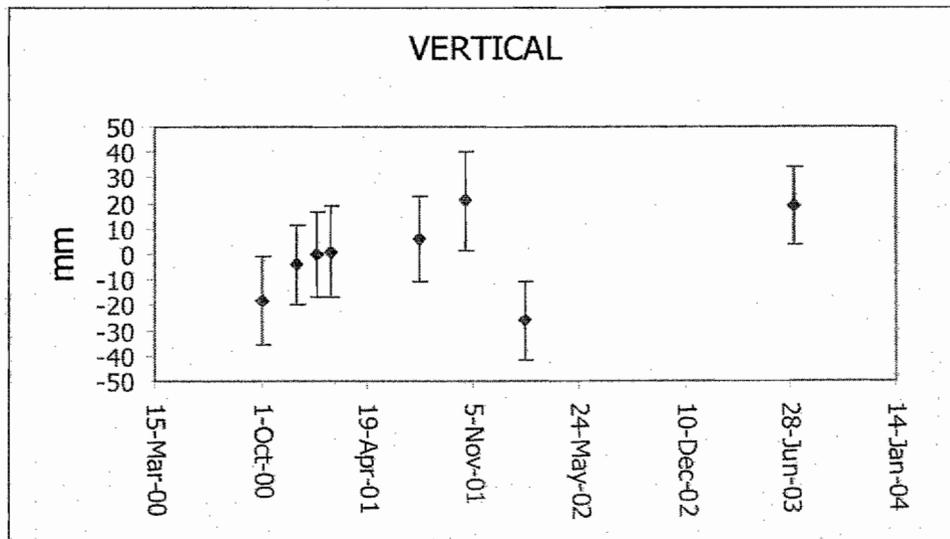
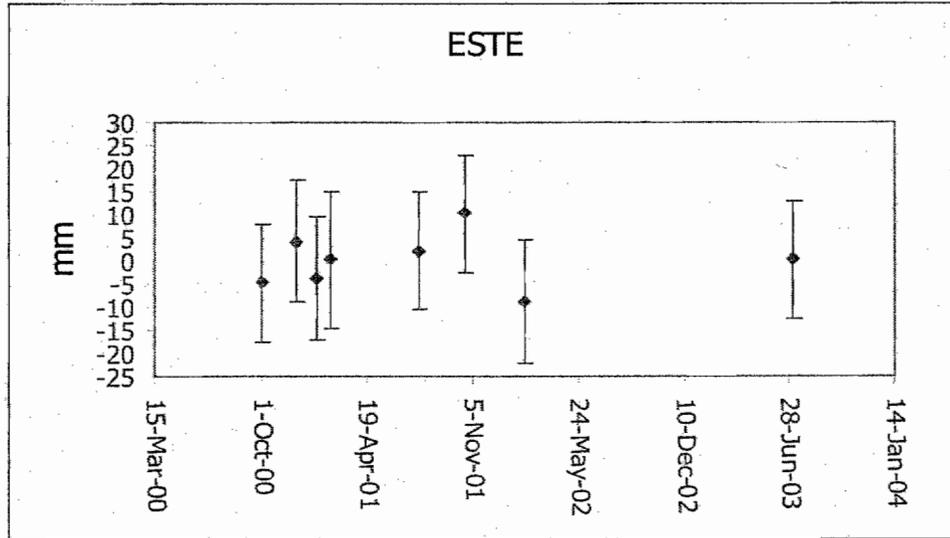
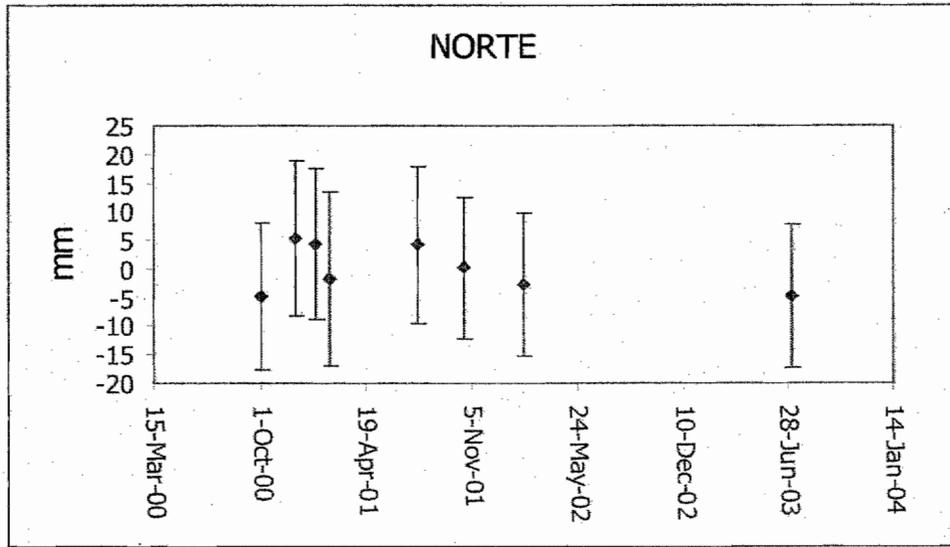
CH15
EN
BANQUETAS
SOBRE
RED
DE
CALLES



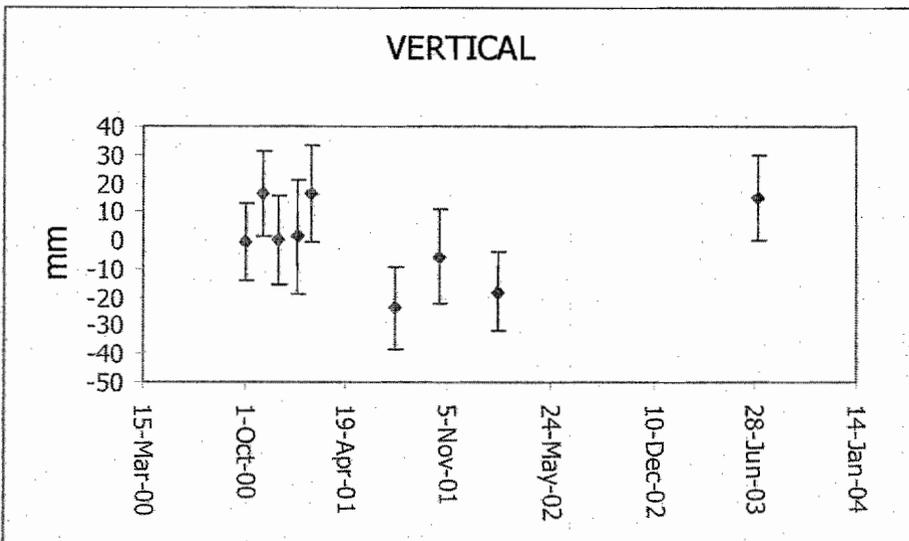
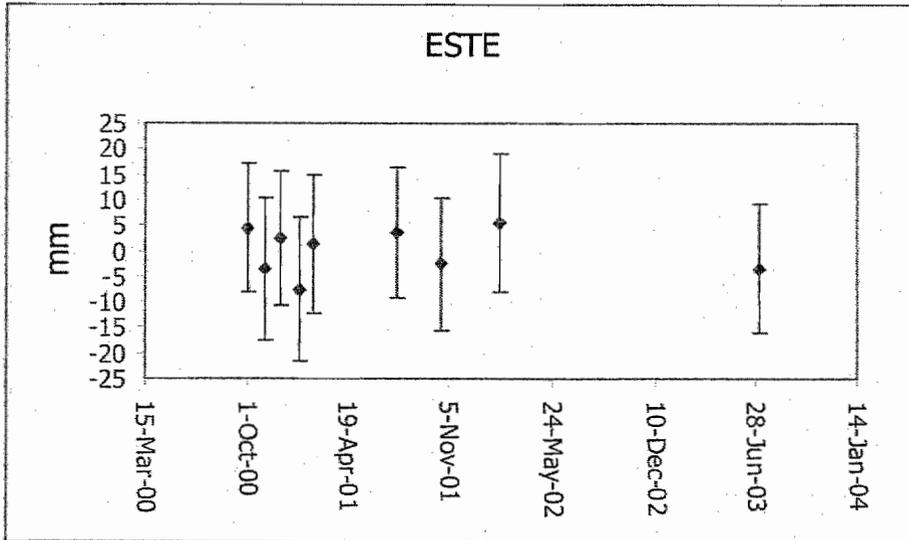
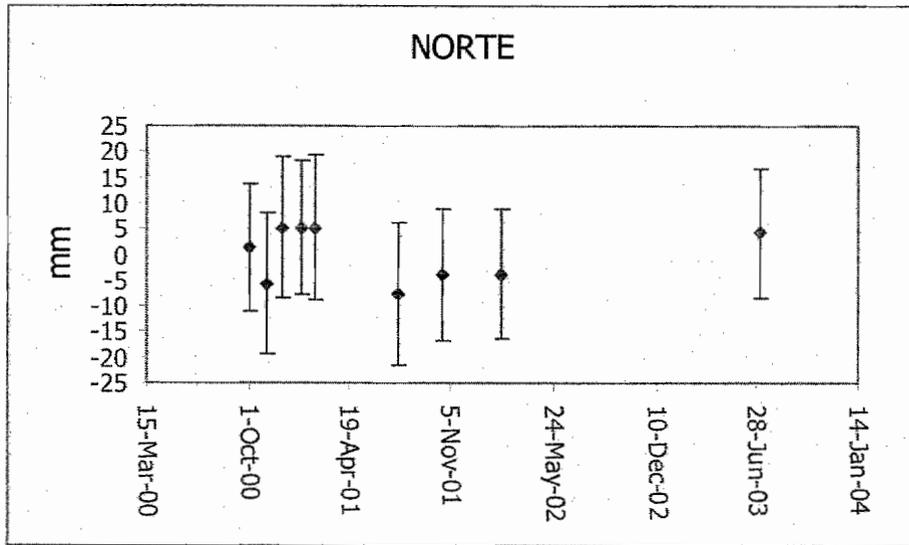
CH25
EN
BANQUETAS
SOBRE
RED
DE
CALLES



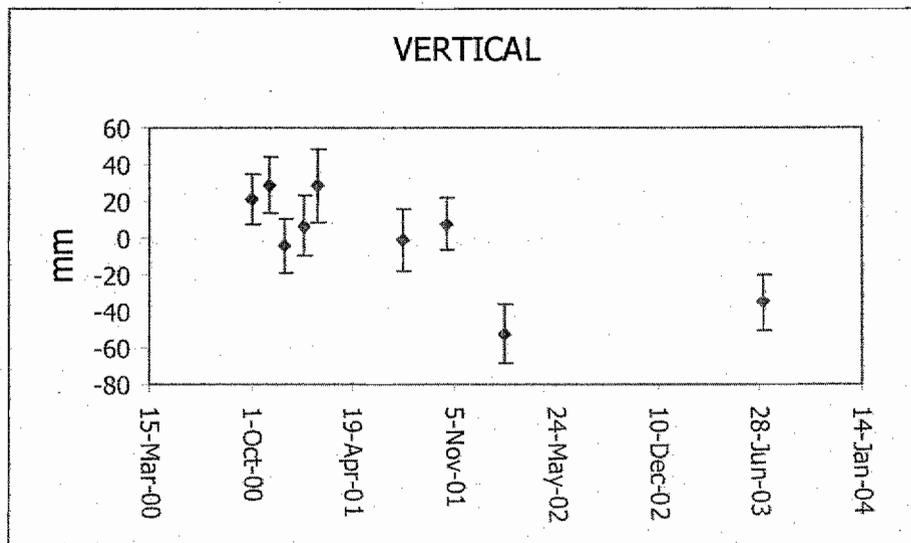
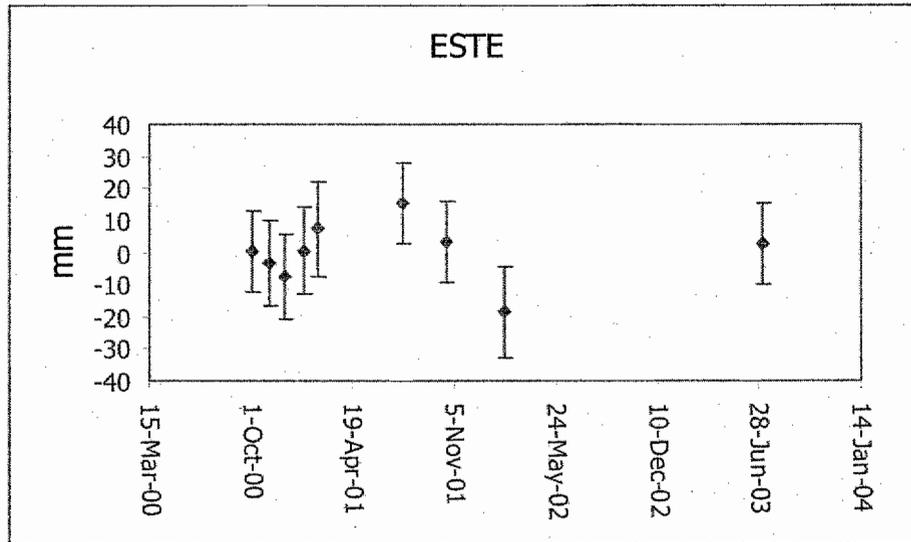
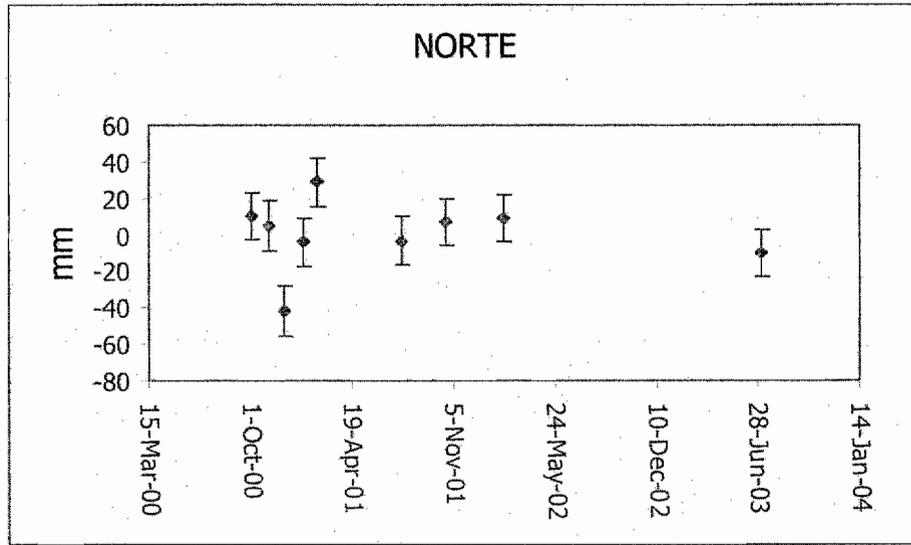
CH35
EN
BANQUETAS
SOBRE
RED
DE
CALLES



CH45
EN
BANQUETAS
SOBRE
RED
DE
CALLES



CH55
EN
BANQUETAS
SOBRE
RED
DE
CALLES



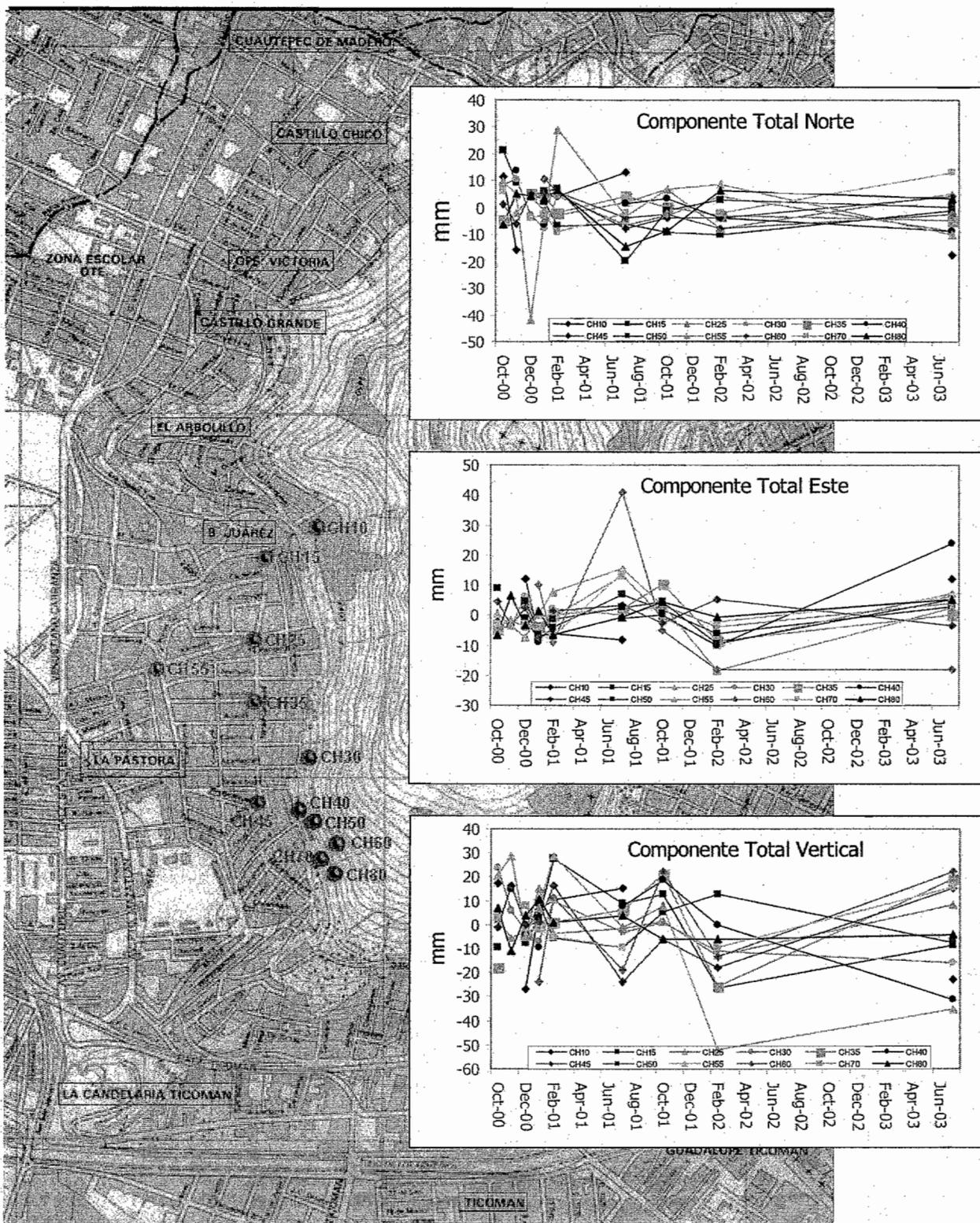


Figura No. 26.- Gráficas totales para cada uno de los puntos , separados en componentes Norte, Este y Vertical, ubicados en la Colonia La Pastora.

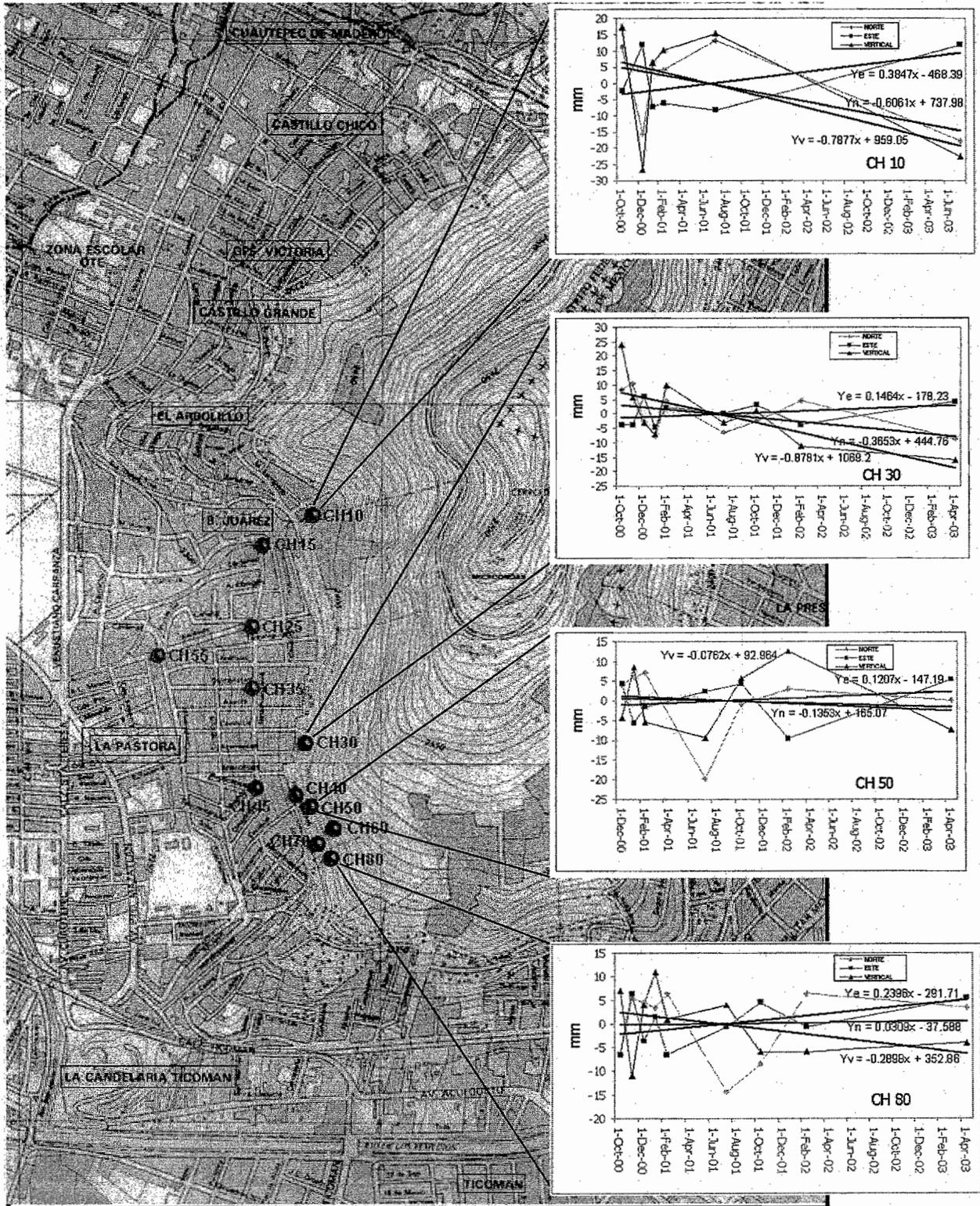


Figura No. 27.- Series de tiempo en los sitios CH10, CH30, CH50, CH80, separados en componentes Norte, Este y Vertical, ubicados en afloramientos de roca.

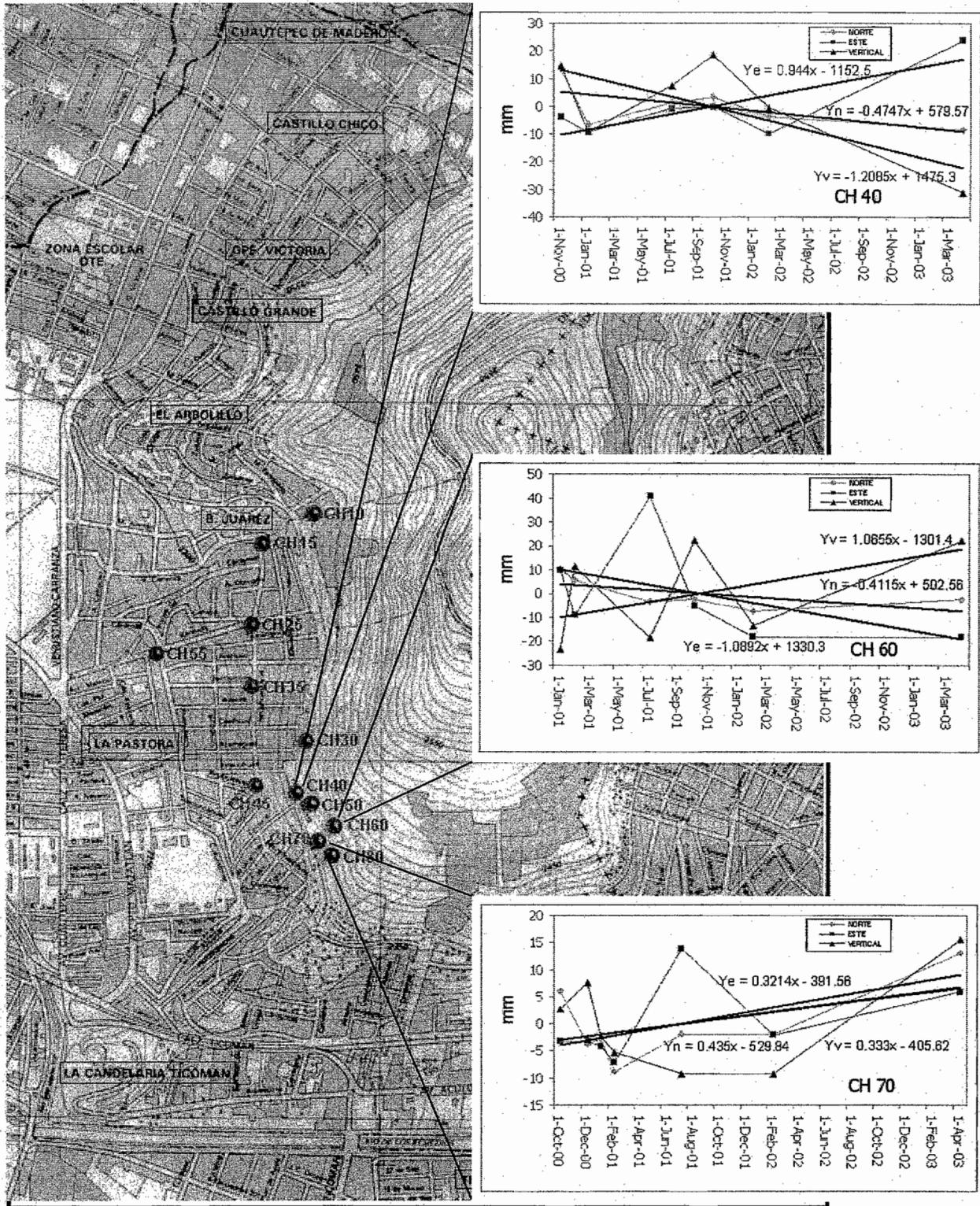


Figura No. 28.- Series de tiempo para los puntos CH40, CH60, CH70, separados en componentes Norte, Este y Vertical, ubicados en elementos de contención.

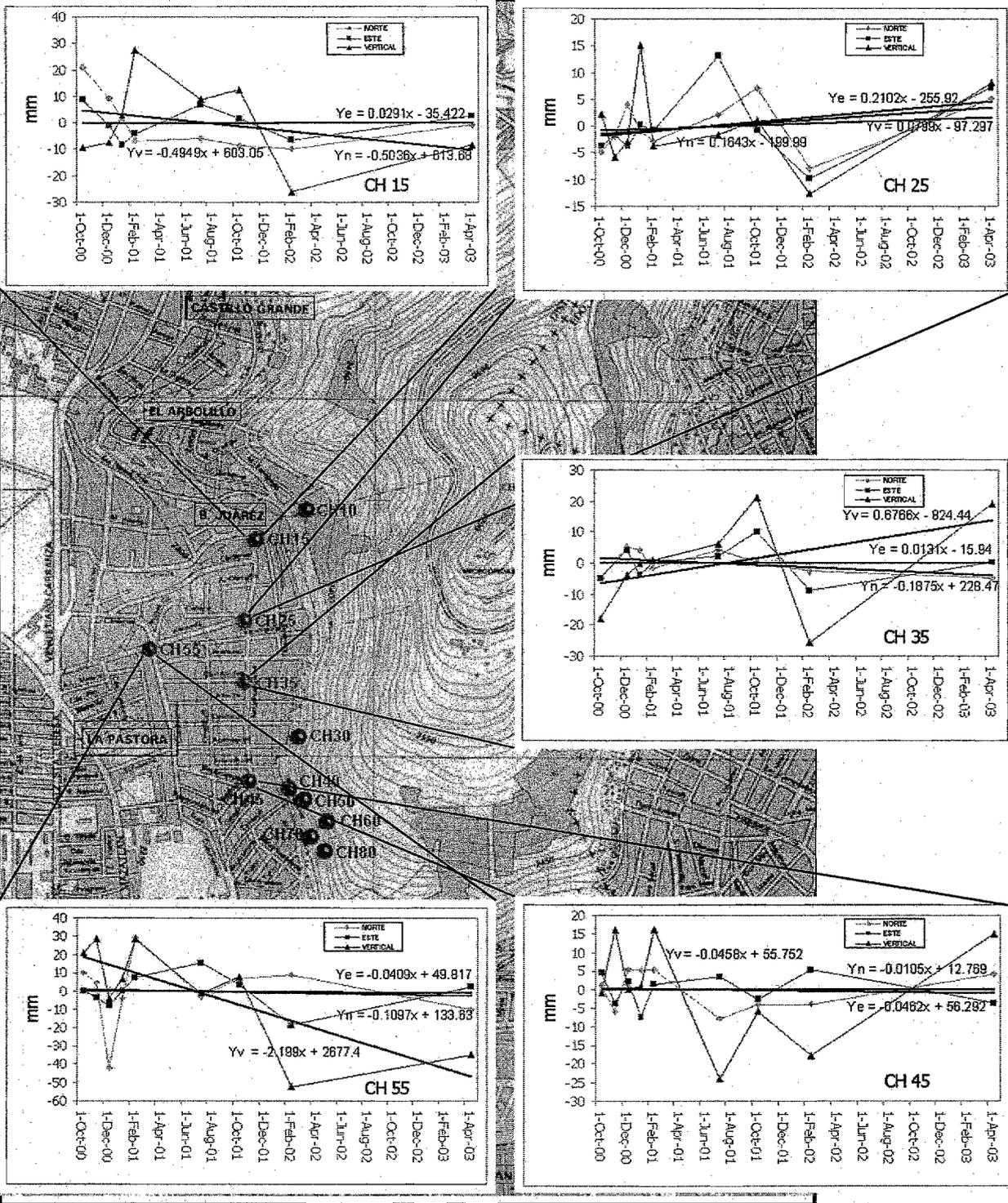


Figura No. 29.- Series de tiempo para los puntos CH15, CH25, CH35, CH45 y CH55, separados en componentes Norte, Este y Vertical, ubicados sobre elementos de desarrollo vial, en la Col. La Pastora.

VI.2. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica a la problemática.

Para integrar el Sistema de Información Geográfica se utilizó como herramienta ArcView, mediante el cual se describirá de manera gráfica, como influyen los diferentes factores naturales existentes en el cerro del Chiquihuite y así considerar la peligrosidad existente en algunos sectores de la zona de estudio. Con la utilización de capas, se realizó la creación de diversas planillas y se detectarán qué zonas son las más vulnerables a sufrir riesgos y por lo tanto, conocer qué sectores de la población están más expuestas a algún tipo de percance.

El estudio se realizó en la parte oeste del Cerro del Chiquihuite, sin embargo, también se podrán observar algunos aspectos del mismo carácter en algunas de las zonas aledañas a la zona de interés.

En la figura No. 30, se muestra una panorámica de la ubicación del cerro del Chiquihuite. Como se puede apreciar, se encuentra los límites del Distrito Federal (Del. Gustavo A. Madero) y Estado de México (Tlalnepanltla), siendo el cerro del Chiquihuite la zona de color verde, así mismo se indica la zona de estudio, que está indicada por el color rojo.

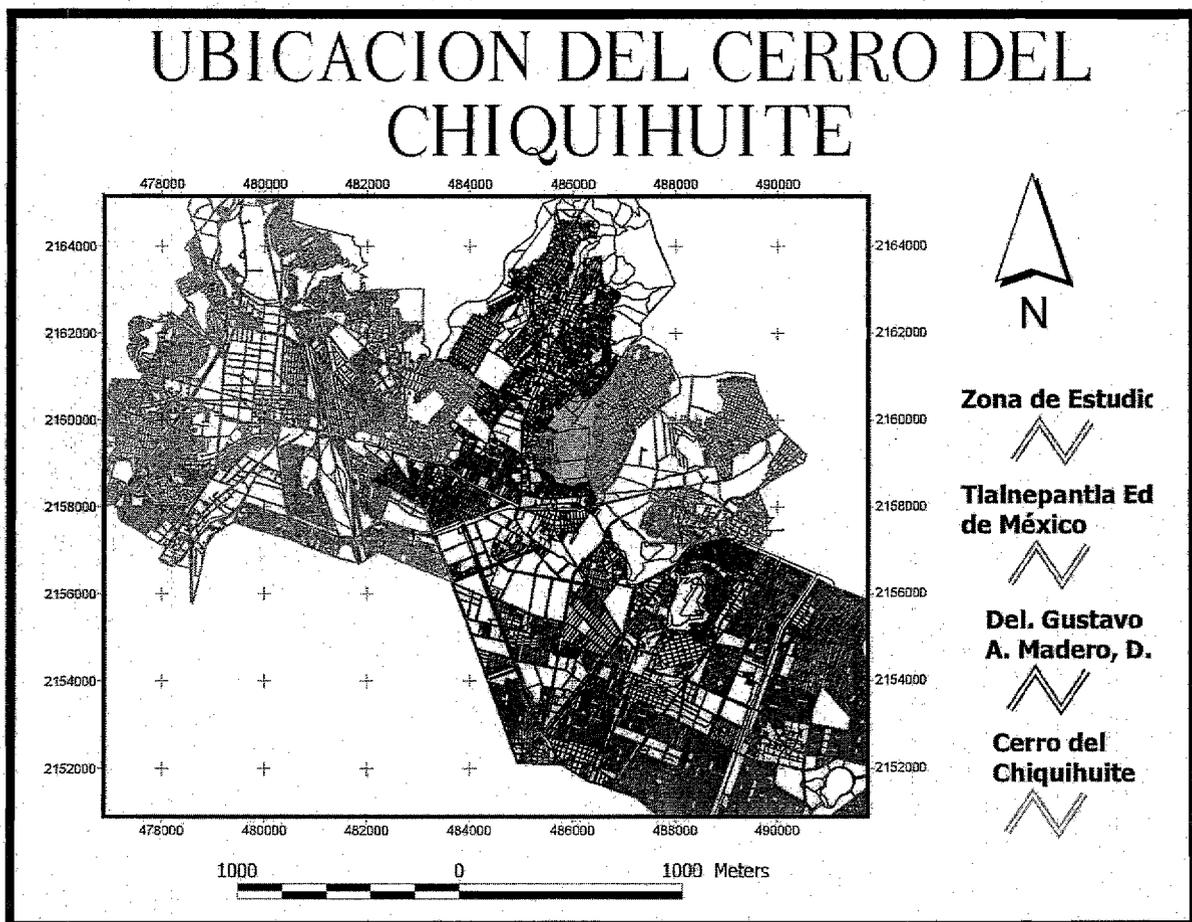


Figura No. 30.- La figura muestra la ubicación del Cerro del Chiquihuite, en donde la mayor parte de su extensión territorial se encuentra en la Delegación Gustavo A. Madero perteneciente al Distrito Federal y una menor parte en Tlalnepanltla, Estado de México. La zona urbana de color azul claro representa al Estado de México y la de color azul marino, representa a la Delegación Gustavo A. Madero.



Figura No. 31.- Mapa generado con las capas de la Mancha Urbana de la Delegación Gustavo A. Madero, Tlalnepantla, Estado de México y de la Topografía del Cerro del Chiquihuite.

La topografía del cerro del Chiquihuite, es el elemento principal que genera este estudio; dado que las características del relieve son las que condicionan el potencial de riesgo para los pobladores, como se puede observar en la figura 31.

Así mismo, se determinaron las zonas de escurrimientos, dado que en épocas de lluvia pueden llegar a convertirse en factores potenciales de desastres y que aunado a las fuertes pendientes existentes, pueden llegar a originar eventos de gran impacto (Ver figura 32).

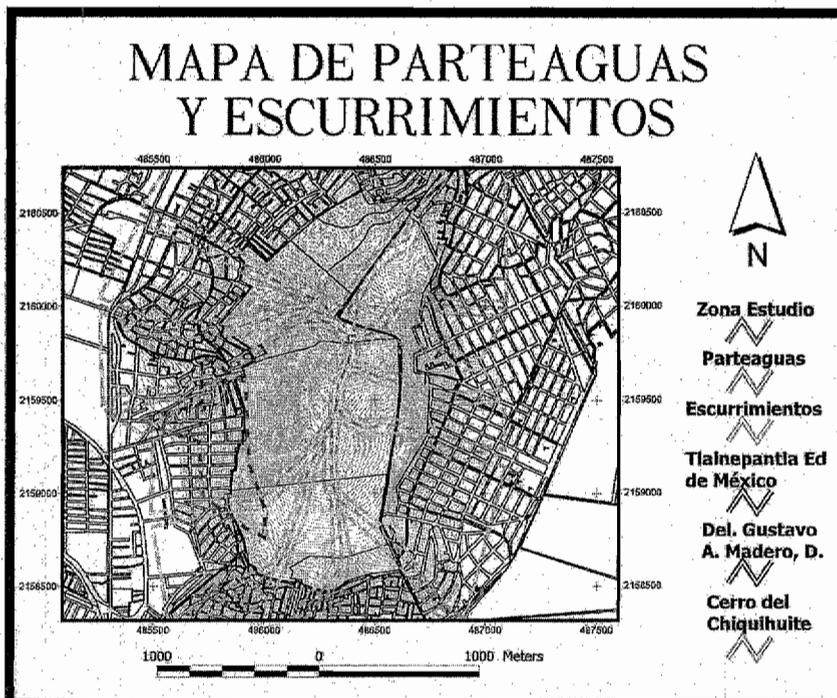


Figura No. 32.- Mapa generado con las capas de la mancha urbana, la topografía, los parteaguas y escurrimientos (polígonos rojos).

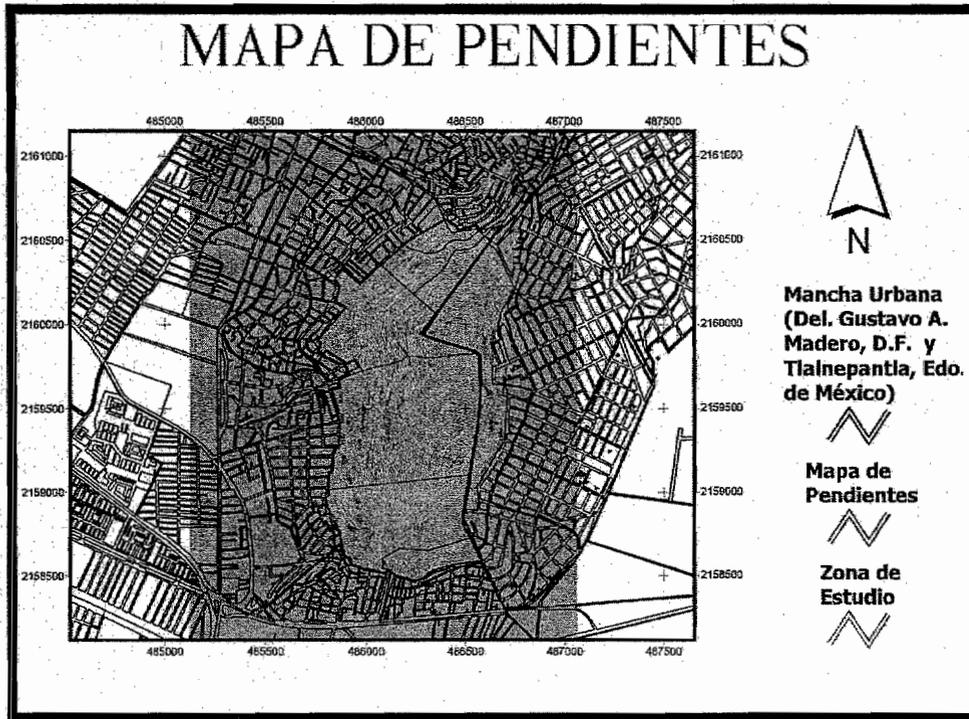


Figura No. 33.- En el mapa se muestra la sobreposición de capas, como del análisis de pendientes y de la mancha urbana. En está se observa como los asentamientos urbanos han crecido, hasta el punto de llegar a zonas en donde existe un alto grado de inclinación del talud, en la parte Este del Cerro del Chiquihuite.

La figura 33 muestra el análisis de pendientes, esto es, la inclinación de los taludes del Cerro del Chiquihuite. Como se puede observar el crecimiento de la mancha urbana se ha ido extendiendo, al grado que en la actualidad muchos pobladores se encuentran en zonas de alto riesgo. Por consiguiente, la situación que viven actualmente los pobladores en algunas de las zonas, es muy riesgosa, debido a que se encuentran ubicados en partes muy vulnerables de los taludes del cerro dada la inclinación de esas zonas. La figura 33 muestra los límites delineados por colores, como sigue: en color verde, indica pendientes que van desde los 0 hasta los 20 grados de inclinación, posteriormente el color amarillo que van de 25 a 40 grados y finalmente la zona de color rojo, en donde el grado de inclinación oscila entre 45 y 84 grados, estos sectores ubicados en la parte media de los taludes.

La figura 35, muestra el análisis de la distancia existente, entre las pendientes de mayor inclinación y los inmuebles más cercanos; para esto se crearon envolventes a las zonas señaladas de mayor riesgo (debido a sus pronunciadas pendientes). Las distancias generadas para ejemplificar la proximidad son de 10m y 50m y muestran viviendas y pendientes críticas, así mismo, podemos ver que la parte del cerro que se indica con mayores zonas de fuertes pendientes, es la ladera norte, la cual abarca gran parte de las colonias establecidas sobre el talud.

En la figura 34 las franjas rojas en el mapa de pendientes, son las zonas con mayor grado de inclinación, lo cual aunado a los escurrimientos (delimitados por polígonos que fueron generados a partir de los parteaguas), nos hace ver que dichas zonas representan sectores del talud con alto índice de peligrosidad para los inmuebles ubicados en la parte inferior a estos sectores.

Por consiguiente, la sobreposición de estos factores naturales, define las zonas a las cuales hay que poner mayor atención, y tomar medidas de prevención, para evitar algún posible percance.

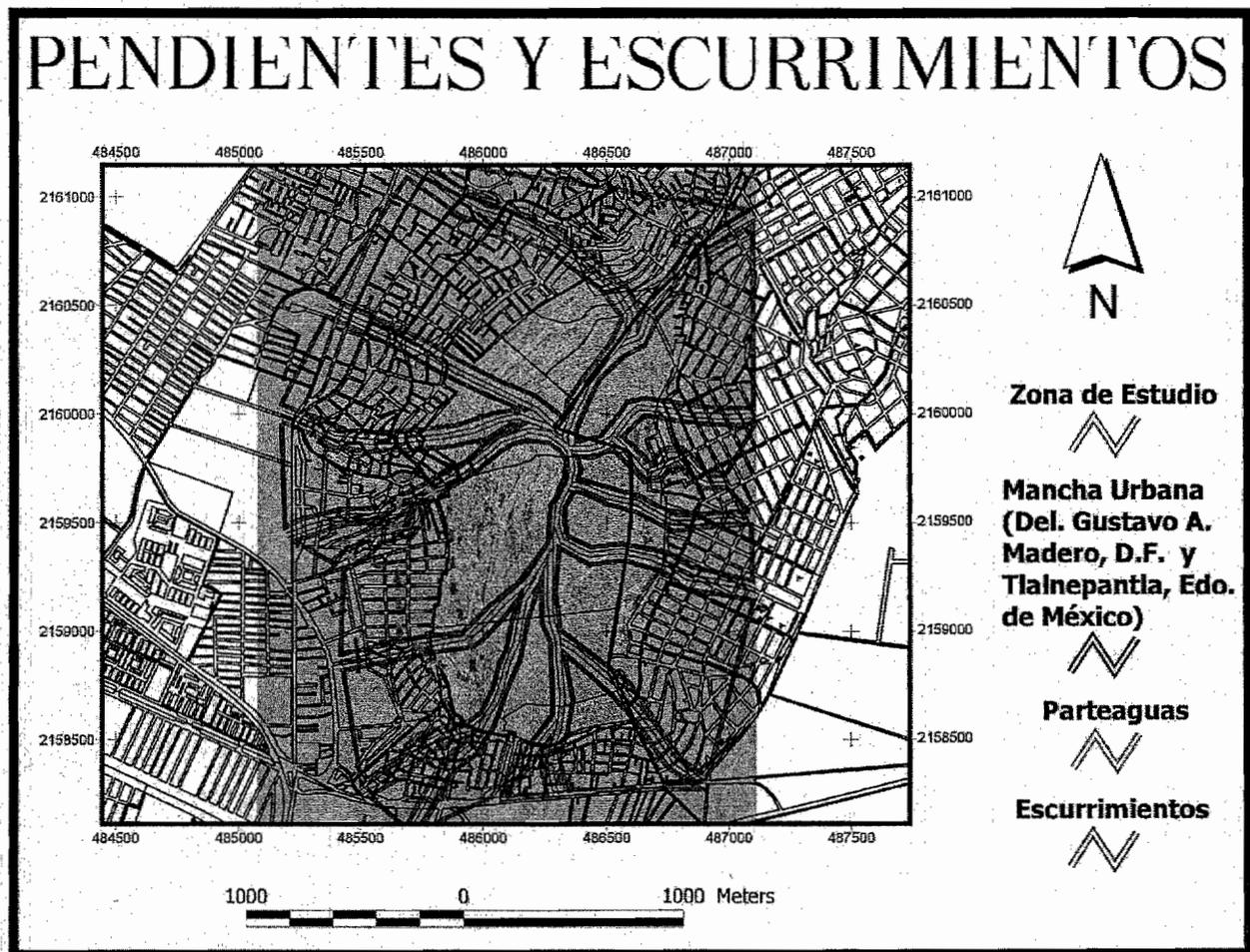
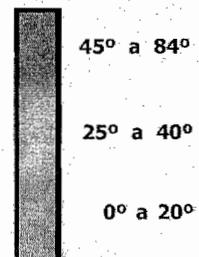


Figura No. 34.- En el mapa podemos ver como algunos de los factores que existen en el Chiquihuite, pueden llegar a ser en conjunto generadores de riesgos. Las fuertes pendientes y los polígonos de escurrimientos, llegan a ser en ciertas zonas de gran intensidad para los pobladores ubicados en las áreas de afectación de estos fenómenos.



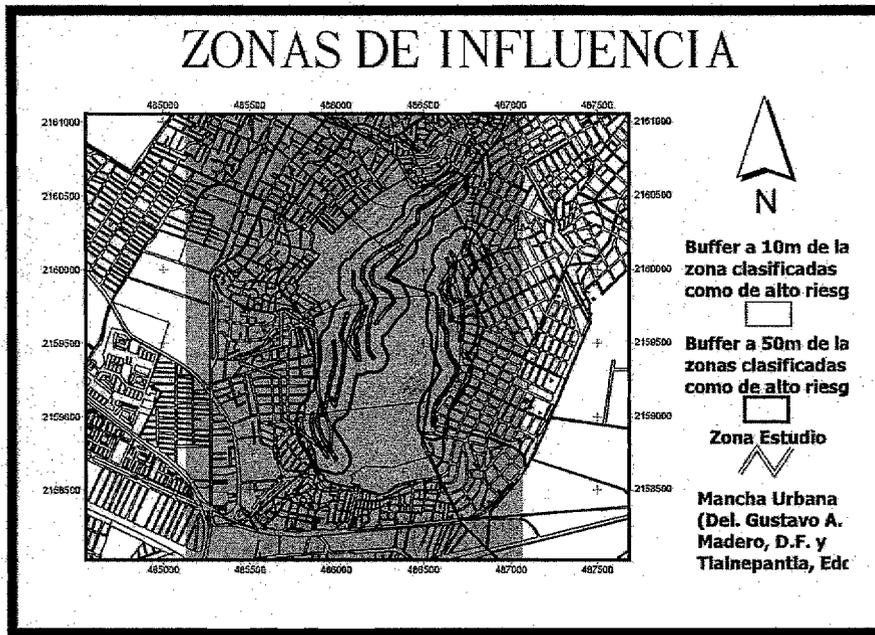
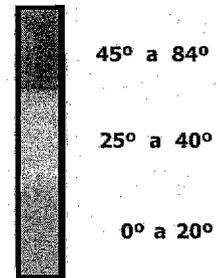


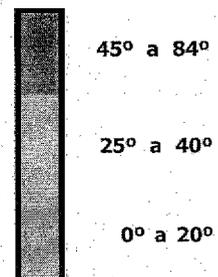
Figura No. 35.- La imagen muestra como sobresalen las zonas de influencia, de las zonas de mayor inclinación. Las zonas de influencia es un parámetro que nos permite considerar la distancia que hay entre los inmuebles y las zonas con mayor peligro.



Aunados los factores para este análisis, podemos apreciar en la figura 36, los sectores de mayor peligro para los habitantes; son aquellos en donde las pendientes más pronunciadas coinciden con los escurrimientos de gran magnitud. Y están marcadas o delimitadas por polígonos de color rojo, los cuales envuelven tanto a las zonas de alto grado de inclinación, como a las zonas de drenajes.



Figura No. 36.- A partir de la figura anterior (33) se generaron zonas consideradas de máximo riesgo, esto es, los polígonos indican en donde los factores de la pendiente y de los escurrimientos se combinan para dar lugar a un posible riesgo máximo.



Concluyendo, podemos considerar que a partir de este análisis de la figura no. 4 (Lugo-Hubb, 1996), que el Cerro del Chiquihuite es una zona con tendencias a ocasionar accidentes. El mapa presenta un estudio de la Sierra de Guadalupe, la cual contiene al Chiquihuite, en donde hace un análisis de riesgos, ubicando al Cerro del Chiquihuite, como zona de riesgo debido a la caída de rocas. Lo cual demuestra que el peligro está latente, ya sea por nuevos desprendimientos de grandes rocas o en su defecto, por deslaves de diversos materiales, esto en épocas de lluvia.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

VI.3. Análisis de pendientes.

En el estudio del peligro que representan los taludes del Cerro del Chiquihuite, se realizó un análisis para poder cuantificar el grado de inclinación de las pendientes y poder determinar cuales serían las zonas que presentarían mayor riesgo. Por lo mismo las pendientes tendrán un papel sobresaliente para la determinación de las zonas con mayor peligro.

Las pendientes que existen aunadas a la poca consistencia del suelo, y/o también a las caídas de agua en épocas de lluvia, provocan deslaves en el talud. Por lo mismo es importante el análisis de pendientes; se procedió primeramente a digitalizar la zona de interés, y para hacer el análisis más confiable se digitalizó por dos caminos; uno fue mediante Surfer de Golden Software y por medio de Ilwis Academic. De esta manera se corroborará que las zonas encontradas y clasificadas como pendientes de riesgo son las mismas.

Para esto, se llevó a cabo la evaluación de dos tipos de interpolados (Kriging y Mínimos Cuadrados), para poder comparar los interpoladores utilizados y a partir de estos poder apreciar que tan precisa estuvo la digitalización, así como también que interpolador resulta más conveniente para la realización del Modelo de Elevación digital, es decir, la que presente menos anomalías durante su interpolación. Como podemos observar en la figura 37 (A y B), los métodos de interpolación utilizados difieren entre sí.

Para el caso de la interpolación con el método de Mínimos Cuadrados (figura 37-A), se ve claramente el efecto de curvas cerradas concéntricas originadas; este efecto no es otra cosa que la creación de isoclinas independientes, es decir, si existen dos lugares apartados en donde existe la misma elevación, y la separación existente es considerable, entonces da origen así, a curvas concéntricas. Así también, podemos apreciar que además se generan otras curvas independientes y pequeñas entre las demás curvas, lo cual nos hace pensar que estas anomalías son producto del método de interpolación utilizado.

Con respecto a la figura 37-B, se utilizó el método de interpolación Kriging. En esta se puede observar que la interpolación, se asemeja más con los datos originales (digitalización del Chiquihuite); esto se puede corroborar sobreponiendo los datos originales (digitalización) con los datos obtenidos (método de interpolación), ya no se presenta el efecto de curvas concéntricas y por lo tanto, se demuestra que el método de interpolación Kriging, es el más adecuado para generar el Modelo de Elevación Digital (DEM) del Cerro del Chiquihuite.

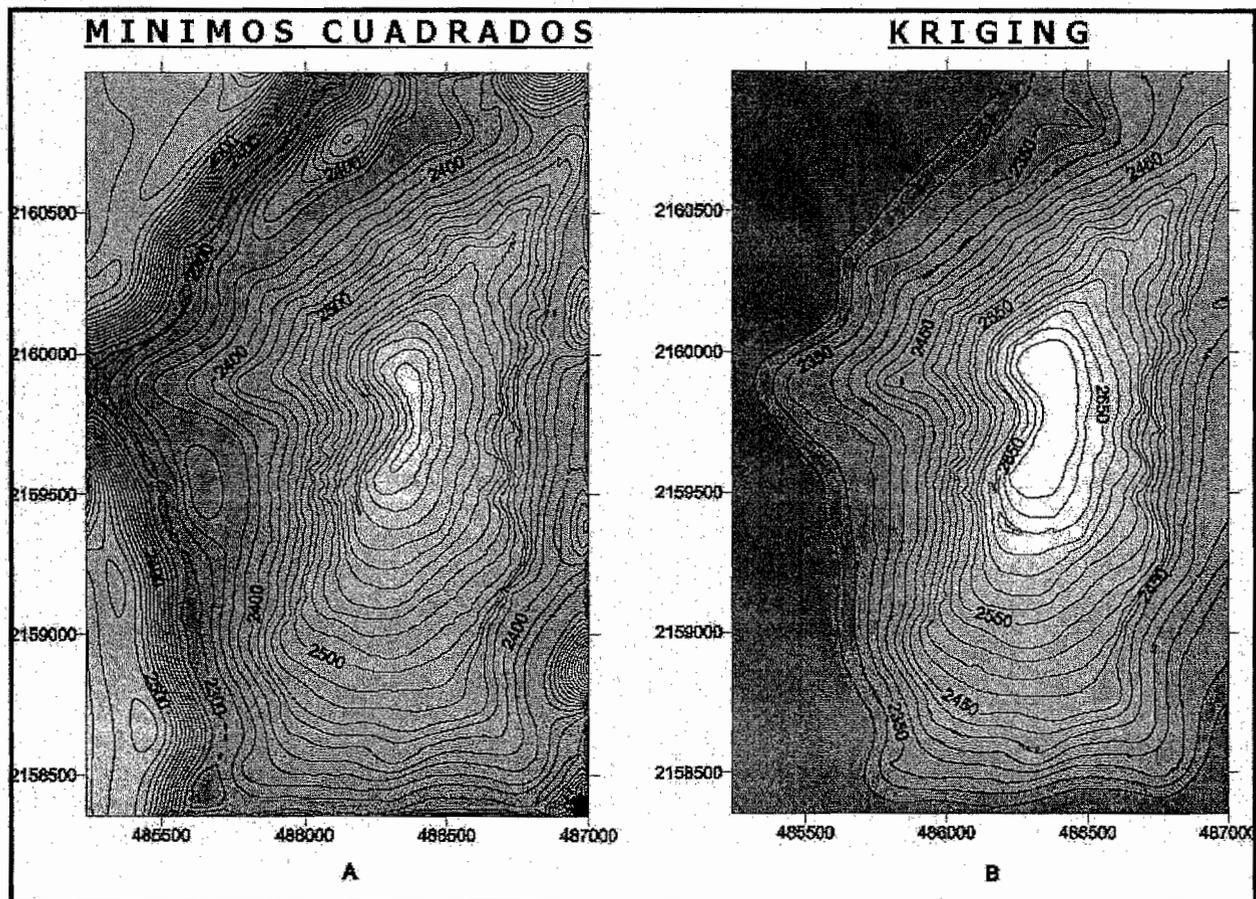


Figura No. 37 A) y B) .- Modelo de elevación digital del Cerro del Chiquihuite, a partir de la digitalización de la carta topográfica esc. 1:10000 de la Tesorería del Distrito Federal, realizando una interpolación con el método kriging utilizando Surfer e Ilwis Academic.

Con respecto a Ilwis Academic, podemos mencionar que la digitalización se realizó con la obtención de todas las curvas de nivel existentes en la imagen escaneada, dado que Ilwis en el momento de interpolar para obtener el Modelo de Elevación Digital (DEM), lo genera de manera que en las partes en las que interpola, se aprecia como existe, un "escalón", es decir, se da un cambio brusco entre los valores de las cotas en cada una de las curvas de nivel.

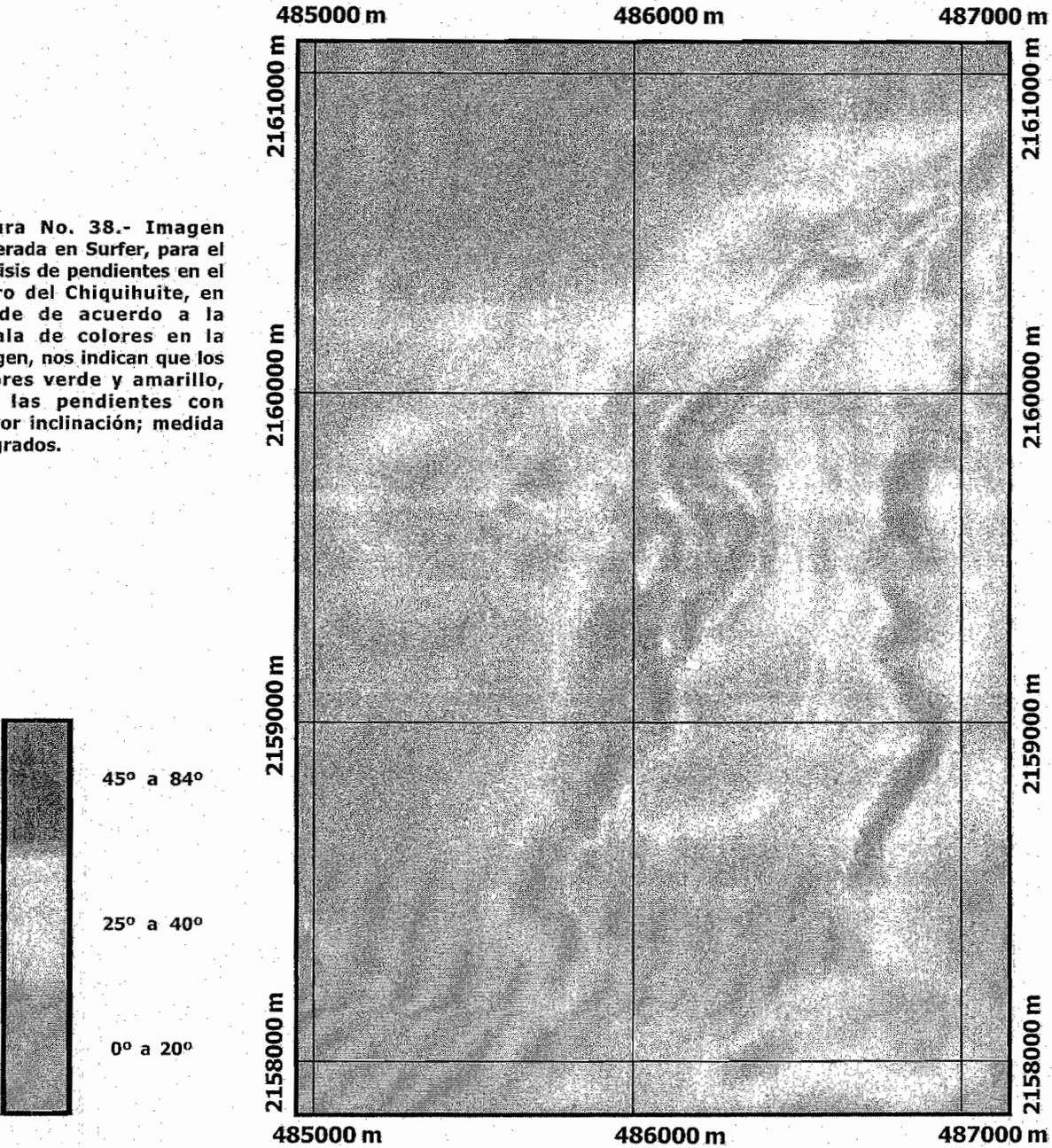
En los resultados obtenidos, se puede apreciar de una manera clara cuales son las zonas con pendientes poco pronunciadas, hasta las pendientes de gran magnitud. Las figuras 38 y 39 muestran los resultados generados por Surfer e Ilwis Academic. En las dos imágenes podemos apreciar las zonas de mayor grado de pendiente, y a su vez de mayor riesgo.

En la figura 38, podemos apreciar que la escala de pendientes va de verde que serían las zonas más planas o de menor pendiente; pasando por el color amarillo que representa pendientes medias, hasta llegar al color rojo que indica la presencia de pendientes más fuertes. En la figura 39, la escala de colores es la misma que para la figura anterior. Entonces, es posible comprobar que las zonas de mayor pendiente, coincide casi en su totalidad para las dos imágenes. Por lo tanto, se puede realizar el análisis de la manera siguiente:

Las condiciones topográficas del Cerro del Chiquihuite, se caracterizan por tener zonas en donde las inclinaciones de mayor grado se presentan en los costados del cerro, con una dirección de Sur a Norte. El grado de las pendientes existentes en el Chiquihuite oscilan desde 0 hasta 55 grados de inclinación, estando clasificadas mediante rangos aproximados de acuerdo a la escala de colores de la imagen, como a continuación sigue:

- 0° a 20° aproximadamente de color Verde
- 25° a 40° aproximadamente de color Amarillo
- 45° a 84° aproximadamente de color Rojo

Figura No. 38.- Imagen generada en Surfer, para el análisis de pendientes en el Cerro del Chiquihuite, en donde de acuerdo a la escala de colores en la imagen, nos indican que los colores verde y amarillo, son las pendientes con mayor inclinación; medida en grados.



En base a los mapas generados (figuras 82 y 83), podemos llegar a la conclusión de cuales son las zonas con mayor inclinación, considerando que el haber obtenido resultados semejante por caminos diferentes, confirman qué zonas son a las que hay que poner mayor atención, para evitar posibles percances en un futuro.

Tomando en cuenta que la mancha urbana en la actualidad se encuentra situada en sectores donde la inclinación del talud ya es muy marcada; aunado a otros factores, tales como los escurrimientos de agua (en épocas de lluvia), o la debilidad de los suelos en ciertos sectores del talud, hacen convertir a ciertos lugares del cerro, en zonas potenciales de riesgo para los pobladores que se encuentran ubicados sobre los taludes del Cerro del Chiquihuite.

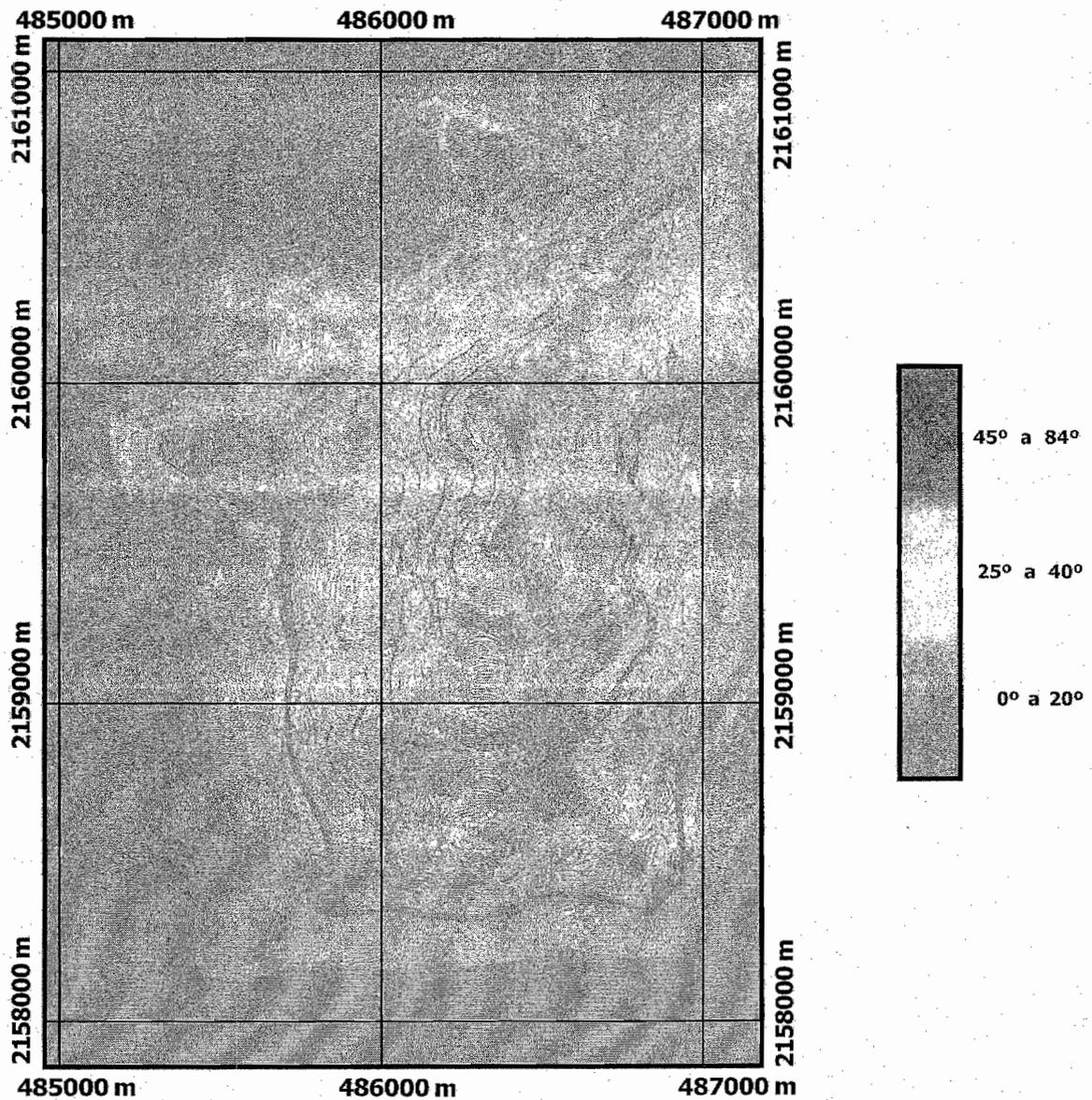


Figura No. 39.- Imagen del análisis de pendientes, generada con Ilwis Academic, en la que podemos apreciar que las zonas con alto grado de inclinación, coinciden casi en su totalidad con la imagen generada en Surfer. Para este caso los colores rojo y naranja, serán la pendientes más pronunciadas.

Así mismo, se generó una sobreposición de dos capas, para poder apreciar en dónde se marcan las mayores pendientes, esto fue, a un Modelo de Elevación Digital se le colocó una capa, la cual sería la imagen de las pendientes, en este caso se utilizaron las generadas en Surfer, llegando así a la obtención de la imagen que se muestra en la figura 84.

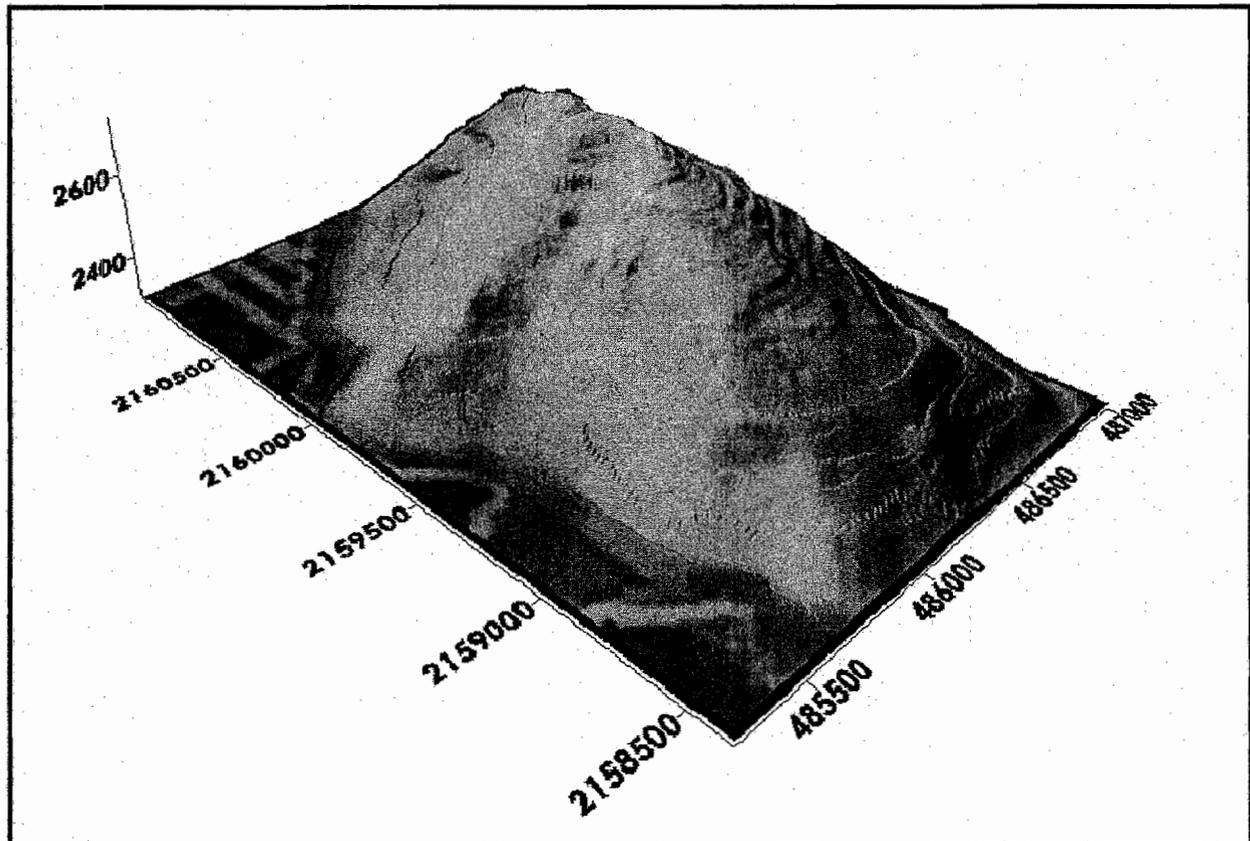


Figura No. 40.- Podemos apreciar, que las imágenes para el análisis de pendientes, coinciden con el modelo de elevación digital (DEM), en lo que se refiere al estudio de pendientes; y se observa que las zonas de color verde nos indican pendientes muy fuertes, esto confirma que las pendientes son un factor determinante para la determinación de zonas de riesgo (bajo, mediano y alto) en los taludes del Cerro del Chiquihuite.

VII.- CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo es identificar en base a eventos históricos, criterios geológicos, geodésicos, y el análisis con un sistema de información geográfica las bases para el análisis de peligros por inestabilidad de taludes; en las inmediaciones de la Colonia La Pastora, ubicada en la Delegación Gustavo A. Madero de la región norte de la Ciudad de México.

De acuerdo a los antecedentes históricos se observó que ciertas regiones del Cerro del Chiquihuite son generadoras de riesgos para los pobladores que habitan la periferia del cerro. En ocasiones se han originado percances que han afectado a las comunidades establecidas sobre los taludes de este cerro; provocando así, que las autoridades lleven a cabo medidas de prevención para estos desastres.

Así mismo, hay que tomar en cuenta otros factores generadores de riesgo, entre los que pueden estar, la falta de planeación que ha permitido que las familias se establezcan de manera irregular en zonas en donde el suelo es inestable o en su defecto en donde las pendientes son muy pronunciadas. Las autoridades se han encargado de seguir dotando de los servicios básicos a toda persona que llega y se establece sobre los taludes del Cerro del Chiquihuite, sin considerar que a cierto plazo de tiempo, esto será contraproducente, dado que en el futuro pueden generarse pérdidas humanas y materiales.

Para el estudio de geodesia satelital (GPS); se obtuvieron datos en un periodo aproximado de 3 años. Los resultados muestran que existe un movimiento muy pequeño, el cual es considerado como poco significativo y aunque hay algunas variaciones en ciertos periodos, esto no implica algún movimiento sustancial, ya que se encuentra cercano al nivel de detección del método.

Las velocidades observadas expresan valores que van desde ± 0.8 mm ± 26.4 mm por año, sin embargo dado el peligro que existe se considera que debe continuar con los monitoreos, aunque hasta ahora los resultados son confiables.

De acuerdo a los resultados obtenidos y en base a datos proporcionados CENAPRED, se puede realizar una comparación que permita ubicar nuestros resultados con los de CENAPRED, catalogando así, en que rango se ubican los movimientos del Cerro del Chiquihuite. Como se mencionó anteriormente la velocidad aproximada de movimiento oscila entre ± 0.8 mm y ± 26.4 mm por año, lo cual indica que cae en un rango clasificado como de "extremadamente lento"; pero cabe señalar que no se descarta que con el paso del tiempo cambie su tendencia y pasar a otro nivel de mayor velocidad, lo cual implicaría un mayor riesgo.

El Sistema de Información Geográfica, da un panorama de cuales pueden ser las zonas potenciales. Los análisis realizados indican características que pueden ser riesgosas para los habitantes ubicados sobre los taludes del cerro del Chiquihuite. Estos factores demostraron que ciertos sectores del área de estudio, tienden a ser generadores potenciales de accidentes; tales sectores se encuentran ubicados metros arriba de los inmuebles aledaños al cerro. Entre los factores que destacan, son las pendientes que están delimitadas por rangos de intensidad en la inclinación de los taludes, que van desde 0 a 20; de 25 a 40 y de 45 a 84 grados de inclinación aproximada. Y siendo el rango de 45 a 85 grados, las zonas de mayor riesgo, dada la ubicación de estas zonas y que en combinación con la fuerte erosión existente, se convierten en los principales factores que ponen en riesgo la integridad de centenares de familias que habitan las inmediaciones del Cerro del Chiquihuite.

Velocidad	Interpretación de la velocidad	Posible impacto destructivo
3 - 5 metros por segundo	Extremadamente rápido	Catástrofe de gran violencia.
0.3 - 3 metros por minuto	Muy rápido	Pérdida de algunas vidas, gran destrucción.
1.5 metros por día a 1.8 metros por hora	Rápido	Posible escape y evacuación, destruido. construcciones, posesiones y equipo.
1.5 a 1.3 metros por mes	Moderado	Estructuras bien construídas pueden sobrevivir.
1.5 a 1.6 metros por año	Lento	Carreteras y estructuras bien construidas pueden sobrevivir si se les da el mantenimiento adecuado y constante.
0.06 a 0.016 metros por año	Muy lento	Algunas estructuras permanentes, construidas con criterios formales ingenieriles no sufren daños y si llegan a sufrir algún agrietamiento por el movimiento, pueden repararse.
	Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con criterios formales de ingeniería.

La tabla indica velocidades de movimiento, que es interpretado en intervalos de tiempo que van desde extremadamente lento hasta extremadamente muy rápido, generando así también, un posible impacto en la comunidad. Datos proporcionados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS

Ramos-M., Alejandro, 2000. REFORMA: Riesgos geológicos / grietas "cede el suelo ante los hundimientos"; Fuente: Instituto de Geología de la UNAM y Dirección General de Protección Civil del DF; Sección Ciudad y Metrópoli.

González, Alberto, 2000. REFORMA; Riesgos geológicos: ocupan familias zonas de peligro; Sección Ciudad y Metrópoli.

Vazquez-Sánchez, E. y Jaimes-Palomera, R., 1989; Geología de la cuenca de México; Geofísica Internacional, Vol. 28, Núm. 2; p. 133.

Rodríguez-C., R. y Ochoa, C.; Estudio geoelectrico del sistema acuífero de la Cuenca de México.

Ramos-M., Alejandro, 2000. REFORMA: Riesgos geológicos "urgen limites en laderas"; Fuente: Instituto de Geología de la UNAM y Dirección General de Protección Civil del DF; Sección Ciudad y Metrópoli.

Gregorius T., 1996. Gipsy-Oasis II: How it works. Dt of Geomatics. Univ of Newcastle.

Hernández, Jesús Alberto, Marzo. del 2000. REFORMA : señalan riesgos con mapa en Distrito Federal; Fuente: Instituto de Geología de la UNAM, Sección Ciudad y Metrópoli.

Ramos-M., Alejandro, Septiembre del 2000. REFORMA : riesgos geológicos / grietas "Cede el suelo ante los hundimientos"; Fuente: Instituto de Geología de la UNAM y Dirección General de Protección Civil del DF; Sección Ciudad y Metrópoli.

1. Fuente: Censo General de Población y Vivienda, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. La población de las colonias, se calculó a partir del porcentaje de AGEB'S que pertenece a la colonia. Con estos porcentajes, se calculó la población en relación a la población de la AGEB'S.

2. Fuente: Censo General de Población y Vivienda, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. El área de cada colonia, se calculó a partir del porcentaje de área de los AGEB'S que pertenece a la colonia.

3. Fuente: Tesorería del Distrito Federal. Planos Catastrales de la Delegación.

4. Fuente: Análisis con base en la información obtenida del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México, Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Obras y Servicios, Subdirección de Riesgos y Vulnerabilidad Urbana.

De Sitter, L. U.;1970; Geología Estructural; p. 521

Lichten, S. And Border, J.S., 1987. Strategies for High-Precision global Positioning system Orbit Determination. Jour. Of Geo. Res. 92-12; p. 12751-12762.

Saldaña-Ortiz, Luis, 1999. Operaciones y Servicios Urbanos en Gustavo A. Madero.

Lugo-Hubp, José, 1990. Investigaciones Geográficas, Vol. 21; p. 9 - 11.

R.-Wolf, Paul y C.-Brinker, Russell, 1997; Topografía; p. 481- 484.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 1994; La Nueva Red; Geodesica Nacional (Una visión hacia el futuro).

Trimble, 1995; Guía de aplicaciones Trimble Series 4000; p. 241

Salazar-Mitre, Luis Miguel; Geología y Riesgos Asociados en el Valle de México; Riesgos Ambientales para la salud en la Cuenca de México; programa Universitario del Medio ambiente; p. 405 - 410.

Investigaciones Geográficas, 1990; Boletín del Instituto de Geografía; Vol. 21, p. 9-11.

Bellia, S., Cusimano, G., González-M., T., 1992; EL VALLE DE MEXICO: "Consideraciones preliminares sobre los riesgos geológicos y análisis hidrogeológicos de la cuenca de Chalco"; p. 11, 12, 17, 18.

Lugo-Hubp, José y Salinas-Montes, Araceli, 1996. Geomorfología de la sierra de Guadalupe (al norte de la Ciudad de México) y su relación con peligros naturales; Revista Mexicana de las Ciencias Geológicas; p. 240 - 249.

Sánchez-Pérez, Tomás, 2001. Inestabilidad de Laderas. CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres); serie fascículos; p. 6, 13, 14, 15.

Galloway-Devin, R.-Jones, David and Ingebritsen S. E., 1999; Land Subsidence in the United States; USGS (United States Geological Survey); p. 7 - 11.

Fuentes : INEGI, Censo General de Población y Vivienda, Tesorería del Distrito Federal

Fuente : Información proporcionada por la Comisión de Recursos Naturales (CORENA), enero de 1997.

Fuente : Delegación Gustavo A. Madero. Marzo 1996.

Fuente : Comisión de Recursos Naturales (CORENA); 1995, Distrito Federal.

Fuente : Atlas de riesgos de la Delegación Gustavo A. Madero.

Fuente : Análisis con base en la información obtenida del Atlas de riesgos de la Cd. de México.

S.-Machado, Jorge Alberto; Modelo de Desarrollo Occidental y Riesgos Ecológicos; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (1998). Informe sobre el Desarrollo Humano 1998.

Vázquez-Sánchez, E. y Jaimes-Palomera, R.; Geología de la Cuenca de México; Geofísica Internacional; vol. 28,2 ; p. 133-190; año 1989.

Reformas al programa delegacional de desarrollo urbano de Gustavo A. Madero, publicación de Mayo 12 de 1997; publicadas por el Diario Oficial de la Federación.

INDICE DE TABLAS E IMAGENES

TABLAS

	PAGINA
Clasificación de riesgos en la cuenca de México.....	14
Características de asentamientos irregulares.....	24
Asentamientos irregulares.....	25
Predios irregulares aislados.....	25
Areas susceptibles de protección en la Sierra de Guadalupe.....	26
Colonias en riesgo de la Delegación Gustavo A. Madero.....	28
Características de tipo de riesgos.....	30
Características de las ondas electromagnéticas.....	32
Descripción de los tipos de levantamientos GPS.....	33
Características de las metodologías GPS.....	34
Resultados de las ocupaciones en coordenadas UTM.....	47
Resultados de diferencias obtenidas de las coordenadas.....	50

IMAGENES

	PAGINA
Ubicación del área de estudio.....	6
Mapa Morfotectónico.....	8
Formas primarias y secundarias del relieve de la Sierra de Guadalupe.....	9
Mapa de peligros.....	10
Recarga y descarga de los sistemas acuíferos.....	13
Compactación de un acuífero.....	14
Desarrollo de la población.....	15
Localización del Cerro del Chiquihuite.....	18
Barda dañada en los linderos del Cerro del Chiquihuite.....	19
Primera fase de construcción	20
Termino de la barda de contención.....	20
Aspecto actual del Cerro del Chiquihuite.....	21
Elementos de contención en el Cerro del Chiquihuite.....	21
Ubicación de uno de los sitios marcados para el estudio.....	22
Descripción de una marca permanente o testigo para los sitios de estudio.....	22
Sitio colocado para la realización del estudio.....	23
Nuevos elementos de protección colocados.....	23
Ubicación de colonias sobre la periferia al Cerro del Chiquihuite.....	27
Descripción de las ondas electromagnéticas.....	32
Ubicación de la red geodésica en el Cerro del Chiquihuite.....	41
Observatorio magnético de Teoloyucan.....	42
Estación GPS permanente (TEO) en Teoloyucan.....	42
Antena Geodésica.....	42

	PAGINA
Imagen final del proceso en Waypoint (Vectores de posición).....	43
Ubicación de estaciones sobre afloramientos de roca.....	55
Estaciones ubicadas sobre elementos de contención.....	60
Estaciones ubicadas sobre la mancha urbana en la Col. La Pastora.....	64
Gráficas totales para todos los sitios de estudio.....	70
Gráficas de tiempo colocadas en afloramientos de roca.....	71
Gráficas de tiempo colocadas en elementos de contención.....	72
Gráficas de tiempo colocadas sobre la mancha urbana.....	73
Ubicación de la zona mediante capas (ArcView).....	74
Mapa mediante capas de la mancha urbana de la Del. Gustavo A. Madero.....	75
Mapa mediante capas describiendo los parteaguas en la superficie del Cerro del Chiquihuite.....	75
Mapa que indica los diferentes grados de pendientes.....	76
Mapa de pendientes con escurrimientos.....	77
Mapa de las zonas de influencia.....	78
Mapa de máximo riesgo.....	78
Mapas de análisis de pendientes.....	81
Análisis de pendientes con Surfer.....	82
Análisis de pendientes con Ilwis.....	83
Modelo de elevación digital (DEM).....	84