

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO - GEOFÍSICO
EN CUATRO ZONAS ESTRATÉGICAS,
DEL PROYECTO ALTOZANO,
MUNICIPIO DE MORELIA, MICH.**

DICIEMBRE DEL 2008.

C O N T E N I D O

I.- INTRODUCCIÓN

II.- RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

II.1.- Resumen

II.2.- Conclusiones

II.3.- Recomendaciones

III.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

III.1.- Localización, extensión y vías de comunicación.

IV.- GENERALIDADES

IV.1.- Clima

IV.2.- Hidrografía

IV.3.- Piezometría

V.- GEOLOGÍA

V.1.- Unidades litológicas

V.2.- Geología estructural

V.3.- Geomorfología

VI.- CENSO DE MANIFESTACIONES DE AGUAS SUPERFICIALES

VII.- GEOFÍSICA

VII.1.- Interpretación

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

I.- INTRODUCCIÓN

Los directivos del Conjunto Residencial Altozano, de la ciudad de Morelia, Mich., desean conocer las condiciones hidrológicas que guardan cuatro zonas estratégicas que se incluyen dentro del proyecto Altozano, con la finalidad de conocer las posibilidades de agua para las zonas habitacionales a desarrollarse como parte de este gran proyecto. Por tal motivo, es necesario estudiar a detalle las condiciones hidrológicas en cada una de estas zonas, con la finalidad de localizar nuevos sitios para la perforación de pozos que proporcionen el agua necesaria.

En esta zona, ya se comprobó la existencia de un acuífero por debajo de los 200 metros de profundidad y que la dirección del flujo subterráneo de la zona se relaciona a las fallas y fracturas presentes, por lo que se decidió cubrir una área de 36 Km², con la finalidad de incluir en esta área los cuatro predios a estudiar.

Trabajos anteriores demostraron que esta zona en particular es muy difícil desde el punto de vista acuífero, por la característica impermeable de las rocas que se encuentran en la superficie del terreno. Sin embargo, se han perforado pozos asociados a estructuras geológicas, a profundidades que varían de 175 a 450 metros y se ha demostrado la existencia de un acuífero con gastos que varían de 5 a 45 lps o más. De igual forma se han construido pozos en altos estructurales y partes altas de falla, que han sido de negativos o de gastos inferiores a los 5 lps. Por lo que el comportamiento geológico-estructural de la zona es muy importante.

Las distancias aproximadas entre cada una de estas áreas varía de 1 a 3 kilómetros en línea recta.

II.- RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

II.1.- Resumen

El estudio Hidrogeológico cubrió una superficie de 36 km², donde se incluyen las cuatro zonas de interés.

Durante el levantamiento de campo se definieron las siguientes actividades: geología superficial, análisis estructural dentro de cada zona, características hidrológicas de las rocas, censo de puntos de agua y sus condiciones actuales.

En el estudio geofísico se realizaron 8 Sondeos Eléctricos Verticales, mediante el dispositivo tetraelectródico Schlumberger, con separaciones máximas en electrodos de corriente de AB = 3,000 metros. Se realizaron dos Sondeos Eléctricos Verticales en cada zona y los sitios donde se desarrollaron, fueron seleccionados durante el estudio geológico e hidrogeológico, además se consideró la distancia a los pozos ya existentes.

II.2.- Conclusiones

En el levantamiento geológico se definieron 4 unidades litológicas importantes: La más antigua del Mioceno Inferior está constituida por derrames andesíticos (Tma), le sobreyacen una secuencia alternante de flujos piroclásticos y tobáceos (Tptb) de edad Plioceno Inferior-Medio. Le cubren derrames de escoria basáltica y rocas andesíticas (Tpa) del Plioceno Superior - Cuaternario Inferior y por último, suelos y aluviones de edad Cuaternaria (Qal).

Localmente se aprecian dos sistemas estructurales de dirección Noroeste-Sureste (NW-SE) y Noreste-Suroeste (NE-SW); que afecta a toda la secuencia de rocas.

Estructuralmente la parte occidente del fraccionamiento (Cerro El Venado), se observan una serie de fracturas de dirección NW-SE, en las cuales se alinean y siguen sus cursos los arroyos: Loma Larga, El Guayabito y La Higuera, de igual forma algunos arroyos pequeños guardan esta misma dirección estructural. El sistema estructural Noreste-Suroeste (NE-SW), se presenta al Sur y Sureste del fraccionamiento y está representado por fallas normales, con caídos al Noroeste. Este sistema estructural presenta fracturas en dirección NE 35° - 40° hasta 65° SW.

En base a los niveles estáticos de 16 pozos dentro del área de estudio y 1 manantial, se obtuvo la información piezométrica relativa a la profundidad de los diferentes niveles del acuífero de la zona, de donde se tiene que la dirección del flujo subterráneo es de dirección SW-NE y a la altura de la Loma Larga cambia a N-S.

En la zona de estudio, se han perforado 16 pozos con profundidades que varían de 174 a 400 metros, los cuales han comprobado la existencia de dos acuíferos en la zona: El primero de ellos se localiza entre 70 y 200 metros alojado en rocas riolitas y arenas volcánicas con un gasto de 5 lps y nivel estático que varía entre 75 y 105 metros de profundidad. El segundo acuífero se aloja en andesitas y arenas volcánicas, con niveles estáticos al rededor de los 108 metros y dinámicos de 210 metros con gastos mayores a 30 lps.

Hidrológicamente, las condiciones de acuíferas de la zona se pueden resumir de la siguiente manera: Los pozos que se han situado sobre las trazas o cruce de fallas (pozos 1 a 7 Desarrollo Altozano, Jesús del Monte, Peña Blanca, Santa Cecilia y Los Sauces), presentan los mejores gastos que varían de 12 a más de 40 lps. El pozo que se ubicó fuera de estas condiciones estructurales (pozo Colonias Unidas del Sur) presenta el menor gasto 5 lps.

En las cuatro nuevas áreas que se estudiaron, se observa la presencia de fallas geológicas en dirección NE-SW y NW-SE. Por lo que hidrológicamente presentan interés acuífero por fracturamiento.

Desde el punto de vista geofísico la zona suroeste del proyecto Altozano carece de importancia acuífera (Cerro La Máscara).

En las otras tres áreas estudiadas, se encontraron capas con interés acuífero:

1.- En el predio que se encuentra ubicado junto a la carretera a Jesús del Monte y la Plaza Comercial, la capa se encuentra a 45 metros de profundidad para el SEV-21 y tiene un espesor de 255 metros y en el SEV-22 se encuentra a los 101 metros de profundidad y muestra un espesor de 132 metros.

2.- En el predio que se ubica al poniente del cerro Sinaí, la capa se encuentra a 83 metros de profundidad para el SEV-24 y tiene un espesor de 511 metros. En el SEV-23 se encuentra a los 69 metros de profundidad y muestra un espesor de 104 metros.

3.- En el predio que se ubica al sur de la población de Jesús del Monte, la capa se encuentra a 51 metros de profundidad para el SEV-26 y tiene un espesor de 128 metros. En el SEV-25 se encuentra a los 11 metros de profundidad y muestra un espesor de 238 metros.

II.3.- Recomendaciones

1.- En el predio que se encuentra ubicado junto a la carretera a Jesús del Monte y la Plaza Comercial se recomienda la perforación de un pozo exploratorio a una profundidad de 300 metros en el sitio en donde se realizó el SEV-21, con el objetivo de atravesar la capa de interés acuífero desde los 45 metros hasta los 300 metros de profundidad.

2.- En el predio que se ubica al poniente del cerro Sinaí, se recomienda la perforación de un pozo exploratorio a una profundidad de 180 metros en el sitio en donde se realizó el SEV-23, con el objetivo de atravesar la capa de interés acuífero desde los 69 metros hasta los 173 metros de profundidad.

3.- En el predio que se ubica al sur de la población de Jesús del Monte, se recomienda la perforación de un pozo exploratorio a una profundidad de 250 metros en el sitio en donde se realizó el SEV-25, con el objetivo de atravesar la capa de interés acuífero desde los 35 metros de profundidad.

III.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

III.1.- Localización, extensión y vías de comunicación.

Las áreas de estudio se localizan al Norte, Sur y Suroeste de la comunidad de Jesús del Monte, municipio de Morelia, Mich. en el costado sur y norte del camino pavimentado Sta. María de Guido - Jesús del Monte, Mich., entre las coordenadas geográficas 19° 37' 15" -- 19° 37' 19" y 19° 40' 32" -- 19° 40' 36" de latitud Norte, y entre los 101° 07' 41" -- 101° 07' 51" y 101° 10' 15" -- 101° 10' 16" de longitud Oeste (FIGURA 1).

El área de estudio cubre una superficie de 36 Km²., la cual cubre las cuatro zonas de interés de los terrenos del Conjunto Habitacional Altozano, los cuales se ubican sobre las faldas de los cerros La Máscara, Monte Sinaí y Loma Larga.

Como accesos principales al área de estudio se tienen la Avenida Camelinas y Calzada Juárez , las cuales comunican a la Tenencia de Santa María de Guido y de aquí parte un camino pavimentado al sur oriente, el cual al recorrerlo por espacio de 4 Km se llega a la población de Jesús del Monte.

Además se presentan brechas y caminos pavimentados que comunican, en su totalidad al Conjunto Habitacional Altozano.

IV.- GENERALIDADES

IV.1.- Clima

El clima de la ciudad es templado con una temperatura media anual de 23°C , la temperatura del mes más frío varía de 3°C a 18°C y la temperatura del mes más cálido varía de 15°C a 36°C, con una precipitación media anual entre 800 a 900 mm.

La evaporación media anual en la zona de estudio es del orden de 1,900 a 2,400 milímetros, lo que significa que se evapora más de lo que llueve. Esto se debe probablemente a que el efecto de evapotranspiración involucra no solamente los niveles freáticos, sino también a los caudales aportados por los escurrimientos superficiales (arroyos, drenes, canales).

Lo anterior implica que cualquier recarga al acuífero debe esperarse por escurrimientos regionales que entran a la zona y no por precipitación e infiltración directa, ya que constantemente se está modificando el medio ambiente en esta zona.

La dirección del viento regional dominante es hacia el Noroeste, sin embargo, los vientos varían de Sur a Norte y de Sur a Noreste.

IV.2.- Hidrografía

La zona de estudio queda comprendida en la REGIÓN HIDROLÓGICA No. 12 (Lerma-Chapala), que incluye a la Cuenca del Lago de Cuitzeo.

La Cuenca del Lago de Cuitzeo tiene una forma burdamente ovalada y alargada en una dirección general Este-Oeste, con un área de captación aproximada de 2820 Km². Las corrientes principales con que cuenta son los ríos: Grande de Morelia, Chiquito, Queréndaro, Zinapécuaro y San Marcos.

La mayoría de las corrientes nacen en las partes altas de las sierras de Mil Cumbres, San Andrés y de las serranías situadas al Sur y Norte de cuenca, siendo alimentada por las lluvias y los manantiales perennes. En la planicie dichas corrientes son canalizadas al distrito de riego de Morelia y descargan sus excedentes al Lago de Cuitzeo, la mayoría de las corrientes siguen un rumbo de Sur a Norte.

Otro rasgo hidrográfico importante es la presa de Cointzio y la laguna de Santa Clara del Tule, en Queréndaro (en proceso de extinción).

Sin embargo, la Comisión Nacional del Agua ha subdividido hidrológicamente las cuencas de la región de manera más específica, donde el área de estudio queda comprendida dentro de la Subcuenca Morelia-Queréndaro de 3680 Km², en la cual la mayoría de las corrientes son las que incluye la cuenca de Cuitzeo.

El recurso acuático más cercano e importante al fraccionamiento es el Río Chiquito de Morelia, el cual se sitúa 2 km al Noreste del área. Sin embargo, a este río lo han convertido en el receptor de todas las aguas residuales de la zona Sur de la ciudad de Morelia, carente de cualquier posibilidad de vida acuática, además en este río aguas arriba se vierten las aguas residuales de las poblaciones de Río Bello, Jesús del Monte, San Miguel del Monte y San José del Monte, por lo que este Río Chiquito antes de entrar a la Cd. de Morelia ya viene contaminado.

En la desviación a la comunidad de San Miguel del Monte, se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que pertenece a la población de Jesús del Monte, con la finalidad de tratar las aguas y posteriormente depositarlas ya saneadas al cauce del Río Chiquito.

Las corrientes hidrográficas en el área de estudio, son de tipo paralelo y siguen dos direcciones: NW-SE y NE-SW, asociadas a fracturas geológicas en las rocas. Las corrientes principales que atraviesan o siguen una burda alineación NW-SE son los Arroyos: Loma Larga, El Guayabito y La Higuera (Figura 1). Sobre el puerto La Cuadrilla, se originan dos corrientes en dirección NE-SW, cuyas aguas se conectan al cauce del Río Chiquito, este último río sigue una burda alineación general de sureste a noroeste.

IV.-3.- Piezometría.

En base a los niveles estáticos de 17 pozos dentro del área de estudio y 1 manantial, se obtuvo la información piezométrica relativa a la profundidad de los diferentes niveles del acuífero de la zona.

Estos niveles ayudan a conocer la dirección del flujo del agua subterránea en el área (FIGURA 2), en donde se obtuvo la siguiente información:

En la configuración de las curvas de igual nivel estático o isopiezas, se observa que la dirección del flujo subterráneo es de dirección SW-NE y a la altura de la Loma Larga cambia a N-S. La dirección principal que siguen los arroyos presentes en el área es de SW a NE, cuyos cauces se asocian a la presencia de fallas y fracturas en esta misma dirección. Esta configuración se realizó a partir de 8 pozos distribuidos en toda el área, con una separación entre ellos que varía de 250 metros a 2.0 kilómetros, esta interpolación da una idea del flujo subterráneo del área.

En la zona de estudio, se han perforado 17 pozos, con profundidades que varían de 174 a 400 metros, los cuales han comprobado la existencia de dos acuíferos en la zona: El primero de ellos se localiza entre 70 y 200 metros alojado en rocas riolitas y arenas volcánicas con un gasto de 5 lps y nivel estático que varía entre 75 y 105 metros de profundidad. El segundo acuífero se aloja en andesitas y arenas volcánicas, con niveles estáticos entre 108 y niveles dinámicos de 210 metros y gastos de más de 20 lps (Fotos 10 a 15).

Los pozos cercanos a la zona de estudio (Jesús del Monte y Colonias del Sur), tienen una profundidad de 300 metros y gastos que varían de 12 a 5 lps respectivamente, el pozo Colonias Unidas del Sur tiene un nivel estático a los 105 metros y desciende su nivel dinámico hasta los 243 metros para dar 5 lps, lo que indica que el acuífero en la parte Sur de Morelia es de poco gasto.

Actualmente se perforó un pozo junto a las instalaciones de la Escuela Thomas Jefferson, a una profundidad de 350 metros y un gasto de 2 lps. De igual forma dentro del interior del Fraccionamiento El Monasterio, se perfora un pozo a la profundidad de 500 metros, debido a que el pozo anterior que suministraba agua al fraccionamiento disminuyó su gasto paulatinamente hasta secarse, el cual tiene una profundidad de 250 metros.

Fuera del área de estudio, se han perforado 3 pozos negativos; uno de ellos en La Loma el Durazno a 250 metros de profundidad, otro sobre el cauce del Río Chiquito aguas arriba del acceso al Club Campestre, con 300 metros de profundidad; el tercero se sitúa en el Puerto de Buenavista, al Norte del área. Estos resultados comprueban que en esta zona en particular existe la presencia de diques de tipo andesítico de gran espesor e impermeables.

En el fraccionamiento Coto del Ángel se perforó un pozo a una profundidad de 280 metros y se obtuvo un gasto de 1.5 lps, con un nivel dinámico de 260 metros.

Al oriente de Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, el Lic. Octavio Mejía Negrete perforó un pozo a una profundidad de 300 metros y obtuvo un gasto de 24 lps (Foto 13).

En las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey existe un pozo perforado a 250 metros de profundidad en el cual se obtuvo un gasto de 20 lps, este pozo se encuentra a una distancia de 250 metros con respecto al pozo 7 del Fraccionamiento Altozano.

Hidrologicamente, las condiciones de acuíferas de la zona se puede resumir de la siguiente manera: Los pozos que se han situado sobre las trazas o cruce de fallas (pozos 1 a 7 Altozano, Jesús del Monte, Peña Blanca, Santa Cecilia y Los Sauces), presentan los mejores gastos que varían de 12 a más de 50 lps. El pozo que se ubicó fuera de estas condiciones estructurales (pozo Colonias Unidas del Sur), presenta el menor gasto 5 lps.

La presencia de manantiales en la zona de estudio, muestra una zona superficial saturada en los primeros 20 metros, en la cual el agua fluye a través de fracturas en las rocas ignimbríticas y riolitas, su gasto es de 0.5 a 4 lps.

V.- GEOLOGÍA

V.I.- Unidades Litológicas

El área de estudio se sitúa dentro de la Faja Volcánica Mexicana, caracterizada por rocas volcánicas, cuyas edades fluctúan del Terciario al Reciente.

Las características físicas de las rocas que afloran en la zona se relacionan estrechamente a su origen y a los procesos tectónicos posteriores, que disminuyeron o aumentaron su permeabilidad.

En la FIGURA 1 se pueden observar las diferentes unidades litológicas que han sido cartografiadas y que conforman el marco geológico del área de estudio, que cubrió una superficie de 36 Km². Las rocas son de origen volcánico con edades que fluctúan del Mioceno Inferior al Cuaternario, las cuales serán descritas de la más antigua a la más reciente:

Unidad de Derrames Andesíticos (Tma).- Esta secuencia de rocas aflora al Noreste fuera del área y sobre el cauce del Río Chiquito, constituye el basamento de la secuencia litológica del área de estudio. Su base está constituida por aglomerados y brechas volcánicas de color rojizo con gran cantidad de huecos en su masa, lo que hace que estas rocas tengan una alta permeabilidad, el afloramiento presenta gran compactación con bandeamiento producido por alteraciones de los óxidos y caolinización.

Le sobreyacen en forma concordante y en ocasiones constituyendo la base de la secuencia, rocas andesíticas lajeadas de textura afanítica, con gran abundancia de cristales de plagioclasa, que le da a la roca una apariencia porfídica. Estas rocas andesíticas se encuentran fracturadas con un rumbo SW 20° a 50° NE, con variaciones hasta SW 55° NE. Estos afloramientos presentan grandes bloques en su frente de derrame y dan origen a escarpes pronunciados de más de 100 metros de desnivel, observados sobre el cauce del Río Chiquito a la altura del Club Campestre.

Las rocas presentan color gris claro a oscuro, con textura afanítica y estructura compacta, en algunos lugares se observa un alto fracturamiento, fases aglomeráticas y brechoides.

Esta secuencia presenta además variaciones en su composición, de andesitas a basaltos, con espesores que sobrepasan los 100 metros. La edad que se les asigna a estas rocas es del Mioceno Inferior.

Hidrológicamente esta unidad de rocas, presenta una permeabilidad elevada en zonas de fractura y puede actuar como transmisora del agua a profundidad. Sin embargo, estos afloramientos pueden contener buenos acuíferos a grandes profundidades.

Unidad de Tobas Ignimbríticas, Brechas y Tobas Pumicíticas (Tptb).- Geológicamente en esta área, las rocas consideradas del Plioceno Inferior-Medio afloran ampliamente en toda el área de estudio (FIGURA 1); se han determinado como una secuencia alternante de flujos piroclásticos y tobáceos, cuya base está constituida por una secuencia de brechas tobáceas e ignimbritas muy compactas e impermeables (Fotos 1, 5 y 9). Presenta tonalidades que varían del rojo oscuro al rosado, con inclusión de fragmentos de rocas de composición andesítica, dacítica, pómez y tobas rosadas de grano medio con gran abundancia de cristales de cuarzo, todo ello cementado dentro de una matriz arenosa.

Las brechas se presentan principalmente sobre la traza de las fallas, como un afloramiento muy compacto de forma de aglutinante muy impermeable, que da origen a bloques de roca de hasta un metro de diámetro.

La parte media de esta secuencia está constituida por toba arenosas y pumicíticas que no presentan granulometría selectiva, solo cierta uniformidad en los fragmentos de pómez, sin embargo, se observan seudoestratos de pómez fina, que le dan un aspecto de pseudobandeamiento al afloramiento. Hacia la cima de estos productos se presentan tobas pumicíticas granulares con un alto grado de arcillosidad, muy compactas, que incluyen cristales de cuarzo.

La parte media-superior de la secuencia está constituida por rocas brechoides que incluyen fragmentos de roca cuyo tamaño varía de 10 a 40 cm. de diámetro. Los fragmentos de roca corresponden a ignimbritas de color rosado, con fiames alargados que le dan un bandeamiento a la roca, tienen una estructura compacta de característica impermeable.

La parte superior de toda esta secuencia está constituida por tobas ignimbríticas y rocas riolíticas, cuya coloración varía de rosa a blanco. Estas rocas presentan un pseudobandeamiento producto de fiames y oquedades, producidas durante el enfriamiento, además estos afloramientos se encuentran afectados por fracturas en dirección NE 30°-35°-40° SW. El espesor total de esta secuencia litológica llega a sobrepasar los 100 metros. En los 10 pozos perforados en la zona, todos ellos han cortado esta secuencia de rocas, con intercalación de derrames de andesitas de poco espesor.

Este paquete de rocas, en la base del Cerro Monte Sinaí, se presentan afectadas por grandes diques andesíticos, que semejan a grandes pétalos diaclasados y forman grandes abanicos de roca que penetraron las ignimbritas y riolitas de la zona.

Sobre la traza de estas fracturas de dirección NE 30° hasta 45° SW, fluye el manantial El Mastranto y otros dos pequeños manantiales, que proporcionan agua a la población de Jesús del Monte.

Hidrológicamente esta secuencia de rocas, tienen una baja permeabilidad, por su constitución litológica impermeable y solo se ve aumentada por fracturamiento. Estas rocas pueden contener acuíferos de bajo rendimiento y su gasto mejora notablemente en el cruce de estructuras geológicas.

Derrames de Escoria Basáltica y Rocas Andesíticas (Tpa).- Esta secuencia de rocas aflora en la parte Sur y constituyen los grandes cerros El Venado, La Máscara, El Gigante, El Calvillo, Puerto La Máscara, Puerto La Cuadrilla y La Torrecilla (FIGURA 1). Consiste de afloramientos de rocas andesíticas con fuerte lajeamiento, textura afanítica, gran abundancia de cristales de plagioclasa y un alto fracturamiento.

En la zona de contacto con la formación anterior, se presentan gran cantidad de cantos rodados y rocas subredondeadas de composición generalmente andesítica. Las rocas y fragmentos presentan una estructura compacta y coloraciones que varían de gris claro a verde oscuro, esta unidad se clasificó como un aglomerado volcánico cementado en una matriz de ceniza.

La parte media superior de esta secuencia lo constituyen derrames de escoria volcánica muy compactos e impermeables, de coloraciones rojizas. Estos flujos presentan intercalaciones de rocas andesíticas muy fracturadas por lajeamiento (Fotos 2, 6, 7 y 8), debido a enfriamientos rápidos que le proporcionaron a la roca gran compactación e impermeabilidad. Estos derrames andesíticos se presentan muy alterados sobre el camino Jesús del Monte - San Miguel del Monte, donde se observan con estructuras de cebolla muy deslignables y con coloraciones rojizas por oxidación. Además estos afloramientos presentan gran arcillosidad en el contacto y son muy frágiles.

La parte superior de esta secuencia está constituida por tobas y brechas volcánicas, cuyo granulometría varía de gruesa en su parte inferior a fina hacia su parte superior, lo que le da un aspecto de pseudoestratificación al afloramiento (Fotos 6 y 7).

A esta unidad de rocas se asocia la presencia, de grandes diques andesíticos fracturados en dirección NE 35°- 40° SW, que intrusionan a tobas pumicíticas e ignimbritas, cuyas bases llegan a medir más de 100 metros de diámetro y espesores superiores a los 500 metros de profundidad.

El espesor de esta unidad es muy variable, en la zona Sur presenta más de 200 metros de espesor. La edad que se les asigna a estos derrames es del Plioceno Superior - Cuaternario Inferior.

Suelos y Aluviones (Qal).- Está constituida por depósitos recientes de arcillas, limos, arenas y gravas; derivados de la erosión e intemperismo de las rocas preexistentes (FIGURA 1), afloran en las partes bajas y su espesor alcanza los 5 metros.

V.2.- Geología Estructural

Localmente se aprecian dos sistemas estructurales de direcciones Noroeste - Sureste (NW-SE) y Noreste-Suroeste (NE-SW) que afecta a toda la secuencia de rocas.

Estructuralmente la parte nor-occidente del Fraccionamiento (Cerro El Venado), se observan una serie de fracturas de dirección NW-SE, en las cuales se alinean y siguen sus cursos los arroyos: Loma Larga, El Guayabito y La Higuera, de igual forma algunos arroyos pequeños guardan esta misma dirección estructural. Este tipo de fracturamiento provoca fallas normales con caídas al Noreste y desniveles pronunciados de más de 100 metros de desnivel (FIGURA 1).

El sistema estructural Noreste-Suroeste (NE-SW), se presenta al Sur y Sureste del fraccionamiento y está representado por fallas normales, con caídas al Noroeste. Este sistema estructural, presenta fracturas en dirección NE 35°-40° hasta 65° SW y se observa en las rocas andesíticas que constituyen los diques de la zona (Tpa) e igualmente se presenta en las tobas pumicíticas (Tptb) (Foto 3).

Al norte de la zona de estudio, se observa el fallamiento regional E-W, representado por la Falla Santa María. Este comportamiento estructural de dirección general E-W, provoca un escalonamiento, con los bloques caídos al Norte, en cuyas trazas de falla se presentan ocasionalmente brechas muy compactas, pero susceptibles a deslizamientos al Norte.

El sistema estructural de dirección NE-SW (Noreste-Suroeste), de igual forma se manifiesta en los terrenos del Fraccionamiento y fuera de él. Tiene una dirección que varía de NE 30° - 35 ° a 40° - 45° SW, con echados que varían 82° a verticales. En las trazas de este fracturamiento, fluyen los manantiales presentes en la zona (Fotos 3 y 7).

Asociado a este patrón estructural de rumbo NE-SW, se presentan tres fallas normales que cortan a los Cerros La Máscara y El Gigante, con caído al Noroeste, las cuales han afectado a toda la secuencia litológica del área. Estas fallas se presentan en forma circular con sus bloques caídos al NW, lo que provoca un paralelismo en el escalonamiento de estas fallas, con desniveles abruptos de más de 50 metros

El cruce de estructuras de dirección NE-SW y NW-SE en la zona de estudio, muestra buenas condiciones hidrológicas en el subsuelo.

Este comportamiento estructural origina fallas lísticas o de deslizamiento, con sus bloques bajos al NW, provocan una diferencia de desniveles de 10 a 100 metros. Estas fallas son consideradas de mayor riesgo en la zona, ya que en ella pueden ocurrir desprendimientos de rocas de gran masa, por lo que la construcción del fraccionamiento deberá tomar en cuenta estas fallas geológicas.

En las cuatro nuevas áreas que se estudiaron, se observa la presencia de fallas geológicas en dirección NE-SW y NW-SE. Por lo que hidrológicamente presentan interés acuífero por fracturamiento.

V.3.- Geomorfología

El área de estudio presenta una morfología de grandes elevaciones, representadas por los cerros: La Máscara de más de 2,600 msnm, los cerros El Venado y La Torrecilla, ambos de 2,500 msnm, el cerro El Gigante de 2,200 msnm, el Cerro Monte Sinaí de 2,200 msnm y el Cerro El Calvillo de 2,200 msnm.

El Cerro de La Máscara situado al sur del área, corresponde a un cuerpo volcánico de pendientes abruptas y laderas escarpadas por efectos de fallamiento y cuyos derrames fluyeron en forma radial al norte.

Los Cerros La Torrecilla y El Venado, igualmente corresponden a dos grandes aparatos volcánicos, con amplios derrames de forma alargada y pequeñas mesas alargadas que se muestran en la cima de estos cuerpos. Presentan pendientes abruptas, sobre todo en los lugares donde se presentan fallas geológicas de dirección NE 50 hasta 70° SW, que originan desniveles de más de 100 metros.

La parte centro Norte de la zona de estudio, morfológicamente se encuentra constituida por una amplias mesas alargadas de 2,100 msnm, cuyas pendientes se encuentran truncadas por efecto de fallas y llegan a provocarles desniveles que van desde 20 metros a más de 200 metros. Estas amplias lomas alargadas, son el producto de extensos flujos ignimbríticos.

VI.- CENSO DE MANIFESTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL

Con la finalidad de obtener la información necesaria para el objetivo del estudio, se censaron un total de 17 pozos dentro del área de estudio y 1 manantial (TABLA 1).

En los terrenos del Desarrollo Habitacional Altozano, se han perforado 7 pozos, con profundidades que varían de 174 a 400 metros y con gastos promedios obtenidos de 5 a más de 50 lps, de ellos, solo dos están en funcionamiento (Fraccionamiento Valle del Paraíso y Campo de Golf). Los pozos restantes se encuentran sin uso. El agua obtenida de estos pozos será utilizada como potable (Fotos 10 a 15).

Las profundidades de los pozos Jesús del Monte y Colonias Unidas del Sur, es de 300 metros, con gastos promedio de 5 a 12 lps, la mayor parte del agua se utiliza como agua potable (FIGURA 1). En la zona de estudio se situaron tres pozos secos; el primero de ellos se localiza en el cauce del Río Chiquito, perforado a 300 metros; el segundo se sitúa en el Ejido del Puerto de Buena vista, con 200 metros de profundidad y el tercero cercano a la zona de estudio, situado en la Loma El Durazno a 200 metros de profundidad, donde el agua encontrada es vieja en descomposición y se seca al bombeo.

Actualmente se perforó un pozo a la profundidad de 350 metros, junto a las instalaciones de la escuela Thomas Jefferson y dio un gasto de 2 lps. Dentro de las instalaciones del fraccionamiento El Monasterio se perfora un pozo a 500 metros de profundidad, debido a que su pozo ya no tiene agua, el cual tiene una profundidad de 250 metros e inicialmente tenía un gasto de 5 lps.

En la zona de estudio se sitúa el manantial de la comunidad de Jesús del Monte y fluye en fracturas de dirección NE 30° - 45° SW.

T A B L A 1

No	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD (METROS)	NIVEL ESTÁTICO (METROS)	NIVEL DINÁMICO (METROS)	GASTO LPS
1	POZO 1 (SEV 1)	360	142.5	297	38.00
2	POZO 2 FRACC. VALLE DEL PARAÍSO	348	132.00	210.00	19.58
3	POZO 3 (SEV 5)	400	129.00	165.30	20.07
4	POZO 4 (SEV 10)	174	71.00	161.00	5.10
5	POZO 5 (SEV 11)	328	148.00	151.91	20.07
6	POZO 6 (SEV 12)	350	176.00	285.00	5.27
7	POZO 7 (SEV 3)	300	108.00	198.2	18.00
8	POZO JESUS DEL MONTE	300	52.70	67.45	12.00
9	POZO COLONIAS UNIDAS DEL SUR	300	105.00	243.00	5.00
10	POZO EL DURAZNO	200	SECO	SECO	SECO
11	MANANTIAL EL MASTRANTO JESÚS DEL MONTE	---	---	---	4.0
12	FRACCIONAMIENTO COTO DEL ÁNGEL	280	---	---	1.5
13	FRACC. RINCÓN DE LA MONTAÑA	300	---	---	24
14	TEC. DE MONTERREY	250	---	---	20
15	POZO OOPAS	350	---	---	20
16	FRACCIONAMIENTO EL MONASTERIO	500	---	---	EN CONSTRUCCIÓN
17	POZO OOPAS - THOMAS JEFFERSON	350	---	---	3

VII.- G E O F Í S I C A

De los estudios para la búsqueda de agua subterránea, el método geofísico más empleado es el eléctrico en corriente continua denominado Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y el dispositivo tetraelectródico que se emplea normalmente es el Schlumberger.

En este estudio se realizaron 8 SEV's con aperturas máximas en electrodos de corriente de AB = 3,000 metros con el dispositivo mencionado, para estudiar una profundidad aproximada entre 100 y 500 metros. Sin embargo, debido a las condiciones físicas del subsuelo se alcanzaron profundidades máximas a la cima del basamento eléctrico de 300 metros para el SEV-21, de 232 metros para el SEV-22, de 173 metros para el SEV-23, de 593 metros para el SEV-24, de 249 metros para el SEV-25, de 178 metros para el SEV-26, de 195 metros para el SEV-27 y de 120 metros para el SEV-28.

El SEV-21 se en el extremo norte del predio que se ubica sobre la carretera de acceso a Jesús del Monte (Foto 18). El SEV-22 se realizó sobre la carretera de acceso a Jesús del Monte (Foto 19). El SEV-23 se realizó en el extremo norte del predio que se ubica a espaldas del cerro Sinaí, junto al puente (Foto 20). El SEV-24 se realizó 550 metros al sur del SEV-23, sobre el camino de acceso a la presa (Foto 21). El SEV-25 se realizó junto al arroyo, en el límite norte del predio que se ubica al sur de la población de Jesús del Monte (Foto 22). El SEV-26 se realizó 450 metros al poniente del SEV-25, sobre el camino de acceso (Foto 23). El SEV-27 se realizó en el extremo sur oeste del proyecto Altozano (Foto 24). El SEV-28 se realizó 580 metros al suroeste del SEV-27 (Foto 25) (FIGURA 1).

Las coordenadas de cada uno de los SEV's están referidas al GEOIDE WGS-84 y son las siguientes:

	COORDENADAS MERCATOR EN METROS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
SEV-21	X = 273,470.	N 19°40'03.9"
	Y = 2'176,154.	W 101°09'38.5"
	Z = 2,136.	
SEV-22	X = 273,455.	N 19°39'44.9"
	Y = 2'175,573.	W 101°09'38.8"
	Z = 2,135.	
SEV-23	X = 271.685.	N 19°38'51.7"
	Y = 2'173,948.	W 101°10'38.3"
	Z = 2,100.	
SEV-24	X = 271,864.	N 19°38'34.3"
	Y = 2'173,419.	W 101°10'32.4"
	Z = 2,220.	
SEV-25	X = 274,306.	N 19°38'14.9"
	Y = 2'172,789.	W 101°09'08.2"
	Z = 2,138.	
SEV-26	X = 273,821.	N 19°38'14.9"
	Y = 2'172,797.	W 101°09'24.2"
	Z = 2,158.	
SEV-27	X = 273,262.	N 19°37'47.8"
	Y = 2'171,965.	W 101°09'43.8"
	Z = 2,240.	
SEV-28	X = 272,723.	N 19°37'40.8"
	Y = 2'171,761.	W 101°10'02.8"

	Z = 2,341.	
--	------------	--

VII.1.- INTERPRETACIÓN

La información obtenida de los SEV's en el campo fue calculada y graficada en papel logarítmico de 3X3 ciclos para obtener las curvas de resistividad aparente de cada SEV y posteriormente, fueron cuantificadas mediante curvas maestras (ORELLANA - MOONEY, HOLANDESAS e ITALIANAS) y programas de computadora, para obtener el modelo de capas o electroestratigráfico de cada SEV (FIGURAS 3 a 10 respectivamente).

Con la interpretación de capas de los SEV's 21 y 22 (FIGURAS 3 y 4 respectivamente) se elaboró el PERFIL ELECTROESTRATIGRÁFICO o CUANTITATIVO JESÚS DEL MONTE de la FIGURA 11, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo del predio que se ubica junto a la carretera de acceso a Jesús del Monte, en una dirección general Sur-Norte (S-N), desde el límite norte del predio hasta la carretera a Jesús del Monte.

En este perfil, la base está representada en color café claro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas andesíticas impermeables, con valores de resistividad eléctrica calculada mayores a 8,000 Ohm-metro; con su cima a los 300 metros de profundidad para el SEV-21 y a los 232 metros de profundidad para el SEV-22. **Su espesor no pudo ser definido, ya que hubiera sido necesario realizar SEV's con mayores aperturas electródicas a las empleadas (probablemente AB = 4,000 metros). Esta capa carece de interés acuífero.**

Sobre yaciendo al resistivo anterior, se encuentra una capa de característica permeable (color azul) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 7 y 9 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra a 45 metros de profundidad para el SEV-21 y tiene un espesor de 255 metros. En el SEV-22 se encuentra a los 101 metros de profundidad y muestra un espesor de 132 metros. **Esta capa presenta posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas.**

Por encima de esta capa se encuentra otra de característica impermeable (color rojo) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 275 y 244 Ohm-metro, con su cima a una profundidad de 17 metros para el SEV-21 y muestra un espesor de 29 metros. Para el SEV-22 se encuentra a los 43 metros de profundidad y muestra un espesor de 58 metros. **Esta capa no presenta interés acuífero y se puede relacionar con ignimbritas compactas.**

La siguiente capa sobre yacente en color violeta, muestra valores de resistividad eléctrica calculada de 10 Ohm-metro y se relaciona con tobas arenosas con pocas posibilidades acuíferas. Se ubica a los 14 metros de profundidad para el SEV-21 con un espesor de 3 metros; en el SEV-22 se ubica a 19 metros de profundidad con un espesor de 24 metros.

Las capas superficiales se relacionan con tobas soldadas e ignimbritas sin posibilidades acuíferas, presentan valores de resistividad eléctrica calculada desde los 14 hasta los 534 Ohm-metro. Se ubican desde la superficie y presentan espesores de 14 metros para el SEV-21 y de 19 metros para el SEV-22.

Con la interpretación de capas de los SEV's 23 y 24 (FIGURAS 5 y 6 respectivamente) se elaboró el PERFIL ELECTROESTRATIGRÁFICO o CUANTITATIVO SINAÍ de la FIGURA 12, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo del predio que se ubica al poniente del cerro Sinaí, en una dirección general Sur sureste - Nor noroeste (SSE-NNW).

En este perfil, la base está representada en color café claro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas andesíticas impermeables, con valores de resistividad eléctrica calculada mayores a 10,000 Ohm-metro; con su cima a los 593 metros de profundidad para el SEV-24 y a los 173 metros de profundidad para el SEV-23. **Su espesor no pudo ser definido, ya que hubiera sido necesario realizar SEV's con mayores aperturas electródicas a las empleadas (probablemente AB = 4,000 metros). Esta capa carece de interés acuífero.**

Sobre yaciendo al resistivo anterior, se encuentra una capa de característica permeable (color azul) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 33 y 5 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra a 83 metros de profundidad para el SEV-24 y tiene un espesor de 511 metros. En el SEV-23 se encuentra a los 69 metros de profundidad y muestra un espesor de 104 metros. **Esta capa presenta posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas.**

Por encima de esta capa se encuentra otra de característica impermeable (color rojo) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 402 y 659 Ohm-metro, con su cima a una profundidad de 28 metros para el SEV-24 y muestra un espesor de 55 metros. Para el SEV-23 se encuentra a los 31 metros de profundidad y muestra un espesor de 38 metros. **Esta capa no presenta interés acuífero y se puede relacionar con ignimbritas compactas.**

La siguiente capa sobre yacente en color violeta, muestra valores de resistividad eléctrica calculada de 84 y 13 Ohm-metro y se relaciona con tobas arenosas con pocas posibilidades acuíferas. Se ubica a los 2.3 metros de profundidad para el SEV-24 con un espesor de 26 metros; en el SEV-23 se ubica a 23 metros de profundidad con un espesor de 8 metros.

Las capas superficiales se relacionan con tobas soldadas e ignimbritas sin posibilidades acuíferas, presentan valores de resistividad eléctrica calculada desde los 17 hasta los 372 Ohm-metro. Se ubican desde la superficie y presentan espesores de 2.3 metros para el SEV-24 y de 23 metros para el SEV-23.

Con la interpretación de capas de los SEV's 25 y 26 (FIGURAS 7 y 8 respectivamente) se elaboró el PERFIL ELECTROESTRATIGRÁFICO o CUANTITATIVO LA CUADRILLA de la FIGURA 13, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo del predio que se ubica al sur de la población de Jesús del Monte, en una dirección general Oeste-Este (W-E).

En este perfil, la base está representada en color café claro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas andesíticas impermeables, con valores de resistividad eléctrica calculada mayores a 10,000 Ohm-metro; con su cima a los 178 metros de profundidad para el SEV-26 y a los 249 metros de profundidad para el SEV-25. **Su espesor no pudo ser definido, ya que hubiera sido necesario realizar SEV's con mayores aperturas electródicas a las empleadas (probablemente AB = 4,000 metros). Esta capa carece de interés acuífero.**

Sobre yaciendo al resistivo anterior, se encuentra una capa de característica permeable (color azul) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 11 y 36 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra a 51 metros de profundidad para el SEV-26 y tiene un espesor de 128 metros. En el SEV-25 se encuentra a los 11 metros de profundidad y muestra un espesor de 238 metros. **Esta capa presenta posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas.**

Por encima de esta capa se encuentra otra de característica impermeable (color rojo) con valor de resistividad eléctrica calculada de 460 Ohm-metro, con su cima a una profundidad de 18 metros para el SEV-26 y muestra un espesor de 33 metros. Para el SEV-25 esta capa no se encuentra. **Esta capa no presenta interés acuífero y se puede relacionar con ignimbritas compactas.**

La siguiente capa sobre yacente en color violeta, muestra valores de resistividad eléctrica calculada de 5 y 13 Ohm-metro y se relaciona con tobas arenosas con pocas posibilidades acuíferas. Se ubica a los 13.3 metros de profundidad para el SEV-26 con un espesor de 5 metros; en el SEV-25 se ubica a 1.3 metros de profundidad con un espesor de 10 metros.

Las capas superficiales se relacionan con tobas soldadas e ignimbritas sin posibilidades acuíferas, presentan valores de resistividad eléctrica calculada desde los 8 hasta los 227 Ohm-metro. Se ubican desde la superficie y presentan espesores de 13.3 metros para el SEV-26 y de 1.3 metros para el SEV-25.

Con la interpretación de capas de los SEV's 27 y 28 (FIGURAS 9 y 10 respectivamente) se elaboró el PERFIL ELECTROESTRATIGRÁFICO o CUANTITATIVO LA MÁSCARA de la FIGURA 14, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo de la zona más alta del proyecto Altozano, en una dirección general Oeste suroeste - Este noreste (WSW-ENE).

En este perfil, la base está representada en color café claro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas andesíticas impermeables, con valores de resistividad eléctrica calculada mayores a 10,000 Ohm-metro; con su cima a los 120 metros de profundidad para el SEV-28 y a los 195 metros de profundidad para el SEV-27. **Su espesor no pudo ser definido, ya que hubiera sido necesario realizar SEV's con mayores aperturas electródicas a las empleadas (probablemente AB = 4,000 metros). Esta capa carece de interés acuífero.**

Por encima de la capa anterior se encuentra otra de característica impermeable con valores de resistividad eléctrica calculada entre 128 y 355 Ohm-metro, **que se relaciona también con andesitas sin posibilidades acuíferas.** Su cima se encuentra a los 23 metros de profundidad en el SEV-28 y tiene un espesor de 97 metros. En el SEV-27 se presenta a los 39 metros de profundidad y tiene un espesor de 156 metros.

Sobre yaciendo a la capa anterior, se encuentra una capa de característica permeable (color azul) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 73 y 15 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra a 8 metros de profundidad para el SEV-28 y tiene un espesor de 15 metros. En el SEV-27 se encuentra a los 26 metros de profundidad y muestra un espesor de 13 metros. **Esta capa no tiene posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas y andesitas fracturadas.**

Las capas superficiales se relacionan con tobas soldadas, ignimbritas, andesitas y brechas ácidas sin posibilidades acuíferas, presentan valores de resistividad eléctrica calculada desde los 53 hasta los 339 Ohm-metro. Se ubican desde la superficie y presentan espesores de 8 metros para el SEV-28 y de 26 metros para el SEV-27.

Desde el punto de vista geofísico la zona suroeste del proyecto Altozano carece de importancia acuífera.

En las otras tres áreas estudiadas, si se encontraron capas con interés acuífero:

1.- En el predio que se encuentra ubicado junto a la carretera a Jesús del Monte y la Plaza Comercial, la capa se encuentra a 45 metros de profundidad para el SEV-21 y tiene un espesor de 255 metros y en el SEV-22 se encuentra a los 101 metros de profundidad y muestra un espesor de 132 metros.

2.- En el predio que se ubica al poniente del cerro Sinaí, la capa se encuentra a 83 metros de profundidad para el SEV-24 y tiene un espesor de 511 metros. En el SEV-23 se encuentra a los 69 metros de profundidad y muestra un espesor de 104 metros.

3.- En el predio que se ubica al sur de la población de Jesús del Monte, la capa se encuentra a 51 metros de profundidad para el SEV-26 y tiene un espesor de 128 metros. En el SEV-25 se encuentra a los 11 metros de profundidad y muestra un espesor de 238 metros.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

-Astier, J.L., 1975.- GEOFÍSICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGÍA, Paraninfo, Madrid, España.

- Castany, G., 1975.- PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. Editorial OMEGA, Barcelona, España.

-Canul D. R. y Rocha. S. V. , 1984.- ESTUDIO GEOLÓGICO REGIONAL CON FINES GEOTÉRMICOS DE LA ZONA NORTE DEL EDO. DE MICHOACÁN., C.F.E. INÉDITO.

- Estudios Geofísicos del Subsuelo, 2001.- ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA FRACCIONAMIENTO A DESARROLLARSE EN LOS PREDIOS UBICADOS AL OCCIDENTE Y NORTE DE LA COMUNIDAD DE JESÚS DEL MONTE, MUNICIPIO DE MORELIA, MICH. Inédito.

- Estudios Geofísicos del Subsuelo, 2006.- ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN EL FRACCIONAMIENTO MONTAÑA MONARCA, COMUNIDAD DE JESÚS DEL MONTE, MUNICIPIO DE MORELIA, MICH. Inédito.

- Instituto Nacional de estadística Geografía e Informática.- CARTA TOPOGRÁFICA 1:50,000, MORELIA E 14A23.

-Kalenov, E.N. , 1987.- INTERPRETACIÓN DE CURVAS DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, España.

-Orellana, E., Mooney, H.M., 1966.- MASTER TABLES AND CURVES FOR VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING OVER LAYERED STRUCTURES, Ediciones Interciencia, Madrid, España.

- Vargas, L. H., 1985.- SINOPSIS DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO LOS AZUFRES-CUITZEO, Edo. de Michoacán. C.F.E. INÉDITO.

Atentamente,

Hugo Rainier Ballina López
Ingeniero Geofísico

Juan J. Herrera Franco
Ingeniero Geólogo