

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO - GEOFÍSICO  
E HIDROGEOQUÍMICO,  
EN LOS ALREDEDORES DEL PROYECTO  
" SAN PEDRO"  
MUNICIPIO DE MORELIA,  
ESTADO DE MICHOACÁN.**

**NOVIEMBRE 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.- Climatología**

### **IV.2.- Hidrología**

### **IV.3.- Piezometría**

## **V.- GEOLOGÍA**

### **V.1.- Unidades litológicas**

### **V.2.- Geología estructural**

### **V.3.- Geomorfología**

### **V.4.- Riesgo Geológico**

## **VI.- CENSO DE MANIFESTACIONES DE AGUAS SUPERFICIALES**

## **VII.- CONDICIONES HIDROGEQUÍMICAS DE LA ZONA**

### **VII.1.- Análisis Físico-Químico de muestras de agua**

## **VIII.- GEOFÍSICA**

### **VIII.1.- Interpretación**

## **IX.- BIBLIOGRAFÍA**

## **I.- INTRODUCCIÓN**

La empresa CASAS ARKO EDIFICACIONES S.A. DE C.V. de la ciudad de Morelia, Mich., consciente de la gran problemática ambiental y de la necesidad del agua del subsuelo, desea conocer las condiciones hidrológicas, geológicas, geofísicas e hidrogeoquímicas, que guardan los terrenos donde se ubicará el fraccionamiento San Pedro y su relación con el manantial La Mintzita.

Con la finalidad de establecer la relación directa que existe entre el manantial La Mintzita y los futuros pozos a construirse en el proyecto San Pedro, la compañía constructora encomendó a la empresa Estudios Geofísicos del Subsuelo, la realización de un estudio geohidrológico que establezca las condiciones físicas, litológicas, estructurales e hidrológicas del subsuelo. De igual forma el presente estudio plantea el análisis físico-químico-bacteriológico de muestras de agua de pozos y manantiales, que sirvieran como referencia de la calidad de agua actual y su relación que existe, tanto a su origen como a su calidad.

Inicialmente el estudio se planteó en un área de 100 Km<sup>2</sup> alrededor del fraccionamiento, sin embargo, se amplió al norte, ya que en esta zona se encuentra la mayor parte de pozos perforados, con la finalidad de conocer la dirección del flujo subterráneo de toda la zona y definir los sitios de toma de muestras de agua para su análisis físico-químico bacteriológico.

## **II.- RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **II.1.- Resumen**

El estudio hidrogeológico cubrió una superficie de 100 km<sup>2</sup>, como punto central se consideró el manantial La Mintzita; se amplió regionalmente el recorrido de campo hacia el Norte y Sur, con el fin de obtener mayor información de los aprovechamientos de agua de la zona y determinar la columna litológica del subsuelo.

Durante el levantamiento de campo se definieron las siguientes actividades: geología superficial, análisis estructural dentro de los terrenos del fraccionamiento y en toda el área, características hidrológicas de las rocas, censo de puntos de agua ( pozos y manantiales) y sus condiciones actuales. De igual forma se realizó la colecta de 9 muestras de agua para su análisis físico-químico-bacteriológico, con la finalidad de comparar su composición química entre sí. En el estudio geofísico se realizaron 8 Sondeos Eléctricos Verticales mediante el dispositivo tetraelectrónico Schlumberger AB= 3,000 metros, en sitios previamente seleccionados por geología, los cuales sirvieron para definir la presencia de fallas en el subsuelo y su relación con el acuífero de la zona.

## **II.2.- Conclusiones**

Geológicamente, en esta área afloran exclusivamente rocas de origen extrusivo, de edad que varía del Plioceno al cuaternario, constituidas por Tobas, Ignimbritas y riolitas (Tptb), que subyacen a derrames de andesitas-basálticas (Qmab); basaltos vesiculares "Malpaís" (Qbm), Conos Cineríticos (Qic) y los depósitos más recientes corresponden a suelos y aluviones (Qal).

**En la parte central del área no se observan, arroyos o corrientes naturales importantes o muy desarrolladas, solo la presencia de los derrames del Cerro El Águila y Loma del Divisadero. Estos derrames volcánicos están principalmente constituidos por roca de tipo basáltico, altamente permeables lo que permite una rápida infiltración del agua al subsuelo que recarga inmediatamente al acuífero superficial de la zona, por lo que el agua no viaja, se infiltra y cuyo exceso se manifiesta a través de los manantiales, presentes o asociados a fallas normales de dirección NE-SW y E-W.**

**Estas fallas en la zona de estudio, controlan y alinean a la dirección del Flujo Subterráneo del agua en la zona.**

**En la parte alta donde se ubicara el Fraccionamiento San Pedro, solo existe un pozo y la mayor cantidad de agua que se aprovecha en la zona es a través de manantiales.**

**Sobre la traza de la Falla Cointzio se localizan los manantiales del Balneario Cointzio y San Antonio Parangare ambos de 5 lps. Esta falla al parecer actúa como una barrera hidrológica que separa dos ambientes hidrológicos; uno a partir de la falla hacia el norte, que es el responsable de la gran saturación superficial de agua que alimenta al manantial de La Mintzita y otro ambiente al sur a partir de la falla, donde los aprovechamientos son escasos y solo en trazas de falla (pozo Uruapilla y manantiales de Santiago Undameo) se presentan afloramientos de agua. En esta porción sur, se tiene la presencia de basaltos que cubren a ignimbritas y tobas impermeables, lo que provoca que el agua al infiltrarse en los basaltos lleve a las capas impermeables y aflore (Manantial de Santiago Undameo).**

**La dirección del flujo subterráneo en la zona de estudio está controlado por fallas geológicas y las características permeables de las rocas presentes; esta característica física de las rocas permite la presencia de grandes manantiales en la parte baja o base de estos derrames volcánicos en una elevación de 1,900 msnm.**

En base a los niveles de 7 manantiales y 22 pozos situados dentro y fuera, del área de estudio, se obtuvo la información piezométrica relativa a la profundidad de los diferentes niveles del acuífero de la zona. En la interpretación de la configuración de curvas isopiezas se observó que la dirección del flujo subterráneo es Norte a Sur y de Occidente a Oriente, hacia el valle denominado Itzicuaru.

De la interpretación obtenida, se concluye la existencia de una zona de recarga de Norte a Sur, de rápida infiltración y gran gasto, el cual fluye en la base de los derrames volcánicos provenientes del aparato volcánico cerro Las Tetillas de Quinceo y los cuales recargan el acuífero profundo de la zona.

En la parte centro-sur del área, la dirección del flujo subterráneo de agua es de Poniente a Oriente, dicha orientación está controlada por la presencia de una falla normal de dirección E-W con el bloque caído al norte, a esta falla se le ha denominado Falla Geológica El Águila con un escarpe de falla de 47 metros (Dr. Victor Hernández Madrigal). Si se extrapola la dirección de esta falla, pasa exactamente por el manantial La Mintzita y continúa su escarpe hasta la población de Emiliano Zapata.

En la zona del fraccionamiento San Pedro, solo existe un pozo y tres manantiales, pero igualmente la dirección del flujo subterráneo y la presencia de los aprovechamientos, esta controlada por fallas geológicas de dirección NE-SW. Solo se determinó la presencia de un acuífero libre superficial, alojado en tobas pumiciticas y tobas arenosas que alimenta a todos los manantiales

La falla normal denominada El Águila de dirección NE-SW, que define un escalanamiento al norte con un escarpe de altura máxima de 47 metros, se ubica al sur de la población de San Antonio Parangare y su traza pasa justo donde se localiza el manantial La Mintzita para continuar hasta la población de Emiliano Zapata.

La falla normal llamada Cointzio se manifiesta al sur del área, presenta un rumbo NE-SW hasta E-W, se alinea a partir de la población de Cointzio y continua al occidente hasta la población Joya de Buenavista, donde sufre una pequeña deflexión al NE-SW. Esta falla normal presenta un escarpe de más 130 metros y sobre ella se presentan los manantiales de Cointzio y San Antonio Parangare.

Esta falla Cointzio, de igual manera, forma una barrera hidrológica que no contribuye con presencia de agua subterránea al Manantial La Mintzita, debido a que en esta parte alta solo existe un pozo con un nivel estático a los 60 metros de profundidad y solo existen manantiales en altitudes de 2,000 metros (manantiales de Santiago Undameo) y el manantial la Mintzita se localiza en una elevación de 1,888 msnm, con una diferencia topográfica de 112 metros.

Al sur del área, se presentan nuevamente dos fallas normales con su caído al NW, tiene una dirección regional NE-SW y a ambas fallas se asocia la presencia tanto de los manantiales de Santiago Undameo como del pozo de Uruapilla. Toda el agua que llueve sobre los derrames del Cerro El Águila se infiltran inmediatamente al subsuelo y al llegar en contacto con las tobas e ignimbritas impermeables afloran en forma de manantiales.

En la parte central del área, se ubica la Falla Cerrito, que sigue una burda alineación NE-SW hasta E-W, la cual controla la dirección del flujo subterráneo de esta zona y a la cual si se observa su continuidad, se asocia a ella la presencia del manantial de San Lorenzo Itzicuaró.

**Del análisis de los resultados hidrogeoquímicos obtenidos, se concluye lo siguiente: De la falla El Águila hacia el sur (hacia el proyecto San Pedro) el tipo de agua que se encuentra es de la Clase Bicarbonatada, del Grupo Sódica, Tipo I.**

De la falla El Águila hacia el norte ( hacia La Mintzita), el tipo de agua que se encontró es de la Clase Bicarbonatada, del Grupo Cálcico, Tipo I.

Lo anterior indica hidrogeoquímicamente que el agua de ambas zonas es diferente y la división de ambas se lleva a cabo por efecto de la falla El Águila.

Desde el punto de vista geofísico, existen dos ambientes geológicos: Uno de la falla de Cointzio al Sur y el otro de la falla de Cointzio al Norte.

En la parte norte de la falla mencionada, se encuentra una capa o basamento eléctrico relacionada con andesitas compactas sin posibilidades acuíferas, mientras que al sur de la falla mencionada no se encuentra y los espesores en las tobas son mayores.

Desde el punto de vista acuífero existen dos zonas bien definidas:

En la zona norte los pozos de agua deben de alcanzar profundidades máximas de 250 metros, mientras que en la zona sur los pozos deben de realizarse por debajo de los 400 metros de profundidad.

Debido a la existencia de manantiales presentes al norte del sitio donde se pretende construir el fraccionamiento San Pedro y a la existencia de rocas impermeables en su superficie del predio, el riesgo que se corre al verter aguas residuales en sistemas de drenaje, arroyos y en la superficie del terreno, es de que estas aguas se infiltren al subsuelo y tengan contacto con el acuífero de la zona para contaminarlo. Por lo que deberán de existir plantas de tratamiento de aguas residuales y cuidar el desalojo de las aguas tratadas.

En el manantial de La Mintzita, con un gasto aproximado de 1,500 lps, los habitantes de la zona lavan su ropa y utilizan el agua para consumo de servicios y potable. Esto ha traído consigo que el lugar se halla convertido en un basurero, donde flotan envases de cloro, detergentes, gran cantidad de lirio y basura (Fotos 3, 4, 5 y 12). Pero lo increíble de esto, es que esta misma agua, aguas abajo se utilice como agua potable y sea enviada a la ciudad de Morelia.

Las viviendas pertenecientes a las comunidades de La Mintzita, Ampliación La Mintzita y Mirador de La Mintzita, ubicadas a pocos metros del manantial; todas ellas cuentan con letrinas con su desalojo directo de los residuos al suelo y a las rocas altamente permeables, lo que provoca una contaminación directa a las aguas.

Lo que aún es más increíble, es que las escuelas también cuentan con letrinas, aumentando así el deterioro ecológico con el deshecho de las heces a la superficie del terreno, tal y como se demuestra en el resultado del análisis físico-químico-bacteriológicos del agua de La Mintzita, donde aparecen Coliformes Fecales.

Debido a la existencia de rocas permeables ( basaltos vesiculares ) en el estrato superior del área de estudio, sobre todo en las partes planas, el riesgo que se corre al verter aguas residuales en fosas sépticas, arroyos y en la superficie del terreno, es de que estas aguas se infiltren inmediatamente al acuífero de la zona, para contaminarlo.

### **II.3.- Recomendaciones**

Debido a la existencia de manantiales presentes al norte del sitio donde se pretende construir el fraccionamiento San Pedro y a la existencia de rocas impermeables en su superficie del predio, el riesgo que se corre al verter aguas residuales en sistemas de drenaje, arroyos y en la superficie del terreno, es de que estas aguas se infiltren al subsuelo y tengan contacto con el acuífero de la zona para contaminarlo. Por lo que se recomienda la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales y cuidar el desalojo de las aguas tratadas, por lo menos 200 metros aguas abajo del manatíal La Mintzita.

Por lo anterior, es necesario tener un control de todas las obras sanitarias que existan en la zona y de esta manera, tratar de evitar al máximo que estas aguas se infiltren. Por lo que es recomendable realizar periódicamente análisis físico-químicos del agua de los pozos.

## **III.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

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

El área de estudio se localiza 12 Km al suroeste del centro de la ciudad de Morelia, Mich, el proyecto del fraccionamiento San Pedro se ubica 2 km al noreste de la comunidad de Cointzio y al sur con el camino de terracería que comunica a la población de La Joya de Buenavista en el municipio de Morelia, en el Estado de Michoacán.

La zona de estudio en su totalidad se ubica al Suroccidente de Morelia, Mich, y como accesos principales se tiene la autopista Morelia-Pátzcuaro y la carretera Federal No 15 Morelia-Guadalajara; se sitúa entre las coordenadas geográficas 19° 35' 58" - 19° 36' 04" y 19° 42' 05" - 19° 42' 15" de latitud Norte, 101° 14' 33" - 101° 14' 43" y 101° 19' 53" - 101° 19' 55" de longitud Oeste ( FIGURA 1).

Se presentan gran cantidad de caminos pavimentados y brechas que comunican en su totalidad al área de estudio.

## IV.- GENERALIDADES

### IV.1.- Climatología

El clima de la región es templado sub-húmedo 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 900 a 1,000 mm.

La evaporación media anual en la zona de estudio es del orden de 1,900 a 2,400 milímetros, notándose que se evapora más que 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 y la presa de Cointzio).

Lo anterior, implica que cualquier recarga al acuífero debe esperarse por escurrimientos que entran a la zona y por precipitación e infiltración directa regional (rocas permeables).

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

La estación climatológica más cercana al predio es la Estacion Cointzio, la cual se sitúa en la cortina de la presa de Cointzio.

**Estación Climatológica Cointzio.-** Situada 2 kilómetros al Oriente del fraccionamiento San Pedro, con un periodo de 60 años de observación ( de 1940 a 1986 y de 1992 al 2004).

Precipitación total = 46,304.67 milímetros

Promedio Anual en estos años = 771.744 milímetros

Años más lluvioso = 1958 con 1,392.8 milímetros  
1967 con 1,024.7 milímetros  
1968 con 1,084.7 milímetros  
1976 con 1,100.8 milímetros  
1977 con 1,018.6 milímetros

Año menos lluvioso = 1946 con 391.6 milímetros  
1974 con 308.0 milímetros  
1982 con 595.0 milímetros

Meses más lluviosos = Agosto de 1951 con 394.8 milímetros  
Julio de 1968 con 379.8 milímetros  
Julio de 1983 con 336.8 milímetros

Días más lluviosos = Septiembre de 1967 con 78.9 milímetros  
Julio de 1968 con 135.8 milímetros  
Mayo de 1985 con 50.5 milímetros  
Junio de 1999 con 78.0 milímetros

**Actualmente uno de los grandes daños ecológicos que se presentan, es el que el agua de lluvia se deslice por los caminos, avenidas y carreteras pavimentadas y se desaloje directamente a los ríos y arroyos, provocando con esto, que ya no se infiltre al subsuelo y no recargué a los acuíferos. Por lo que es muy importante que las autoridades municipales, gobiernos estatales y federales, establezcan programas que consideren como requisito, que cada usuario establezca pozos de absorción del agua de lluvia.**

## **IV.2.- Hidrología**

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 2,820 Km<sup>2</sup>. 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 perenes. 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.

A ambas margenes de la zona de estudio, se presentan dos amplias sierras conformadas por los grandes aparatos volcánicos Las Águilas y Las Animas de más de 2,500 sobre el nivel del mar. Estas amplias sierras su recarga superficial es de sur a norte y de oriente a poniente.

Los rasgos hidrográficos importantes del área de estudio son: La presa de Cointzio que suministra de agua potable a la ciudad de Morelia, Mich; el manantial de La Mintzita y El Río Grande que alimenta al Lago de Cuitzeo. Además existen varios manantiales cuyas aguas drenan a las partes bajas con su descarga final al Río Grande.

Otros manantiales presentes en el area son la serie de grandes manantiales presentes en el borde occidente de la presa Cointzio, solo observables cuando disminuye el nivel del agua, con gastos mayores a 100lps.

Sin embargo a esta region hidrologica, 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 Km<sup>2</sup>.

El recurso acuático más cercano e importante al predio es la Presa de Cointzio, la cual tiene una cuenca de captación de 486 Km<sup>2</sup>, con una capacidad de almacenamiento de 84.8 millones de m<sup>3</sup> y sirve además de suministrar agua potable a la ciudad de Morelia, para regar 14,888 Has; posee un vertedor que permite una avenida máxima de 600 m<sup>3</sup> / seg. ( FIGURA 1 ). Del total de la capacidad instalada se destinan: 19.86 millones de m<sup>3</sup> para agua potable.

La presa pertenece al Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, Gerencia Estatal de Michoacán - Comisión Nacional del Agua.

Al norte del área de estudio se localiza el manantial de La Mintzita, con un gasto aproximado de 1,500 lps (Fotos 3 a 5 y 12). Aguas abajo se utiliza como agua potable y es enviada a la ciudad de Morelia.

Como se observa en la Figura No 1, en la parte central del área no se tienen arroyos o corrientes naturales importantes o muy desarrolladas, solo la presencia de los derrames del Cerro El Águila y Loma del Divisadero. Estos derrames volcánicos están principalmente constituidos por roca de tipo basáltico, altamente permeables lo que permite una rápida infiltración del agua al subsuelo recargando inmediatamente al acuífero superficial de la zona, por lo que el agua no viaja, se infiltra y cuyo exceso se manifiesta a través de los manantiales, presentes o asociados a fallas normales de dirección NE-SW y E-W.

Estas fallas en la zona de estudio, controlan y alinean la dirección del Flujo Subterráneo del agua en la zona.

En la parte alta donde se ubicará el fraccionamiento San Pedro, solo existe un pozo y la mayor cantidad de agua que se aprovecha en la zona es a través de manantiales. Sobre la traza de la Falla Cointzio, se localizan los manantiales del Balneario Cointzio y San Antonio Parangare ambos de 5 lps. Esta falla al parecer actúa como una barrera hidrológica, separando dos ambientes hidrológicos; uno a partir de la falla hacia el norte, que es el responsable de la gran saturación superficial de agua que alimenta al manantial de La Mintzita y otro ambiente al sur a partir de la falla y donde los aprovechamientos son escasos y solo en trazas de falla (pozo Uruapilla y Manantiales de Santiago Undameo) se presentan afloramientos de agua. En esta porción sur, se tiene la presencia de basaltos que cubren a ignimbritas y tobas impermeables, lo que provoca que el agua al infiltrarse en los basaltos llegue a las capas impermeables y aflore (Manantial de Santiago Undameo).

La dirección del flujo subterráneo en la zona de estudio está controlado por fallas geológicas y las características permeables de las rocas presentes, esta característica física de las rocas, permite la presencia de grandes manantiales en la parte baja o base de estos derrames volcánicos en una elevación de 1,900 msnm (manantial de San Lorenzo Itzicuaro); sin embargo, estas aguas se mezclan con las provenientes del occidente y ambas drenan al valle de Itzicuaro.

### **IV.-3.- Piezometría.**

En base a los niveles de 7 manantiales y 22 pozos situados dentro y fuera, del área de estudio, se obtuvo la información piezométrica relativa a la profundidad de los diferentes niveles del acuífero de la zona (Fotos 1 a 16 y 23 a 24).

Estos niveles ayudan a conocer la dirección del flujo del agua subterránea en el subsuelo. En la interpretación de la configuración de curvas isopiezas se observó que la dirección del flujo subterráneo es Norte a Sur y de Occidente a Oriente, hacia el valle denominado Itzúcuaro (FIGURA 2).

De la interpretación obtenida, se concluye la existencia de una zona de recarga de Norte a Sur, de rápida infiltración y gran gasto, el cual fluye en la base de los derrames volcánicos provenientes del aparato volcánico cerro Las Tetillas de Quinceo y los cuales recargan el acuífero profundo de la zona, el cual presenta una dirección de flujo de Occidente a Oriente y se aprovecha a través de pozos con una profundidad promedio de 200 metros y gastos que varían de 5 a 40 lps. Estos pozos según sus usuarios, en época de lluvia mantienen los gastos y solo algunos de ellos en épocas de secas bajan sus gastos hasta un 50 %.

En la parte centro-sur del área, la dirección del flujo subterráneo de agua es de Poniente a Oriente, dicha orientación está controlada por la presencia de una falla normal de dirección E-W con el bloque caído al sur, a esta falla se le ha denominado Falla Geológica El Águila con un escarpe de falla de 47 metros (Dr. Victor Hernández Madrigal). Si se extrapola la dirección de esta falla, pasa exactamente por el manantial La Mintzita y continúa su escarpe hasta la población de Emiliano Zapata.

En la zona del fraccionamiento San Pedro, solo existe un pozo y tres manantiales, pero igualmente la dirección del flujo subterráneo y la presencia de los aprovechamientos, está controlada por fallas geológicas de dirección NE-SW. Solo se determinó la presencia de un acuífero libre superficial, alojado en tobas pumicíticas y tobas arenosas que alimenta a todos los manantiales y los cuales fluyen a través de fracturas en dirección NE 30°-40° SW (manantial Cintzio), NW 20° SE (manantial La Mintzita), NE 50° SW (manantial Parangare) y NE 82°- 85° SW hasta E-W. , algunos de estos manantiales fluyen a través de fracturas en las rocas de dirección N-S ( FIGURA 1). De igual manera se tiene la presencia de un acuífero confinado a mayor profundidad de bajo rendimiento (Fotos 1 a 12).

Los manantiales de la zona, presentan gastos que varían de 0.5, a más de 100 lps (manantiales de Santiago Undameo); a excepción del manantial de la Mintzita que tiene un gran gasto (1,500 lps) (Fotos 3 a 5 y 8 a 12).

## 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 unidades litológicas que han sido cartografiadas y que conforman el marco geológico del área de estudio, que cubrió una superficie de 100 Km<sup>2</sup>. Las rocas son de origen volcánico y su edad varía del Plioceno al Cuaternario.

#### **Unidad de Tobas Ignimbríticas, Brechas y Tobas Pumicíticas (Tptb)-**

Geológicamente en esta área, las rocas consideradas del Plioceno Inferior-Medio afloran en la parte sur-sureste del área (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 ignimbríticas muy compactas e impermeables (Fotos 17, 18 y 20). 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.

La base de la secuencia que aflora en el área del proyecto San Pedro, se encuentra constituida por brechas, aglomerados y grandes bloques de tobas ignimbríticas de color rosado, incluye fragmentos de cristales de cuarzo y pómez. Los bloques de roca presentan fracturas de dirección NE 26° - 30° SW y echados de 90° al Norte; sobre los escarpes de las fallas se observan fracturas de dirección NW 75° SE hasta E-W y echados de 60° al NE. El manantial del Balneario Cointzio, fluye en este tipo de rocas sobre una fractura de dirección NE 30° SW (Fotos 1 y 2).

Las rocas riolíticas y tobas ignimbríticas presentan una textura granular muy compacta e impermeable; le sobreyacen tobas arenosas muy compactas e igualmente impermeables de color café claro, que incluyen una gran abundancia de fragmentos de rocas riolíticas, andesitas y cristales de cuarzo. Estas rocas que se sitúan en la parte media-superior de la secuencia se encuentran fracturadas en dirección N-S y NW 75° SE.

La parte media de esta secuencia está constituida por tobas arenosas muy deleznable, de color café claro y de grano fino. Estas tobas arenosas incluyen gran cantidad de fragmentos de pómez, cuarzo, de rocas andesíticas y basaltos que no presentan granulometría selectiva, solo cierta uniformidad en los fragmentos de pómez, sin embargo, se observan pseudoestratos 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; el espesor de esta secuencia varía de 10 a 30 metros.

La parte media-superior de la secuencia está constituida por tobas pumicíticas de color blanco sumamente deleznable y que al erosionarse dan origen a un polvo blanco muy fino. Presentan una textura fanerítica de grano fino a medio, con gran abundancia de cristales de pómez y cuarzo. El espesor que se le midió superficialmente a esta unidad es de 5 metros y se encuentra en forma pseudoestratificada. En algunos lugares la cima de esta roca está constituido por riolitas muy compactas, con un alto contenido de cuarzo y tobas granulares pumicíticas muy compactas.

**Hidrológicamente la parte media superior de toda la secuencia, presenta una permeabilidad moderada, lo que permite la presencia de un acuífero superficial saturado, el cual fluye a través de fracturas de dirección NE-SW, N-S y E-W. La parte inferior de la secuencia presenta una permeabilidad primaria baja, sin embargo, ésta se mejora debido a la presencia de las brechas y fracturas presentes, por lo que puede contener un acuífero de moderado rendimiento.**

**Derrames de rocas Andesíticas-Basálticas ( Qmab )** .- Esta unidad de rocas afloran ampliamente al Norte y Suroeste del área de estudio y corresponde a los flujos que provienen del Cerro Las Tetillas de Quinceo de 2,700 msnm y Cerro El Águila de 3,000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Los flujos del gran aparato volcánico Cerro del Águila fluyeron en forma radial y presentan una topografía abrupta en forma de coladas laminares.

La parte superior de estos derrames volcánicos, está representada por flujos de tipo laminar de rocas basálticas vesiculares, con gran presencia de oquedades. Los afloramientos se presentan en grandes bloques que llegan a medir hasta 2 metros de diámetro. La parte media de esta secuencia, la constituyen rocas de composición andesítica-basáltica de color gris oscuro, presentan una textura afanítica y estructura compacta y que en los frentes de derrame de estas rocas, se presentan estratos de escorias y brechas volcánicas. Estos flujos en sus frentes de derrame presentan un alto fracturamiento, lo que favorece su permeabilidad.

Algunos derrames de esta secuencia afloran en forma dispersa en bloques y en la parte superior de las rocas, se presentan vesículas y hoquedades. Su composición es andesítica-basáltica de color verde oscuro y estructura muy compacta; estos derrames en su base se encuentran fracturados en dirección Norte-Sur (Fotos 19 y 21).

En la base de los derrames se observan zonas de brechas, escoria volcánica y basaltos, lo que es aprovechado para que fluya el manantial de la Mintzita de un gasto de 1,500 lps, que suministra de agua potable a la ciudad de Morelia.

**Hidrológicamente la parte baja de estos derrames, presenta una permeabilidad alta, lo que permite la presencia de un acuífero superficial saturado, el cual fluye a través de fracturas de dirección N-S, por lo que puede contener grandes acuíferos. Esta unidad de rocas permite constituir una formación transmisora del agua hacia el subsuelo de forma rápida.**

La edad que se le asigna a estas rocas es del Cuaternario, su espesor sobrepasa los 300 metros y son contemporáneas a los derrames del malpaís .

**Derrames de Basaltos Vesiculares "Malpaís" (Qsbm).**- Se consideran del Cuaternario (FIGURA 1 ) y están constituidas por una amplia secuencia de derrames de composición basáltica, que afloran en la parte Centro y Noroccidente del área. Estos derrames fluyeron hacia el noreste. A estos productos en el área de estudio se les denomina Malpaís, los cuales presentan una topografía con fuertes desniveles y accidentada, con rompimientos bruscos en sus flujos, que provocan superficies pedregosas.

Estos derrames presentan además, un fracturamiento alto en sus frentes de derrame y una textura vesicular.

La secuencia litológica en el área de estudio, se encuentra constituida por basaltos vesiculares, que contienen gran cantidad de oquedales en su superficie. La cima de estos flujos presenta cordadas o líneas de flujo laminar en dirección Noreste, tal y como fluyeron las rocas. Estos derrames, debido a que sufren un rápido enfriamiento, presentan morfologías accidentadas y de gran fracturamiento en bloques, lo que da una apariencia de Malpaís.

Los flujos presentan un gran fracturamiento en su superficie en dirección general N-S y NE 10-28 SW y en ocasiones NW 35° SE. La base de estos derrames presenta zonas escoréáceas y brechoides, lo que permite una alta permeabilidad y es por donde fluye el manantial de la población de San Lorenzo Itzicuario de más de 40 lps.

**Hidrológicamente, esta unidad funciona como receptora y transmisora del agua superficial y subterránea. Esto debido a que los derrames presentan una porosidad primaria elevada, por lo que estas rocas pueden contener acuíferos libres de alto rendimiento y también pueden funcionar como zonas de recarga.**

La edad que se le asigna a estos productos es del Cuaternario y su espesor sobrepasa los 40 metros.

**Debido a que en el área de estudio no se aprecian las rocas que subyacen a la secuencia anterior, se realizó un recorrido geológico a norte del área, en la población de Cerrito Itzicuario, donde se observó que las secuencias anteriores descansan sobre arenas y cenizas volcánicas pseudoestratificadas muy compactas y de grano fino, de color café oscuro con un alto bandeamiento (Sedimentos Lacustres); las cuales sobreyacen a tobas arcillosas, brechas y tobas ignimbríticas de color rosado, las cuales se encuentran muy alteradas e incluyen fragmentos de rocas ignimbríticas, riolitas y andesitas.**

**Sobre este tipo de rocas de origen tobáceo, depositadas en medios acuosos, es donde se presenta el acuífero profundo de la zona de estudio y muestra los mejores gastos de la zona ( 40 lps pozo Fracc. Los Maestros ).**

**Conos Cineríticos (Qic).**- Está unidad de rocas esta constituida por pequeños cuerpos volcánicos, que incluyen cenizas, arenas y escorias volcánicas. Estos cuerpos constituyen los cerros: Pelón y Cerrito Itzicuario con elevaciones promedio de 2,300 y 2,000 msnm respectivamente. Los materiales de estos cerros actualmente son explotados y se usan en la construcción.

El espesor de estos pequeños volcanes, no sobrepasa los 200 metros y se les asigna una edad del Cuaternario Superior.

**Suelos y Aluviones ( Qal )** .- Afloran en la parte centro-oriente del área de estudio y están constituidos por suelos y aluviones, los cuales presentan una baja permeabilidad, lo que permite la presencia de un acuífero libre de bajo rendimiento en este estrato.

La edad que se les asigna a estos productos es del Cuaternario o Reciente.

## **V.2.- Geología Estructural**

Regionalmente se aprecia un solo sistema estructural de dirección Este-Oeste (E-W), representado por fallas normales que provocan una depresión central o graben, hacia el valle de Itzicuaró. Las fallas normales interpretadas presentan caídos al Norte.

En la parte sur del área, se definieron la presencia de 4 fallas normales importantes que controlan la dirección del flujo subterráneo de la zona y a ellas se asocia la presencia de manantiales y pozos:

La Falla Normal denominada El Águila de dirección NE-SW, que define un escalanamiento al norte con un escarpe de altura máxima de 47 metros (dato obtenido del Análisis de Peligros Geológicos en el Fraccionamiento San Pedro, Ejido de Cointzio, por el Dr. Víctor Manuel Hernández Madrigal), esta falla se ubica al sur de la población de San Antonio Parangare, si se observa en la Figura 1 la traza de esta falla, se puede apreciar que pasa justo donde se localiza el manantial La Mintzita y su traza continúa hasta la población de Emiliano Zapata. En el manantial La Mintzita, los manantiales fluyen en fracturas en las rocas de dirección NW 34° SE y echados de 90°. Esta falla controla además la dirección de flujo subterráneo del agua y sirve como barrera, lo que provoca que toda el agua que llueve al occidente, sobre el cerro del Águila y los derrames de La Loma del Divisadero se infiltre inmediatamente al subsuelo y se alinee sobre esta traza de la Falla El Águila y se manifieste en el manantial La Mintzita

La Falla Normal llamada Cointzio, manifiesta al sur del área, presenta un rumbo NE-SW hasta E-W, se alinea a partir de la población de Cointzio y continúa al occidente hasta la población de La Joya de Buenavista, donde sufre una pequeña deflexión al NE-SW. Esta falla normal presenta un escarpe de más 130 metros y sobre ella se presentan los manantiales de Cointzio, que fluye en una fractura de dirección NE 30°-40°W y San Antonio Parangare que fluye igualmente en fracturas de dirección Este-Oeste y NE 50°SW. En la cima o piso de esta falla se situará el fraccionamiento San Pedro.

La falla Cointzio, forma una barrera hidrológica que no contribuye con presencia de agua subterránea al manantial La Mintzita, debido a que en esta parte alta solo existe un pozo con un nivel estático a los 60 metros de profundidad y solo existen manantiales en altitudes de 2,000 metros (manantiales de Santiago Undameo); el manantial La Mintzita se localiza en una elevación de 1,888 msnm, existiendo una diferencia topográfica de 112 metros.

Al sur del área, se presentan nuevamente dos fallas normales con su caído al NW, tiene una dirección regional NE-SW ; a ambas fallas se asocia la presencia tanto de los manantiales de Santiago Undameo, como del pozo de Uruapilla. Toda el agua que llueve sobre los derrames del cerro El Águila se infiltra inmediatamente al subsuelo y al llegar en contacto con las tobas e ignimbritas impermeables afloran en forma de manantiales.

**Debido a la edad reciente de los derrames volcánicos en el área de estudio, las fallas geológicas existentes se encuentran enmascaradas y cubiertas por los mismos, por lo que su reflejo se observa más claramente de manera regional.**

Los pequeños volcanes cineríticos, presentan una burda alineación Noreste - Suroeste (NE-SW).

En la parte central del área se ubica la Falla Cerrito, que sigue una burda alineación NE-SW hasta E-W, la cual controla la dirección del flujo subterráneo de esta área y a la cual si se observa su continuidad, se asocia a ella la presencia del manantial de San Lorenzo Itzícuaro.

### **V.3.- Geomorfología**

El área de estudio presenta una morfología joven caracterizada por la presencia de grandes aparatos volcánicos, cuyas elevaciones varían de: 2,700 msnm cerro Las Tetillas de Quinceo y de 3,000 msnm cerro El Águila.

Los flujos de lava que se derivaron de estos grandes aparatos volcánicos hacia el Sur de la zona, presentan una topografía moderada con desniveles poco accidentados de 100 metros de altura.

La zona Centro-Sur del área de estudio presenta productos denominados malpaís, los cuales presentan una topografía accidentada con fuertes desniveles, con rompimientos bruscos en sus flujos que provocan superficies pedregosas. Además, estos flujos también dieron origen a pequeños lomeríos de poca altura.

La zona Norte y Oriente está caracterizada por Conos Cineríticos cuyas elevaciones varían alrededor de 100 metros.

La zona donde se ubicará el fraccionamiento San Pedro, corresponde a una amplia mesa con elevaciones promedio de 2,000 a 2,020 msnm.

#### V.4.- Riesgo Geológico

Debido a la existencia de manantiales presentes al norte del sitio donde se pretende construir el fraccionamiento San Pedro y a la existencia de rocas impermeables en su superficie del predio, el riesgo que se corre al verter aguas residuales en sistemas de drenaje, arroyos y en la superficie del terreno, es de que estas aguas se infiltren al subsuelo y tengan contacto con el acuífero de la zona para contaminarlo. Por lo que deberán de existir plantas de tratamiento de aguas residuales y cuidar el desalojo de las aguas tratadas.

En el manantial de La Mintzita, con un gasto aproximado de 1,500 lps, los habitantes de la zona lavan su ropa y utilizan el agua para consumo de servicios y potable. Esto ha traído consigo que el lugar se halla convertido en un basurero, donde flotan envases de cloro, detergentes, gran cantidad de lirio y basura (Fotos 3, 4, 5 y 12). Pero lo increíble de esto, es que esta misma agua, aguas abajo se utilice como agua potable y sea enviada a la ciudad de Morelia.

En el manantial de la Mintzita, existe un letrero que indica Reserva Ecológica, terreno no apto para vivienda, Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. Esto es una gran burla para la Secretaría, ya que existen viviendas en todo el camino de acceso al manantial y lo único que demuestran nuestras autoridades, es que no les interesa el MEDIO AMBIENTE, a pesar que beben agua de él.

Estas viviendas pertenecientes a las comunidades de La Mintzita, Ampliación La Mintzita y Mirador de La Mintzita, ubicadas a pocos metros del manantial; todas ellas cuentan con letrinas con su desalojo directo de los residuos al suelo y a las rocas altamente permeables, lo que provoca una contaminación directa a las aguas. Pero lo que aún es más increíble, es que las escuelas también cuentan con letrinas, aumentando así el deterioro ecológico con el deshecho de las heces a la superficie del terreno, tal y como se demuestra en el resultado del análisis físico-químico-bacteriológicos del agua de La Mintzita, donde aparecen Coliformes Fecales.

En la ribera del vaso de la presa de Cointzio y en los arroyos que interceptan al área de estudio, se sitúan fabricantes de ladrillo, los cuales aprovechan el poco espesor de suelo para elaborar ladrillos. Sin embargo, estas personas están provocando un deterioro ecológico, ya que al quitar la cubierta vegetal y suelo de las capas superiores aceleran los procesos erosivos y depositan gran cantidad de materiales finos a la presa y a los cauces de los ríos aguas abajo.

Debido a la existencia de rocas permeables ( basaltos vesiculares ) en el estrato superior del área de estudio, sobre todo en las partes planas , el riesgo que se corre al verter aguas residuales en fosas sépticas, arroyos y en la superficie del terreno, es de que estas aguas se infiltren inmediatamente al acuífero de la zona, para contaminarlo.

Por lo anterior, es necesario tener un control de todas las obras sanitarias que existan en la zona y de esta manera, tratar de evitar al máximo que estas aguas se infiltren. Por lo que es recomendable realizar periódicamente análisis físico-químicos del agua de los pozos.

## 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 22 pozos y 7 manantiales (Fotos 1 a 16 y 23 a 24) (TABLA 1).

La profundidad de los pozos varía de 70 a 375 metros, con gastos promedio de 2 a 40 lps, el gasto de los manantiales varía de 0.5 a más de 1,500 lps. El agua potable que abastece a la mayoría de las poblaciones es a través de pozos profundos, solo el manantial de San Lorenzo Itzicuario de más de 40 lps (Foto 34) proporciona agua potable a San Lorenzo Itzicuario y a dos comunidades más.

De igual forma se visitó el manantial de La Mintzita que suministra de agua potable a la ciudad de Morelia, tiene un gasto superior a los 1,500 lps y fluye en fracturas de rumbo NW 34° SE, en la base de basaltos vesiculares y escorias volcánicas ( Qmab ).

**Debido a que el manantial La Mintzita, representa una gran fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Morelia, deberían de existir programas de cuidado y mantenimiento de sus manantiales y riberas por parte de las autoridades y no permitir que se siga habitando, ya que el ser humano es el principal depredador y contaminador de las fuentes naturales de agua. En este manantial, también cargan agua La union de Piperos la Mintzita sin ninguna regulación.**

El manantial de San Lorenzo Itzicuario, fluye en la base de basaltos vesiculares fracturados en bloques y tiene un gasto superior a 40 lps. En este manantial se ha instalado una planta tratadora de aguas, con el fin de obtener agua de mayor calidad para sus usuarios. El agua de este manantial es de color café rojiza y muestra que es agua de rápida infiltración.

El pozo del fraccionamiento de los Maestros, según pláticas del encargado, proporciona un gasto de 40 lps.

El pozo del fraccionamiento Villa Magna, tiene una profundidad de 200 metros, con un nivel estático de 69.60 y un nivel dinámico de 180 para dar un gasto total de 8 lps (Foto ).

El manantial del Balneario de Cointzio, fluye a través de una fractura de dirección NE 30°-40° SW , en tobas y brechas tobáceas compactas. Tiene un gasto de 5 LPs y una temperatura de 34°C (Fotos 1 y 2).

El manantial que suministra de agua potable a San Antonio Parangare y a San Nicolás Obispo, se localiza sobre la traza de una falla geológica normal de dirección Este-

Oeste (E-W), en el bloque bajo, el cual fluye en fracturas en las rocas de dirección NE 50° SW, presenta un gasto de 5 lps (Foto 6 y 7).

Los manantiales situados en la barranca denominada Ladrilleros, que intercepta al predio, fluyen en fracturas de dirección NE 65°-70° SW, en tobas vítreas cristalinas de tipo pumicítico, estos manantiales se alinean a la falla normal de rumbo general NE-SW con el bloque bajo al Noroeste. Tienen un gasto que varía de 0.5 a 5 lps.

La zona de manantiales de Santiago Undameo, que se sitúan en la ribera Suroeste de la presa Cointzio. Está representada por grandes manantiales que fluyen en la base de un derrame de basaltos vesiculares en una longitud de 80 metros lineales y cuyo gasto sobrepasa los 100 lps en conjunto. Estos manantiales solo se aprecian cuando desciende el nivel del agua de la presa (Fotos 8 a 10).

**T A B L A 1**

|    | <b>LOCALIDAD</b>                    | <b>PROFUNDIDAD</b> | <b>N.E</b> | <b>N.D</b> | <b>GASTO</b> |
|----|-------------------------------------|--------------------|------------|------------|--------------|
| 1  | MANANTIALES SANTIAGO UNDAMEO        | ----               | ----       | ----       | + 100        |
| 2  | POZO AGUA POTABLE URUAPILLA         | 100                | 60         | 100        | 3 SE AGOTA   |
| 3  | POZO BALNEARI EL EJIDO              | 90                 | 4          | 35         | 2            |
| 4  | MANANTIAL BALNEARIO COINTZIO        | ----               | ----       | ----       | 5            |
| 5  | MANANTIAL LA MINTZITA               | ----               | ----       | ----       | 1,500        |
| 6  | POZO ROCA DURA                      | 70                 | 16.6       | ----       | 2            |
| 7  | POZO RANCHO TIERRAS PRIETAS         | 100                | 27.6       | ----       | 8            |
| 8  | POZO SAN NICOLAS OBISPO             | 200                | 83.3       | ----       | 16           |
| 9  | POZO CUANAJILLO                     | ----               | 70.30      | ----       | 9            |
| 10 | MANANTIAL SAN ANTONIO PARANGARE     | ----               | ----       | ----       | 5            |
| 11 | LA MINTZITA - PLANTA POTABILIZADORA | ----               | ----       | ----       | 1,500        |
| 12 | POZO CERRITO ITZICUARO              | 200                | 30         | ----       | 9            |
| 13 | MANANTIAL SAN LORENZO ITZICUARO     | ----               | ----       | ----       | 40           |
| 14 | MANANTIAL TABIQUEROS                | ----               | ----       | ----       | 0.5          |
| 15 | POZO SAN DIEGO CASAS ARKO           | ----               | ----       | ----       | ----         |
| 16 | POZO FRACC. RIO FLORIDO             | 200                | 20         | ----       | 16           |
| 17 | POZO AGUA POTABLE RIO FLORIDO       | 200                | 27.80      | ----       | 15           |
| 18 | POZO FRACC. MAESTROS                | 200                | 42         | ----       | 40           |
| 19 | POZO CASA MUJER CENOPISTA           | 150                | 74         | ----       | 12           |
| 20 | POZO OOPAS No 73 TANGANXOAN         | 200                | 62         | 130        | 12           |
| 21 | POZO SAN JUAN CASAS ARKO            | 250                | 78.6       | ----       | 9            |
| 22 | POZO EL RESUMIDERO - LA ASUNCIÓN    | 200                | 48.6       | 52         | 6            |
| 23 | POZO FRACCIONAMIENTO LA CONDESA     | 170                | 45         | ----       | SIN TERMINAR |
| 24 | POZO SAN JOSÉ ITZICUARO             | 120                | 40.4       | 56         | 8            |
| 25 | POZO LAS GARZAS                     | 100                | 51         | 80         | 4.4          |
| 26 | POZO FRACC. HUERTAS AGUA AZUL       | 250                | 69         | ----       | 5            |
| 27 | POZO FRACC. VILLA MAGNA             | 200                | 69.7       | 160        | 8            |
| 28 | POZO ATRAS DE GASOLINERA            | 200                | 43         | ----       | 9            |
| 29 | POZO ARIO 1815                      | 375                | 96         | 225        | 9            |

N.E. - Nivel estático.

N.D. - Nivel Dinámico.

GASTO.- En litros por segundo (lps).

## **VII.- CONDICIONES HIDROGEOQUÍMICAS DE LA ZONA**

## VII.1.- Análisis Físico-Químico de muestras de agua

Con el interés de conocer **la realidad y la relación** que guarda el manantial La Mintzita, con los terrenos donde se ubicará el Fraccionamiento San Pedro, Ejido de Cointzio, municipio de Morelia, Mich. Se seleccionaron 9 puntos estratégicos para la toma de muestras de agua para su análisis físico-químico-bacteriológico, de pozos situados en la zona norte y manantiales cercanos al fraccionamiento San Pedro, las cuales fueron ubicadas con un objetivo geohidrológico, después de analizar el comportamiento del movimiento del flujo del agua subterránea de la zona.

El objetivo principal fue el conocer la composición química del manantial La Mintzita (Foto 25), para compararlos con la composición química de las muestras tomadas en los pozos de: Uruapilla situado a 120 metros de desnivel con respecto al manantial (Foto 23); pozo Balneario El Ejido (Foto 24); Manantial Balneario Cointzio (Foto 1); Pozo Roca Dura (Foto 29); Pozo Agua Potable San Nicolás Obispo (Foto 30); Manantial San Antonio Parangare (Foto 31); Planta Potabilizadora La Mintzita (Foto 32); Pozo Cerrito Itzicuaró (Foto 33) y el Manantial de San Lorenzo Itzicuaró (Foto 34).

Estos análisis físico-químicos, ayudan a conocer cuales aguas son del mismo origen y si las aguas de la zona sur, son de la misma composición química que el agua de el manantial La Mintzita y con ello establecer si la perforación de pozos en el proyecto San Pedro provocará un desequilibrio en el abasto del agua del manantial.

En los análisis químicos se hizo énfasis en: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Nitritos, Sólidos Totales Disueltos y Coliformes Fecales.

La comparación de resultados se muestran en la TABLA 1.

**Del análisis de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente: De la falla El Águila hacia el sur (hacia el proyecto San Pedro) el tipo de agua que se encuentra es de la Clase Bicarbonatada, del Grupo Sódica, Tipo I.**

**De la falla El Águila hacia el norte ( hacia La Mintzita), el tipo de agua que se encontró es de la Clase Bicarbonatada, del Grupo Cálcico, Tipo I.**

**Lo anterior indica hidrogeoquímicamente que el agua de ambas zonas es diferente y la división de ambas se lleva a cabo por efecto de la falla El Águila.**

## VIII.- G E O F Í S I C A

El método geofísico que se empleó para definir el aspecto geológico estructural y el comportamiento del acuífero en el subsuelo fue el denominado Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y el dispositivo tetraelectrónico que se empleó fue 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 338 metros para el SEV-7, de 115 metros para el SEV-8, de 443 metros para el SEV-9, de 68 metros para el SEV-10, de 98 metros para el SEV-11, de 157 metros para el SEV-12, de 393 metros para el SEV-13 y de 299 metros para el SEV-14.

El SEV-7 se realizó sobre la carretera junto al balneario de Cointzio (Foto 35). El SEV-8 se realizó 450 metros al norte del SEV-7, sobre la misma carretera (Foto 36). El SEV-9 se realizó 200 metros al norte del SEV-8, sobre la carretera mencionada (Foto 37). El SEV-10 se realizó sobre la carretera que conduce a la población de San Nicolás Obispo, 1150 metros al poniente de la carretera a la Mintzita (Foto 38). El SEV-11 se realizó sobre la carretera a la Mintzita, junto a la desviación a la población de San Nicolás Obispo, 550 metros al norte del SEV-9 (Foto 39). El SEV-12 se realizó en el camino que conduce a la papelería CRISOBA, a 100 metros del entronque con la carretera La Mintzita (Foto 40). El SEV-13 se realizó sobre el camino de terracería que conduce a la población de La Joya de Buenavista, 400 metros al Este del SEV-6 (Foto 41). El SEV-14 se realizó 400 metros al Este del SEV-13, sobre el mismo camino mencionado (Foto 42) (FIGURA 1).

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

|        | <b>COORDENADAS<br/>MERCATOR<br/>EN METROS</b> | <b>COORDENADAS<br/>GEOGRÁFICAS</b> |
|--------|---|------------------------------------|
| SEV-7  | X = 261,217.                                  | N 19°38'23.6"                      |
|        | Y = 2'173,230.                                | W 101°16'37.7"                     |
|        | Z = 1,898.                                    |                                    |
| SEV-8  | X = 261,039.                                  | N 19°38'39.2"                      |
|        | Y = 2'173,709.                                | W 101°16'44.0"                     |
|        | Z = 1,901.                                    |                                    |
| SEV-9  | X = 260,975.                                  | N 19°38'45.0"                      |
|        | Y = 2'173,889.                                | W 101°16'46.1"                     |
|        | Z = 1,898.                                    |                                    |
| SEV-10 | X = 259,814.                                  | N 19°38'55.6"                      |
|        | Y = 2'174,230.                                | W 101°17'26.2"                     |
|        | Z = 1,904.                                    |                                    |
| SEV-11 | X = 260,946.                                  | N 19°39'03.5"                      |
|        | Y = 2'174,460.                                | W 101°16'47.2"                     |
|        | Z = 1,898.                                    |                                    |
| SEV-12 | X = 262,302.                                  | N 19°38'22.8"                      |
|        | Y = 2'173,363.                                | W 101°16'35.2"                     |
|        | Z = 1,898.                                    |                                    |
| SEV-13 | X = 260,254.                                  | N 19°37'37.3"                      |
|        | Y = 2'171,814.                                | W 101°17'10.0"                     |
|        | Z = 2,015.                                    |                                    |

|        |                |                |
|--------|----------------|----------------|
| SEV-14 | X = 260,662.   | N 19°37'37.9"  |
|        | Y = 2'171,823. | W 101°16'55.9" |
|        | Z = 2,036.     |                |

### VIII.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 electrostratigráfico de cada SEV (FIGURAS 3 a 10 respectivamente).

Con la interpretación de capas de los SEV's 11, 9, 8, 7 y 1 (FIGURAS 7, 5, 4 y 3 respectivamente) se elaboró el PERFIL CARRETERA COINTZIO de la FIGURA 11, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo de la zona en una dirección general Sur-Norte (S-N), sobre la carretera a Cointzio, desde los terrenos del proyecto San Pedro hasta la desviación a San Nicolás Obispo.

En este perfil, de la falla de Cointzio hacia el Norte, la base está representada en color café negro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas andesíticas impermeables, con valores de resistividad eléctrica calculada entre 446 y 5455 Ohm-metro; con su cima a los 98 metros de profundidad para el SEV-11, a los 443 metros de profundidad para el SEV-9 y a los 338 metros de profundidad para el SEV-7. **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 valores de resistividad eléctrica calculada entre 3 y 39 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra a 33 metros de profundidad para el SEV-11 y tiene un espesor de 66 metros. En el SEV-9 muestra un valor de 9 Ohm-metro. En el SEV-8 se encuentra a los 115 metros de profundidad y en el SEV-7 a los 172 metros de profundidad con un espesor de 166 metros. **Esta capa presenta posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas.**

Por encima de esta capa, se encuentra otra de característica permeable en color café claro con valor de resistividad eléctrica calculada entre 13 y 141 Ohm-metro, con su cima a una profundidad de 9 metros para el SEV-11 con un espesor de 23 metros. En el SEV-9 se encuentra a los 5 metros de profundidad con un espesor de 2 metros. En el SEV-8 se encuentra a 1 metros de profundidad. En el SEV-7 se encuentra a los 14 metros de profundidad con un espesor de 158 metros. **Esta capa es de interés acuífero y se puede relacionar con tobas soldadas e ignimbritas.**

**La siguiente capa sobre yacente en color negro, muestra valores de resistividad eléctrica calculada entre los 335 y 19756 Ohm-metro y se relaciona con basaltos fracturados con pocas posibilidades acuíferas.** Se ubica desde la superficie y alcanza un espesor de 7 metros para el SEV-11, de 5.2 metros para el SEV-9, de 1 metro para el SEV-8 y de 14 metros para el SEV-7.

**Un aspecto geológico importante es la existencia de una falla geológica entre los SEV's 8 y 9, con el bloque caído al Norte, hacia el SEV-9, cubierta por los derrames de basaltos más recientes.**

De la falla de Cointzio hacia el Sur, las condiciones geológicas cambian un poco (SEV-1); aquí la capa de interés acuífero (en color azul) inicia a los 128 metros de profundidad y se extiende hasta los 823 metros de profundidad, con un espesor de 695 metros. La resistividad calculada para esta capa es de 45 Ohm-metro y se relaciona con tobas arenosas.

Por encima de la capa anterior, se encuentran tobas soldadas sin importancia acuífera con un valor de resistividad eléctrica de 221 Ohm-metro, con su cima a una profundidad de 24 metros y un espesor de 104 metros ( color café claro).

Por encima de la capa anterior, se encuentran ignimbritas sin posibilidades acuíferas con valores de resistividad eléctrica calculada entre 85 y 1743 Ohm-metro con un espesor de 24 metros.

Con la interpretación de capas de los SEV's 6, 13 y 14 (FIGURAS 9 y 10 respectivamente) se elaboró el PERFIL CAMINO A LA JOYA DE BUENAVISTA de la FIGURA 12, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo de la zona sur del predio San Pedro, en una dirección general Oeste-Este (W-E).

En este perfil, la base está representada en color café claro, muestra valores de resistividad eléctrica calculada de 165 Ohm-metro para el SEV-6; con su cima a los 571 metros de profundidad. **Esta capa se relaciona con tobas soldadas de poco interés acuífero.**

Sobre yaciendo a la capa anterior, **se muestra una capa en color negro, muestra valores de resistividad eléctrica calculada entre los 489 y 3674 Ohm-metro y se relaciona con andesitas compactas sin posibilidades acuíferas.** Se ubica a los 406 metros de profundidad para el SEV-6 con un espesor de 165 metros; en el SEV-13 se ubica a 393 metros de profundidad y en el SEV-14 a los 299 metros de profundidad.

**La capa siguiente en color azul se relaciona con tobas arenosas con posibilidades acuíferas,** con valores de resistividad eléctrica calculada desde los 10 a los 93 Ohm-metro. Se ubica a los 9 metros de profundidad para el SEV-6 con un espesor de 397 metros; para el SEV-13 se ubica desde los 52 metros de profundidad y muestra un espesor de 341 metros; en el SEV-14 se ubica a los 104 metros de profundidad y muestra un espesor de 196 metros.

Por encima de la capa anterior, se muestran capas de tobas soldadas e ignimbritas sin posibilidades acuíferas, con valores de resistividad eléctrica calculada entre los 10 hasta los 1595 Ohm-metro; se muestran desde la superficie y tienen un espesor de 9 metros para el SEV-6, 52 metros para el SEV-13 y de 104 metros para el SEV-14.

**Desde el punto de vista geofísico, existen dos ambientes geológicos: Uno de la falla de Cointzio al Sur y el otro de la falla de Cointzio al Norte.**

**En la parte norte de la falla mencionada, se encuentra una capa o basamento eléctrico relacionada con andesitas compactas sin posibilidades acuíferas, mientras que al sur de la falla mencionada no se encuentra y los espesores en las tobas son mayores.**

**Desde el punto de vista acuífero existen dos zonas bien definidas:**

**En la zona norte los pozos de agua deben de alcanzar profundidades máximas de 250 metros, mientras que en la zona sur los pozos deben de realizarse por debajo de los 400 metros de profundidad.**

## **IX.- BIBLIOGRAFÍA**

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

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

- Comisión Nacional del Agua., 2003.- DATOS ESTADÍSTICOS DE EVAPORACIÓN, PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DE, COINTZIO. Inedito, Morelia, Mich.

- Comisión Nacional del Agua.,2003.- DATOS OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE MORELIA, MICHOACÁN. Lic. Geog. José Antonio León Chávez. Inédito.

- Dr. Victor Manuel Hernández Madrigal.,- ANÁLISIS DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL FRACCIONAMIENTO SAN PEDRO, EJIDO DE COINTZIO, MORELIA, MICHOACÁN Agosto del 2008, Inedito.

- Estudios Geofísicos del Subsuelo., 2001.- ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN EL FRACCIONAMIENTO "ARIO 1815", Municipio de Morelia, Mich. Inedito.

- Estudios Geofísicos del Subsuelo., 2006.- ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO - GEOFÍSICO EN EL FRACCIONAMIENTO SAN PEDRO, EJIDO DE COINTZIO, MUNICIPIO DE MORELIA, MICHOACÁN. Inedito.

- Estudios Geofísicos del Subsuelo., 2004.- ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA UBICAR POZOS DE ABSORCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA, EN EL FRACCIONAMIENTO VILLA MAGNA, MUNICIPIO DE MORELIA, EDO. DE MICHOACÁN. Inedito.

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

-Longwell, R.Ch., Flint, F.R., 1979.- GEOLOGÍA FÍSICA, Editorial LIMUSA, México.

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

-Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.A., 1976.- APPLIED GEOPHYSICS, Cambridge University Press, London, Great Britain.

A t e n t a m e n t e,

Hugo Rainier Ballina López  
Ingeniero Geofísico

Juan J. Herrera Franco  
Ingeniero Geólogo