

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO



MAESTRIA EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACION DEL TERRITORIO

**EVALUACION DE LA CONTAMINACION AL ACUIFERO, EN LA REGION MORELIA-
CAPULA, CAUSADA POR EL IMPACTO DE LA INFILTRACION DE LIXIVIADOS
GENERADOS POR EL BASURERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MORELIA.**

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias

Presenta:

Ing. Luis Alberto Verduzco Cedeño

Dirección de tesis:

Dra. Isabel Israde Alcantara

Morelia, Michoacán
septiembre 2010.



AGRADECIMIENTOS

Con la certeza de manifestar el reconocimiento y agradecimiento que me merecen, a todos aquellos que apoyaron, orientaron y contribuyeron a la realización de una etapa profesional en mi incesante búsqueda de estímulos personales, he de decirles que: la satisfacción alcanzada con la culminación del deber cumplido, no se compara con el aprecio y estima que a cada uno, en su justa medida y proporción, les tengo.

A mi familia:

Ing. Carlos Alejandro Verduzco Curiel y María de la Luz Cedeño Hernández, por su derroche de afecto y amor; así como sus invaluable consejos y constante apoyo.

A mis hermanos:

Dr. Carlos Alejandro Verduzco Cedeño, por ser un ejemplo de superación y verdadero entusiasmo de vida.
Cap. 1° Ing. Mil. Víctor Fernando Verduzco Cedeño, por su inestimable ayuda y muestra de progreso.

Profesores, Compañeros y Amigos:

Dra. Isabel Israde Alcántara, por su amplia experiencia compartida; Dr. Constantino Domínguez Sánchez, por su confianza y apoyo en mi desarrollo profesional; asimismo a: Dr. Manuel E. Mendoza Cantú, Dr. Mikhail Ostroumov, Dra. Erna López Granados y Dr. Víctor Manuel Hernández Madrigal por sus sabias aportaciones, consejos y correcciones para mejorar el trabajo; además de mis amigos por el apoyo brindado: Ing. Marco Antonio Navarro Ornelas e Ing. Jesús Ambriz Anaya.

Gracias totales:

A tí, que de forma alguna, con comentarios, sugerencias, contribuciones, tiempo, charlas, paciencia, atención, regaños, indiferencia, incluso olvido, haz hecho que me supere.

Porque el corazón tiene razones que la propia razón ignora.....

SINCERAMENTE GRACIAS





INDICE

AGRADECIMIENTOS.	1
INDICE.	2
RESUMEN.	7
I.- INTRODUCCION.	8
II.- OBJETIVOS.	11
Objetivo General	11
Producto	11
Objetivos Específicos	11
III.- HIPOTESIS.	12
IV.- MARCO TEORICO.	13
Marco Conceptual	13
Incidencia	15
Trascendencia	15
Vulnerabilidad	16
Propiedades Físicas del Agua	17
Propiedades Químicas del Agua	20
Análisis Bacteriológicos	21
Fuentes de Contaminación	22
Mecanismos de Migración	24
Marco Histórico	25
Marco Legal	28
Normatividad	30
Estrategias de monitoreo	31
Interpolación	32
V.- ANTECEDENTES.	35
Antecedentes Generales	35
Antecedentes en América	35
Estudios de caso y situación en México	40





Situación en Michoacán	44
VI.- JUSTIFICACION Y ALCANCES.	48
Planteamiento del Problema	48
Trascendencia	49
VII.- REGION MORELIA-CAPULA.	50
Panorama General del Territorio	50
Macro localización	50
Micro localización	51
Ámbito de estudio	52
Delimitación de la región Morelia-Capula	58
Geología y Geomorfología	59
Morfometría	67
Hidrología	79
VIII.- MATERIAL Y METODOS.	83
Metodología	85
Parametrización	89
Protocolo de Monitoreo	91
IX.- RESULTADOS.	98
Parámetros Físicos	106
Parámetros Químicos	114
Isótopos	119
Metales Pesados	121
X.- ANALISIS Y DISCUSIÓN.	132
XI.- CONCLUSIONES.	138
XII.- RECOMENDACIONES.	141
XIII.- BIBLIOGRAFIA.	143
XIV.- ANEXOS.	150
XV.- GLOSARIO DE TERMINOS.	177





INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Clasificación de RSM en México.	40
Fig. 2 Predio destinado para el desarrollo del proyecto Centrika	41
Fig. 3 Evolución de la densidad de población para el municipio de Morelia.	45
Fig. 4 Macro localización del Estado de Michoacán.	50
Fig. 5 Ubicación del municipio de Morelia, Michoacán.	51
Fig. 6 Región Morelia-Capula.	52
Fig. 7 Franja vectorial de crecimiento urbano.	53
Fig. 8 Localidad El Correo y tenencias de Capula y Tacicuaro	55
Fig. 9 Crecimiento poblacional del municipio de Morelia (1950-2005)	56
Fig. 10 Población urbana y rural del municipio de Morelia (1950-1990)	56
Fig. 11 Delimitación de la región Morelia-Capula y puntos de control	59
Fig. 12 Unidades geológicas de la región	61
Fig. 13 Material volcánico	62
Fig. 14 Material volcánico oxidado	62
Fig. 15 Perfil de suelo	62
Fig. 16 Ubicación de sitios con corte litológico	63
Fig. 17 Perfil estratigráfico de algunos aprovechamientos	64
Fig. 18 Niveles estáticos, profundidades y estratigrafía de algunos aprovechamientos	65
Fig. 19 Cortes litológicos 1/2	65
Fig. 20 Cortes litológicos 2/2	66
Fig. 21 Tzirate	67
Fig. 22 Mapa de pendientes, región Morelia-Capula	68
Fig. 23 Mapa de altimetría, región Morelia-Capula	69
Fig. 24 Mapa de superficies de circunscripción entre cotas a cada 50 m, región Morelia-Capula	70
Fig. 25 Curva hipsométrica para la región Morelia-Capula	71
Fig. 26 Cerro el Águila	72
Fig. 27 Andesita	72
Fig. 28 Panorámica	73
Fig. 29 Pendientes suaves con escasa vegetación	73
Fig. 30 Cono cinerítico (El Malacate)	73
Fig. 31 Roca expuesta.	73
Fig. 32 Relieve de lomeríos	74
Fig. 33 Material máfico	74
Fig. 34 Suelos desnudos	75
Fig. 35 Panorámica Coro Grande	75
Fig. 36 Pared de roca expuesta medianamente intemperizada	76
Fig. 37 Vista suroeste	76
Fig. 38 Pequeños valles planos confinados	76
Fig. 39 Superficie con tendencia horizontal	77
Fig. 40 Arena volcánica	77





Fig. 41 Cono cinerítico	78
Fig. 42 Material con incrustaciones de xenolitos	78
Fig. 43 Cerro el Águila, límite de la región	78
Fig. 44 Afloramiento de roca	78
Fig. 45 Registro de precipitaciones en la región (1980-2003)	80
Fig. 46 Hidrología superficial de la región Morelia-Capula	81
Fig. 47 Mapa de aprovechamientos monitoreados.	85
Fig. 48 Diagrama de flujo (metodología)	86
Fig. 49 Recolección de lixiviado	88
Fig. 50 Perfil del suelo	88
Fig. 51 Valores de potencial de hidrogeno	100
Fig. 52 Valores de temperatura	100
Fig. 53 Valores de conductividad	100
Fig. 54 Valores de sólidos disueltos totales	101
Fig. 55 Valores de color	101
Fig. 56 Valores de turbiedad	101
Fig. 57 Valores de alcalinidad	102
Fig. 58 Valores de dureza	102
Fig. 59 Valores de sulfatos	102
Fig. 60 Mapa de Isolineas de turbidez	106
Fig. 61 Modelo de comportamiento de turbidez	107
Fig. 62 Perfil oriente-poniente de la región Morelia-Capula	107
Fig. 63 Mapa de Isolineas de sólidos disueltos totales y turbidez	108
Fig. 64 Modelo de comportamiento de sólidos disueltos totales	108
Fig. 65 Mapa de Isolineas de color	109
Fig. 66 Modelo de comportamiento de color	110
Fig. 67 Mapa de Isolineas de temperatura	111
Fig. 68 Modelo de comportamiento de temperatura	111
Fig. 69 Mapa de Isolineas de conductividad eléctrica	112
Fig. 70 Modelo de comportamiento de conductividad eléctrica	113
Fig. 71 Mapa de Isolineas de sulfatos y conductividad eléctrica	113
Fig. 72 Modelo de comportamiento de sulfatos	114
Fig. 73 Mapa de Isolineas de dureza	115
Fig. 74 Modelo de comportamiento de dureza	115
Fig. 75 Mapa de Isolineas de alcalinidad	116
Fig. 76 Modelo de comportamiento de alcalinidad	117
Fig. 77 Mapa de Isolineas de potencial de hidrogeno	117
Fig. 78 Modelo de comportamiento de potencial de hidrogeno	118
Fig. 79 Valores isotópicos	119
Fig. 80 Modelo de comportamiento de titanio	122
Fig. 81 Modelo de comportamiento de vanadio	123
Fig. 82 Modelo de comportamiento de manganeso	123
Fig. 83 Modelo de comportamiento de hierro	124





Fig. 84 Modelo de comportamiento de cobre	125
Fig. 85 Modelo de comportamiento de níquel	125
Fig. 86 Modelo de comportamiento de cobalto	126
Fig. 87 Modelo de comportamiento de zinc	127
Fig. 88 Modelo de comportamiento de arsénico	127
Fig. 89 Modelo de comportamiento de estroncio	128
Fig. 90 Modelo de comportamiento de cadmio	129
Fig. 91 Modelo de comportamiento de estaño	130
Fig. 92 Modelo de comportamiento de plomo	131

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relaciones directas pH - ambiente	25
Tabla 2 Parámetros y límites permisibles de concentraciones	30
Tabla 3 Comparación entre técnicas de interpolación	32
Tabla 4 Población total del municipio de Morelia (1950-2005)	55
Tabla 5 Población urbana y rural del municipio de Morelia (1950-1990)	56
Tabla 6 Variables para el cálculo de la curva hipsométrica	71
Tabla 7 Nomenclatura de aprovechamientos	83
Tabla 8 Caracterización del suelo	89
Tabla 9 Estaciones Hidroclimatológicas	91
Tabla 10 Cronograma de actividades	95
Tabla 11 Resultados de muestras acuosas, campaña 1	99
Tabla 12 Resultados de muestras acuosas, campaña 2	103
Tabla 13 Indicadores de calidad según parámetros evaluados	104
Tabla 14 Niveles de operación en fuentes de abastecimiento humano	105
Tabla 15 Valores isotópicos	120
Tabla 16 Resultados de análisis de metales pesados, campaña 2	121





RESUMEN

Presenta: Ing. Luis Alberto Verduzco Cedeño
Asesor: Dra. Isabel Israde Alcántara

El tiradero de Morelia, localizado 15 km al oeste de la ciudad de Morelia, ha funcionado desde 1984 y constituyó un sitio de depósito de residuos no controlado, que ha ocupado una extensión de 15 ha. Actualmente se han hecho las obras civiles necesarias para que los residuos que recibe (aproximadamente 800 ton diarias de basura) puedan ser clasificados.

Para evaluar el nivel de contaminación en la región Morelia-Capula, definimos el universo de puntos de muestreo de los cuales obtuvimos muestras acuosas para medir las concentraciones de parámetros físico-químicos, metales pesados e isotópicos; utilizando equipo de campo (Tester HANNA Waterproof manual pHmetro) y análisis de laboratorio, que permitieron obtener información de la red pozos que suministran agua potable a la zona de estudio. Se obtuvieron de registros de la CONAGUA y el Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia, 14 cortes litológicos de la zona de estudio para correlacionar los resultados de laboratorio de los 40 aprovechamientos evaluados (densidad de monitoreo de 9.26 km²/pozo); a partir de lo anterior, se realizaron con el software ArcView 3.2 mapas temáticos (Isolineas) para cada parámetro evaluado, las zonas críticas con problemas de contaminación en cuanto a elementos traza son: Cerrito Itzicuaro (Manganeso 186.30 mg/L), Tarehuicho (Hierro 527.00 mg/L), Balneario Cointzio (Cobre 321.20 mg/L), Asiento de Piedra (Zinc 13.80 mg/L), Cointzio (Arsénico 5.85 mg/L) y San Bernabé (Cadmio 0.55 mg/L).

Respecto a la turbiedad, color y sólidos disueltos totales, es el suroeste de la región la porción que más problemas presenta, asociados al entorno rural sobre el cual se construyeron los aprovechamientos; en cuanto al potencial de hidrogeno, se registraron valores elevados cercanos al tiradero de residuos sólidos lo que representa pH básicos producto del ingreso de lixiviados al subsuelo.

Los resultados de la investigación en cuanto a los 11 parámetros físico-químicos evaluados; indican que son 21 fuentes las que tienen condiciones de consumo humano sin riesgo alguno (52.5% de las evaluadas); mientras que para el caso de los metales pesados, la situación es menos favorable ya que solamente las concentraciones de plomo cumplen con la normatividad vigente (NOM-127-SSAI-1994).





I.- INTRODUCCION

Desde el punto de vista cultural, nos encontramos permanentemente, con un sentimiento de rechazo hacia todo lo relacionado con la basura, sus consecuencias e impactos ambientales en detrimento de los recursos naturales, además de un progresivo alejamiento con respecto a los residuos en relación con nuestras vidas y actividades cotidianas. Dicha situación se debe en gran medida a la ilusión y falsa idea de la inexistencia de dicha basura y sus lógicas consecuencias, por el simple hecho de que estas desaparecen de nuestra vista gracias a los servicios de recolección.

El problema en sí, no es solamente relacionado a los residuos, desafortunadamente se encuentra íntimamente ligado al deterioro de los recursos naturales, específicamente el agua, ya que la disposición y tratamiento de los desechos genera condiciones de insalubridad con consecuencias que impactan nuestro entorno.

El agua es un elemento finito e indispensable para el desarrollo de la vida, su usufructo en las actividades del hombre es variado pues va desde su aprovechamiento económico a través de la industria, riego en áreas agrícolas, generación de energía, higiene, alimentación, entre otros; hasta su consumo humano, uno de los más importantes.

El uso humano con fines de aprovechamiento, ha originado que los pobladores busquen lugares de asentamiento cercanos a fuentes de abastecimiento naturales como: ríos, lagos, manantiales y lagunas, que garanticen el contar con recursos naturales que los satisfagan.

Esta necesidad, ha motivado a través de los tiempos, que los sistemas de captación, conducción, distribución y almacenamiento del recurso hídrico vayan evolucionando y perfeccionándose, siendo así, día a día más eficaces.

En la actualidad, la concentración de la población en ciudades, es cada vez mayor, ocasionando con ello, una serie de problemáticas sociales y ambientales, como lo son: el tratamiento y disposición de los residuos sólidos al igual que el abastecimiento oportuno de agua potable de buena calidad.

La ciudad de Morelia, no escapa a ésta situación generada por la sinergia de condicionantes como: el acelerado crecimiento poblacional y sus inherentes demandas de satisfactores, la búsqueda de lugares de asentamiento cercanos a los centros económicos, entornos en contacto con la naturaleza y la garantía de recursos naturales de calidad.

La escasez de agua es cada día más severa, y existen daños irreversibles a los recursos naturales, entre los que se encuentran los pesqueros, suelos y cuerpos de agua, por descargas de residuos contaminantes permanentes y por el uso indiscriminado de agroquímicos provenientes de la agricultura industrializada; si a ello se agrega el





inadecuado manejo de residuos sólidos municipales y el vertido de aguas negras sin tratamiento o tratadas que no cumplen con las condiciones de descarga, como factores importantes de contaminación a los acuíferos al igual que a las aguas superficiales; el problema ambiental es mayor.

Las áreas de riesgo hoy amenazadas por el desperdicio de agua, los elevados costos en los servicios, el rápido crecimiento poblacional y su inherente aumento en la demanda, así como la vulnerabilidad de las fuentes de aprovechamiento, sobre todo por la cercanía a sitios destinados a la disposición de residuos mezclados indiscriminadamente, son cada vez más extensas y la región Morelia- Capula, no es la excepción.

Por otro lado, el agua es el solvente universal por excelencia, y debido a esta propiedad, el agua toma sus características químicas y sirve de medio de dispersión e intercambio de los agentes de la superficie, suelo y subsuelo; por ende es inevitable asociar la forma en que contaminantes situados en puntos específicos (basureros), puedan aprovechar el flujo de agua para su transporte y distribución espacial.

El agua subterránea mantiene al igual que nuestro entorno, un equilibrio químico con los minerales que la componen, el suelo y la roca que la limitan, debido a ello, el agua satura el suelo con sólidos diluidos.

El agua subterránea posee pocos sólidos suspendidos y muchos disueltos, por lo que en consecuencia se encuentra saturada de componentes que la hacen, no apta para determinados usos, sin embargo dicha situación no atenta contra el correcto funcionamiento de un sistema natural, pero cuando la acción del hombre aunado a la falta de conciencia ambiental y muchas de las ocasiones negligencia también, son los factores detonantes para mantener condiciones desfavorables en nuestro ámbito de desarrollo y específicamente en nuestros acuíferos subterráneos.

Es una condición lamentablemente generalizada que en nuestro país, se presenten serios atrasos en las técnicas de disposición de los residuos sólidos; el no acato a la normatividad y reglamentación, además de un considerable retraso en tecnología para la construcción, manejo y final disposición de los desechos lixiviados generados en los rellenos sanitarios y tiraderos; debido en gran medida a la falta de cultura preventiva y mínima inversión de recursos en la materia, aunado a la existencia de una mínima cantidad de investigadores y personal técnico capacitado con intereses medioambientales, dan por consecuencia que: en la sinergia de las consideraciones descritas, se tenga un rezago enorme en temas de importancia social, lo cual acarrea problemas de salud a los propios generadores de la problemática (ser humano).

El presente estudio, muestra de forma objetiva y real, las condiciones que prevalecen en una zona de gran importancia para la ciudad de Morelia, por su potencial en cuanto a la explotación del agua, tanto superficial como subterránea. La región Morelia-Capula, es una región volcánica que permite la incidencia considerable de los eventos de recarga del acuífero, además, las precipitaciones que se registran sobre ella, son muy importantes para





garantizar el suministro de agua a la población, no solo de la propia región, incluso su potencial hídrico sirve para satisfacer las necesidades de gran parte de los habitantes de Morelia, dado que las extracciones en pozos en la ciudad es del orden de los 1,080.68 l.p.s., mientras que las fuentes superficiales generan 2,066.02 l.p.s., haciendo un total de 3,146.70 l.p.s. de producción total para la ciudad; de los cuales se producen en la cuenca 1,406.63 l.p.s. entre aprovechamientos subterráneos y superficiales, destacando los manantiales la Mintzita, San Miguel, El Salto, Manantiales y Parián; lo que se traduce en una producción en la región Morelia-Capula, del 44.7% del total de la ciudad (Estudio de diagnóstico y planeación integral del sistema de agua potable y saneamiento en el municipio de Morelia, Mich., 2001)

Las condiciones descritas anteriormente son suficientes para poner de manifiesto la necesidad de establecer medidas preventivas y conservar en óptimas condiciones ambientales la zona, por lo que es importante inhibir, detener y revertir los posibles daños existentes, causados por la disposición de residuos sólidos generados por la ciudadanía, ya que estos se depositan dentro de la propia región, propiciando consecuencias y alteraciones medioambientales derivadas del ingreso de lixiviados al subsuelo, por lo que es prioritario determinar la posible afectación del acuífero por efecto del vertido de residuos urbanos e industriales en una zona porosa y permeable.

Se ha observado por otro lado, que un gran porcentaje de los vertidos, lo conforman los plásticos y papel, por lo que se requiere encontrar estaciones de transferencia, alternativas de gestión para los residuos sólidos, que sean más sostenibles ecológicamente y eficaces socialmente, que integren las ventajas que presentan los residuos como un ejemplo actual de los recursos desaprovechados.

Ante tal panorama, y dado que los recursos naturales (especialmente el agua) son indispensables para el desarrollo humano, fue que nos propusimos determinar las condiciones de este recurso en cuanto a las características físico-químicas, bacteriológicas y de metales pesados con el objetivo de evaluar si los límites en cuanto a los elementos anteriormente citados se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad vigente para muestras puntuales y no compuestas, es decir, toma de muestras acuosas puntuales; lo que nos dio la posibilidad de conocer para un evento en un tiempo determinado, la presencia de concentraciones contaminantes elevadas, que atentan contra la salud de los habitantes que consumen el agua proveniente de las fuentes de abastecimiento existentes en la región.

Para inferir las tendencias de las concentraciones de los parámetros analizados, se utilizó el software ArcView 3.2, con el cual generamos Isolneas dentro del área de estudio, así como modelos tridimensionales del comportamiento de las mismas para ejemplificar espacialmente los posibles sitios críticos, en cuanto a altas concentraciones.





Adicionalmente, elaboramos una ficha técnica para cada aprovechamiento de la zona que contiene información técnica y los valores de concentraciones encontrados para el monitoreo realizado.

Los principales resultados obtenidos de esta investigación, son: la base de datos de fichas técnicas, los mapas de líneas de valores iguales (Isolneas), generados con el interpolador Kriging, los modelos por parámetro en tercera dimensión, pero lo más importante sin duda, fue el conocer las condiciones de contaminación del acuífero y aguas superficiales analizadas en una zona de franco crecimiento urbano, que suministra de agua potable a los habitantes asentados dentro de ella y que también sirve para satisfacer parte de la demanda para la ciudad de Morelia, por lo que se deben implementar medidas de protección a las fuentes de abastecimiento de aguas potable por ser un recurso estratégico, más rigurosas.

II.- OBJETIVOS

Objetivo general:

Definir si existe contaminación directa al acuífero, determinando las tendencias de migración de los agentes ajenos al recurso hídrico; mediante la caracterización, evaluación y monitoreo de los aprovechamientos subterráneos y superficiales; así como la influencia de los contaminantes vertidos en el tiradero de la región Morelia-Capula.

Producto:

Base de datos físico-químicos (iones y metales) e isotópicos de los pozos de la región Morelia-Capula.

Relación que contendrá las condiciones de operación de la infraestructura, y el status de funcionalidad de los equipos, con el propósito de contar con un modelo de gestión integral que sirva como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, para una adecuada planificación del territorio.

Elaboración de un documento actual, que contenga información técnica sobre los aprovechamientos de la región.

Objetivos específicos:

- a) Definir las tendencias de migración de contaminantes al acuífero subterráneo, basados en el registro de resultados de análisis físico-químicos, isotópicos y de metales pesados de muestras de agua.
- b) Determinar las concentraciones de parámetros indicadores de contaminación.





-
- c) Elaborar un documento actualizado, que contenga información técnica sobre los aprovechamientos para el abastecimiento de la población que impacte positivamente en su gestión vinculada a la planificación del territorio.
 - d) Determinar si existe o no, afectación a la calidad de las aguas destinadas para el consumo humano de la región.

La dependencia en el abastecimiento de agua potable, mediante la explotación de los recursos hídricos, pone de manifiesto, la importancia de conocer la calidad del agua subterránea y superficial, ya que están siendo alteradas, es así que una particular meta es despejar dicha incógnita en la región.

Por lo anterior, se ha planteado el parametrizar el sistema acuífero de la región Morelia-Capula, ya que su caracterización al igual que la de los lixiviados es una necesidad para evaluar la afectación que los contaminantes pueden ejercer sobre el suelo y los cuerpos de agua.

III.- HIPOTESIS

El tiradero de la ciudad de Morelia, al encontrarse al aire libre y sin confinamiento adecuado, provoca la alteración de calidad del agua en el acuífero, debido principalmente al ingreso de lixiviados, directamente al subsuelo en una región volcánica con alta permeabilidad y porosidad.

Preguntas de Investigación

- 1.- ¿Qué contaminantes provenientes de los lixiviados y en qué cantidad se incorporan a los mantos acuíferos?
- 2.- ¿Qué sitios son los que presentan más contaminación y de qué tipo; y si requieren una observación y monitoreo detallados?
- 3.- ¿Basta con la continuidad y eficiencia de acciones de promoción e impulso en materia ambiental, para lograr un crecimiento sustentable?





IV.- MARCO TEORICO

IV.I MARCO CONCEPTUAL

La disposición final de los residuos a través del tiempo, ha evolucionado desde vertederos a cielo abierto, hasta rellenos sanitarios altamente tecnificados, donde se controlan emisiones líquidas y gaseosas potencialmente peligrosas para el medio ambiente.

La generación de lixiviados en los rellenos sanitarios, depende de muchos factores, entre ellos, el grado de compactación de los desechos, grado de humedad inicial de la basura, tipo de material de cubierta de las capas, la precipitación, humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración entre otros; y en función de estos, las emisiones líquidas migran a fuentes superficiales de agua o bien se infiltran a las capas inferiores del terreno y en muchos casos contaminan los acuíferos. La composición de los lixiviados, depende del tipo de desecho confinado, del nivel de degradación de los residuos y del volumen producido. En el proceso que se desarrolla en un sitio de disposición, la separación de los líquidos provenientes de la reacción bioquímica y de la lixiviación no pueden separarse, lo cual también es un problema debido a que los volúmenes por capturarse, son mayores y su tratamiento debe ser integral para el total del gasto.

Particularmente, la ciudad de México es reflejo de las grandes megalópolis del mundo, cuenta con una alta densidad poblacional. En términos de residuos, se generan miles de toneladas de basura diariamente y existen pocos lugares donde se depositen correctamente los desechos sólidos. Por otro lado, el abastecimiento de agua proviene de los acuíferos principalmente y no se tiene registro de los sitios que han estado y están contaminando las aguas subterráneas debido a la influencia de lixiviados.

Para México, la opción "relleno sanitario" se presenta como excelente, lo mismo que para muchos países en desarrollo, donde han probado ser una solución ambiental y económicamente factible para la disposición de los desechos sólidos.

En la actualidad, la mayoría de rellenos sanitarios disponen los lixiviados mediante lagunas de evaporación que son rebasadas en su capacidad en época de lluvias (caso del tiradero de la ciudad de Morelia), no obstante, es necesario un tratamiento posterior, ya sea realizando procesos físico-químicos y biológicos, ya que es importante contar con tiempos para la estabilización o bien mediante la realización de una recirculación de los lixiviados a las celdas del relleno.





En la actualidad, la generación de residuos se ha modificado y es función del consumo, observándose que principalmente en los hogares se produce la mayor cantidad, mientras que los comercios, instituciones y servicios ocupan un lugar secundario.

Es preocupante que en el Estado de Michoacán se carezca de planes y programas que busquen mejorar la gestión disminuyendo con ello el impacto al medio ambiente, a los recursos naturales y a la salud pública.

La falta de mecanismos que rijan el manejo y disposición de los residuos, repercute directamente en una disminución de la calidad de vida de los habitantes, al igual que un deterioro creciente en los sistemas acuíferos, aire y substrato debido en parte a la migración de lixiviados, combustión de los tiraderos, además del innegable menoscabo del entorno.

Los rellenos sanitarios son una preocupación manifiesta en las ciudades más importantes del Estado, no obstante, su proyección y construcción no han sido la solución a la problemática, pues la selección de los lugares (criterios de inclusión, exclusión y eliminación), no son lo suficientemente rígidos para garantizar mejores resultados de la infraestructura, además de que distan mucho de cumplir con las normas ambientales vigentes.

La información sobre fuentes de generación de residuos es mínima y la existente, es manejada con mucho recelo; lo anterior, hace posible asegurar que no se cuenta con datos que ayuden a comprender las consecuencias ambientales derivadas de un proceso inadecuado de los productos de desecho de uso cotidiano en los asentamientos humanos.

La toma de decisiones en materia de los residuos sólidos (RS) ha sido un proceso lento, debido a ello, los avances en cuanto a una administración que promueva la sustentabilidad y mitigación de impactos nocivos son reducidos y se abordan conforme las contingencias y las exigencias propias de la sociedad. Por lo anterior, éste estudio contribuye al conocimiento de la situación particular del tiradero municipal de Morelia y su región.

En la actualidad, la civilización es en mayor grado de tipo urbano y sus dimensiones están en continuo aumento, concentran servicios, bienes y población en grandes proporciones; además las relaciones sociales, económicas, culturales, políticas e históricas, que en ellas se generan, son masivas y responden a la configuración espacial y estructura interna de la ciudad, así como a las dinámicas y procesos de transformación acelerada de espacios regionales que conforman el territorio en donde se emplazan los asentamientos humanos.

La inercia de cambio, traducida en transformaciones territoriales y especialización de actividades, pone en evidencia la cuestionable eficiencia del sistema urbano y su poder de asimilación de proyectos de integración y desarrollo sustentable regional, como es el caso, del manejo de residuos sólidos; la sociedad favorable, hoy en día, es un escenario esperado, difícil de alcanzar, pues la acumulación de capital, así como los sitios de concentración y disposición de desechos se encuentran en solo algunos pocos sitios, motivo por el cual y no siendo el único, la





alternativa urbana, no siempre es la respuesta idónea a las demandas funcionales y de aprovechamiento del territorio como concentrador de actividades de aglomeración.

El capitalismo se asocia a lugares con riqueza de recursos naturales y culturales, como sitios estratégicos de implementación de alternativas de reorganización, planeación y desarrollo territorial. La tendencia en los procesos que afectan a la ciudad de Morelia asociados a los reclamos de la sociedad, se acentúan cada vez más, no así la satisfacción de las demandas de la creciente urbanización asociada a la disponibilidad de recursos de calidad y en ligada afectación que los cambios de uso de suelo y alteración a las redes territoriales internas, propias de una comunidad en proceso de evolución, se pudieran esperar para un equilibrio desarrollado, dentro de un esquema rural-urbano en su etapa de transición.

Durante los procesos de cambio, de un ámbito rural a urbano, como sucede en la región, los límites externos, son los más afectados, en virtud de que en ellos, los procesos evolutivos se manifiestan con plenitud, en un tránsito continuo hacia renovadas formas y configuraciones territoriales. Por ser las fronteras, las que cuentan con mayor posibilidad de incrementar los vínculos y articularse en redes intramunicipales, se origina una transformación, ligada a intercambios transfronterizos explicados por las necesidades centrifugas y centrípetas propias de las fronteras.

Michoacán y sus resultados de adaptación, al igual que en la mayoría de los estados del interior de la República es la ejemplificación de una sociedad en dirección a la globalización, donde la existencia de barreras políticas, culturales, étnicas e incluso físicas se observan cada vez más inhibidas y en franca decadencia.

IV.I Incidencia.

Es la frecuencia con la que se presentan casos en una población y tiempo determinado, para nuestro caso, la incidencia de contaminación, se presenta constantemente y solamente varía en proporción ya que la infiltración de lixiviados al suelo se manifiesta en todo momento, debido a ello, el nivel de incidencia se puede considerar como la unidad ya que el evento se lleva tantas veces como unidades de tiempo. Ejem: si 30 días consecutivos se vierte lixiviado al suelo, la incidencia para tal caso es la unidad debido a que 30 eventos entre 30 días es igual a 1.

IV.II Trascendencia.

Donde generalmente el límite es el espacio-tiempo; es con el desarrollo de un estudio, con fundamentos técnicos así como una evaluación objetiva de los perjuicios ambientales de un mal manejo de residuos sólidos y consecuentemente del recurso hídrico, que se puede aspirar a lograr la preservación de los recursos naturales de forma sustancial al adquirir éstos un carácter de "lo más importante u esencial" por lo cual se convierten en el fundamento de las acciones y el sentido de lo que se hace.





En un sentido práctico y en términos monetarios tal y como lo señala el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México, se busca incidir disminuyendo los costos incorporados de los recursos naturales y el ambiente al entorno económico, donde análogamente a como se obtiene el PIB (Producto Interno Bruto) es posible determinar el PINE (Producto Interno Neto Ajustado Ambientalmente); donde se toma en cuenta el agotamiento de los recursos naturales y el deterioro del medio ambiente, el PINE se determina:

$$PINE = PIN - (Cag + Cdg)$$

donde: Cag – costos por agotamiento de los recursos naturales
 Cdg – costos por degradación del medio ambiente
 PIN – producto interno neto

Los costos por agotamiento, son los cálculos monetarios que expresan el desgaste o pérdida de los recursos naturales (equivalentes a una depreciación), como consecuencia de su utilización en el proceso productivo.

Los costos por degradación, son las estimaciones monetarias, requeridas para restaurar el deterioro del ambiente ocasionado por las actividades económicas. Por ejemplo, el costo ambiental del agua se refiere al monto en pesos requerido para evitar y/o disminuir su contaminación.

VI.III Vulnerabilidad.

El grado de susceptibilidad del recurso hídrico a ser afectado por un fenómeno perturbador (lixiviación) es muy complejo de evaluar pues depende de tantas variables como se quieran integrar en su determinación tales como la intensidad del fenómeno, temporalidad, daños ambientales, implicaciones a la salud, entre otras; ésta vulnerabilidad depende de las características del elemento considerado (agua) y no de su valor económico; su evaluación se mide entre 0 "sin daño" y 1 "pérdida o destrucción total del elemento" donde para nuestro estudio los límites que sirven como referencia son los estipulados en la normatividad vigente de consumo del recurso para seres humanos que es el objetivo final de los aprovechamientos en cuestión.

La vulnerabilidad depende del bien analizado y el fenómeno capaz de dañarle, así pues, existen tres diferentes tipos de vulnerabilidad en la sub cuenca estudiada:

Social.- en donde se consideran epidemias, enfermedades y muertes asociadas a la ingesta de contaminantes mezclados con el agua suministrada por fuentes subterráneas y superficiales cercanas al tiradero de





la ciudad de Morelia. Éste tipo de vulnerabilidad depende de la intensidad y velocidad de expansión del fenómeno, la densidad de población, el tiempo de aviso así como los sistemas de emergencia y respuesta.

La vulnerabilidad social es por ende, la más crítica ya que de forma directa implica daños a las personas que se abastecen del recurso hídrico en la zona de estudio y éste es necesario para sus actividades.

Estructural.- vinculada a daños sobre estructuras de control y tratamiento de lixiviados y efectos sobre las personas. Depende de la intensidad y velocidad del fenómeno, tipo y características de la infraestructura instalada así como de la concentración de residuos y su exposición a agentes meteorológicos (lluvias) en áreas de depósito cercanas a asentamientos urbanos.

Por lo anterior es posible afirmar, que la vulnerabilidad estructural específicamente en lo concerniente a efectos sobre la población tendrá un crecimiento asociado a la densidad de población en la sub cuenca y también al crecimiento demográfico pues se encuentran íntimamente ligados a la generación de residuos, recolección y disposición final.

Económica.- relacionada a daños directos: costos de reposición, reparación y mantenimiento de estructuras, instalaciones o propiedades, también por acciones preventivas o de mitigación de problemas ambientales; daños indirectos: reducción del valor de los bienes afectados (tierras de cultivo, áreas verdes, etc.).

Es en éste rubro donde a través del propio estudio, queremos incidir a través de un modelo de gestión integral que contemple mejorías en los sistemas de tratamiento de residuos en vistas de disminuir los impactos económicos derivados de malos manejos de los desechos y sus productos contaminantes generados; así pues, se puede mejorar la situación por pérdidas de productividad de suelo si se cuenta con medidas y protocolos estrictos de gestión de residuos urbanos, de forma paralela se observará un beneficio ligado a la calidad del agua, suelo y disminución de contaminación.

IV. II Propiedades Físicas del Agua

Estos parámetros sirven para determinar características del agua (Romero, 1996), los cuales son medidos en las pruebas de laboratorio. Las más importantes y que fueron realizadas a todas las muestras de aguas recolectadas de las fuentes durante dos campañas intensivas de monitoreo, son las siguientes:

Turbidez.-

Expresión del efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; es decir, propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no





transmitida a través de la suspensión (Romero, 1996). Puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas; por gran variedad de materiales que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y otros microorganismos. La transparencia del agua es de suma importancia cuando está destinada al consumo del ser humano, razón por la cual, su determinación es muy útil como indicador de calidad. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y en consecuencia, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

Sólidos totales disueltos (SDT).-

Materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales, mide el total de residuos sólidos filtrables como sales y residuos orgánicos a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar la calidad de un cuerpo de agua o un efluente, representada por desagrado al paladar, o bien por obstrucciones a las conducciones y hasta inducir reacciones fisiológicas de delicadas consecuencias. Es un indicador de la salinidad del agua, midiendo las sales inorgánicas. También su medición es indicador de la efectividad de los procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas. Los sólidos disueltos son más o menos equivalentes a los minerales disueltos en aguas de relativa alta calidad. En el sistema internacional se acostumbra dar el resultado en (mg/L). El límite permisible vigente para SDT es de 1000 mg/L y su determinación se basa en filtrar un volumen de agua conocido (100 ml es un volumen conveniente para agua dulce. Para ambientes hipersalinos se utilizan generalmente volúmenes de 25 ml) para luego evaporarlo a 105° C, hasta que alcance un peso constante. Posteriormente, se procede a pesar el residuo filtrable que permanece. Dicho valor representa la concentración de sólidos disueltos totales. La pérdida en peso de la muestra representa el contenido de materia orgánica.

Color.-

Las causas más comunes del color en el agua, son la presencia de hierro y manganeso coloidal en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, raíces y otros, en diferentes estados de descomposición; y la presencia de taninos¹, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua, existe principalmente por efecto de partículas coloidales, cargadas negativamente; debido a esto su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al⁺⁺⁺ o el Fe⁺⁺⁺. Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea, color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida, y el color aparente,

¹ Se extraen de las plantas con agua o con una mezcla de agua y alcohol, que luego se decanta y se deja evaporar a baja temperatura. Tiene un ligero olor característico, sabor amargo y astringente, y su color va desde el amarillo hasta el castaño oscuro.





que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales, sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa. En general, el término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medirlo conjuntamente con el pH. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH. La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacerla adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción, por lo tanto, es objetivo esencial del tratamiento.

Olor y Sabor. -

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas; entre las más comunes, materia orgánica en solución, ácido sulfhídrico, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles. Aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas y hongos.

Temperatura. -

La temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura. De igual forma, es posible asociar el origen del acuífero a partir de su temperatura (alta temperatura corresponde a acuíferos regionales).

Conductividad Eléctrica. -

Es la habilidad de conducir la corriente eléctrica y se compara la conductividad de 1 cm^3 de una sustancia con 1 cm^3 de agua pura, que tiene baja conductividad y es un buen aislante.

Salinidad. -

Cuando el constituyente principal del agua es el cloruro de sodio y la concentración es alta, se dice que el agua es salina. La salinidad es el número de gramos de sal por litro de muestra; por ello se expresa en mg/L. Formalmente la salinidad se define como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada (Romero, 1996).

Numéricamente es menor que los sólidos disueltos, o residuo filtrable, y es un valor importante en aguas de mar, aguas subterráneas y ciertos residuos industriales.





IV.III Propiedades Químicas del Agua

Dureza.-

Capacidad del agua para producir espuma, es decir, la medida de consumo de jabón (detergente). Los minerales removidos por el jabón se vuelven espuma (Romero, 1996). Es pues, una característica impartida principalmente por sales de calcio y magnesio, tal como bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos; esta propiedad es causada por los iones metálicos divalentes, es decir, los cationes de Calcio (Ca^+) y Magnesio (Mg^{++}). Dicha propiedad es importante en acuíferos cársticos que se forman en rocas carbónicas como la dolomita y la caliza, lo cual, hace que se diluyan rocas formando carbonatos y bicarbonatos. El calcio y el magnesio son causantes de la formación de costras duras de apariencia rocosa al calentar aguas que los contengan. Estas costras aceleran la corrosión, restringen el flujo de agua y reducen la transferencia de calor; además si se les combina con jabón, reaccionan para formar cuajo, que interfiere con el efecto de la limpieza y forma depósitos de los precipitados de estos iones.

La dureza se puede clasificar en dos grandes grupos: la carbonatada y la no carbonatada. La dureza carbonatada es también llamada temporal, porque se remueve con evaporación y precipitado de calcio y del magnesio. Esta se mide en términos del carbonato de calcio (mg/L). La dureza no carbonatada es igual a la diferencia entre la dureza total y la carbonatada.

Las aguas duras pueden causar incrustaciones de partículas en las paredes del pozo, y ponerlo fuera de funcionamiento. Existen problemas con los pozos perforados en rocas carbónicas porque la reducción de presiones causa liberación de gas CO_2 que al reaccionar con el Magnesio y el Calcio, forman capas de carbonatos; esto hace que se produzcan pérdidas en la eficiencia, o el abandono del pozo en períodos inferiores a 3 años de su uso.

Alcalinidad.-

Capacidad del agua para neutralizar ácidos, para reaccionar con iones hidrógeno, para aceptar protones, o como la medida del contenido total de sustancias alcalinas (OH^-). La determinación de la alcalinidad total es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad de obturación del agua. En el ablandamiento de un agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio necesario para el proceso. En aguas naturales la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

La medición de la alcalinidad puede variar significativamente con el pH.





En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos y fosfatos) que contribuyen a la alcalinidad; sin embargo en la práctica la contribución de estos es insignificante y puede ignorarse. La alcalinidad del agua se expresa como mg/L de carbonato de calcio equivalente a la alcalinidad determinada.

Acidez. -

Capacidad para neutralizar bases, para reaccionar con iones hidrófilo, para ceder protones, o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. Si el agua subterránea es ácida tendría que corroer las partes metálicas del pozo y del sistema de bombeo.

El factor de corrosión en la mayoría de las aguas es el dióxido de carbono, especialmente cuando está acompañado de oxígeno, pero en residuos industriales es la acidez mineral. La causa más común de acidez en aguas es el CO_2 , el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados en el tratamiento o de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico.

Potencial de Hidrógeno (pH). -

Término usado universalmente para referirse a la intensidad de la condición de acidez o alcalinidad de una solución (Sawyer, 1978). Esta propiedad se calcula con una expresión logarítmica. En el agua subterránea tiende a ser balanceado, pues en ella es difícil encontrar minerales libres. Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es el límite de neutralidad. Valores de pH menores de 7 se consideran ácidos y mayores de 7 alcalinos. El pH se mide con sustancias, con aditamentos como el papel universal o el papel tornasol y con aparatos llamados pHmetros.

Al variar el pH por el bombeo, por cambios de temperatura, o gases que puedan escapar, puesto que las propiedades químicas del agua subterránea son muy sensibles con el ambiente, se pueden ver afectadas las rejillas de los pozos.

IV.IV Análisis Bacteriológicos

Coliformes. -

Se trata de la denominación genérica con que se designa a un grupo de especies bacterianas que presentan características en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua debido a que son más resistentes en los medios acuáticos, por lo tanto su ausencia representa seguridad bacteriológica del recurso hídrico; así mismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación.

No todos los coliformes son de origen fecal, ya que pueden existir en el ambiente por descomposición de materia orgánica; para nuestro caso, se distinguen los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales aquellos de origen intestinal.





La razón por la cual son los coliformes los indicadores que se buscan, es porque es menos complicado que identificar microorganismos específicos, lo que exige mayor tiempo y recursos.

IV.V Fuentes de Contaminación.

La alteración de la calidad del agua, no se genera únicamente con elementos o sustancias que pudieran afectar la salud humana. Los flujos subterráneos pueden incorporar excesos de elementos no normados o que rebasan valores de referencia sin que su consumo provoque afectaciones adversas a la salud. Pero cuando se hace referencia a contaminantes, por lo general son sustancias cuya toxicidad, pone en riesgo la salud de quien consume ese tipo de agua por periodos continuos y prolongados.

La cantidad de contaminante (carga), es un aspecto fundamental en la caracterización de las fuentes. Esta no solo depende de la cantidad de material que contiene el elemento sino de su concentración.

La movilidad de los contaminantes depende de varios factores, uno de los más importantes es la solubilidad. A medida que la solubilidad se incrementa, es más probable la migración, por lo tanto, si existe agua en la fuente, el soluto se incorporará y se podrá desplazar, de lo contrario los contaminantes no se solubilizan y por lo tanto no pueden moverse. Por lo anterior, son más riesgosas las fuentes con material líquido que sólido, como sucede con los lixiviados.

En el caso específico de metales pesados, el grado de disolución, se cuantifica por su producto de solubilidad, el cual presenta valores bajos para cuando los elementos se encuentran en forma de compuestos inorgánicos. Las condiciones REDOX (reacciones reducción – oxidación) y el pH son los principales factores que controlan el grado de disolución de estos elementos en el agua subterránea, de ahí que en los análisis considerados se haya puesto especial importancia en la colecta de información de potencial de hidrógeno, tanto en campo como en laboratorio.

Además, es necesario considerar que existen sustancias insolubles en agua, pero solubles en otros líquidos, como los agroquímicos, solubles en hidrocarburos; dichos compuestos pueden incorporar pesticidas, herbicidas u otro tipo de sustancias al agua subterránea. Los compuestos orgánicos más solubles son los de pesos moleculares bajos.

Otro aspecto a tener en cuenta, son las condiciones físico-químicas prevalecientes, ya que también influyen en la movilidad de los contaminantes alterando el status de la fuente y movilizando elementos o sustancias riesgosas.

Las alteraciones naturales a la calidad del agua, dependen fuertemente de las condiciones geológicas del sustrato predominando las causadas por actividad minera, además de las interacciones agua-roca, por lo que las variables pueden ser numerosas. En general, aunque no es una regla, los sistemas acuíferos que reúnen condiciones de





riesgo potencial para presentar contenidos de elementos sobre las normatividades internacionales para agua potable son: acuíferos de gran extensión y profundidad, sistemas hidrotermales; acuíferos que presenten condiciones reductoras; acuíferos con aguas fósiles: sistemas en cuya composición existan niveles evaporíticos; acuíferos volcánicos; formaciones calizas con intrusitos mineralizados; sistemas con formaciones sedimentarias lacustres recientes; acuíferos costeros; debido a la circulación del agua por rocas con elementos lixiviables. En el caso particular de flujos regionales termales, estos pueden contener concentraciones de arsénico, flúor, fierro, plomo, boro, selenio, cromo y compuestos de azufre entre otros, que normalmente son de origen natural.

Cuando una sustancia peligrosa alcanza el suelo, éste deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como una fuente de nuevas sustancias peligrosas para los organismos que viven en él o de otros medios relacionados. Los procesos involucrados en la atenuación de contaminantes se presentan, en menor grado, a mayores profundidades, especialmente en donde se encuentran sedimentos consolidados en la zona no saturada (Foster, 1991).

La sensibilidad para ser afectado adversamente por una carga contaminante impuesta, se ve influenciado por la capacidad de asimilación de contaminantes del cuerpo receptor de agua superficial, por tanto, está cubierta de substratos que proporciona una protección adicional está relacionada con la capacidad de amortiguación.

De esta manera existe una probabilidad de que las aguas subterráneas, se contaminen con concentraciones por encima de los valores recomendados por la normatividad vigente relacionada con el consumo humano de agua de calidad, en donde se concibe una carga contaminante así como cierta vulnerabilidad del acuífero, para lo cual existen diversos métodos que estiman dicha probabilidad.

En términos generales el monitoreo ha sido definido como la observación continua con métodos estandarizados del medio ambiente (UNESCO, WHO.1978). De manera particular, el monitoreo del agua subterránea puede ser entendido como un programa diseñado científicamente de continua supervisión que incluye observaciones, mediciones, muestreo y análisis estandarizado metodológicamente y técnicamente de variables físicas, químicas y biológicas seleccionadas con los siguientes objetivos:

- Colectar, procesar y analizar los datos sobre cantidad y calidad de las aguas subterráneas como línea base para reconocer el estado y las tendencias a nivel de pronóstico, debida a procesos naturales e impacto por actividad antrópica en tiempo y espacio.
- Proveer información para el mejoramiento en la planeación y diseño de políticas para la protección y conservación de las aguas subterráneas, vinculado a la planificación territorial.





IV.VI Mecanismos de Migración.

La movilidad de los solutos desde la fuente, tiene un complejo camino y depende de múltiples variables, entre ellas el tipo de substrato, cobertura vegetal así como el sistema reticular y la actividad microbiológica pueden actuar como retenedores y/o degradar para algunas sustancias.

La interacción del lixiviado con el material que conforma la zona no saturada, puede también retardar su migración o lograr que éste, se quede retenido en la roca.

Los fenómenos de retardo lineal (adsorción, absorción, porción intercambio químico) y la conductividad hidráulica (K), de los diferentes estratos, propician que algunos solutos nunca arriben al acuífero o que tarden periodos largos de tiempo, meses o inclusive años.

Grandes espesores de material arcilloso con valores muy bajos de K frenan los solutos. Un soluto no reactivo, como los cloruros, tarda más de tres años en atravesar una capa de 10 m de arcilla. En cambio medios fracturados o de doble porosidad facilitan un rápido desplazamiento.

Los solutos que logran incorporarse al flujo subterráneo se desplazan en él advectiva (movimiento vertical debido a diferencias de densidad) y dispersivamente.

En las inmediaciones de la fuente, al conjunto de los solutos o lixiviados, integrados al flujo, se le denomina pluma contaminante. Las plumas contaminantes muestran una geometría muy bien definida en el entorno inmediato de las fuentes (menos de 1 km), a distancias mayores a menudo ya no son identificables, debido a las muy bajas velocidades del flujo del agua subterránea. Mientras que la advección depende de la velocidad del agua, la dispersión está en función de las características del medio y del soluto. Esta última comprende la difusión, la cual se da a nivel micro. Ambos fenómenos originan en medios porosos, velocidades bajas de los solutos, del orden de metros o centímetros por día.

El desplazamiento de los contaminantes depende de la velocidad del flujo y ésta a su vez del gradiente hidráulico, el cual es parcialmente controlado por la recarga y la extracción; mismos que si experimentan cambios drásticos, sobre todo en medios urbanos, inciden en la movilidad de los solutos.

La interpretación de parámetros registrados en tiraderos tales como los que se muestran en la tabla 1, es básica para reconocer relaciones que se desarrollan en las condiciones puntuales en particular en basureros. A continuación se definen las relaciones del pH con la movilidad de los metales, destacando el arsénico, así como el ambiente que se genera con la presencia de los mismos:





Acido (pH bajo)	Alcalino (Ph alto)	Ambiente
Metales móviles	Metales inmóviles	Oxidante
Arsénico inmóvil	Arsénico móvil	
Metales inmóviles	Metales móviles	Reductor

Tabla 1.- Relaciones directas. Ph - Ambiente

Respecto a los sistemas de flujo de agua subterránea, se puede decir que son de tres tipos: local, intermedio y regional, mismos que están gobernados por diferentes aspectos físicos como clima, relieve y litología (Tóth, 2000). Siendo así que un flujo local se genera y descarga en una misma cuenca; el intermedio se caracteriza por contener al menos uno de tipo local y su descarga puede ocurrir en otra cuenca hidrológica con altitud menor a la de la cuenca donde se genera; el flujo regional por su parte alcanza la mayor profundidad de recorrido y la descarga se genera a decenas o cientos de kilómetros de distancia a la altitud más baja. Debido a la diferencia de profundidad y longitud de recorrido de los diferentes tipos de flujos, todos presentan característica físicas y químicas particulares, que pueden ser usadas como herramientas de gran utilidad para definir los sistemas, junto con otros indicadores ambientales como suelo, geomorfología, entre otros. Dichas condiciones son apropiadas para las condiciones que predominan en México desde la perspectiva hidrogeológica que el uso de la técnica de balance hídrico.

IV.V MARCO HISTORICO

La existencia de experiencias anteriores, dan lugar al marco histórico real del tema y es de gran utilidad para el establecimiento del nivel de desarrollo en que se encuentra al momento del estudio.

El marco histórico es justamente para ubicar la etapa de progreso en la situación problemática de la contaminación de mantos freáticos producto de lixiviación generada a partir de rellenos sanitarios, tiraderos a cielo abierto o sitios de disposición de los residuos sólidos específicamente:

Hace unos 10,000 años, el paso del nomadismo al sedentarismo originó las primeras concentraciones humanas, y es entonces cuando comienza el problema de los residuos que, en un principio, al ser la forma más fácil que encontró el hombre primitivo de disponer los desechos, fue depositarlos en el entorno inmediato cerca de sus viviendas, sin sistema de acopio o tratamiento alguno; así fue como nació el tiradero a cielo abierto, práctica que se ha mantenido hasta nuestros días convirtiéndose en un problema a medida que el hombre tuvo la tendencia de agruparse y se concentró en ciudades.

El alejar de la vista los residuos no fue un proceso fácil, las guerras y la acumulación de desperdicios en las ciudades propiciaron que el hombre aprendiera a vivir con su propia basura con todas las consecuencias que esto acarrea.





La introducción del alcantarillado en la Europa mediterránea por griegos y romanos, supuso un gran avance en la gestión de los residuos, que tras las invasiones germánicas, sufriría un proceso de retroceso, al presentarse una marcada deficiencia en las condiciones de tratamiento de residuos, que fueron parcialmente responsables de la gran cantidad de plagas y epidemias que asolaron Europa.

Hubo que esperar al reinado de Carlos III en el siglo XVIII, para que se acometiera en España, la primera red de alcantarillado y servicios de limpieza municipales en la capital del país; siendo hasta el siglo XIX cuando se generaliza la construcción de redes de alcantarillados, de acopio y limpieza de calles en las localidades más importantes.

La revolución industrial, la ciencia y la tecnología nos han traído, entre otros cambios, el desarrollo científico y tecnológico. La llegada de la sociedad industrial, provocó la diversificación e incremento en la cantidad de residuos generados, que aumentaría de forma progresiva, hasta alcanzar grandes cifras en la última mitad del presente siglo. Los cambios en nuestros hábitos de consumo, exigen que para el simple uso de un objeto, sea necesario generar varias veces su peso en basura debido al sistema de cosas desechables.

Por lo tanto, se puede establecer que a lo largo de la historia, el primer problema de los residuos sólidos, ha sido su eliminación. La sociedad “solucionó” éste problema, quitándolo de la vista, arrojándolo a las afueras de las ciudades, cauces de los ríos o en el mar u ocultándolo mediante enterramiento.

La sociedad actual, tras el cambio económico y sociológico que supuso el paso de una sociedad preindustrial a una sociedad industrializada, ha sufrido cambios acelerados en los modos de vida y costumbres: el consumo comienza por ser un parámetro de calidad de vida, la economía pasa de ser agroganadera a industrial y de servicios, como consecuencia, se produce un abandono generalizado del medio rural, y las ciudades comienzan a crecer por encima de sus posibilidades de acogida.

Por otro lado, el crecimiento tecnológico genera nuevos productos y residuos, tan relevantes desde el punto de vista de la basura, como los derivados plásticos o los residuos radioactivos. En tan solo unas décadas, desaparece el concepto de para toda la vida, y los utensilios y aparatos que utilizamos habitualmente, quedan desfasados en pocos años, lo que nos lleva a sustituirlos por nuevos modelos, con el resultado final de originar una mayor cantidad de residuos.

Hace 30 años, la generación de residuos por persona en ALC (América Latina y el Caribe), era de unos 200 a 500 gr/hab/día, mientras que hoy se estima entre los 0.5 a 1.2 kg/hab/día (Jaramillo, 1999). En los países desarrollados, esta cifra es de dos a cuatro veces mayor. Pero el problema no radica solamente en la cantidad sino también en la calidad o composición que pasó de ser densa y casi completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos que alimentan de manera preocupante los lixiviados y su infiltración en el subsuelo.





El crecimiento económico experimentado por México en los últimos años ha traído como consecuencia la modificación de los patrones de consumo regionales. Ello se refleja en una mayor producción de residuos, tanto líquidos, sólidos y gaseosos; por lo que en la actualidad la tasa de generación es similar a las de países desarrollados (Buenrostro e Israde, 2001). La composición de residuos sólidos en la región de la cuenca Cuitzeo, es similar a los generados en áreas urbanas. Alrededor de la mitad de los residuos está compuesta por plásticos y empaques que muestran una gran similitud en los patrones de consumo tanto en localidades rurales como urbanas del municipio de Morelia. No obstante el promedio de la zona (0.70 kg/persona/día), se sitúa ligeramente por debajo del promedio nacional (0.80 a 0.90 kg/persona/día) (Buenrostro et al, 2001).

Al contrario de lo que sucede con otros servicios de saneamiento básico, como el del agua potable; el manejo de los residuos sólidos, siempre ha permanecido en manos de los municipios; sin embargo, el problema ya ha alcanzado horizontes que afectan de manera indirecta los servicios de suministro de agua y saneamiento, que guardan una atención prioritaria por parte de las autoridades, por lo que el tema de contaminación empieza a observarse de forma cíclica e integral.

A pesar de lo anterior, los procesos de descentralización y municipalización, no han surtido un efecto considerable ante el incremento de la generación de residuos sólidos, por otro lado, la mano de obra calificada, en el aseo urbano, es poca comparada con la destinada a los servicios de agua y alcantarillado, lo que se traduce en serias deficiencias en el campo técnico.

Aunque actualmente podemos observar en las sociedades del tercer mundo, un incremento escaso en el volumen de residuos, al menos en ambientes rurales, lo cierto es que en nuestro entorno social económico, el enorme consumo se ha convertido en el motor que alimenta un crecimiento progresivo en la producción de residuos, hasta convertirse hoy en un gran problema.

Este hecho ha provocado el desarrollo de distintos procesos para el tratamiento y gestión de residuos en los últimos veinte años, y ha supuesto, paralelamente, el inicio de un movimiento social e institucional cada vez más amplio, que intenta frenar el crecimiento de la cantidad de basuras, mediante el reciclado de subproductos y la reducción en el consumo.

Especialmente en los últimos cinco años, el impacto más espectacular que ha tenido el servicio de recolección de residuos sólidos, ha sido el proceso de privatización o concesión de la operación de los mismos, como parte de un proceso más amplio, que está ocurriendo en todas las ciudades.

El aseo urbano, puede consumir del 15 al 20 % del presupuesto municipal (Feria y Seminario Internacional de Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos, 1999), la debilidad institucional y la falta de educación sanitaria y





participación comunitaria, han conducido a esta situación de manejo escaso e inadecuado de los residuos sólidos municipales, que aflige a todo mundo.

IV.VI MARCO LEGAL

Del total de los residuos generados en el país, solo se recolecta un mínimo porcentaje, pero sólo la mitad tiene una disposición final adecuada. En consecuencia, una gran cantidad de basura, es dispuesta en tiraderos a cielo abierto y sin control.

Desde 1994, se publicaron dos proyectos de norma oficial mexicana: PROY-NOM-083-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias. Estos dos proyectos, después de un largo proceso, se convirtieron en la actualmente conocida NOM-083-ECOL-1996 que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos municipales, quedando en espera el PROY-NOM-ECOL-1994. Ante la poca observancia de la NOM-083-ECOL-1996, se hizo necesario replantear las condiciones y requisitos fundamentales establecidos para una disposición final adecuada en los rellenos sanitarios.

Esta nueva norma, representa un instrumento más apegado a las condiciones de las distintas regiones del país, y se espera que a través de su implementación se mejore la disposición final de los residuos en el territorio nacional.

En México, desde la publicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1996) se establecen las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales; desde entonces se han instalado en algunos estados de la República Mexicana, rellenos sanitarios que cumplen con esta norma (como son los casos de Monterrey, Querétaro, Aguascalientes, etc.); pero existe una cantidad no conocida de vertederos a cielo abierto (basureros), algunos oficiales y otros clandestinos; ya que es la forma más "barata" de operarlos; sin considerar con algún tipo de regulación de los desechos sólidos municipales que se generan en las ciudades. Uno de los problemas principales, lo genera la infiltración de lixiviados provenientes de basureros, derrames químicos o desperdicios líquidos. Esto produce la degradación local de la calidad del agua subterránea (Díaz y Arizabalo, 1991).

En lo que respecta a las obligaciones del municipio en materia de residuos sólidos, el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos otorga el poder al municipio, para manejar de forma autónoma sus residuos sólidos urbanos. Ello implica que las autoridades municipales tienen a su cargo las funciones y servicios públicos de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos. Por otro lado, conforme al





Artículo 10 de la LGPGIR (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos), los municipios tienen a su cargo, las funciones de gestión integral de los mismos.

En cuanto al manejo especial de los propios residuos, es responsabilidad directa de las entidades federativas, la regulación de la generación y manejo integral de los mismos estará de acuerdo con lo estipulado en la LGPGIR, las disposiciones emitidas por las entidades federativas y demás disposiciones aplicables. Conforme a esto, el municipio deberá llevar a cabo las siguientes acciones:

- Están a su cargo las funciones de manejo integral de los residuos sólidos.
- Formular los programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos.
- Emitir reglamentos y otras disposiciones jurídico-administrativas de observancia general, dentro de sus jurisdicciones, relacionados con los residuos.
- Controlar los residuos sólidos.
- Prestar el servicio público de manejo integral de residuos sólidos.
- Otorgar autorizaciones y concesiones de este manejo integral de los residuos.
- Establecer y actualizar el registro de grandes generadores de residuos sólidos.
- Verificar el cumplimiento de la ley e imponer sanciones.
- Otras que disponga la ley.

En relación a las especificaciones para el agua, se ha tratado de restringir el término de contaminación a la normatividad vigente para agua para consumo humano. Lo cual, en el caso de México y de otros países latinoamericanos, deja fuera una gran cantidad de compuestos orgánicos. En pocos países el índice BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) para hidrocarburos, está considerado en la normativa para agua potable. Además otra referencia obligatoria, es la que presenta la Agencia de Protección Ambiental Norteamericana (EPA) y los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OPS).

Debido a la variedad de reglamentación y a lo divergente de los parámetros aceptados por cada una de ellas, es de gran importancia definir procesos de contaminación haciendo referencia a los valores representativos del elemento en cuestión. Por lo anterior, si las concentraciones rebasan sistemáticamente las anteriores concentraciones "normales", el agua esta siendo contaminada; para el caso de compuestos orgánicos, hidrocarburos, agroquímicos y/o productos de transformación, sus valores "normales" en el agua son cero, por lo tanto cualquier cantidad detectada significaría que el acuífero está contaminado.





IV.VII Normatividad.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental, entre otros aspectos, para prevenir y evitar transmisión de enfermedades gastrointestinales, para ello se establecieron límites máximos permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radioactivas; dichos valores son producto de complicados estudios y ensayos in Vitro, bioensayos dosis-respuesta en diferentes especies y datos epidemiológicos, por lo que se consideran confiables a pesar de que se tienen variantes debido a criterios rigurosos impuestos según la organización o país.

La norma establece los siguientes límites permisibles de calidad del agua en nuestro país:

- Límites permisibles de características bacteriológicas (coliformes fecales y coliformes totales).
- Límites permisibles de características físicas y organolépticas (color, olor y sabor, y turbiedad).
- Límites permisibles de características químicas (lo cual comprende 34 parámetros, tales como aluminio, arsénico, bario, etc.). (Estadísticas del Agua en México 2007, Comisión Nacional del Agua).

NOM-127-SSAI-1994	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Se publicó en el DOF el día 18 de enero de 1996, y entró en vigor al siguiente día. El 22 de noviembre de 2000 se publicó en el DOF una modificación que entró en vigor a los noventa días naturales posteriores de su publicación.
--------------------------	---

A continuación (tabla 2), se presentan algunos de los parámetros considerados por la normatividad, así como sus respectivos valores máximos permisibles:

PARÁMETRO	LIMITE MÁXIMO NOM-127-SSA1-2000
pH	6.5 – 8.5
Temperatura	(°C)
Conductividad Eléctrica	(μ S/cm)
Color Verdadero	20 (U.C. Pt-Co)
Alcalinidad Total	450 (mg/L CaCO ₃)
Dureza Total	500 (mg/L CaCO ₃)
Microorganismos	
Coliformes fecales	Ausencia
Turbiedad	5 UTN
Químicos Inorgánicos	
Arsénico	0.025 (mg /L)
Bario	0.7 (mg /L)
Cadmio	0.005 (mg /L)
Cianuro	0.07 (mg /L)
Cloruros	250 (mg /L)
Cobre	2 (mg /L)
Cromo Total	0.05 (mg /L)

Tabla 2.- Parámetros y límites permisibles de concentraciones (1/2).





PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO NOM-127-SSA1-2000
Químicos Inorgánicos	
Fluor	1.5 (mg /L)
Mercurio	0.001 (mg /L)
Nitratos	10 (mg /L)
Nitritos	0.5 (mg /L)
Plomo	0.01 (mg /L)
Sodio	200 (mg /L)
SDT	1000 (mg /L)
Sulfatos	400 (mg /L)
Zinc	5 (mg /L)

Tabla 2.- Parámetros y límites permisibles de concentraciones (2/2).

IV.VIII Estrategias de Monitoreo.

Los principales objetivos de una estrategia de monitoreo de aguas subterráneas incluyen (VRBA, J. 2000):

- Soportar la estrategia de protección de aguas subterráneas en los niveles locales, regionales y nacionales con el objetivo de preservar sus propiedades naturales para propósitos de abastecimiento de agua potable.
- Proveer datos representativos sobre el estado natural y las tendencias del sistema hidrogeológico con fines de planeación, manejo y toma de decisiones sobre la protección y conservación de las aguas subterráneas.
- Disponer de datos precisos y confiables para ayudar a identificar la existencia de fuentes puntuales y difusas de contaminación.
- Producir datos para estudiar los cambios en el espacio y en el tiempo en la calidad de los sistemas hidrogeológicos debido a procesos naturales.

El análisis y la transformación de datos analizados en información útil para los usuarios, es otro punto crítico en el programa de monitoreo. Es claro que a pesar de que se cuente con alta calidad de información, si esta no es transmitida a los usuarios no tendrá el impacto esperado de forma efectiva y perderá su valor como insumo para la toma de decisiones (BATISTA, e. 2002). La información deberá tener como finalidad, orientar la implementación de políticas y estrategias de conservación del recurso.

Con respecto a la contaminación del agua y suelo, por tratarse de temas ambientales en los que se toma en cuenta la alteración en su calidad, su problemática está relacionada con la degradación de estos recursos; se trata de activos ambientales para los que su cuantificación resulta sumamente compleja, por lo que el análisis desarrollado, se centrará en determinar únicamente las tendencias de contaminación en la región.





IV.IX Interpolación

Existen diferentes técnicas de interpolación utilizadas generalmente para variables climáticas, usos el suelo y recursos naturales; usualmente para regiones extensas. Algunas de estas técnicas son: a) clasificación, b) evolución o tendencias en las superficies, c) modelos de regresión, d) polígonos de Thiessen, e) interpolación lineal, f) medias móviles y ponderación de la inversa de la distancia, g) placa fina, h) kriging e i) simulación condicional.

En la tabla 3, se presenta la comparación entre las técnicas citadas anteriormente:

Método	Determinista / Estocástico	Local / Global	Transiciones	Interpolador Exacto	Limitaciones	Mejor para
Clasificación	Determinista con información suave	Global	Abruptas si se utiliza solo	No	La delimitación de zonas y clases pueden ser subjetivas. El error de evaluación se limita a las derivaciones de las clases	Evaluaciones rápidas cuando los datos se encuentran esparcidos.
Evolución o Tendencias en las Superficies	Esencialmente determinista (Empírico)	Global	Graduales	No	El significado físico de la tendencia puede ser poco claro. Los valores atípicos y los efectos de borde pueden distorsionar la superficie. Poca bondad de ajuste.	Evaluaciones rápidas y remoción de las tendencias espaciales
Modelos de Regresión	Esencialmente determinista (Empírico-Estadístico)	Global con mejoras locales	Gradual si los insumos tienen variaciones graduales	No	Los resultados dependen del ajuste del modelo de regresión y la calidad y el detalle de los datos de entrada de la superficie. Evalúa posibles errores si son conocidos.	Modelación numérica simple de datos si no se dispone de presupuestos para mejores métodos
Polígonos de Thiessen	Determinista	Local	Abruptas	Si	El mosaico patrón dependerá de la distribución de los datos. La evaluación de errores será de solo un punto por polígono.	Apreciaciones nominales desde el punto de observación
Interpolación Lineal	Determinista	Local	Gradual	Si	No cuenta con error de evaluación.	Interpolación de datos de puntos cuando la densidad de datos es alta, como en los datos de conversión cuadrículada de un proyecto a otro
Medias Móviles y ponderación de la inversa de la distancia	Determinista	Local	Gradual	No regular, pero puede ser forzado	No tiene evaluación de error. Los resultados dependen del tamaño de la ventana de búsqueda y elección del peso de los parámetros, una mala elección de ventana deriva en alta densidad de datos digitalizados en los contornos.	Rápida interpolación a partir de escasos datos; para realizaciones periódicas o muestras irregulares en cortos intervalos de tiempo

Tabla 3.- Comparación entre técnicas de interpolación (1/2).





Método	Determinista / Estocástico	Local / Global	Transiciones	Interpolador Exacto	Limitaciones	Mejor para
Placa fina	Determinista con una componente estocástica local	Local	Gradual	Si, dentro de los límites de alisamiento	Cuenta con la posibilidad de ajuste, pero dentro del supuesto de que la superficie es perfectamente lisa.	Rápida interpolación digital de elevación de datos (univariados o multivariados), tiene el atributo de crear MDE de datos detallados moderadamente
Kriging	Estocástico	Local con variaciones globales. Local con tendencias locales	Gradual	Si	El error de evaluación depende de los variogramas y de la distribución de los datos, así como el tamaño del bloque interpolado. Requiere de atención al modelar estructuras espaciales de correspondencias.	Cuando los datos son suficientes ya que proporciona buena interpolación con datos esparcidos. Datos binarios y nominales pueden interpolarse. Información suave puede incorporarse como estratificación o tendencias
Simulación Condicional	Estocástico	Local con variaciones globales. Local con tendencias locales	Irregulares	No	Comprensión del proceso estocástico y el modelo necesario que lo rige.	Proporciona una excelente estimación de la gama de valores posibles de un atributo no muestreado. Para la evaluación de errores que no dependen de la distribución de los valores de datos

Tabla 3.- Comparación entre técnicas de interpolación (2/2).

La interpolación es el procedimiento para estimar los valores de propiedades en un área cubierta por puntos simples, usando los valores de estos puntos conocidos. Los sistemas de información geográfica y la modelación han llegado a ser poderosas herramientas en los recursos naturales, sobre todo debido a que las estimaciones ambientalistas de distribuciones espaciales han incrementado y requieren de los SIG's, esto implica que la calidad de los recursos depende más y más de los métodos de interpolación espacial.

Cuando los datos conocidos se encuentran esparcidos, las variaciones entre puntos muestreados pueden diferir y la opción de método de interpolación y parámetros, llegan a ser críticos; por lo anterior, es recomendable conocer y entender la exactitud de las técnicas de interpolación espacial para identificar fuentes de error y los resultados derivados.

Selección de técnica de interpolación: basados en la breve descripción mostrada en la tabla 3, es posible identificar las bondades de la aplicación de Kriging respecto de las demás, ya que se trata de un método de interpolación exacto, que genera transiciones graduales entre los valores generados, adicionalmente, los datos con los que contamos para nuestro estudio son suficientes ya que su densidad es alta (10.89 km²/muestreo), aunque su distribución no sea homogénea; otra de las razones por las que se observo más conveniente su uso es que la zona a interpolar no es extensa.





Asimismo, para el caso de métodos de transiciones abruptas, se tomo la decisión de descartarlos ya que no representarían de forma adecuada el comportamiento de las concentraciones de parámetros evaluados (métodos: clasificación, polígonos de Thiessen, simulación condicional).

Para el caso de los polígonos de Thiessen, se trata de una técnica simple que considera dibujar los límites de un polígono para cada dato localizado en el centro, a través de esta metodología se pueden predecir las cualidades de puntos vecinos basados en las de los muestreados cercanos y es mejor para los datos cualitativos donde no son aplicables otros métodos de interpolación (Borough y McDonnell 1998).

La importancia en la exactitud de la técnica de interpolación fue determinante puesto que un interpolador exacto genera menor incertidumbre en los datos calculados debido a que se asignaran valores idénticos medidos de puntos muestreados a los vecinos con cualidades no conocidas.

Otro de los criterios aplicados para la mejor selección de la técnica adecuada para nuestro estudio fue la naturaleza del método; el determinismo es una doctrina filosófica que sostiene que todo acontecimiento físico, incluyendo el pensamiento y acciones humanas, están causalmente determinados por la relación causa-consecuencia de donde se derivan sus clasificaciones: fuerte.- donde se sostiene que no existen sucesos genuinamente aleatorios y en general el futuro es potencialmente predecible a partir del presente; débil.- sustenta que es la probabilidad lo que está determinado por los hechos presentes, o que existe una fuerte correlación entre el estado presente y los estados futuros, aun admitiendo la influencia de sucesos esencialmente aleatorios e impredecibles; por lo anterior, el elegir un método determinista no conviene a nuestros intereses.

En contraparte, estocástico es aquel sistema que funciona, sobre todo por el azar y las leyes de causa-efecto no explican como actúa el sistema (y de modo reducido el fenómeno) de manera determinista, sino en función de las probabilidades. El modelo estocástico es un algoritmo que basa su resultado en probabilidades que cambian en el tiempo, diferenciándose con el algoritmo probabilístico por su comportamiento dinámico.

De tal modo que, en matemáticas la estocástica resulta ser un conjunto de teorías estadísticas que tratan de los procesos cuya evolución es aleatoria.

De acuerdo a lo anterior, el método de interpolación que mejor se ajustaba a nuestras necesidades y que además se basaba en un modelo estocástico era **Kriging**.

Respecto al software, se utilizo el análisis espacial mediante ArcView (ESRI 1998).





V.- ANTECEDENTES

V.I Antecedentes Generales.

Las bases para un manejo integral de los RSM como parte del desarrollo sostenible, contemplan la disminución en la producción de residuos, reciclaje, recolección, tratamiento y disposición final adecuada. Además, cada país y cada ciudad, establecen sus programas para lograr lo anterior de acuerdo a sus condiciones locales y a sus capacidades económicas.

Cierto es que el problema se encuentra identificado y es especialmente tratado en las grandes urbes, sin embargo, las alternativas de solución son parciales, debido a lo anterior, se trata en la actualidad de un tema vigente de múltiples intereses, tanto políticos, ambientales y sociales, de graves implicaciones por sus inherentes consecuencias del deterioro en la salud, medio ambiente e incluso con variables sociales.

Un relleno sanitario húmedo es el sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos, los que no se deshidrataron y su función desde la perspectiva de la ingeniería ambiental es controlar las condiciones físicas, químicas y biológicas de la descomposición aerobia/anaerobia; básicamente es una depresión en un terreno recubierto por una geomembrana y que colecta los lixiviados y gases para que estos sean tratados adecuadamente.

V.II Antecedentes en América.

La generación de residuos depende de la población (densidad poblacional, tipo, ubicación geográfica, nivel de vida, etc.), sobre todo para la población urbana, debido al consumismo y a la diversidad de productos ofertados, lo cual implica cambios drásticos en los índices de generación de RSM.

En América, éste cambio es uno de los más dinámicos del mundo ya que existen metrópolis consideradas entre las más grandes del mundo. La urbanización y el continuo cambio en las costumbres de consumo, han incrementado los residuos y de igual forma han aparecido lugares clandestinos de depósito de los mismos.

Los rellenos sanitarios, son el método más practicado para la disposición de los residuos, a pesar de que la mayoría, no cumplen con las especificaciones técnicas requeridas. La evolución de estos sitios de disposición, se han visto mejoradas en los últimos años, no obstante, aún el uso de geomembranas que impidan la infiltración de fluidos contaminantes al subsuelo, no se ha generalizado, de igual forma, los lixiviados no son tratados, como es el caso de la ciudad de Morelia. Adicionalmente, en la ciudad de Morelia, se tiene un escaso y confuso conocimiento sobre la separación de los residuos sólidos, lo cual no induce a una conciencia ecológica para el cuidado de la naturaleza (Carrillo Amezcua et. al. 2005).





En los países de América, la eliminación de residuos, se lleva a cabo en un porcentaje mayor mediante la disposición; quedando en segundo plano la incineración, el composteo y el reciclaje. (BID-OPS, 1998).

Una característica que se conserva, en relación a los RSM, es que la generación per cápita, es proporcional al desarrollo de las ciudades; lo cual confirma que el tamaño de las ciudades, es un factor determinante para el incremento de desechos, lo anterior, en combinación con las condiciones climáticas locales asociadas a la variación de los regímenes de precipitación, influyen fuertemente en la generación de lixiviados.

Se han presentado casos clínicos que ejemplifican el riesgo para la salud humana de la instalación de rellenos sanitarios, reportan que en 1989 en New York, EUA, bebés nacidos entre 1971-1975 y aquellos con permanencia cercana al relleno con al menos el 75% de su vida, tuvieron una menor altura que niños que se desarrollaron alejados de un relleno sanitario, (ERF, 1998). También en Massachussets, EUA, se reportaron niños con leucemia que bebieron agua contaminada por lixiviados de un relleno sanitario.

- Caso de la Ciénega de Palaqua; Colombia.

Se ubica en el valle medio del Río Magdalena, donde se han presentado eventos periódicos, de muerte masiva de peces (Rodríguez, 1997). Estableció las características hidráulicas de la Ciénega, se hicieron mediciones en campo de conductividad, contenido de oxígeno disuelto, temperatura y concentración de isótopos estables, permitieron determinar la velocidad y dirección de corrientes dentro del sistema y los tiempos de residencia y renovación del agua en la ciénega. Utilizó trazadores ambientales y artificiales, identificando las relaciones entre los parámetros medidos. En los resultados se observó que la conductividad no varía respecto de la profundidad aunque si respecto al tiempo lo que significa que para renovar el agua o producir una mezcla de ella el tiempo es menor de una semana; respecto a la temperatura y su fluctuación, depende principalmente de la insolación, acción del viento, corrientes internas, profundidad, latitud y altura sobre el nivel del mar, con un máximo de 39°C.

- Otro estudio se ubica en la Sabana de Bogotá; Colombia (Beltrán, 1994).

Se obtuvieron valores típicos de las propiedades físicas y químicas del agua subterránea de la sabana entre las que destacan:

Conductividad Eléctrica; que varía de 100 a 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con los valores más bajos en las captaciones del piedemonte y los más altos en los alrededores de Funza (zona alta). Estos valores altos, son debidos al mayor tiempo de residencia del agua subterránea. Esto quiere decir que la calidad del agua de riego decrece, del piedemonte oriental hacia el occidente.





Contenido de Hierro, debido a la oxidación de materia orgánica. El contenido de hierro es mayor en el piedemonte, causados por la composición litológica de la formación geológica, denominada Guadalupe. Existe una zona con concentraciones muy bajas, menores a 0.3 mg/L, en los municipios vecinos del occidente de Bogotá.

Turbidez, presentando colores mayores a 20 UNT, causados por filtraciones de aguas negras del alcantarillado de Bogotá. Estos valores disminuyen hasta 5 UNT por Cota y Chía (noroccidente de la sabana).

Color Verdadero, las zonas de mayor concentración, se encuentran en la parte norte de la subcuenca, alcanzando valores de hasta 60 UC y disminuyen hacia la parte noroccidental de Bogotá, donde se encontraron valores un poco superiores al límite de la norma (15 UC).

Los resultados, indicaron que en los períodos lluviosos y secos de la región de estudio, no existe una influencia marcada en los parámetros físico-químicos del agua subterránea, a excepción del color verdadero, contenido de hierro y de cloruros, en los cuales los períodos lluviosos incrementan sus concentraciones.

Estadísticamente los promedios de los parámetros físico-químicos como la turbiedad, color verdadero, contenido de hierro y amonio son un poco elevados, deduciendo que el agua, no es apta para consumo humano sin tratamiento previo (aireación, sedimentación, filtración, desinfección). El estudio pudo demostrar claramente que una zona comprometida por las poblaciones de Funza, Mosquera y sus alrededores en general, es apta para cualquier uso, pero la concentración de color supera los límites de la norma colombiana. El resto de la subcuenca se caracteriza básicamente por tener bajos contenidos de hierro en el sector del piedemonte.

Las causas de la turbiedad en los depósitos cuaternarios están determinadas por el contenido de hierro en suspensión y el mal o inadecuado desarrollo de pozos explorados en la zona. Estos estudios determinaron el agua de la sabana como agua blanda a moderadamente dura con unos contenidos de dureza entre 30 y 150 mg/L de CaCO_3 , los cuales están dentro de los límites para consumo humano.

- Acuífero de Santa Marta.

La ciudad de Santa Marta, afrontaba problemas de abastecimiento de agua potable a pesar de que la mayor parte del caudal del Río Manzanares se pierde en el mar en la época de lluvias, y la construcción de un embalse superficial no es posible, dadas las características fisiográficas de la cuenca (sensiblemente plana). Además los recursos hídricos subterráneos, se están aprovechando en forma incontrolada, amenazando con daños irreparables el acuífero. Rodríguez y Molano (1994), con el fin de incrementar y manejar adecuadamente la explotación del acuífero en la época de sequía, para el almacenamiento de agua superficial sobrante en la temporada de lluvias, mediante prácticas de recarga artificial, optimizaron los recursos hídricos aplicando el uso integrado agua superficial-subterránea.





Las investigaciones realizadas, señalaron la buena permeabilidad a través de substratos formados de rocas ígneas y metamórficas en varias zonas del acuífero. De otra parte, se observó que no existe el manejo adecuado de basuras y otros residuos, que son contaminantes potenciales del mismo, presentándose un alto riesgo de contaminación biológica. Para establecer áreas de protección del acuífero, se realizó un estudio de flujo subterráneo mediante análisis isotópicos y trazadores artificiales. El tiempo de tránsito entre el Río Manzanares y el pozo típico, es del orden de dos meses, siendo la velocidad promedio del agua subterránea, con la siguiente expresión:

$$V = X / t = 270 \text{ m} / 60 \text{ días} = 4.5 \text{ m/día}$$

Se determinó un tiempo de tránsito de 194 minutos, a partir de la inyección del trazador, lo cual da una velocidad media de 86.1 m/día. De este estudio, se sugiere que el área de protección, para prevenir la contaminación biológica del agua extraída del pozo típico, está dentro de una circunferencia de 225 m alrededor del mismo pozo. Dentro del área de protección, no se debe permitir ningún tipo de vertido, se debe contar con una adecuada vigilancia y mantenimiento a la red de alcantarillado existente en el área y evitar en lo posible, la ampliación o instalación de nuevos tramos en el área de influencia de pozos.

Como conclusión, es necesario hacer un inventario de los pozos abandonados que se encuentren en el área, para sellarlos o habilitarlos como piezómetros de control.

- Acuífero Superior de la Cuenca del Chuy, Uruguay.

Dentro del estudio hidrogeológico del acuífero sedimentario de la cuenca del Chuy en Uruguay, Abelanda, Almagro y Rocha (1994) hicieron el estudio de la química de sus aguas. El acuífero cuaternario varía desde semiconfinado a libre. Se realizó un estudio del comportamiento de los principales iones y especies químicas presentes en el agua del acuífero, teniendo tres objetivos primordiales: el riesgo practicado en la zona de balnearios, la contaminación de las aguas servidas del acuífero libre y somero y la salinización por avance hacia el continente del agua de mar.

Se concluyó que el agua es de tipo clorurada-sódica, con excepción de sectores muy localizados que presentan aguas bicarbonatadas calco magnésicas y sódicas. Desde el punto de vista físico-químico, el acuífero presenta características aceptables para abastecimiento de agua potable. Los resultados indicaron que el riego no representa un riesgo para el acuífero. Los parámetros tomados en cuenta son concentración de nitratos y sulfatos ya que no ha sido posible determinar el contenido de Boro ni de sulfatos en los análisis.

La cuenca de Chuy, registra hacia el centro de la ciudad, los valores de nitratos cercanos a los límites de potabilidad, los que han sido asociados a infiltraciones de aguas de retornos agrícolas.





Es un factor de resaltar el carácter libre a semiconfinado del acuífero y su escasa profundidad (20 m), y la carencia de saneamiento en la zona. Recomendó el seguimiento de la evolución físico-químico y bacteriológico de las perforaciones de la ciudad del Chuy. Además deben evitarse nuevas perforaciones en el sector. Con relación a la contaminación del acuífero por salinización con agua de mar, sólo se presenta en la localidad de La Barra. Esto se asocia a dos factores: el alcance de la cuña marina por efectos del bombeo y al frente de ingreso del mar.

En la ciudad de Chuy la concentración de cloruros ha sido constante por lo menos en el último decenio, con valores entre 70 y 120 mg/L. Es posible afirmar que la misma no responde a fenómenos de afectación marina en función de las líneas de isocloruros, por lo que se descarta una salinización del acuífero por efectos de isocloruros, por efectos de sobreexplotación relacionado a la presencia del mar.

- Contaminación de aguas subterráneas por vertederos y depósitos enterrados en España: Visión desde la Investigación.

A partir de un inventario de puntos de agua, profundidad del nivel saturado, parámetros hidráulicos (permeabilidad, porosidad, almacenamiento), balance hídrico, escurrimiento, infiltración, caracterización de la calidad natural del agua y modelos de flujo; se debería de conocer la alteración de la calidad y previo a ello, establecer el funcionamiento de los vertederos. Concluyeron que dentro de los estudios previos al emplazamiento se deben tener en cuenta las características hidrogeológicas, litología, clima, red de drenaje superficial y accesos; durante la construcción, el control de las obras, con especial énfasis en la impermeabilización y drenaje del vaso del vertedero, además de privilegiar zonas sin presencia de agua; en el periodo de explotación, es imprescindible el control y seguimiento de la instalación para no generar, acumular ni permitir fugas de lixiviados (Carrera et. al., 1994); en la etapa de clausura y sellado, se debe establecer una red de control de niveles de agua y de calidad que contemple mediciones de estabilidad de la masa de residuos y de extracción de gases y lixiviados si aún existen ya que los vertederos sellados pueden causar mayores problemas que los que están en explotación (MIMAM, 1996b).

- Simulación de la generación de lixiviados en un relleno sanitario propuesto utilizando el modelo de computadoras HELP (Canino R. 1997).

Derivado de la problemática creciente que representa la generación de lixiviados en los rellenos sanitarios, se desarrolló un estudio para simular a través de un modelo denominado Evaluación Hidrológica de Rellenos Sanitarios (HELP por sus siglas en inglés), con el cual se analizó la producción de lixiviados y el movimiento de agua a través del relleno. Del uso del modelo, se encontró que la lluvia que se infiltra es el componente mayor para la generación de lixiviados.





Otro aspecto encontrado fue que el diseño y dimensionamiento de las lagunas para la disposición final de los lixiviados debe ser función de las estimaciones de producción de lixiviados para poder darles un correcto manejo posterior y disponerlos de forma ambientalmente segura. Al igual que en nuestra investigación, se requiere de datos climatológicos generales y de conocer las características del suelo para estar en posibilidades de conocer más fehacientemente el comportamiento de un flujo a través de un sustrato o en este caso, de residuos sólidos confinados.

V.III Estudios de caso y situación en México.

Los grandes retos en relación al manejo y disposición de los RSM es general y se encuentra estrechamente relacionado al aumento de población, de ahí que en México se presente de igual manera la tendencia al incremento de los desechos; la población nacional ha experimentado un acelerado crecimiento en los últimos años, en el año 2000, en el país existían 97.5 millones de habitantes, mientras que en los años cincuenta solamente había 30 millones; paralelamente, la evolución en la generación de basura pasó de 300 a 865 gr/hab/día en el mismo período (INEGI, 2000).

Los sitios donde se depositan los residuos presentan condiciones variables en cuanto superficie, medidas de seguridad, etc.; dependiendo de los desechos que en ellos se depositan, los datos se observan en la figura 1 a partir de (INEGI, 2002) donde se estimó para el país un total de 32'174,000 ton de RSM de las cuales el 50.2% correspondía a residuos de origen orgánico, 13.4% papel, 5.7% vidrio, 4.4% plásticos, 3% metales y por último el 23.3% restante de residuos de distintas fuentes.

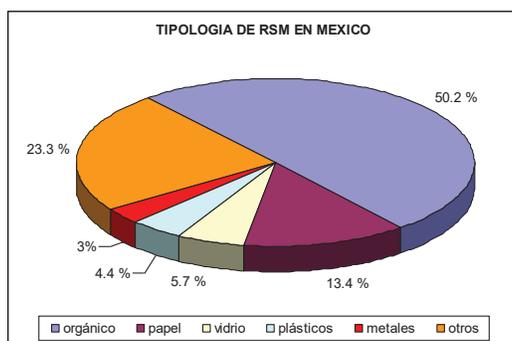


Figura 1.- Clasificación de RSM en México.
Fuente: INEGI, 2002.

Las cifras mostradas anteriormente, son bastante ilustrativas con relación al tipo de desechos, siendo aproximadamente la mitad de los residuos, orgánicos; de ahí la notable generación de lixiviados por su descomposición, además de que estos se mezclan con los otros, en los sitios de disposición, agravando la





problemática, ya que los componentes de dichos fluidos se combinan dando lugar a reacciones complejas, muchas veces, ellas en menoscabo del medio ambiente.

En cuanto a los efectos tóxicos sobre la salud de los lixiviados de un relleno sanitario, se sabe que se solubilizan en el suelo por los ácidos derivados de la descomposición de los orgánicos, por lo cual es posible la detección de concentraciones de metales pesados que sobrepasan los límites permisibles para agua de consumo humano (Sánchez Yáñez, 2005).

- Monterrey, Nuevo León.

En la ciudad de Monterrey, Nuevo León, tras la clausura por parte de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) de la industria Minera México y su filial American Smelthing Company (Asarco); se contempló llevar a cabo el proyecto denominado CéntriKa: una ciudad dentro de la ciudad; en un área de 55 ha, donde se localiza un confinamiento irregular de 500 mil toneladas de residuos industriales peligrosos como arseniato de calcio, plomo, bismuto, cobre, zinc y cadmio (figura 2).



La alternativa viable para el tratamiento, además de la confinación adecuada de los desechos tóxicos, era trasladarlos al Centro Integral de Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales (Rimsa), ubicado en el municipio de Mina, a 89 kilómetros al poniente de la capital del Estado de Monterrey; no obstante la compañía insistió en encapsular los tóxicos en “formaciones geológicas estables” dentro del mismo predio, siendo en 1993 hecha la gestión para instalar un cementerio tóxico, contando con el argumento de estudios técnicos que sostenían la factibilidad de confinar los desechos, puesto que aseguraban que no puede haber contaminación del agua subterránea por infiltraciones desde la superficie del terreno debido a las características físicas y químicas del suelo lo hacen impermeable y le confieren el calificativo de formación geológica estable.

Figura 2.- Predio destinado para el desarrollo del proyecto CéntriKa, Domicilio: calle Guerrero esquina Ruiz Cortines, Mty, N.L.





Sin embargo, el dictamen recientemente ha sido desmentido, ya que la Secretaría de Salud de Nuevo León y el Organismo Operador de Aguas y Drenaje de Monterrey, estudiaron la calidad del agua subterránea, encontrando metales pesados y sustancias químicas que están fuera de norma, específicamente en los parámetros microbiológicos: coliformes fecales; y parámetros físico-químicos: dureza total y entre los metales presencia de cadmio, aluminio, arsénico y hierro.

Es así que la contaminación de mantos freáticos, al tratarse de un tema someramente estudiado y en la mayoría de las veces estimado con resultados inferidos, se presenta como un reto de crecientes dimensiones, mientras tanto de los desechos tóxicos confinados en el lugar no existen datos.

- Oaxaca.

Se llevo a cabo la evaluación geohidrológica del tiradero municipal de la ciudad de Oaxaca, el cual funciona desde hace 20 años y recibe 683 ton/día de 17 municipios; para ello se determinaron parámetros incluidos en los métodos DRASTIC y el factor de transito, encontrándose que el subsuelo es básicamente arenisca intemperizada y fracturada, se midieron profundidades del nivel estático, obteniendo un promedio de 14 m, el material predominante del suelo es grava arcillosa y se obtuvo la conductividad hidráulica con rango de $1e^{-04}$ a $6e^{-04}$ con un nivel de escurrimiento de 0.17; concluyendo que el tiradero a cielo abierto no cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-83/ECOL-1996.

- Zaachila, Oaxaca.

En el valle de Oaxaca, se han tenido indicios de que las zonas donde se consideraba existían buenas condiciones acuíferas para el aprovechamiento, ahora ya no existen como tales, debido a las acciones que tradicionalmente se conocen; crecimiento anárquico, escasa cultura de agua, concientización para el manejo y tratamiento de los residuos sólidos y líquidos, lo que se traduce en susceptibilidad de contaminación por lixiviación, al no existir un correcto manejo, disposición y tratamiento de la basura.

Los indicios mencionados, se traducen en un riesgo potencial de contaminación, los cuales se identificaron en tres zonas con niveles de riesgo calificado como mínimo, medio y alto, mismo que fueron clasificados con el método Experto de Cálculo de Riesgo (ERC).

Durante el trabajo se analizaron las posibles fallas así como las sustancias contaminantes una vez que salen de control y constituyen una fuente de riesgo, para el caso, fuente lineal (río Atoyác) que atraviesa el valle de Zaachila, coincidentemente con el acuífero aprovechable.





La zona no saturada de la laguna de lixiviados está formada en partes por material de origen aluvial de composición heterogénea (arenas, limo y arcillas) así como afloramientos de rocas de origen sedimentario como lutitas, areniscas y caliza, por donde se infiere se infiltran los lixiviados al subsuelo, identificándosele como una zona potencialmente contaminada. No obstante las características de la laguna, los lixiviados no han sido encontrados en los pozos de monitoreo, por lo que se utilizó el método electromagnético, para determinar los sitios donde se encuentran o se infiltran estos, realizando tres perfiles paralelos (250 m) con bobinas Geonics EM-34 en tres frecuencias (6400 Hz a 10 m; 2600 Hz a 20 m y 600 Hz a 40 m) con dipolos de posición horizontal y vertical (transmisor-receptor) obteniendo datos a cada 5 metros.

Así pues, mediante la determinación de parámetros geohidrológicos tales como precipitación, pendiente del terreno, aguas superficiales, estado del suelo, profundidad de pozos, precipitación neta y conductividad eléctrica; todos ellos recabados utilizando métodos geofísicos e hidráulicos, se logró discretizar la zona a través de la asignación de valores normalizados para obtener la configuración de la región identificando zonas de riesgo.

Las aportaciones son las delimitaciones de zonas por nivel de riesgo, profundidad a la que se extrae el agua, el estado de la zona no saturada, y la distancia de los pozos de abastecimiento de agua a los sistemas de agua potable. Como conclusiones, en cuanto al cadmio, se debe a los cambios de pH derivado de la descomposición de la materia orgánica, la arcilla existente en el medio acuífero adsorbe a los metales pesados, mientras que los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación. Los resultados preliminares han permitido identificar zonas por donde se infiltran los lixiviados, zonas conductoras y velocidades de la zona no saturada y primera capa rocosa. El espesor del medio granular es de 6 a 10 m, subyaciendo rocas lutitas, fracturadas que posiblemente sean el medio por donde circulan los lixiviados hacia zonas profundas, no afectando sustancialmente el acuífero libre que es el que actualmente se aprovecha en la región.

- Durango.

Dentro del basurero municipal de la ciudad de Durango, han sido depositadas 400 ton de desechos sólidos por día, por más de 15 años; dicha fuente potencial de gran contaminación hacia el acuífero. Se han determinado parámetros de calidad físico-química y microbiológica, a través de pozos perforados alrededor del tiradero, además se han llevado a cabo monitoreos en un periodo de lluvias y uno de estiaje. El agua extraída en esa zona ha sido comparada con la normatividad vigente y los resultados indican que la calidad del acuífero, se ha modificado a causa, probablemente de la infiltración de lixiviados provenientes del basurero.

A pesar de la existencia de técnicas para el control y tratamiento de los residuos sólidos, no se han resuelto los problemas, ya que dadas las características del terreno (substrato constituido por arenas y gravas), existe posibilidad elevada de que los lixiviados lleguen a los acuíferos.





Definieron un plan de muestreo para conocer la posible distribución de contaminantes en la zona. Analizaron coliformes fecales, temperatura, conductividad, dureza, nitratos, cloruros, sólidos totales y sólidos volátiles, que hicieron posible determinar diferencias en los aprovechamientos a partir de las cuales se elaboraron mapas de Isolíneas, donde se aprecian las zonas de influencia de cada parámetro verificado.

- Alteración del agua subterránea en las cercanías de Santa Catarina, Chalco, México (González Moran, 2002).

La sub cuenca de Chalco es de origen volcánico que se ha visto afectada por los efectos de la urbanización, manejo inadecuado y mala ubicación de los residuos sólidos municipales, presentando con ello, alteraciones de calidad del agua principalmente por nitratos y nitrógeno amoniacal. La hidrodinámica del sistema acuífero está caracterizada por un flujo de sierras circundantes que lo recarga hacia el centro de la sub cuenca (similar a la región Morelia-Capula), pero que le subyace un gran paquete arcilloso que limita la posible incorporación de contaminantes al acuífero, por otro lado, se tienen también, en los límites del tiradero, laderas constituidas por material piro clástico que confieren un amplio rango de permeabilidad.

Se realizaron análisis físico-químicos que indican gran cantidad de sales disueltas y elevados valores de conductividad, así como concentraciones altas de manganeso y amonio que pueden ser asociados a zonas altamente reductoras, con lo que se concluyo que existen mezclas de agua de buena y mala calidad, además de asegurar que el proceso de lixiviación es generado por la acumulación de residuos sólidos en el área de disposición final, y que los líquidos percolados viajan preferentemente de manera vertical por los horizontes lávicos, ampliamente fisurados donde se intercambian niveles discontinuos de piroclastos porosos, mientras que el desplazamiento horizontal se afecta por la presencia de materiales arcillosos.

V.IV Situación en Michoacán.

Michoacán cuenta con 3,966,073 habitantes (INEGI, 2005), tan sólo en el municipio de Morelia se concentran 684,145 habitantes, lo que representa el 17.25% de su población; además, aquí es donde la industria, comercio y educación tienen mayor presencia, motivo por lo cual, es la entidad con más crecimiento económico y poblacional, éste último por arriba de la media estatal (1.8 tasa de crecimiento intercensal 1990-1995); la evolución (figura 3) de la densidad de población supera los 500 hab/km² y guarda directa proporción con la producción de residuos sólidos, siendo por ello un tema prioritario para las políticas municipales no solo de Morelia, sino para el resto del Estado.



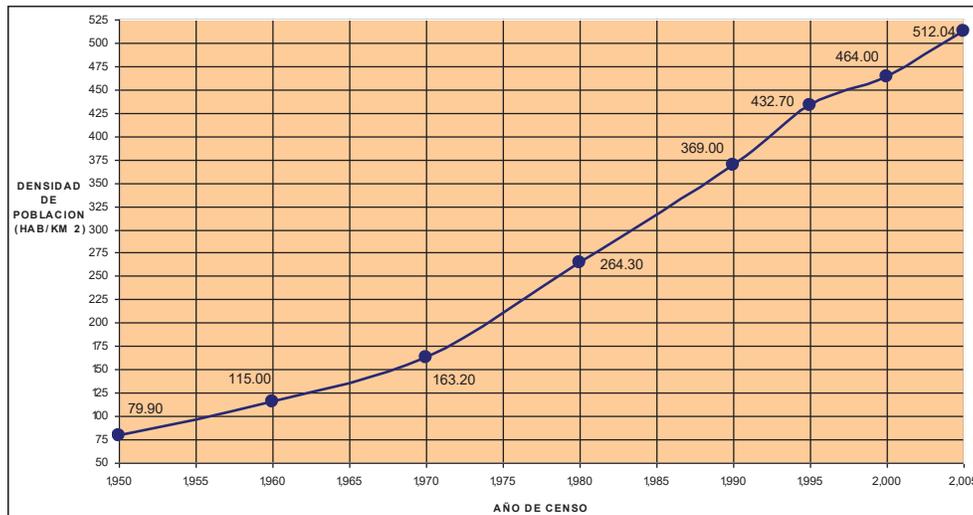


Figura 3.- Evolución de la densidad de población para el municipio de Morelia. (INEGI 2005).

El área urbana de Morelia comprende 85 km², es decir el 7.1% de la superficie municipal; y la densidad propia de su conurbación (zona urbana), para el 2005 era de 7,306.10 hab/km² alcanzando así una de las más altas, de las grandes y medianas ciudades de México; la superficie de influencia de la región Morelia-Capula en la mancha urbana es del 12.5% representando 14.71 km² por lo cual podemos deducir que asentados dentro de la zona de estudio, se encuentran 107,442 habitantes de la capital, dando así un peso específico importante en cuanto a población se refiere, ya que son 39 localidades y/o asentamientos, los emplazados en la región, de las 206 reconocidas por INEGI con que cuenta el municipio, además de la porción correspondiente a la ciudad de Morelia.

La fuente de generación principal de residuos sólidos en Morelia, es la proveniente de casas habitación, categorizada como residencial (SEDESOL/INE, 1993); el origen comercial le sigue en orden descendente, especiales, industrial y por último servicios respectivamente.

Como característica distintiva, los tiraderos se encuentran en sitios de difícil acceso como barrancas, tierras agrícolas o en lugares con relativa comunicación vía terrestre; sin embargo el crecimiento urbano ha alcanzado ya un desarrollo tal que en la actualidad los sitios de depósito prácticamente colindan con asentamientos humanos (Carrillo Amezcua et. al., 2005).

Es así como la región planificada por el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia, puede ser un área vulnerable, si no se toman las medidas adecuadas, de prevención, control y mitigación de posibles afectaciones ambientales de impacto directo al acuífero, principalmente asociadas a una atención deficiente de los sistemas operadores, encargados del manejo de residuos sólidos y los efectos de deterioro ambiental que produce





su disposición inadecuada. Tiraderos municipales se localizan en zonas de gran vulnerabilidad como son las cercanías a drenajes, ríos y/o asentamientos humanos que progresivamente van creciendo alrededor de los tiraderos como es el caso del tiradero de Morelia.

En la cuenca del Lago de Cuitzeo que se localiza sobre el cinturón volcánico trans-mexicano (CVT), se presentan condiciones de comportamiento de unidad acuífera regional de tipo libre, donde la litología existente produce una continuidad hidráulica subterránea entre las diversas cuencas hidrográficas superficiales presentes, por lo que es importante considerar el agua subterránea desde una perspectiva regional y de sistema (Carrillo-Rivera et al., 2007).

Al respecto, es evidente que el Lago de Cuitzeo presenta mayor descarga subterránea asociada con flujos de tipo intermedio, sin embargo es recomendable realizar mayor cantidad de estudios hidrogeológicos que incorporen el uso de diversas variables incluyendo el perfil estratigráfico, mineralogía, estructuras, propiedades hidráulicas de las formaciones geológicas, entre otras, que permitan definir con mayor claridad el funcionamiento del agua subterránea en el área de Cuitzeo, ya que se ha observado que son pocos los sitios relacionados con flujo local e intermedio.

Para la cuenca del Lago de Cuitzeo, donde se localiza la región Morelia-Capula; el aspecto negativo del consumismo y consecuente generación de residuos sólidos, radica en que a diferencia de países desarrollados, la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) carece de planes y programas tendientes a disminuir la producción de los mismos, el impacto sobre el ambiente y la salud pública, así como la conservación de los recursos, carencia común en los países en vías de desarrollo. La gestión de los residuos sólidos municipales en la región carece de organización, administración y de planeación, lo que se traduce en sistemas de aseo deficiente e insuficientes. Ello repercute en una disminución de la calidad de vida de los habitantes de la región y afectación de los sistemas de agua subterránea, suelo y aire, por la emisión de gases, humos y lixiviados hacia estos sistemas (Buenrostro et al, 2001).

En el decenio pasado, se construyeron rellenos sanitarios en las ciudades con mayor densidad de habitantes en Michoacán. Sin embargo, éstos poco han contribuido a revertir el problema ambiental, pues la selección de los sitios y el funcionamiento no cumplen con las normas ambientales vigentes. Además, no se ha dado la importancia requerida a asentamientos que por su ubicación geográfica y densidad de habitantes, ejercen un impacto importante sobre ecosistemas estratégicos, como son los municipios asentados en la cuenca del Lago de Cuitzeo. En el área, no existen estudios referentes sobre las fuentes de generación de RSM, ni de la cantidad y composición de los residuos.





Asimismo, la información existente, sobre el impacto social y ambiental de los residuos en la región es cualitativa. Se carece de información sobre parámetros físicos, químicos y biológicos, que permitan establecer diagnósticos acertados y diseñar programas de gestión, que disminuyan la contaminación ocasionada por los residuos sólidos y revertir el deterioro ambiental de la cuenca (Buenrostro, 2001a).

Para el municipio de Morelia, el sitio de depósito final de residuos se encuentra en la región Morelia-Capula, y las fuentes de generación se clasifican en: industria con 2,437, comercio con 10,346, especiales con 5,121, instituciones y/o servicios con 1,421 y residencial con 140,059; en total se estima que se vierten 700 ton por día. Adicionalmente, los municipios de Lagunillas y Acuitzio por no contar con tiraderos, depositan sus residuos en el de Morelia (Buenrostro, 2001a). Una de las principales polémicas y deficiencias en cuanto a selección de los sitios de depósito, radica en la falta de estudios técnicos para la ubicación adecuada del lugar. En el caso de Morelia, se ha observado la combustión espontánea de residuos de antiguas zonas de relleno, donde, tanto estos residuos, como los actuales y sus lixiviados, confluyen hacia una zona de fracturas en rocas volcánicas (Israde et al, 1999). Asimismo, se encontraron concentraciones de cromo y plomo en lixiviados de este sitio, de 4.14 y 8.58 mg/l respectivamente, siendo la norma para estos elementos de 0.05 y 0.01 mg/l respectivamente; combustión espontanea de los residuos que traen como consecuencia emisión de gases tóxicos.

Más recientemente, se ha rechazado que el agua de los pozos y manantiales cercanos al basurero o sitio de disposición final de residuos sólidos de Morelia presente metales pesados a causa de los lixiviados que vierte (CIDEM).





VI.- JUSTIFICACIÓN Y ALCANCES

VI.I Planteamiento del Problema.

Es poco lo que se conoce sobre las implicaciones y consecuencias, que sobre los mantos acuíferos se tienen debido a las acciones antrópicas, como lo es, el destinar un lugar para la disposición de los residuos sólidos y los males inherentes que junto con ello acarrearán; lo anterior, no es únicamente atribuible a la capital del Estado de Michoacán, la problemática ambiental se encuentra generalizada (Chalco, Querétaro, Zamora, Aguascalientes, etc.) y son muy pocos los sitios, que se han preocupado realmente por atender dicha condición; existen estudios que evalúan y tratan de categorizar independientemente, aspectos de implicaciones ambientales en Cuitzeo, (Buenrostro e Israde, 2001; Israde et al. 2008). Es importante, determinar la afectación conjunta de acciones que se asocian a una condición en particular, como lo es, el impacto de un tiradero, los lixiviados que genera, su migración, transporte al acuífero y las consecuencias a la sociedad, así como posibles estrategias de mitigación y bioremediación; en conjunto, una gestión integral en materia de residuos y los recursos hídricos.

Por todo lo anterior:

- ✓ Se requiere conocer el grado de contaminación de las fuentes de abasto urbano.
- ✓ Evaluar los mecanismos y factores de contaminación.
- ✓ El crecimiento urbano en la región Morelia-Capula es un elemento que demuestra la necesidad de ofertar recurso hídrico de calidad que se debe monitorear periódicamente, con la finalidad de garantizar un suministro aceptable en cuanto a su condición.

El estudio de caso, contribuirá a evaluar la contaminación del suelo y agua provocada por la mala disposición de la basura en el tiradero, al proporcionar datos crudos relacionados a la afectación de los recursos hídricos a causa de los líquidos perjudiciales generados en el relleno de Morelia.

Se mejorarán las condiciones de salud de la población si se cuenta con información actual de los agentes contaminantes, ya que se tendrá conciencia de los daños al ambiente.

Además, se inducirá un mejor manejo integral de los residuos, desde la minimización de su generación y el incremento de la eficiencia en la recolección, transporte, transferencia y disposición final, aunada a mejorar las condiciones del paisaje así como ser una herramienta para la toma de decisiones vinculadas a las áreas de





crecimiento urbano en relación al plan de desarrollo urbano, pues al determinar la tendencia de migración de la pluma de contaminación es posible establecer alternativas de asentamiento para la población que garanticen condiciones favorables en los recursos, o bien, promover un sitio nuevo que cuente con todas las características indispensables para la disposición de los residuos del municipio.

A través de recolección y análisis de muestras de agua, tanto superficiales como subterráneas, identificaremos relaciones de contaminación al acuífero producto de la disposición de materiales de desecho; adicionalmente con el monitoreo de los lixiviados y estudios asociados será posible correlacionar concentraciones de elementos contaminantes detectados puntualmente de los aprovechamientos.

Con respecto a la condición de infraestructura hidráulica, será posible, derivado de las visitas de inspección, desarrollar un inventario y diagnóstico actual de los aprovechamientos, destacando los niveles de operación acuífera, equipamiento de las fuentes y estado que guardan respecto a la garantía de proporcionar un recurso de calidad para abastecimiento humano que cuente con servicio de cloración y con condiciones de protección y mantenimiento a las fuentes.

VI.II Trascendencia.

Con base en el esquema conceptual descrito en el capítulo de marco conceptual, las aportaciones del presente estudio a posteriori y de forma indirecta tienen como meta impactar positivamente en el caso del agotamiento para los recursos hídricos (agua subterránea y superficial), mientras que para la degradación, la investigación incide en la contaminación del agua y substrato debido al contacto directo de lixiviados provenientes de sitios de depósito de residuos de sólidos sin controles adecuados, su movilización en medios fracturados y como destino final los mantos acuíferos vulnerables.





VII.- REGION MORELIA-CAPULA

VII.I Panorama General del Territorio.

Particularmente, la región Morelia-Capula presenta procesos intraurbanos asociados a la problemática de suministro de satisfactores, de más espacios para los asentamientos, de sitios adecuados para el establecimiento de los servicios municipales, cotidianos movimientos de tipo funcional y la especialización de labores desde el punto de vista de género, donde la sinergia de los elementos muestra los complejos procesos que a nivel de cuenca se desarrollan durante la evolución y cambio del panorama rur-urbano.

VII.II Macro localización.

El Estado de Michoacán de Ocampo, como se aprecia en la figura 4, se encuentra situado en la parte centro occidente (suroeste) de la República Mexicana, sobre la costa del Océano Pacífico, entre los paralelos $17^{\circ} 54' 34''$ y $20^{\circ} 23' 37''$ de latitud norte y los $100^{\circ} 03' 23''$ y $103^{\circ} 44' 09''$ de longitud oeste a una altura de 640 msnm.

Limita al norte con los Estados de Jalisco y Guanajuato; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al este con el Estado de México y Querétaro; al oeste con Jalisco y Colima y al noroeste con Querétaro; con una extensión territorial de 5'986,400 hectáreas (59,864 km²) que representa aproximadamente el 3% de la superficie total del territorio nacional, con un litoral que se extiende a lo largo de 210.5 km sobre el Océano Pacífico.



Figura 4.- Macro localización del Estado de Michoacán.
Fuente: <http://www.michoacan.gob.mx/estado/geografia.php>





VII.III Micro localización.

El municipio de Morelia (figura 5), queda comprendido entre los paralelos $19^{\circ} 50'$ y $19^{\circ} 30'$ de latitud norte y $101^{\circ} 00'$ y $101^{\circ} 30'$ de longitud oeste, a una altura de 1,951 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado, la región Morelia-Capula que se muestra en la figura 6, se ubica entre los paralelos $19^{\circ} 36' 50''$ y $19^{\circ} 48' 45''$ de latitud norte y $101^{\circ} 12' 30''$ y $19^{\circ} 31' 15''$ de longitud oeste y con una diferencia altitudinal de 920 m, se encuentra por arriba de los 2,150 msnm.



Figura 5.-Ubicación del municipio de Morelia, Michoacán.
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Morelia_en_Michoacan.svg

Los límites de la región, están marcados por los aparatos volcánicos el Tzirate, al noroeste, con una cota máxima de 3,380 msnm, El Águila con 3,080 msnm, al sur, y como punto de descarga, la confluencia del río Chiquito con el río Grande de Morelia, a una elevación de 1,920 msnm; con un desnivel topográfico del orden de los 1,460 metros.



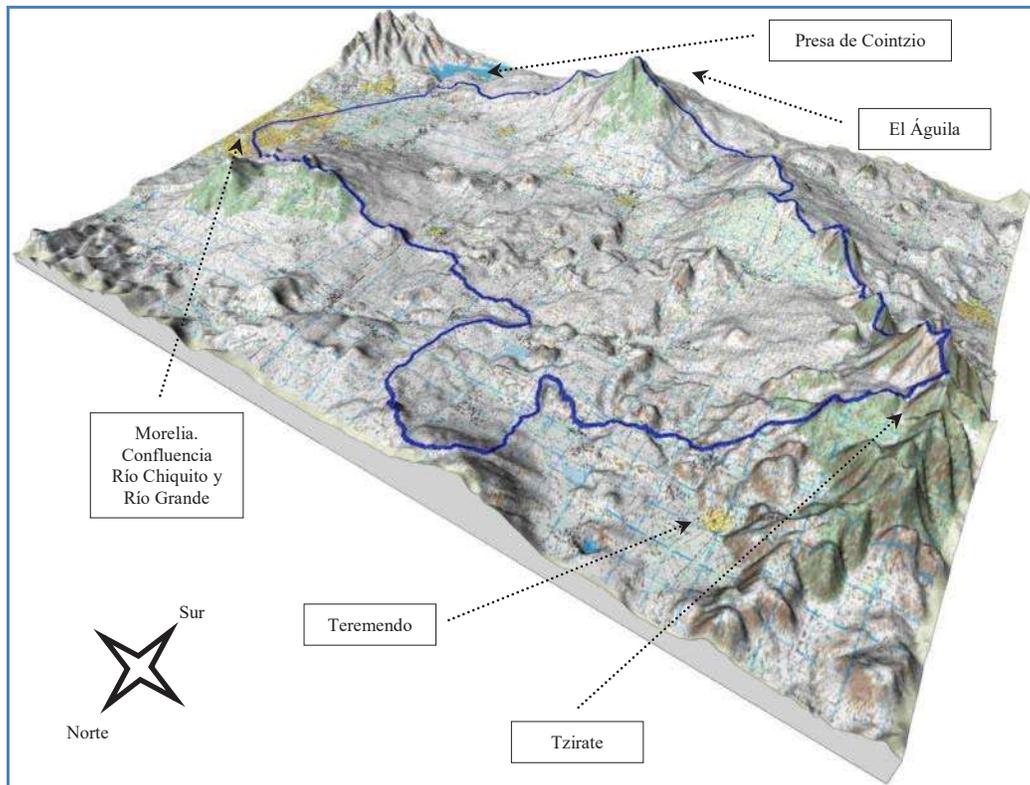


Figura 6.- Región Morelia-Capula.

VII.IV Ámbito de estudio.

La apariencia de la región, en la década actual, se ha modificado intensamente en tres elementos: *el plano*, los *usos del suelo* y la *edificación o construcción*. La combinación de dichos elementos se observa hoy configurada por superficies sensiblemente planas en función de la accesibilidad, encontrando calles, parques, pequeñas plazas comerciales y zonas de esparcimiento congregadas en un vector longitudinal de aproximadamente 10 km, confundándose con la mancha urbana de la ciudad de Morelia y aparentemente unidos por su otro extremo, con poblados pertenecientes al municipio, mismos que cuentan con características similares tratándose de Capula y Tacicuaró, localidades de crecimiento radiocéntrico a irregular. El relieve y la red hidrográfica han influido en el modelado del plano en la región, además de condicionar su evolución al emplazarse en un valle enclavado entre aparatos cineríticos de dimensiones medias, como el cerro del Águila, Las Tetillas del Quinceo y El Tzirate.

La construcción, en el área que denominaremos "franja vectorial" (figura 7) de mayor movilidad, tiene un entramado de tipo cerrado al presentar mayor intensidad en la ocupación del suelo con viviendas de interés social colocadas de manera continua en grandes bloques agrupados, buscando un máximo aprovechamiento del espacio, lo que hace evidente el crecimiento poblacional manifestado al oeste de la ciudad, en donde también se ubica el tiradero de Morelia; conforme nos alejamos del extremo este del vector, la edificación se transforma y nos muestra un paisaje de





ciudad difusa con grandes extensiones de suelo destinadas a la producción de granos con riegos de temporal además de alojar viviendas de dimensiones considerables y aisladas rodeadas de huertos o jardines.

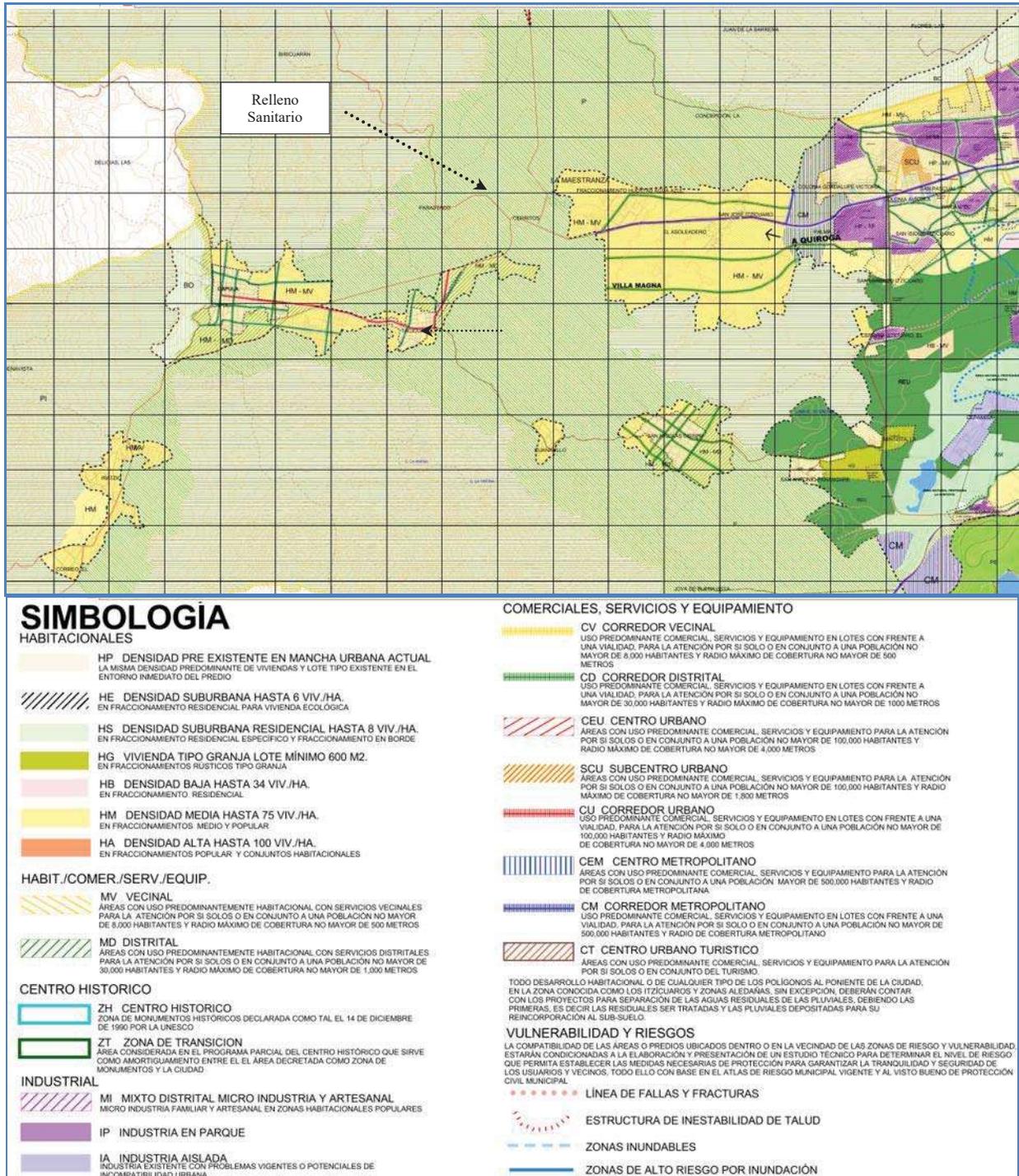


Figura 7.- Franja vectorial de crecimiento urbano.
Fuente: H. Ayuntamiento de Morelia.





La expresión de los diferentes usos del suelo que se hacen del espacio en función de las actividades y necesidades de la población, en la franja vectorial se distingue, por ser residencial con heterogénea distribución de usos comerciales, el uso público se concentra hacia el interior de la mancha urbana motivado por las fuerzas centrípetas políticas de la ciudad.

La especulación por el suelo es común en la ciudad y no es la excepción conforme nos alejamos del centro; por tratarse del elemento cambiante de mayor dinamismo que integra la morfología de la región, es lógico que se experimenten fuerzas centrífugas y centrípetas de rechazo y aceptación al cambio, los altos precios del suelo en lugares estratégicos al interior de la franja vectorial, el tráfico así como los costos de transporte, entre otros; direccionan la respuesta a la demanda de crecimiento a una forma longitudinal en su expresión vectorial; logrando con ello crear una densidad de ocupación en decremento, conforme nos alejamos de la ciudad, llegando a su mínimo en la zona comprendida entre Cerritos y Capula; mostrando una recuperación mínima al tener contacto con las localidades ubicadas al oeste de Morelia.

Relaciones del Sistema Rur-Urbano.

En relación al espacio afectado por procesos tendientes a la globalización, ya sean económicos o políticos, la rururbanización que se distingue aparece como una difusión heterogénea de actividades y población mezclada de origen urbano y rural en un ámbito de transición alrededor de la ciudad y en específico a la salida oeste de la ciudad de Morelia donde se encuentra la franja vectorial motivo de nuestro estudio.

Los espacios y sociedades preexistentes, no se urbanizan totalmente mediante la conurbación, sino que incluso su mantenimiento es necesario ya sea porque cuentan con algún valor paisajístico, recursos naturales o culturales (Delgado, 2002).

El sector de crecimiento alineado a la vía de comunicación Morelia-Guadalajara a partir del km 1-17 a la altura de la localidad El Correo y emplazado en la región Morelia-Capula no es la excepción a la anterior afirmación ya que por tratarse de un área estratégica por sus recursos naturales, paisajísticos e incluso culturales hablando de las tenencias de Capula y Tacúaro (figura 8), su preservación parcial en su estructura es recomendable y necesaria, por lo que la posible tendencia de crecimiento, será congruente a la conservación de los grandes espacios y al desarrollo territorial característico de una ciudad dispersa, mas no sin soportar la presión de los centros de poder y expansión urbana sobre sus recursos y actividades tradicionales.



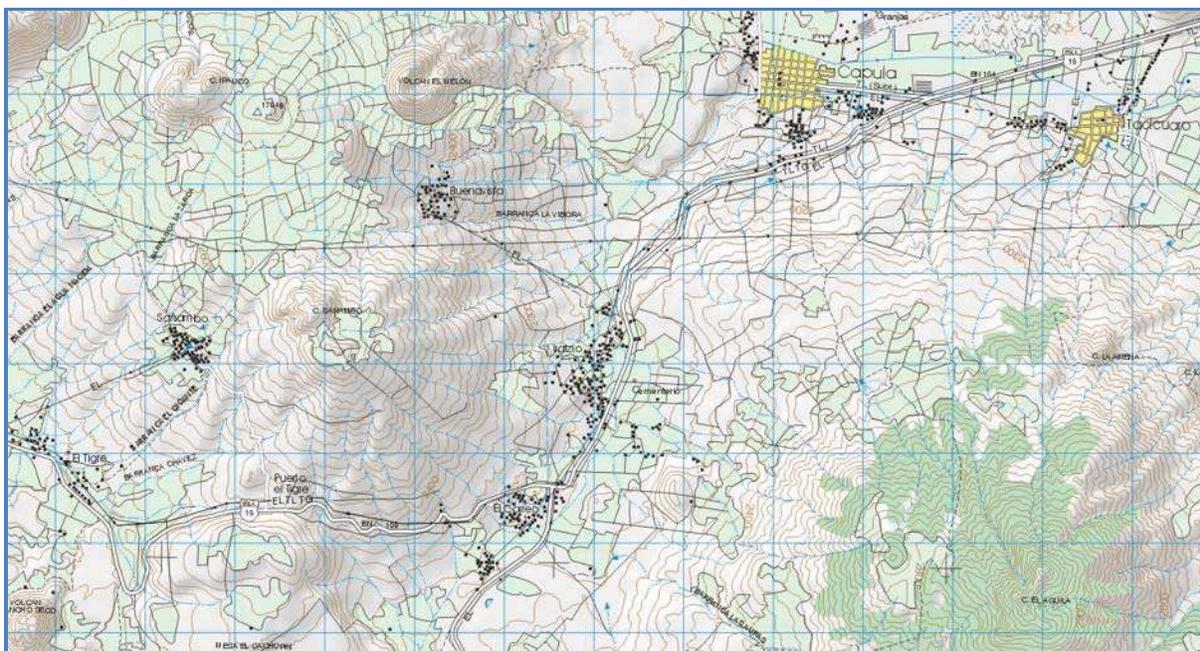


Figura 8.- Localidad el Correo y Tenencias de Capula y Tacuaro.
Fuente: Carta Topográfica 1:50,000, Pátzcuaro E14A22, INEGI

Dinámica de transformación.

En los últimos 50 años, como se observa en la tabla 4 y figura 9, la población del municipio creció con una tasa promedio superior a la nacional, presentando así un gradiente de crecimiento ascendente que refleja en las dos últimas décadas un repunte que bien puede asociarse a la expansión territorial en sectores ligados a corredores alineados a vías de comunicación como es el caso de la región Morelia-Capula.

AÑO	MUNICIPIO	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	% RESPECTO AL ESTADO
1950	Morelia	50,690	56,032	106,722	7.50
1960	Morelia	74,599	78,882	153,481	8.29
1970	Morelia	-----	-----	218,083	9.38
1980	Morelia	172,763	180,292	353,055	12.31
1990	Morelia	237,234	255,667	492,901	13.89
1995	Morelia	279,874	298,187	578,061	14.93
2000	Morelia	295,090	324,868	619,958	15.58
2005	Morelia	326,612	357,533	684,145	17.25

Tabla 4.- Población Total del Municipio de Morelia (1950-2005)

Fuente: El municipio en cifras con datos de los Censos de Población y Vivienda VII, VIII, IX, X y XI; 1950-1990. Censo de Población y Vivienda 1995, resultados preliminares del XII Censo de Población y Vivienda 2000, y Censo 2005. INEGI.



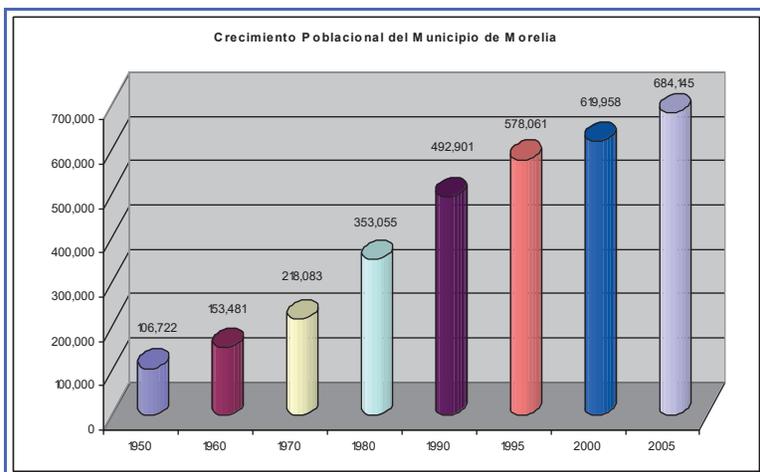


Figura 9.- Crecimiento Poblacional del Municipio de Morelia (1950-2000)
Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos de Población y Vivienda. INEGI.

Los movimientos pendulares, que se presentan durante el proceso de expansión urbana, para la región, se pueden considerar, el evento precedente a los cambios de residencia del ámbito rural al urbano y se comprueba con la tabla 5 y figura 10, que nos muestra el incremento del porcentaje de población urbana de forma potencial, mientras que la rural, aparentemente se conserva estática y con un pequeño incremento a lo largo de bastante tiempo.

AÑO	MUNICIPIO	URBANA		RURAL	
		TOTAL	PORCIENTO	TOTAL	PORCIENTO
1950	Morelia	63,248	59.0	43,474	40.7
1960	Morelia	104,013	67.8	49,468	32.2
1970	Morelia	161,040	73.8	57,043	26.2
1980	Morelia	300,899	85.2	52,156	14.8
1990	Morelia	439,608	89.2	53,294	10.8

Tabla 5.- Población Urbana y Rural del Municipio de Morelia (1950-1990)
Fuente: El municipio en cifras con datos de los Censos Generales de Población y Vivienda VII, VIII, IX, X y XI; 1950 – 1990. INEGI.

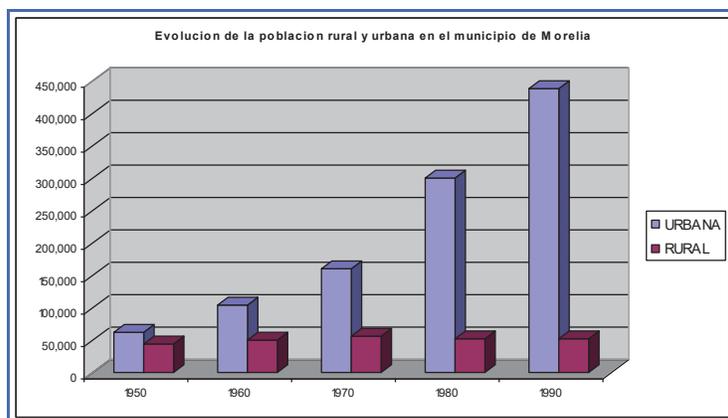


Figura 10.- Población Urbana y Rural del Municipio de Morelia (1950-1990)
Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Generales de Población y Vivienda. INEGI.





La tendencia de concentración de población urbana, se debe sobre todo a los servicios educativos que se ofertan, con lo cual se atrae población del interior del Estado e incluso de otros Estados, además, la población rural cambia su residencia para emplearse en actividades diferentes a la agricultura, respondiendo a los ajustes y estrategias comerciales de ampliación; dando con ello un giro radical en cuanto a las actividades características de las localidades de la región, específicamente en Capula, Cuto de la Esperanza, San Nicolás Obispo y Tacícuaro donde tradicionalmente se desarrolla la alfarería, agricultura, ganadería.

El cambio general, que es ocasionado por la reestructuración económica sobre áreas de poca importancia es hoy en día evidente en todos los aspectos territoriales de la región, al presentarse crecimiento de áreas destinadas a vivienda, cambios de actividades históricamente tradicionales, conservación de grandes espacios estratégicos en función de su valor en recursos naturales, incremento de la población urbana, problemas de equipamiento urbano en los rubros de agua potable, evacuación de desechos, deterioro del medio ambiente, entre otros, cada uno de ellos consecuencia de malas planificaciones territoriales que no responden a la demanda de espacios y crecimiento equilibrados.

Escenarios de Crecimiento.

La respuesta de los territorios locales, asociados al proceso de relocalización, dan lugar a la ruptura de las distancias, aunado al incremento de medios de transporte, por lo que los escenarios de crecimiento de la franja vectorial se observan como el cambio obligado a un costo de desarraigo y poco sentido de territorialidad, toda vez que el incremento de las áreas urbanas conlleva una desarticulación en las relaciones locales de la población, causadas por el cambio de dinámica tradicional y la velocidad con que se suceden los eventos.

Otro factor característico de la urbanización, es la tensión territorial que se refiere a la desigual distribución de la riqueza. En poco tiempo, en la región se ha presentado un trasvase masivo de personas, vinculado a movimientos de carácter pendular, de lo rural a lo urbano y esta situación se demuestra con las figura 10, de población rural y urbana del municipio de Morelia, comprendido en el periodo de 1950-1990. En función del presente incremento de desarrollo, es muy posible que en un corto plazo, el paisaje rural actual se vea modificado sustancialmente, dando como resultado una estructura de ciudad dispersa caracterizada por espacios amplios de conservación de recursos naturales, pero presentando todas las ventajas y problemáticas ligadas a un gran desarrollo territorial de tipo urbano.

Alternativas de Planificación.

El cambio de una concentración a la urbanización difusa es la mejor de las alternativas de planificación para la región, por tratarse de un territorio estratégico emplazado en una zona de alto potencial hídrico superficial, además





de tener valores paisajísticos, cultura y actividades tradicionales. La urbanización difusa, un modelo alternativo planteado que puede asumir una validez global. No se trata de una urbanización física necesariamente, más si la urbanización se entiende como un proceso de cambio social vinculado a una modificación de conductas, comportamientos, mentalidad y de organización, la urbanización difusa del territorio y la modernización en general de los procesos de desarrollo territorial conlleva, aunque la población siga viviendo en áreas físicamente rurales o rururbanas, una urbanización sociológica y cultural, (Precedo, 1996).

Los panoramas globales e incluso a nivel de cuenca de los problemas y tendencias asociados a la urbanización y a la posible convergencia de lo urbano y lo rural, nos lleva a la necesidad de proponer nuevos modelos y estrategias territoriales, o formular nuevas propuestas a algunos de los puntos básicos del problema para conseguir una mas adecuada gestión del territorio paralelamente a la sustentabilidad del entorno.

VII.V Delimitación de la región Morelia-Capula.

La cuenca hidrográfica definida como una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida; refiriéndose a una cuenca superficial; la cual cuenta con una cuenca subterránea asociada. (Aparicio, 1987).

Desde el punto de vista de su salida, existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas, para nuestro caso, se trata del segundo tipo, en la que el punto de salida se encuentra en los límites de la región y está en otra corriente o en el mar.

La precipitación es el estímulo que genera el escurrimiento; entre dichos fenómenos ocurren situaciones que condicionan la relación entre los dos, y que están controlados por las características geomorfológicas de la zona y su urbanización.

Dichas características, pueden dividirse en las que condicionan el volumen de escurrimiento y las que condicionan la velocidad de respuesta; donde para las primeras son: el área de la región o cuenca y el tipo y uso de suelo, mientras que para las segundas son el orden de corrientes, pendiente de la región o cuenca y los cauces.

El parteaguas (figura 11) es la línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta, desde la parte más alta hasta su punto de emisión en la zona hipsométricamente más baja y que separa la cuenca de las cuencas vecinas, tal y como se aprecia en la siguiente imagen.



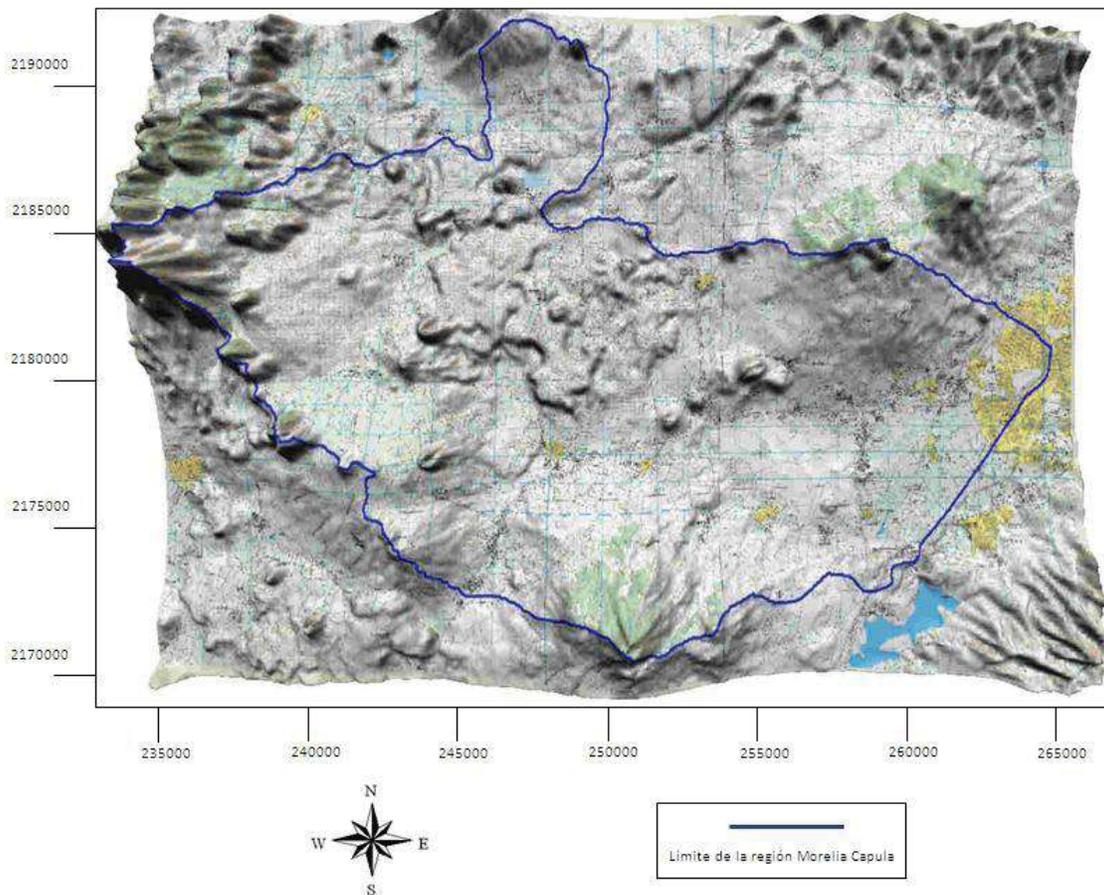


Fig. 11.- Delimitación de la región Morelia-Capula y puntos de control.

El área de la región se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas, su valor es de 370.33 km² y su perímetro es de 103.37 km, obtenidos del sistema de información geográfica, a través del software ArcView 3.2; con una elaboración previa mediante el programa CartaLinx para digitalizar teniendo como base las cartas topográficas 1:50,000 de INEGI, lo que permitió calcular la extensión total así como la dimensión del propio contorno.

VII.VI Geología y Geomorfología.

La zona de Morelia se localiza dentro del cinturón volcánico mexicano (CVM), en ella se observa a la Sierra de Mil Cumbres (SMC), conformada por una serie de vulcanitas similares en composición a las de la Sierra Madre Occidental (SMO), donde destacan las estructuras caldéricas y las mesas de productos piroclásticos (ignimbritas). En la SMC y sobre todo al SE de Morelia, podemos reconocer una morfología típica de calderas y con mesas basculadas hacia el Norte y hacia el Sur de ignimbritas. Desde el punto de vista de la estructura regional, la SMC





constituye un alto estructural que separa, hacia el Norte a las depresiones lacustres del CVM y al Sur da lugar a la depresión de Tierra Caliente. En ambos casos la deformación que se observa es generada por fallas lítricas con planos inclinados hacia el Sur y hacia el Norte. El basculamiento generado va de 20 a 30° en el límite sur del Lago de Cuitzeo y en el área de Morelia el basculamiento llega a ser de unos 5 a 10°.

Desde el punto de vista del fracturamiento regional se reconocen con claridad el fallamiento NE-SO y el E-O, ambos labrando la arquitectura del valle de Guayangareo. (Israde y Garduño, 2004).

La zona en investigación, se encuentra dentro de la cuenca de Cuitzeo y es actualmente (después de la de Chapala) la más extensa a nivel regional. La región de Cuitzeo se caracteriza por mostrar una morfología donde alternan altos y fosas tectónicas E-O y NE-SO. La secuencia lacustre y fluviolacustre que aflora en las inmediaciones meridionales del lago de Cuitzeo sobreyace el sustrato volcánico de composición andesítica. (Israde, 1999).

El sistema de semigrabens de Cuitzeo incluye la cuenca de Charo (Rico et al., 1995), que se localiza al sur del actual lago de Cuitzeo, a 1,880 msnm. Entre las subcuencas de Charo-Morelia y de Cuitzeo se observa otro semigraben que presenta un relleno de rocas sedimentarias y epiclásticas de más de 1,500 m observado a partir de los datos gravimétricos (Arredondo 1983, Israde et al., 1992).

Respecto a lo local, la región occidente del municipio de Morelia presenta rasgos estructurales de dirección NE-SW, en cuyos límites se tienen las dos principales provincias morfoestructurales: al sur aflora la Sierra Madre del sur, que en la región de Morelia se le ha denominado Sierra de Mil Cumbres (Silva-Mora, 1979).

En la región de estudio, los tipos de materiales (sedimentos y rocas) que afloran (figura 12) son predominantemente de origen volcánico y depositación por caída, con un grado de pedogenización precoz, lo que nos indica la dinámica de cuenca en cuanto a los procesos de intemperismo causantes del origen del suelo con horizontes que van desde los 0.5 - 1 m.

En lo particular, en la ciudad de Morelia el basamento está conformado por rocas ignimbríticas bien cementadas que han sido material para la edificación de la ciudad colonial. En el sustrato de la ciudad y al E y W de Morelia se observa una secuencia de depósitos lacustres, fluviolacustres y epiclasticos que va desde el Mioceno superior (Israde 1998, Israde y Garduño, 1999) hasta el Plioceno superior, estos depósitos han sido detectados en los pozos de la zona (Garduño et, al., 1999). Ambos tipos de materiales han sido afectados por sistemas de fallas NE-SW y E-W; al W del municipio, se constituyen depósitos de malpais, lomeríos y colinas en las que resaltan algunos aparatos volcánicos cuaternarios como el volcán el Melón. Al N está limitado por el volcán Quinceo, que ha producido lavas hasta épocas recientes que es testimoniado por los restos de maíz cubiertos por las emisiones lávicas; al Sur se observa el Cerro el Águila que es un cono de lava andesítica de edad plioceno superior-pleistoceno; mientras que al





W se extiende la cuenca de Morelia alargada en dirección NE-SW y drenada por el río grande de Morelia (Israde et, al., 1999).

Los sistemas de fallas de la región Morelia-Capula, alinean volcanes tales como los bancos de materiales de cerritos y el cerro Pelón; estas fallas se observan tanto en superficie como subterráneamente, mientras que el tiradero de Morelia está localizado a 15 km al W de Morelia y está limitado al E por un cono cinerítico del cual se extraen arenas volcánicas y tobas que son la cubierta diaria de los residuos, el cono esta sobreyacido por lavas altamente fracturadas (Israde, et, al., 1999).

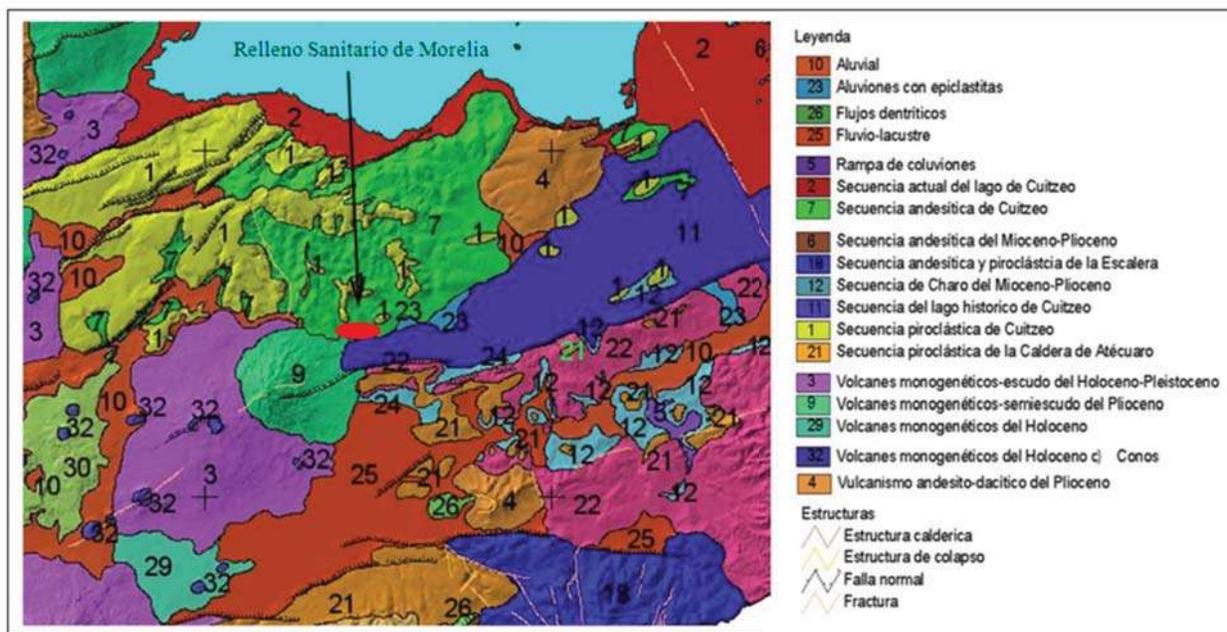


Fig. 12.- Unidades geológicas de la región. Fuente: Garduño Monroy V.H., 2006.

Para nuestro estudio específico, realizamos recorridos a la zona para reconocer las rocas aflorantes, destacando la existencia de un cuerpo basáltico afanítico de color oscuro con textura de micro estructuras de flujo, esta unidad geológica se encuentra hacia la zona oeste, específicamente en los alrededores de las localidades de Teremendo Jasso, Sajo Grande y Sajo Chico, así como de los volcanes La Mina, Los Caballos y El Melón.

La principal característica del material volcánico, es la densidad superior a una piedra pómez, con cambios de textura, de composición similar ligeramente oxidada (figura 13); el material presente en la superficie producto de los conos cineríticos es escoráceo, bloques, arenas y gravas; con ligero buzamiento hacia el paleo relieve.





Fig. 13.- Material volcánico, tomada en el volcán La Mina

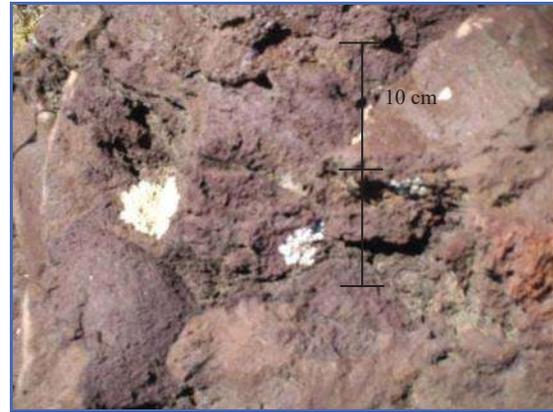


Fig. 14.- Material volcánico oxidado, tomada en Sajo Chico.

En la figura 14, es posible observar la variación en la oxidación del material representativo de la zona, el cual conforme la unidad geológica se extiende, se presenta más alterado, existiendo bombas volcánicas de composición basáltica de enfriamiento rápido, con vesículas que van de 1 milímetro hasta llegar a 1 centímetro, con textura rugosa; se observan además rocas volcánicas de textura pumicítica y soldadas que nos indican las grandes temperaturas en las que fueron emitidas.

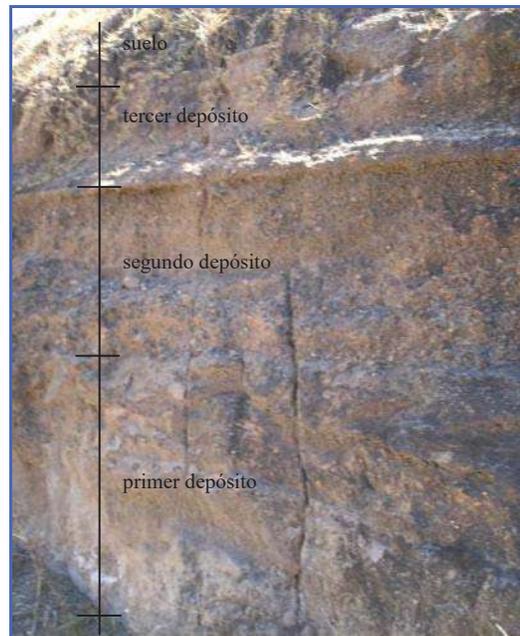


Fig. 15.- Perfil de suelo, tomada en Tiristarán.

La columna de la figura 15, está constituida por un paleosuelo de origen volcánico con espesores que van en orden descendente, de la siguiente manera: 0.5 m para el suelo, 0.4 m para el evento más reciente, 0.7 m para el segundo evento, 1 – 1.3 m para el tercer depósito y al menos 2 m para la más antigua de las explosiones visibles en el perfil.





Existen eventos diferenciados en tiempo, sin embargo, presentan orígenes similares; reciben material producto de explosiones sucesivas de intensidades variables, lo que produce diferentes granulometrías y heterogeneidad de fragmentos de roca pómez, escoria volcánica, cenizas; todas ellas guardando horizontalidad relativa.

Sobre yaciendo a este paleosuelo, se observa una sucesión de 5 depósitos volcánicos que consisten en arenas que van de gruesas a finas hacia la cima. La segunda emisión comprende un estrato más masivo que se caracteriza por depósitos pumicíticos no soldados. El tercer depósito tiene por característica mayor cantidad de finos y conserva homogeneidad con los siguientes, con estratificación que muestra acuñamiento en algunos sectores.

Sobre yaciendo este material, se observa un suelo oscuro con capacidad de absorción alta, de granos gruesos, plástico, con materia orgánica que aloja una cobertura vegetal baja constituida por matorrales abundantes a pesar de los escasos espesores; tal y como se puede verificar en la figura 15.

Adicionalmente, en subsuelo, con el registro de datos de perforaciones ubicadas como se muestra en la figura 16, en fuentes de agua potable, obtuvimos de algunos aprovechamientos evaluados, los perfiles (figuras 17 y 18) dentro del área de estudio mostrados en los cortes litológicos de las figuras 19 y 20, obtenidos de registros proporcionados por la subdirección de ingeniería de la Dirección Local CONAGUA Michoacán, siendo 14 estos: Capula, La Mintzita, Tanganxoan, San Juanito Itzicuaro, Pozo de Monitoreo, La Maestranza, Las Garzas, San Isidro Itzicuaro, Tacicuaro, Tzintzimatato Grande, La Colina, Adolfo López Mateos, Leandro Valle y La Concepción respectivamente.

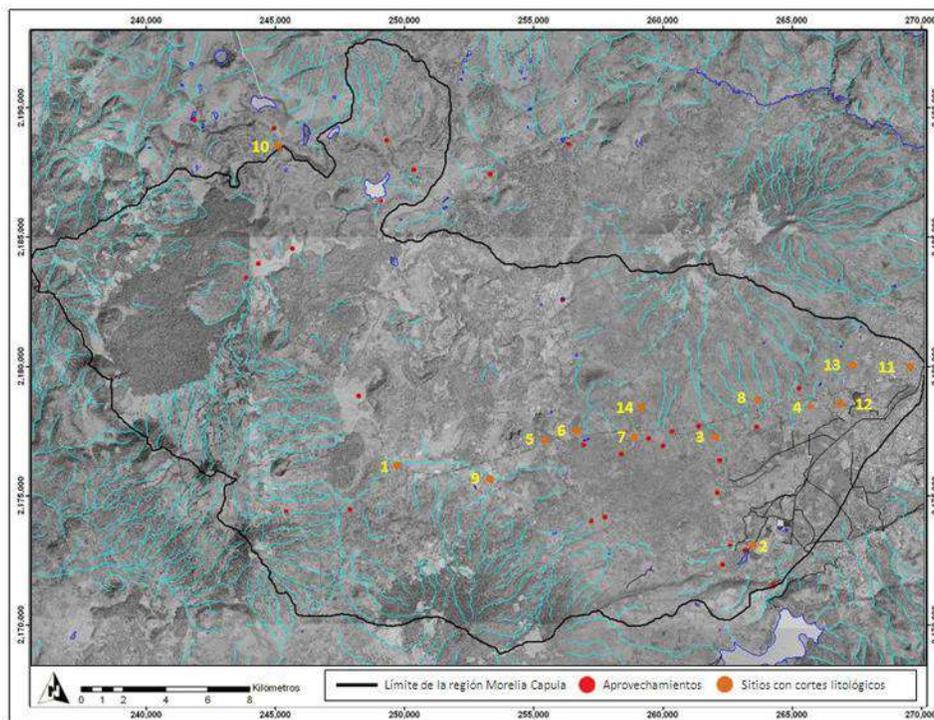


Fig. 16.- Ubicación de sitios con corte litológico.



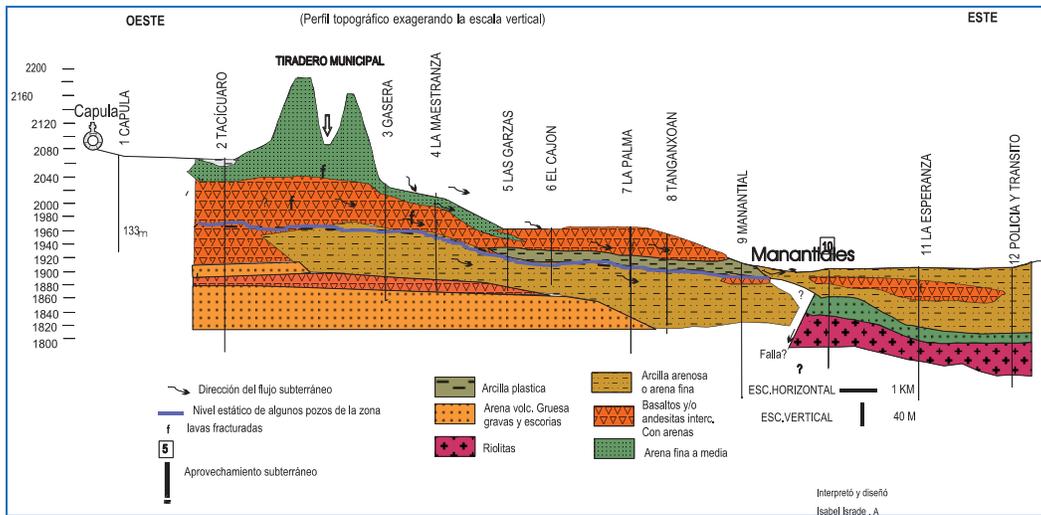


Fig. 18.- Niveles estáticos, profundidades y estratigrafía de algunos aprovechamientos.

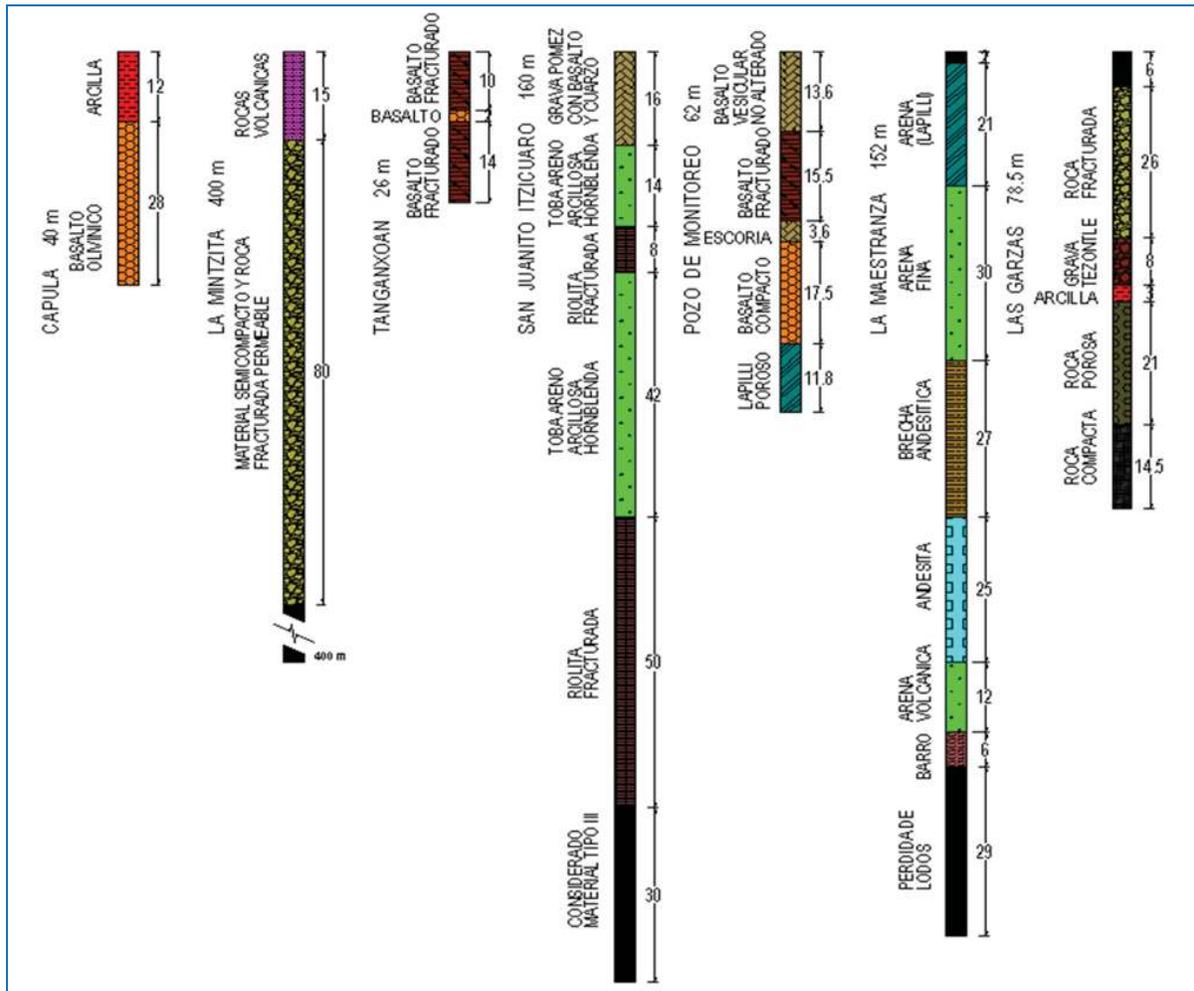


Fig. 19.- Cortes litológicos (1/2). Después de Israde et al 1999.





La zona donde se ubica el actual relleno sanitario (antes tiradero) de Morelia, se localiza en la región Morelia-Capula y se asienta sobre una litología de material de arena volcánica que intercala con depósitos pumicíticos. Subyaciendo esta litología se observan cuerpos de lava fracturada, todos estos, materiales que permiten la infiltración de lixiviados hacia el subsuelo (figuras 19 y 20).

Los espesores de los materiales volcánicos, disminuyen de este a oeste. Hacia el oriente las arenas volcánicas se asientan sobre arcilla plástica a partir del pozo las Garzas en dirección a la zona de manantiales. Le subyace un estrato de arcilla arenosa o arena fina, sobre el cual se hace presente el nivel freático hasta la zona de fracturamiento o falla. Se alternan en profundidad capas de basaltos y/o andesitas fracturadas intercaladas con arena volcánica gruesa, gravas y escorias.

En el lado este de la falla, el material existente expuesto es arcilla arenosa o arena fina que contiene basaltos y/o andesitas intercaladas; arenas finas a medias le subyacen, las cuales se asientan sobre riolitas.

VII.VII Morfometría.

A escala regional, partiendo de la observación de pendientes o grado de inclinación del terreno para dar por resultado el esquema vertical del relieve en la región Morelia-Capula, se presentan dos aparatos de gran magnitud, siendo el mayor y más complejo, el Tzirate (figura 21), en forma de semiescudo con dos cimas apreciables y pendientes fuertes, se observan de igual forma derrames en dirección norte que delimitan nuestra zona de investigación en su extremo noroeste aproximadamente en un 11% de su perímetro.

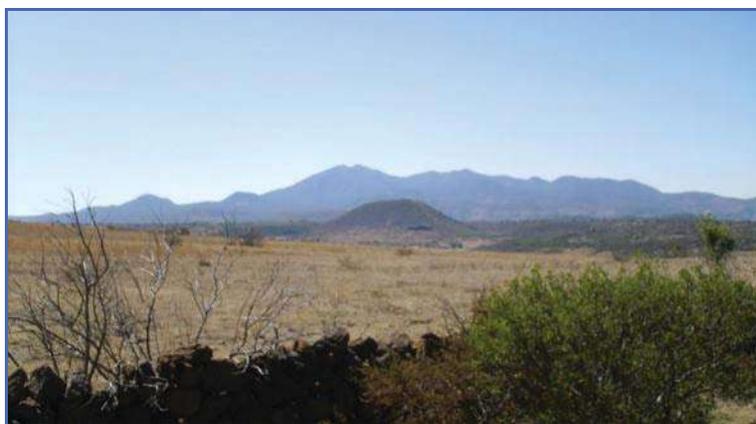


Fig. 21.- Tzirate, tomado desde el tramo Cuto de la Esperanza entronque con la carretera Morelia-Quiroga.

Por otro lado, el cerro del Águila, cuenta con una cota máxima de 3,080 msnm, de aspecto masivo y en forma de escudo, su drenaje se puede caracterizar como mixto, siendo radial-dendrítico con pendientes medias a fuertes (figura 22).





El grado de erosión provocado por las corrientes que sobre sus laderas se forman en temporada de lluvia es significativo al oeste de la región. Además es la unidad geológica que viene cortada en dirección E-O por el sistema de fallas Morelia-Acambay, lo que crea un desnivel topográfico que se incrementa conforme nos internamos en la mancha urbana de Morelia. Este desnivel define los límites e inicio del basculamiento con dirección al Lago de Cuitzeo.

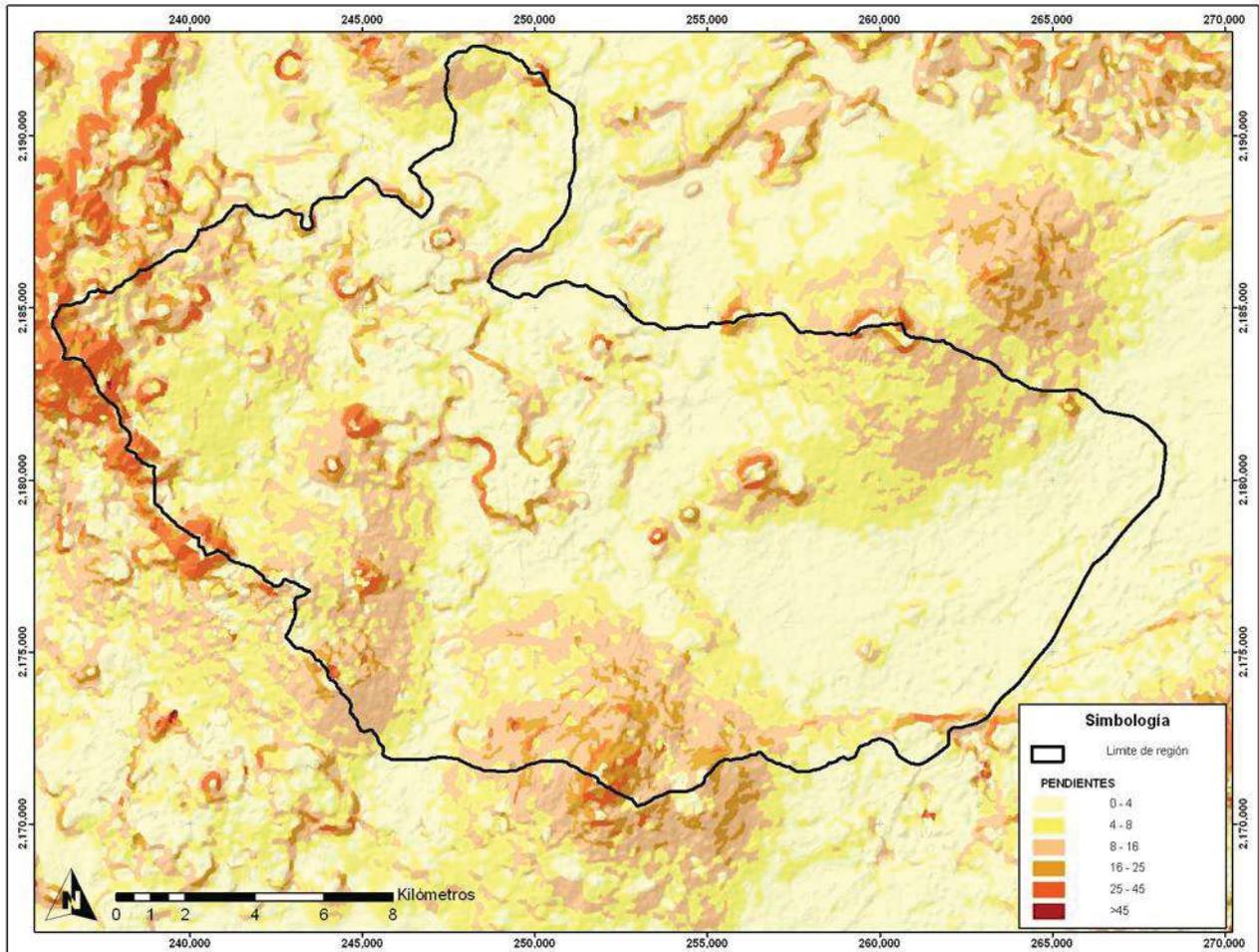


Fig. 22.- Mapa de pendientes, región Morelia-Capula.

En la región de estudio, se cuentan numerosos conos volcánicos, cuyos derrames considerados protuberancias en base a su morfología y altimetría se ubican por debajo de los 700 m con respecto a las zonas planas que se extienden en la región; con una tendencia a orientarse NE 45°; creando un escenario de escurrimientos, en forma de numerosas lenguas de lavas.





En cuanto a la altimetría (figura 23), el mayor porcentaje de superficie se encuentra dominada por elevaciones positivas de mediano tamaño distribuidas en su mayoría hacia el lado noreste, presentando derrames o coladas de gran amplitud. Se registra vegetación baja y matorrales, el relieve es muy variado y hacia el valle se presentan los asentamientos humanos, la morfología es generalmente de planicie con pendientes suaves ligeramente modificadas en su estado inicial debido a la acción antropogénica. Las laderas de los conos volcánicos, como lo son el cerro Prieto y las Tetillas del Quinceo, son zonas en su mayoría desnudas debido en gran medida a la cercanía de la mancha urbana y cambios de uso del suelo. Aproximadamente el 30% de la superficie en las zonas más elevadas se encuentran cubiertas por vegetación arbórea, siendo zona de conservación y de recarga acuífera subterránea de la región.

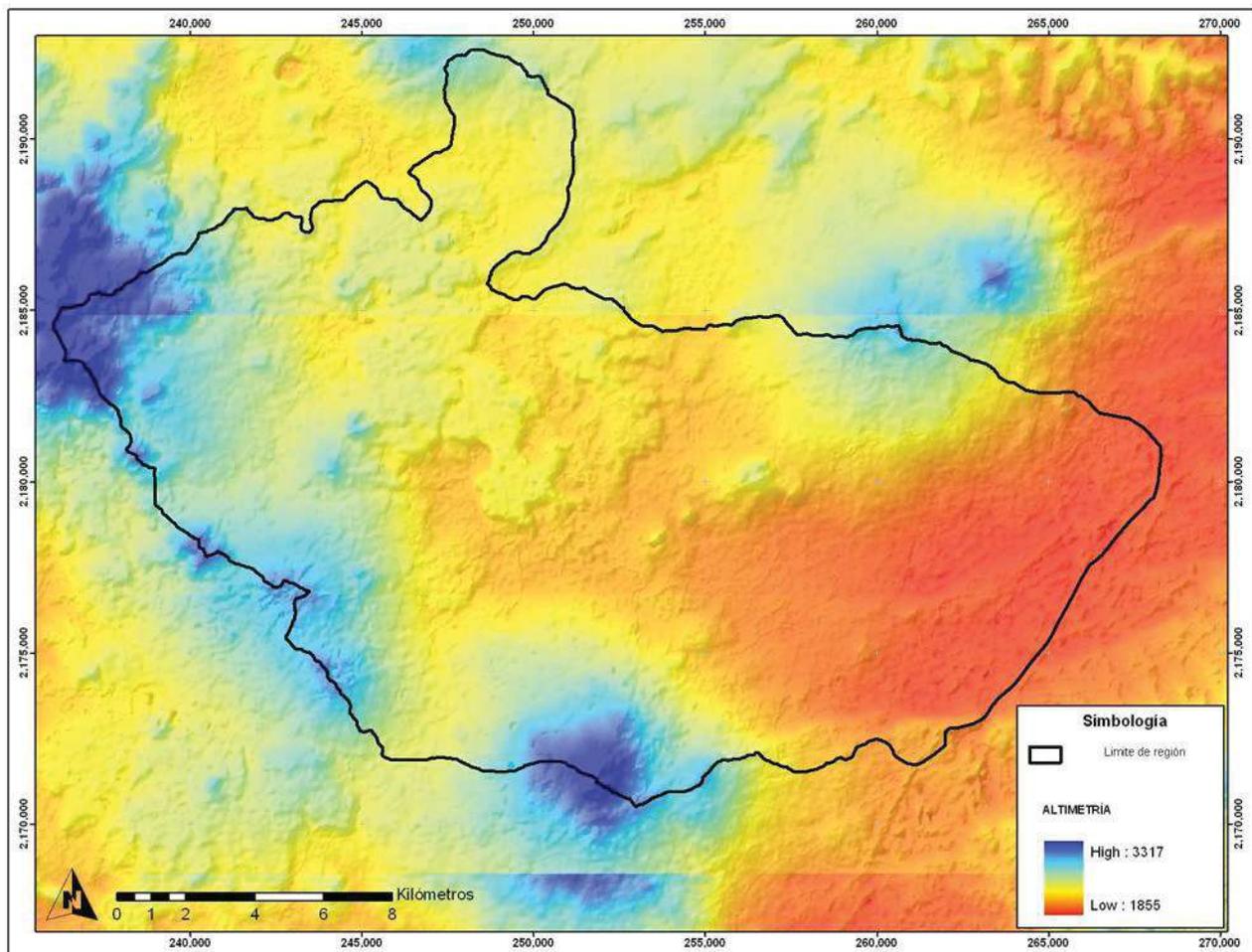


Fig. 23.- Mapa de altimetría, región Morelia-Capula.

Adicionalmente para la región, como parte su caracterización, se calculo la curva hipsométrica que representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca o la variación media del relieve de la cuenca.





La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en porcentaje, obtenida hasta determinado nivel (cotas mínima y máxima de la cuenca) los cuales se llevan al eje de las ordenadas con valores expresados en metros (figura 24).

La función hipsométrica es conveniente y objetiva para describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación; además se puede asociar la curva con las edades de los ríos (figura 25 y tabla 6). La determinación de la curva permite adicionalmente identificar las siguientes elevaciones: a) máxima, b) mínima o punto de aforo y c) media (al 50% de la curva hipsométrica).

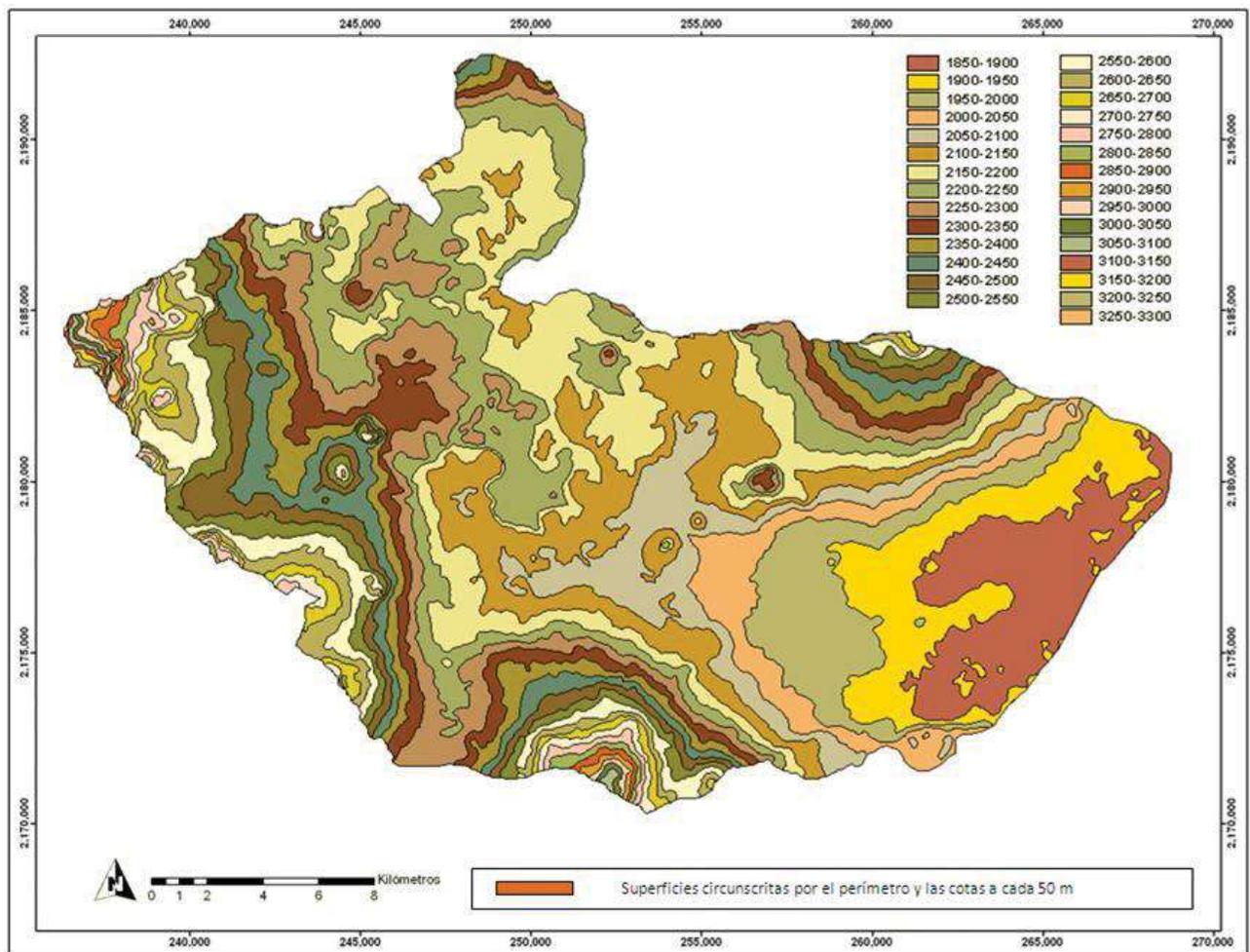


Fig. 24.- Mapa de superficies de circunscripción entre cotas a cada 50 m, región Morelia-Capula.





Cotas	Cota Media	Área (km2)	% de Área acumulada	Cotas	Cota Media	Área (km2)	% de Área acumulada
				Continuación...			
3250-	3275	6.34	0.02	2500-2550	2525	1,106.18	13.28
3200-	3225	14.00	0.05	2450-2500	2475	1,344.17	16.91
3150-	3175	19.57	0.11	2400-2450	2425	1,538.47	21.06
3100-	3125	24.99	0.18	2350-2400	2375	1,432.42	24.93
3050-	3075	52.52	0.32	2300-2350	2325	1,834.98	29.88
3000-	3025	54.14	0.46	2250-2300	2275	2,862.50	37.61
2950-	2975	84.41	0.69	2200-2250	2225	4,347.46	49.35
2900-	2925	103.49	0.97	2150-2200	2175	4,626.48	61.85
2850-	2875	127.23	1.31	2100-2150	2125	3,725.52	71.91
2800-	2825	177.51	1.79	2050-2100	2075	2,170.33	77.77
2750-	2775	276.94	2.54	2000-2050	2025	1,442.58	81.66
2700-	2725	334.82	3.45	1950-2000	1975	1,988.54	87.03
2650-	2675	526.58	4.87	1900-1950	1925	2,372.79	93.44
2600-	2625	890.34	7.27	1850-1900	1875	2,429.97	100.00
2550-	2575	1,118.23	10.29				

Tabla 6.- Variables para el cálculo de la curva hipsométrica.

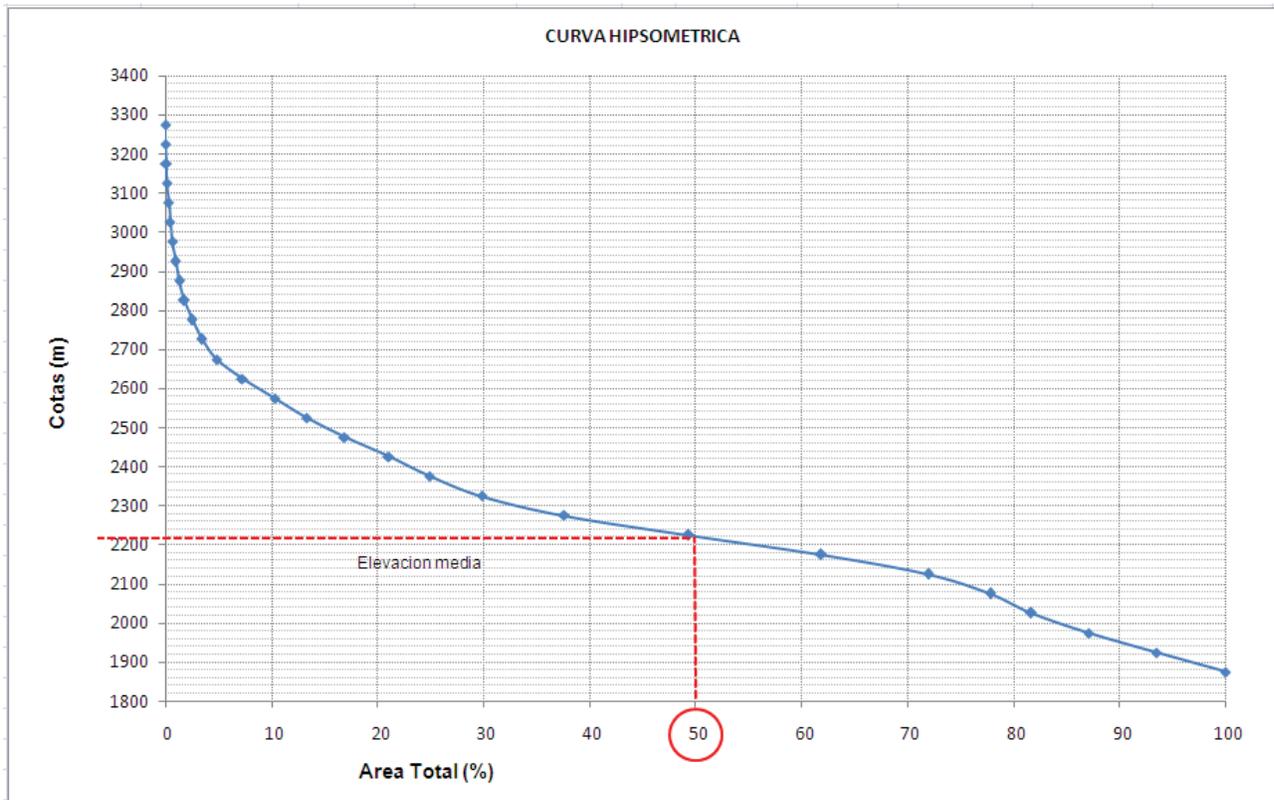


Fig. 25.- Curva hipsométrica para la región Morelia-Capula.

De la interpretación de la curva se puede deducir que se trata de una región antigua o vieja de acuerdo a la forma o comportamiento en la distribución y superficies circunscritas entre rangos de curvas de nivel.





Descripción de paisaje.

Mediante la visita de diferentes puntos estratégicos, referimos el relieve y los afloramientos a fin de contar con datos puntuales de interpretación estratigráfica y geomorfológica con apoyo de un sistema de información geográfico.

a) Punto de control Cerro del Águila (figura 26) y entronque Cuto de la Esperanza-Morelia.

El paisaje presenta formas de lomeríos hasta montañas de mayor envergadura como el Tzirate visto en el horizonte de la perspectiva, se aprecian también los cerros el Melón, los Caballos y la Mina de oeste a este, en la depresión se levanta el poblado de Capula asentado en malpaís y dentro del drenaje natural de la zona. La morfología está constituida por edificaciones volcánicas, correspondiendo a andesitas y basaltos andesíticos. Resalta el grado de disección en las faldas del cerro la Mina, un poco mas al este inicia una mesa de dimensiones medias con desarrollo longitudinal que desaparece al oriente, en la ciudad de Morelia.



Fig. 26.- Cerro del Águila, visto desde el fraccionamiento Lomas de la Maestranza.

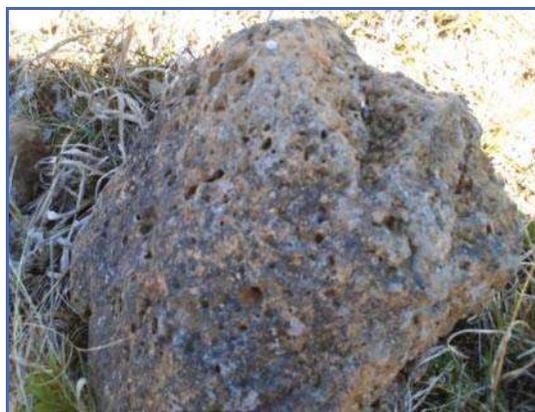


Fig. 27.- Andesita, tomada en Iratzío.

El afloramiento, en base a la observación local, se considera representativo del tipo de material existente en la región Morelia-Capula; la muestra de la figura 27, presenta características similares a las de la zona (ladera norte del cerro del Águila). En muestra de mano, se observa una roca volcánica gris oscura, con textura vesicular y con algunas micro vesículas parcialmente rellenas de cristales traslucidos, probablemente andesita.

b) Punto de control Tiradero Municipal Morelia.

Dominan por la ubicación de la vista NE, las formas de derrames de los conos volcánicos cercanos, mismos que conforman pendientes suaves con escasa vegetación ligada a la acción antrópica de deforestación ya que no son malpaíses. En la lejanía con el Tzirate de fondo (figura 28), se conjugan sus grandes dimensiones con los depósitos





de lava que fluyeron hacia las zonas bajas. Se identifican también conos volcánicos con flujos de material formando secuencias de cordones unidos entre sí, creando una superficie caprichosa. La superficie que ocupa el tiradero, presenta un aspecto especial, cuya configuración de relieve ha sido modificada por el hombre. Se ubica en una depresión de aproximadamente 16 ha de extensión, que por haber recibido desechos sólidos, ahora sobresale, por lo que se puede clasificar como una mesa de residuos no consolidados.



Fig. 28.- Panorámica, tomada sobre la carretera a Cuto.

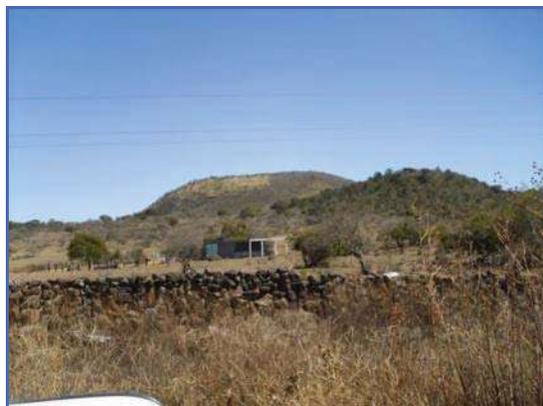


Fig. 29.- Pendientes suaves con escasa vegetación, tomada sobre la carretera a Cuto.

c) Punto de control Cuto de la Esperanza.

Se aprecia un aparato volcánico (cono cinerítico) con una base de 1,000 metros de longitud y una altura relativa estimada de 450 m que se aloja en una extensión semi plana, donde también confluyen cinturones de derrames que se unen a él por el oriente, como se puede apreciar en la figura 30. Dichos derrames, crean la impresión de integrar una superficie escalonada, en donde, convergen depresiones, cuyo material expuesto (figura 31) emerge en forma esporádica, creando una superficie accidentada. La cubierta de suelo tiene espesores que van de los 0.3 – 0.8 m con vegetación reciente.



Fig. 30.- Cono cinerítico (El Malacate), tomada en Cuto.



Fig. 31.- Roca expuesta, tomada en Cuto.





En cuanto al afloramiento de este punto de control, la roca representativa es de color negro ocre a causa del intemperismo, con textura vesicular y homogénea, cuenta cierta porosidad por lo que podemos asociarla a un basalto vesicular.

d) Punto de control Entronque a Tiristarán.

El relieve que se aprecia es tendiente a lomeríos bajos (figura 32) que se distribuyen en todas direcciones, sin embargo, no tienen extensiones superiores a los 2,000 m hacia el oriente o rumbo a Las Trojes, no siendo el caso para la dirección poniente, donde se cuenta con grandes áreas de lomeríos de pendientes suaves con no más de 100 m de altitud; los cuales nos marcan el límite de la zona de estudio hacia el norte y noreste.

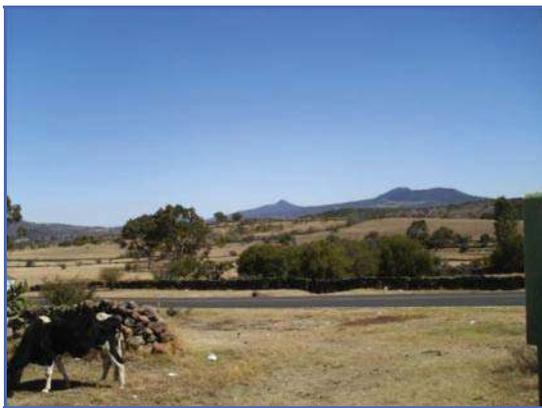


Fig. 32.- Relieve de lomeríos, tomada en Tiristarán.



Fig. 33.- Material máfico, tomada en Tiristarán.

El material natural continúa presentando color ocre en muestra alterada y negra en roca sana, textura vesicular. Por contar con un porcentaje de oscuros superior al 40% podemos clasificarla dentro de las rocas del tipo intermedias o máficas (figura 33), conocidas como basalto vesicular.

e) Punto de control Coro Grande

El paisaje (figura 34) que se nos presenta está enmarcado por el cono volcánico en semi escudo, con pequeños aparatos cineríticos de dimensiones discretas que en su cima presentan una mesa con ligero buzamiento de 15° aproximadamente con dirección noroeste; además se aprecian pequeñas cárcavas producto de la degradación del suelo en su expresión de erosión precoz posiblemente causada por la gran permeabilidad en las rocas aunada a los grandes volúmenes de agua que se deben desalojar en poco tiempo.





Fig. 34.- Suelos desnudos, tomada en Coro Grande.



Fig. 35.- Panorámica Coro Grande, tomada en Coro Grande.

La exposición de roca es visible en la confluencia de curvas de nivel en la cota 2,150 aproximadamente, se tiene una pared de 2.5 m que nos presenta el depósito de caída piro clástica con algunas fracturas, se observa suelos en desarrollo (figura 35) por la acción del intemperismo. Son numerosos los fragmentos de roca pumicitica mezclados con materia orgánica. El material presenta una textura angulosa y colores variados con homogeneidad de tamaños en sus horizontes (granulometrías grandes abajo y pequeñas arriba).

En muestra observada con lupa y en los depósitos superiores de cada uno de los eventos, se cuenta con un material fino de color claro sin cristales apreciables con diámetros que van de 1 a 3 mm.

f) Punto de control Camino a Sajo Grande.

La morfología del relieve es accidentada y con gran número de brechas volcánicas de composición andesítica. La roca expuesta se observa en una pared (figura 36) de aproximadamente 4 m de altura donde la composición es de fragmentos de roca de diferentes tamaños, medianamente intemperizada de colores claros a ocres; con escasas vesículas distribuidas heterogéneamente y con aristas angulosas.



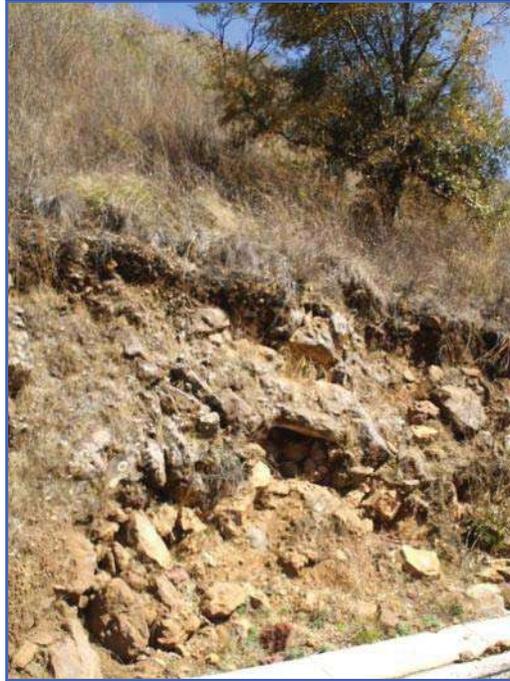


Fig. 36.- Pared de roca expuesta medianamente intemperizada, tomada camino a Sajo Grande.

g) Punto de control Sajo Grande.

La vista suroeste (figura 37) presenta grandes formas cónicas de origen volcánico con sus derrames al oriente y exposición de material (arena volcánica), el cual es utilizado como banco de material para la construcción.

El relieve se presenta orientado hacia una depresión de dirección suroeste conformada por pequeños valles (figura 38) en los que se integran aparatos.



Fig. 37.- Vista suroeste, tomada en Sajo Grande.



Fig. 38.- Pequeños valles planos confinados, tomada en Sajo Grande.





h) Punto de control Banco de Material.

Vista hacia Sajo Grande (norte): sobresalen dos mesetas de morfología similar entre sí (figura 39) conforme se extiende el relieve en dirección noreste. La distancia que los separa uno de otro a pesar de ser del orden de los 2 km, se encuentra cubierta por material volcánico y en la ladera poniente del Malacate se tiene el asentamiento la comunidad.



Fig. 39.- Superficie con tendencia horizontal, tomada camino a la Mina.



Fig. 40.- Arena volcánica, tomada en la falda norte de la Mina.

El material de la zona está conformado por depósitos de caída que van de arena volcánica a escoria básica (figura 40). La arena es de color negro y se encuentra distribuida en planos que guardan cierta horizontalidad, se intercala con pequeños fragmentos de rocas basálticas de grano fino.

Se observa una formación de suelo con una cubierta vegetal de un espesor de 0.5 – 1 m.

i) Punto de control La Mina.

Conformado por un cono (figura 41) con eje longitudinal de aproximadamente 700 m y una elevación de 200 m, con dirección de su derrame al noreste. Su cobertura vegetal es densa con arbustos de mediana estatura; al lado sur presenta una pendiente pronunciada, dando inicio a una depresión que comunica con la comunidad de Capula.

Por el costado norte las diferencias altitudinales son menores debido a que los derrames crean una conformación del relieve más homogénea, pues tenemos la presencia de la zona de fractura y de los aparatos volcánicos como el Tzirate.





Fig. 41.- Cono cinerítico, tomada en la Mina.



Fig. 42.- Material con incrustaciones de xenólitos, tomada en la Mina.

El material (figura 42) está conformado por una lava vesicular leucocrática de tonalidades oscuras y textura afanítica con micro estructuras de flujo. En algunos sectores de la lava, la textura es holohyalina.

j) Punto de control Vista a Capula.

Se observa el cerro del Águila, límite regional por el extremo sur, con morfología de semi escudo, este volcán presenta una gran base extendida de oriente a poniente y un aparato parásito a el poniente (figura 43); se observa un cono cinerítico de discretas proporciones comparado con el aparato que se observa en el horizonte; cubriendo el valle se observan lavas con dirección de derrames rumbo a Capula.



Fig. 43.- Cerro del Águila, límite de la región, descendiendo de la Mina.



Fig. 44.- Afloramiento de roca, tomada camino a Capula (Andesita).

El afloramiento (figura 44) es una brecha volcánica de color gris oscuro de aspecto masivo, el material predominante lo conforman los clastos englobados en una matriz sostenida de fragmentos de brechas y lodo.





El relieve es un fenómeno complejo que procede de las incesantes interacciones a través del tiempo de los componentes geográficos (biosfera, hidrosfera, litosfera, atmósfera).

Las geoformas de la región Morelia-Capula, corresponden a depósitos aluviales, conos volcánicos monogenéticos y materiales piroclásticos que están cubiertos por zonas de acumulación de suelos. Son comunes las lomas, mesas, mesetas, lomeríos, depresiones y valles.

Los tipos de rocas existentes son: los basaltos que han sido emitidos por los volcanes el Quinceo, las Tetillas del Quinceo, el cerro Pelón, cerro del Águila y el cerro San Andrés; los tezontles están asociados a las formaciones basálticas en la región de Tacicuaro. Sobreyacen a las tobas riolíticas también en dicha zona y el cerro Pelón, las brechas volcánicas, mientras que los aluviones afloran en las zonas de escurrimientos y en planicies circundadas por aparatos de mayor envergadura.

VII.VIII Hidrología.

Clima y Precipitaciones.

De acuerdo a la clasificación climática de KOPPEN (modificada por García, 1981), para la región Morelia-Capula el clima es C (w1) (w) b (i') g. Templado subhúmedo con lluvias en verano, lluvias invernales inferiores a 5% con respecto a la anual; se caracteriza por tener verano fresco y largo, temperatura media del mes más cálido inferior a 22°C y una temperatura media anual de 17.9°C.

Las cuencas funcionan como grandes colectores que reciben las precipitaciones y las transforman en escurrimientos o alimentación a los acuíferos. En México, la precipitación anual es de 1,570 km³. (CONABIO-SEMARNAT, 2003), en la región Morelia-Capula, se tienen registros de cuatro estaciones climatológicas para periodos de tiempo distintos, las estaciones son: Capula, Cointzio, Teremendo y Morelia Centro y sus datos de muestran en la figura 45, teniendo el mayor número de registros en la estación Cointzio, desde 1940 al 2003, con una precipitación promedio anual para los años de registro del orden de 795.25 mm.



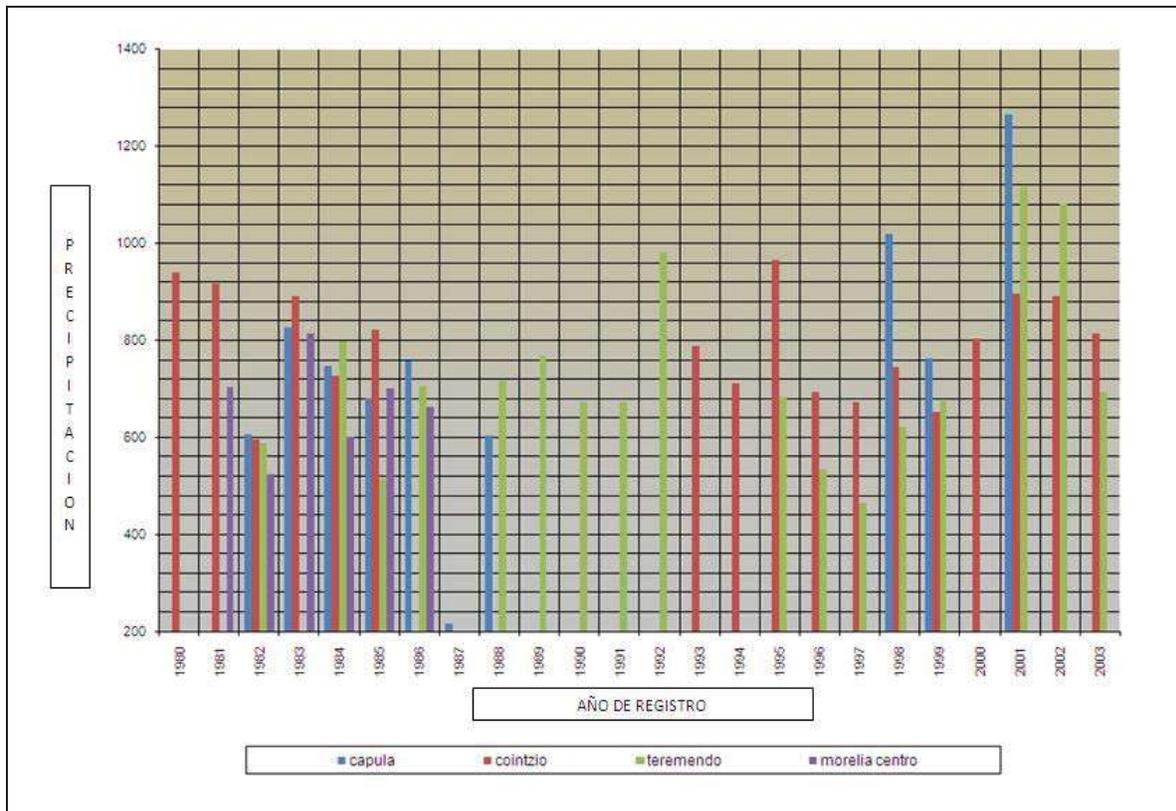


Fig. 45.- Registro de precipitaciones en la región (1980-2003).

Las variaciones en precipitación para las demás estaciones son: Capula con 748.29 mm anuales en solo 10 años de registro; Teremendo con 17 años de información, representa 722.85 mm de lluvia y la estación Morelia-Centro con 6 temporadas de datos, mantiene un promedio de precipitaciones de 667.23 mm. El periodo de menor precipitación se registro en el año de 1982 y entre 1996-1997 en la zona oeste de la región (estación Teremendo); además de que es destacable la tendencia al incremento en las precipitaciones a partir del año 1997.

Se presentan dos estaciones bien marcadas, una seca con estiaje y otra lluviosa con abundancia; presentando variaciones de intensidad principalmente en relación al régimen de precipitaciones. El relieve, geología, densidad de la vegetación y acción humana son los factores que controlan el drenaje, estando presente el último de ellos en virtud de ser la confluencia del territorio rural con lo urbano y la zona de crecimiento de asentamientos humanos.

Clasificación de Drenaje.

La corriente principal de la región, se presenta con una dirección noreste y se observa en las cabeceras del drenaje, corrientes denominadas tributarias, las cuales son un indicador directo de la velocidad de respuesta del escurrimiento, pues ésta es función del grado de bifurcación del sistema de drenaje.



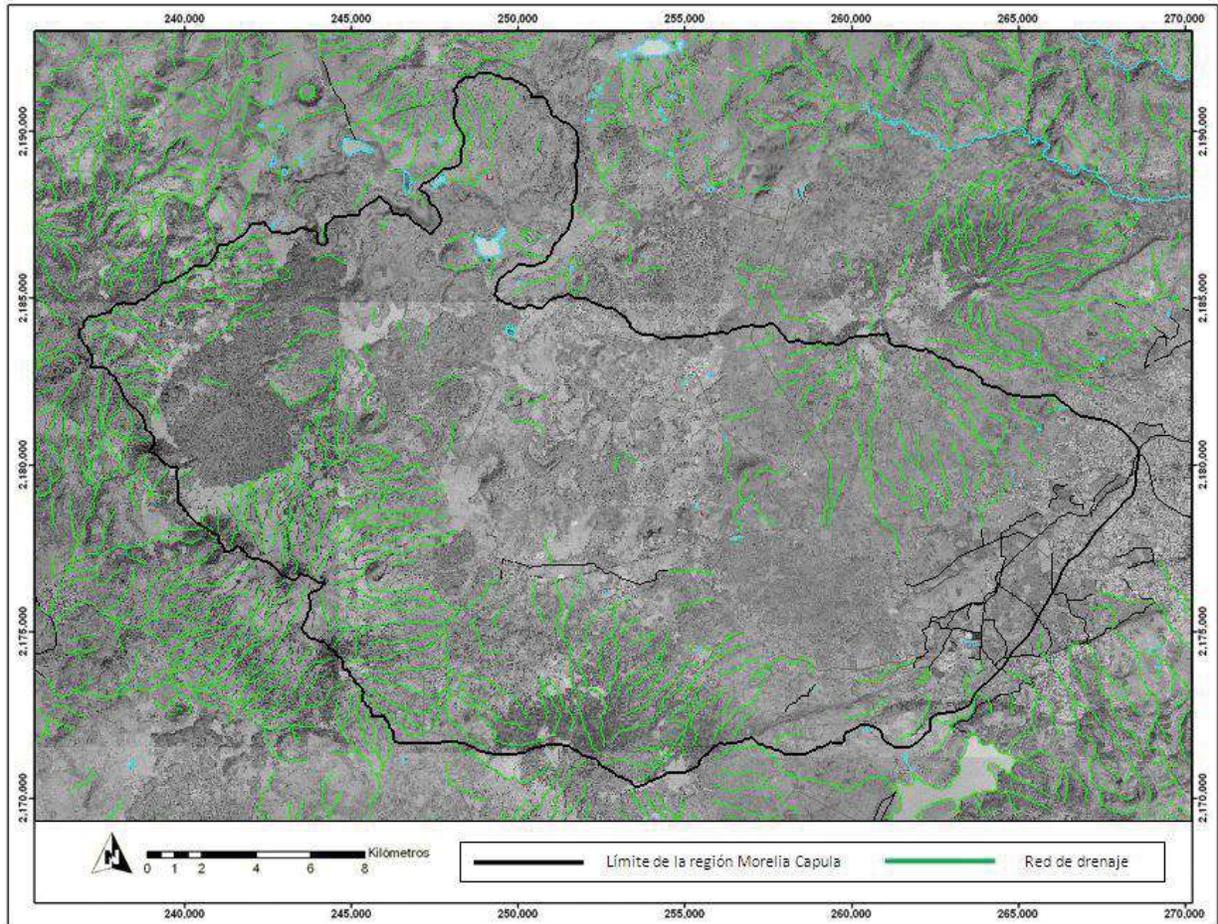


Fig. 46.- Hidrología Superficial de la región Morelia-Capula (ArcView 3.2).

Como se observa en la figura 46, no existe un cauce principal y el patrón de drenaje tiende a ser dendrítico.

Las longitudes de los cauces más representativos de la región, son muy variables y van desde los 0.5 a los 6.5 km de desarrollo (figura 46), presentándose los más importantes en las laderas del Cerro Prieto con dirección al sur siendo afluente del río Grande a la altura de San Juanito Itzicuaru, así como del Arauco siguiendo un transecto inicial alineado con dirección NE; donde la respuesta hidrológica de estos es más rápida en función de las pendientes pronunciadas y de las distancias relativamente cortas que los escurrimientos recorren.

La mayoría de los escurrimientos son efímeros y el orden de corrientes no es superior a 2; únicamente el manantial de la Mintzita es perenne con caudal estimado de 1,041 lts/seg.





Derivado de éste dato de gasto, es posible realizar un primer acercamiento al comportamiento dinámico de la región, calculando su módulo relativo ($Mr = M / S$), donde: Mr.- modulo relativo, que expresa la relación existente entre disponibilidad de agua por unidad de superficie (lts/seg/km²), M.- gasto ofertado (lts/seg) y S.- superficie (km²). Obteniendo como resultado 2.81 lts/seg/km², de lo cual se puede considerar que existe escasez de recurso, solo consideramos el aprovechamiento la Mintzita, que produce caudal todo el año; mientras que para otros aprovechamientos, por tratarse de escurrimientos temporales con irregularidad, no son considerados para el cálculo anterior debido a que no contamos con registros de aforos en épocas de lluvia y estiaje.

La respuesta hidrológica es esencial en el modelado de la corteza terrestre, y su influencia se manifiesta en función de la distribución litológica y fracturamiento, son fundamentales para la definición de los diferentes relieves.





VIII.- MATERIALES Y METODOS

El agua se conoce como el solvente universal por excelencia; el agua subterránea mantiene un equilibrio químico con los minerales que la componen y el suelo y la roca que la limitan, esto hace que el agua se sature con sólidos diluidos. Este equilibrio ocurre porque el movimiento del agua subterránea es lento y los minerales son relativamente solubles. Aprovechando dichas circunstancias, podemos encontrar relaciones que nos ayuden a interpretar las formas en que los contaminantes se distribuyen y pueden llegar a afectar los recursos naturales.

Generalmente se tiene la convicción de que el agua subterránea es limpia de bacterias e higiénica, que no tiene color ni olor pero esto es falso. El agua subterránea posee pocos sólidos suspendidos y muchos disueltos, lo que puede causar que se sature de componentes que la hacen no apta para determinados usos; si a esto le añadimos la infiltración de contaminantes, por consecuencia de actividades antrópicas (generación y disposición de residuos sólidos), se incrementa en gran medida la condición de vulnerabilidad.

Para el desarrollo de esta investigación, se llevaron a cabo análisis físico-químicos y bacteriológicos a muestras de agua superficial y subterránea, de 40 aprovechamientos ubicados en la región Morelia-Capula; a las fuentes monitoreadas se les asigno una clave de identificación para facilitar su manejo.

A continuación se anexa la tabla 7, de nomenclatura asignada para cada aprovechamiento, la cual consiste en un número progresivo, las tres primeras letras del nombre de la fuente, su origen ya sea subterráneo o superficial y por último la zona en que se encuentra:

Número	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Clave	Zona
			(X) Latitud	(Y) Longitud		
1	Aracurio	Subterráneo	241184	2188885	01-ARA-SUB-NP	Nor-poniente
2	Tarehuicho	Subterráneo	255732	2178523	02-TAR-SUB-NP	Nor-poniente
3	Tzintzimatato Chico	Subterráneo	244810	2189415	03-TCH-SUB-NP	Nor-poniente
4	Tzintzimatato Grande	Subterráneo	244911	2188827	04-TGR-SUB-NP	Nor-poniente
5	San Antonio Carupo	Subterráneo	248875	2188975	05-SCA-SUB-NP	Nor-poniente
6	Coro Grande	Subterráneo	248653	2186815	06-CGR-SUB-NP	Nor-poniente
7	Tiristarán	Subterráneo	249846	2187917	07-TIR-SUB-NP	Nor-poniente
8	Asiento de Piedra	Subterráneo	252584	2187767	08-API-SUB-NO	Nor-oriente
9	El Resumidero	Subterráneo	252589	2187766	09-RES-SUB-NO	Nor-oriente
10	Teremendo Jasso	Subterráneo	243809	2184023	10-TJA-SUB-NP	Nor-poniente

Tabla 7.- Nomenclatura de aprovechamientos (1/2).





Número	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Clave	Zona
			(X) Latitud	(Y) Longitud		
11	Sajo Grande	Subterráneo	244253	2184545	11-SGR-SUB-NP	Nor-poniente
12	Sajo Chico	Subterráneo	245460	2185091	12-SCH-SUB-NP	Nor-poniente
13	Buenavista	Superficial	245260	2175622	13-BUE-SUP-SP	Sur-poniente
14	Iratzio	Subterráneo	247534	2175705	14-IRA-SUB-SP	Sur-poniente
15	San Bernabé – La Joya	Subterráneo	247858	2179769	15-SBE-SUB-SP	Sur-poniente
16	Capula	Subterráneo	249236	2177254	16-CAP-SUB-SP	Sur-poniente
17	Tacicuaro	Subterráneo	252549	2176815	17-TAC-SUB-SO	Sur-oriente
18	Cuto de la Esperanza	Subterráneo	255215	2183243	18-CES-SUB-NO	Nor-oriente
19	Lomas de la Maestranza	Subterráneo	255732	2178523	19-LMA-SUB-SO	Sur-oriente
20	Villa Magna	Subterráneo	255959	2178002	20-VMA-SUB-SO	Sur-oriente
21	Cuanajillo	Subterráneo	256246	2175305	21-CUA-SUB-SO	Sur-oriente
22	San Nicolás Obispo	Subterráneo	256724	2175428	22-SNI-SUB-SO	Sur-oriente
23	La Hacienda y el Bosque	Subterráneo	257341	2177684	23-HAC-SUB-SO	Sur-oriente
24	Las Garzas	Subterráneo	257794	2178331	24-GAR-SUB-SO	Sur-oriente
25	La Concepción	Subterráneo	258060	2179354	25-CON-SUB-SO	Sur-oriente
26	San José Itzicuaru	Subterráneo	258303	2178247	26-SJO-SUB-SO	Sur-oriente
27	Villas del Pedregal	Subterráneo	258831	2177996	27-VPE-SUB-SO	Sur-oriente
28	Villas de la Loma	Subterráneo	259151	2178504	28-VLO-SUB-SO	Sur-oriente
29	Arko San Juan	Subterráneo	260117	2178685	29-ASA-SUB-SO	Sur-oriente
30	Itzicuaru	Subterráneo	260875	2177471	30-ITZ-SUB-SO	Sur-oriente
31	Cerrito Itzicuaru	Subterráneo	260780	2176292	31-CIT-SUB-SO	Sur-oriente
32	Roca Dura	Subterráneo	260987	2173718	32-RDU-SUB-SO	Sur-oriente
33	Balneario Cointzio	Subterráneo	261254	2174399	33-BCO-SUP-SO	Sur-oriente
34	Mintzita	Superficial	261796	2174222	34-MIN-SUP-SO	Sur-oriente
35	San Antonio Parangare	Superficial	262041	2174222	35-SAN-SUP-SO	Sur-oriente
36	Cointzio	Superficial	262792	2172983	36-COI-SUP-SO	Sur-oriente
37	Parian	Superficial	262197	2178676	37-PAR-SUP-SO	Sur-oriente
38	San Isidro Itzicuaru	Subterráneo	262229	2179660	38-SIS-SUB-SO	Sur-oriente
39	Ciudad Jardín	Subterráneo	263722	2180055	39-CJA-SUB-SO	Sur-oriente
40	San Juanito Itzicuaru	Subterráneo	264121	2179392	40-SJU-SUB-SO	Sur-oriente

Continuación Tabla 7.- Nomenclatura de aprovechamientos (2/2).

En la figura 47, se aprecian espacialmente los aprovechamientos (**puntos rojos**) monitoreados para su análisis y correlación con la lixiviación del tiradero municipal de la ciudad de Morelia, además se aprecia mayor densidad de fuentes destinadas al consumo humano hacia el oriente.



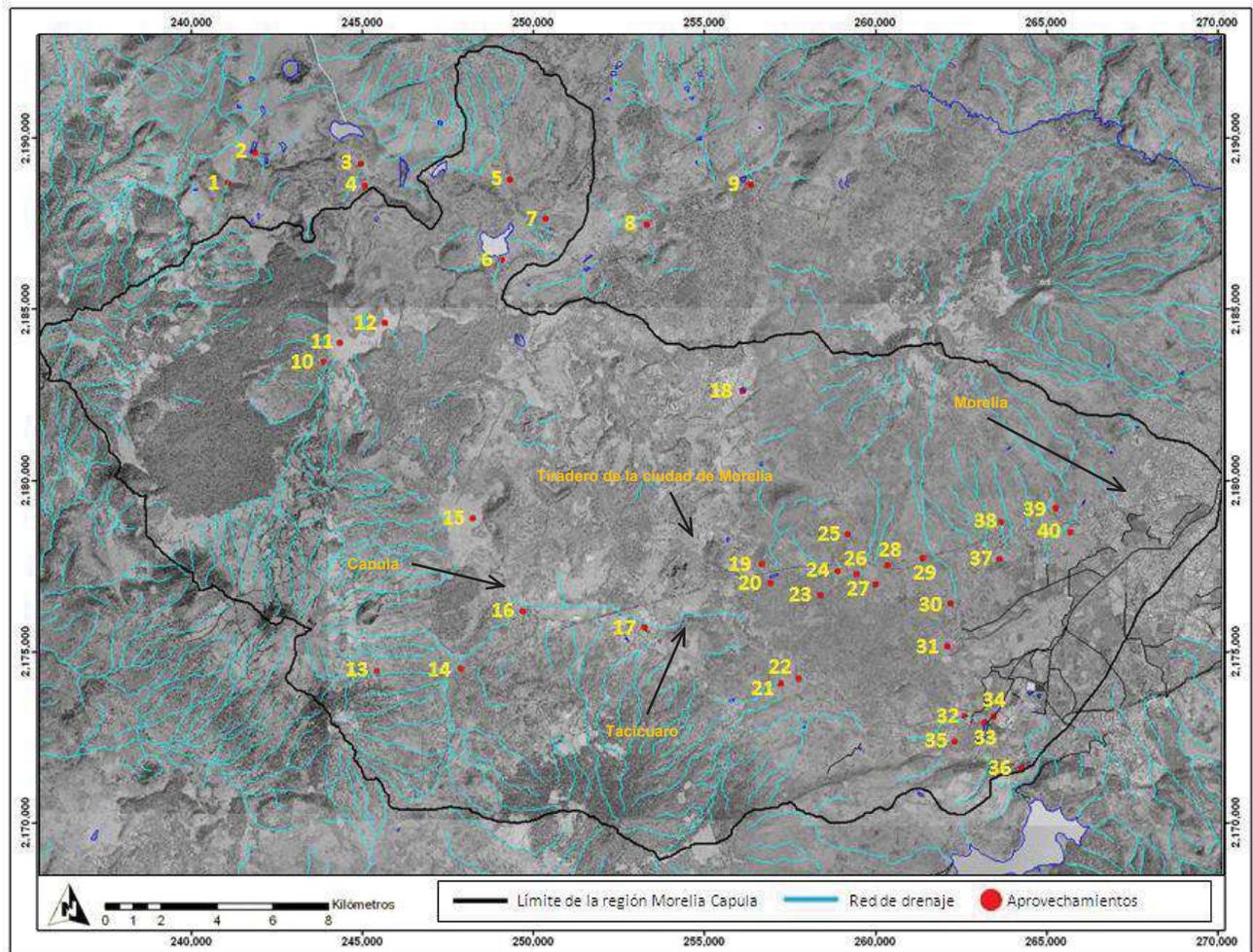


Fig. 47.- Mapa de aprovechamientos monitoreados.

En la figura 47, también se aprecian las corrientes superficiales de mayor importancia para la región; el mapa fue trabajado en el software ArcView GIS 3.2 y tiene como plataforma visual, ortofotos adquiridas de INEGI, escala 1:75,000 de febrero de 1995, proyección universal transversa de Mercator (UTM), Datum: ITRF92, elipsoide: GRS 80, procesadas mediante rectificación de fotografías aéreas, con auxilio de puntos de control geostadístico y modelo digital de elevación, dimensiones (columnas 5999, renglones 7075), zona UTM:14, dimensiones de pixel x, y: 2.0 metros, formato de datos binarios crudos: 1 byte por pixel.

VIII.I Metodología

A continuación en la figura 48, se presenta el diagrama de flujo con los puntos analizados para alcanzar el logro de objetivos:



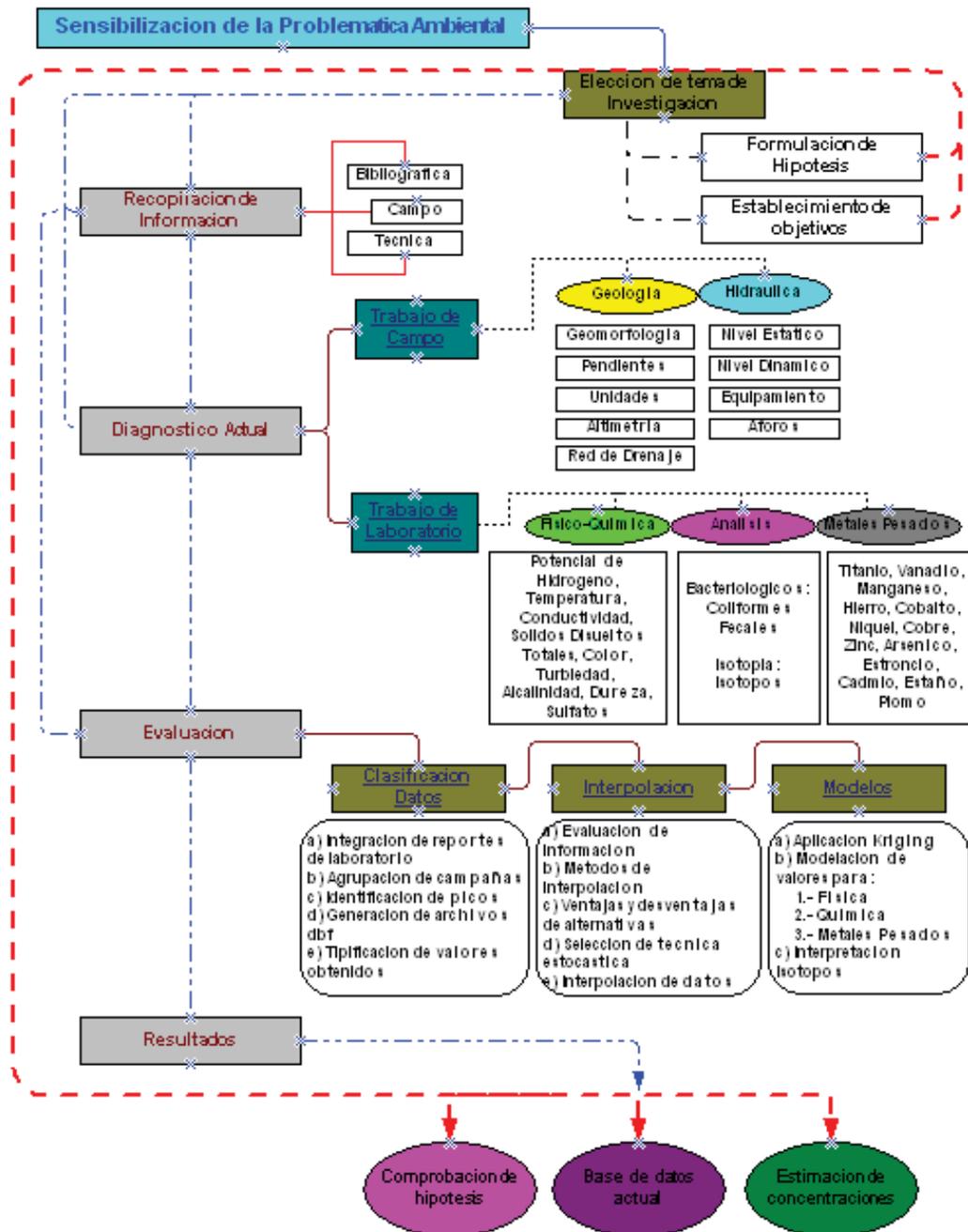


Fig. 48.- Diagrama de flujo (metodología).

Como se aprecia en la figura 48, partimos de la percepción de necesidad de aportar mediante la elección de un tema de investigación, hipótesis y objetivos, parte de la solución; la etapa siguiente consistió en la búsqueda de bibliografía relacionada a temas de contaminación de acuíferos por ingreso de lixiviados hacia el subsuelo a nivel nacional e





internacional. Una vez que los datos e información fueron revisados, se consideró adecuado, iniciar el diagnóstico de la situación actual.

La extensión territorial definió las características fisiográficas, destacando el orden de corrientes y la densidad hidrográfica; la geología superficial y subterránea, así como los cortes litológicos de pozos y afloramientos para reconstruir la estratigrafía de la región. Adicionalmente con la finalidad de evaluar los regímenes de escurrimiento, infiltración y migración de fluidos, se analizaron los registros históricos de precipitación.

Se llevaron a cabo recorridos de campo para una mejor comprensión de la problemática. Tras delimitar la zona, geoposicionar las fuentes de agua para consumo humano e identificar los aprovechamientos subterráneos y superficiales que abastecen a la población, mismos que serán el insumo principal para la toma de datos de composición físico-química del agua. Los mecanismos de transporte de contaminantes se inferirán con la interpretación de los mapas que muestren las tendencias del flujo en subsuelo.

Conocidas las condiciones de la región, la etapa a desarrollar fue la evaluación, que consistió en la categorización de los datos obtenidos para la generación y modelación de líneas de igual valor de concentración. Posteriormente, tras evaluar las desventajas y ventajas de las distintas metodologías de interpolación de datos puntuales, se desarrollaron los mapas de Isolineas y se procedió a su interpretación.

El desarrollo de un sistema de información geográfico para el análisis y visualización de la zona de estudio formará parte del modelo de gestión de la región.

Para mejorar la comprensión de los procesos de migración se llevaron a cabo visitas al sitio de ingreso de los lixiviados al subsuelo (figura 49), en las que se recabaron muestras del contaminante para su análisis y se realizaron aforos puntuales en la zona de fractura, adicionalmente se realizó un reconocimiento del suelo a partir de un perfil.

Se registraron observaciones del sitio tales como: tipo de material, medidas de tratamiento de los desechos, entorno geológico del tiradero, vegetación circundante y posibles lineamientos para la mitigación del problema.

Partiendo de las condiciones predominantes en el basurero, se realizó un perfil de suelo (figura 50) en las inmediaciones del mismo para determinar la capacidad de infiltración de los suelos dominantes en el entorno del tiradero.





Figura 49.- Recolección de lixiviado que ingresa a las fracturas del entorno, tomada en el tiradero de Morelia.

La selección del sitio para muestreo de suelos, obedeció a la premisa de conservar las principales características de la zona limítrofe al tiradero, puesto que no fue posible realizar la caracterización dentro del predio del basurero; el lugar seleccionado, se consideró representativo de una superficie de mayor amplitud por presentar características similares. La técnica consistió en desyerbar inicialmente el lugar, utilizando pico, pala y barreta, se procedió a elaborar el perfil cortando horizontes de suelo hasta llegar a la zona donde se precisa encontremos la roca con un mínimo grado de alteración; los cortes al suelo se realizaron cuidando no contaminar los horizontes descubiertos y manteniendo un talud vertical a medida que el estrato lo permita para poder recavar datos precisos de los suelos.



Figura 50.- Perfil el suelo, tomada en las inmediaciones del tiradero.

La profundidad del perfil se midió directamente con cinta métrica, la textura se definió a partir de observación con lupa; las rocas y el porcentaje de ellas encontradas en cada horizonte se cuantificó y clasificó en relación al tamaño y su composición; el color se determinó mediante comparación a través de la tabla Munsell registrando su clasificación; la humedad también se evaluó ya que es un parámetro similar a los anteriores que tiene la particularidad de ser visual.





Se colectaron muestras de las capas, para registrar in situ la textura, color, humedad, estructura, estabilidad, poros; adicionalmente se midieron pH, conductividad y temperatura con un potenciómetro HANNA Waterproof calibrado; dichos parámetros son importantes para deducir información de la estructura del suelo, estabilidad del agregado, mismo que nos define el grado de consolidación del propio horizonte y las principales características de los agregados en los suelos (abundancia, tamaño, firma y distribución); densidad de raíces, el tipo de límites y densidad aparente que presentan, todos ellos necesarios para la correcta interpretación del medio en la medida de la correlación entre las condiciones de ingreso de contaminantes, transporte, migración y comportamiento en la zona de estudio.

Las observaciones, se detallan en la tabla 8:

Característica	HORIZONTE		
	A	B	C
Profundidad	0 – 2 cm	2 – 34 cm	34 – 1 m
Textura	Franco limosa	Arcilla	Arcilla
Piedras (vol %)	40% clastos angulosos < 2 cm	20% clastos angulosos gruesos 2 – 10 cm	Degradación de roca
Color (húmedo)	10YR 2/1 negro	10YR 3/2 café grisáceo muy oscuro	7.5YR 4/4 café
PH	8.86	8.10	7.30
Sales (µs)	478	253	104.3
Humedad	Fresco	Fresco húmedo	Fresco
Estructura	Sub angular gruesa, débil	Angular conserva tamaño fino, angular y fuerte	Angular, tamaño fino, fuerte
Estabilidad	Alta	Baja	Alta
Poros (%)	30	15 – 20 (entre agregados y poros de raíces)	5
Densidad de raíces	5 – 10 dcm ² raíces muy finas	5 – 10 dcm ² gruesas	1 dcm ² muy gruesa
Límite	Definido	Definido	Definido
Densidad aparente	0.5 – 1 baja	1.5 media	2 alta

Tabla 8.- Caracterización de suelo (Tiradero municipal de Morelia).

VIII.II Parametrización.

El estudio de un sistema, así como la realización de simulaciones y predicciones sobre el mismo, requiere de una memoria. Esto es, contar con información previa referente a la evolución espacial y temporal del proceso por investigar.

Los modelos de transporte requieren de información validada y sistematizada, la cual por lo general no es fácilmente accesible. La información básica la constituyen los cortes litológicos y bases de datos químicos. Se debe partir de un modelo conceptual, basado en un modelo hidrogeológico, el cual dará lugar a un modelo funcional. Los cortes litológicos de afloramientos y pozos permiten integrar perfiles geológicos en paralelo con el apoyo de la información geofísica (métodos eléctricos y electromagnéticos, sísmica, gravimetría o magnetometría).





El contar con núcleos no alterados o con muestras de afloramientos representativos puede permitir determinaciones de parámetros importantes como la porosidad y densidad de la roca.

En el caso de concentraciones, un solo dato no es significativo, se debe contar con datos de por lo menos dos campañas de colecta que muestren el comportamiento temporal.

No es usual contar con información sobre metales y mucho menos sobre compuestos orgánicos, sin embargo son insumos invaluable debido a su estrecha relación con la pluma contaminante; para dicho caso se necesita garantizar que los datos sean proporcionados por laboratorios especializados, aunque ello implica un relativo alto costo económico.

En cuanto a la técnica de procesamiento de muestras de agua con el ICP de masas, primeramente se vacía la muestra filtrada con membranas tipo swinex de 0.45 micras en un frasco acidificado con ácido nítrico ultrapuro al 2%, se diluye la muestra tomando 1 ml de muestra y 9 ml de agua desionizada, una vez diluida, se mide en el equipo, lo que consiste en absorber la muestra para nebulizarla y pasarla al plasma a altas temperaturas donde se ioniza la solución y separa sus masas que entran en un campo magnético para ser analizadas. Dichas masas se miden y el resultado se cuantifica en miligramos por litro (ppm) o microgramos por litro (ppb). Se analizan 25 elementos en dos minutos con la ventaja de utilizar muy bajas cantidades de muestra y dada su alta sensibilidad, es más útil que otras técnicas tales como la absorción atómica y fluorescencia de rayos X.

En nuestro caso, los laboratorios que realizaron los análisis fueron:

- *Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; Facultad de Ingeniería Civil; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.*
- *Laboratorio del Departamento de Calidad del Agua; Subdirección de Producción; Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia.*
- *Laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables; Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica; Departamento de Geoquímica; Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.*
- *Laboratorio de ICP de Masas. Departamento de Geología. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.*

Un adecuado conocimiento del proceso de contaminación de un acuífero implica la instalación de sistemas de monitoreo vertical discreto, a diferentes profundidades, piezómetros; por lo que podemos valernos de los pozos profundos destinados para el abastecimiento de agua. Los pozos pueden proporcionar información puntual sobre la calidad del





agua; por lo anterior, tanto los aprovechamientos subterráneos como los superficiales de la región, fueron utilizados para adquirir información.

La integración y coordinación de actividades de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales, precipitación, evaporación y suelos se recomienda con base en el reconocimiento de que es el ciclo hidrológico, la base conceptual para la estrategia de manejo integrado del recurso hídrico, por lo que se utilizaron las estadísticas registradas en estaciones climatológicas de la región, dicha información se consultó de la base de datos CLICOM que maneja la Dirección Local de la CONAGUA en Michoacán, que cuenta con datos históricos de 4 estaciones, lo que se traduce en un alto grado de confiabilidad para extrapolar condiciones hidroclimatológicas a tiempos proyectados, a fin de visualizar la evolución de la contaminación y generación de lixiviados en la fuente como respuesta directa a la precipitación.

Las cuatro estaciones hidroclimatológicas (tabla 9) que proporcionaron datos de temperatura, precipitación, evaporación, etc.; todas ellas con información diaria son:

Estación	Periodo de Cobertura (Año-Mes)	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Clave Identificación
Cointzio	1940-04 a 2004-02	19° 37' 51.25"	101° 15' 30.54"	1,950	16 022
Capula	1981-07 a 2003-12	19° 40' 30.00"	101° 23' 30.00"	1,708	16 247
Morelia	1947-05 a 1986-12	19° 41' 19.00"	101° 10' 34.00"	1,915	16 081
Teremendo	1982-01 a 2003-12	19° 47' 00.27"	101° 28' 48.91"	2,350	16 254

Tabla 9.- Estaciones Hidroclimatológicas.

VIII.III Protocolo de Monitoreo.

Estrategias de Monitoreo

El agua subterránea, se puede ver afectada en menor proporción por actividades antropogénicas que la superficial, sin embargo, es posible encontrar relaciones directas de contaminación cuando se evalúa un sistema acuífero que presenta su descarga relativamente cerca de la potencial fuente de deterioro ambiental (lixiviado).

La estrategia llevada a cabo y considerada adecuada en nuestro estudio, cuenta con los siguientes factores:

- a) Objetivos del monitoreo.
- b) Importancia y vulnerabilidad del sistema hidrogeológico.
- c) Tipos y extensión de las fuentes potenciales de contaminación.
- d) Beneficios de las actividades de monitoreo.





- e) Prioridades, intereses y necesidades conectadas con el desarrollo de los recursos hídricos.

Los objetivos del monitoreo dependen del nivel (nacional, regional, local), de las prioridades, de los intereses y de las necesidades de los usuarios y por ello su determinación es complicada. No obstante, tenemos como objetivos comunes:

- a) Identificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del sistema de aguas subterránea.
- b) Definir el estado, en cantidad y calidad, de las aguas.
- c) Identificar los efectos de procesos naturales y los impactos humanos del sistema hidrogeológico.
- d) Pronosticar a largo plazo las tendencias en calidad de las aguas subterráneas.
- e) Definir el grado de vulnerabilidad de los sistemas.
- f) Definir medidas a ser adoptadas para prevenir la degradación de las aguas superficiales y subterráneas en los sitios que ya han sido afectados.
- g) Determinar prioridades y conflictos entre los usuarios de los recursos hídricos subterráneos y otros recursos naturales.

Programa de monitoreo

El sistema de monitoreo incluye las siguientes actividades (MUSIKAR, R. 2002):

- a) Delimitación del área de monitoreo.
- b) Análisis de la estructura geológica, el sistema de flujo de aguas subterráneas y su calidad.
- c) Diseño de red de monitoreo.
- d) Designación e implementación de métodos de campo y procedimientos analíticos de laboratorio.
- e) Determinación de la frecuencia de muestreo y selección de variables a ser analizadas.
- f) Manejo de la base de datos (manipulación, procesamiento y evaluación).

Previo a la primera campaña de monitoreo, se determinó la información a recabar, la cual consistió en:

Hidráulica.- identificar equipo de bombeo, cuantificar piezas especiales (válvula check, válvula de admisión y expulsión de aire, manómetro, medidor de gasto, inyección de cloro, reducciones, ampliaciones, diámetro de fontanería, bifurcaciones, válvulas de seccionamiento, atraques, condiciones de protección, etc.), niveles de operación dinámica y estática, longitud de tubería y material.





Control.- registro fotográfico del tren de descarga, geoposicionamiento en coordenadas geográficas y UTM, croquis, tipo de aprovechamiento.

Calidad.- lecturas de potencial de hidrógeno, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, muestras para laboratorio.

La densidad de puntos de observación depende de las especificaciones regionales, pero las normas internacionales recomiendan una estación por cada 10 a 100 km². De acuerdo a lo anterior, en la región Morelia-Capula el número de sitios de monitoreo fue aceptable ya que son 34 los pozos dentro del parteaguas y 6 adicionales ubicados en los límites externos al norte de la región; de ahí que la densidad de vigilancia se estima en 10.89 km²/pozo si no se toman en cuenta los ubicados fuera de la zona de estudio. Su distribución no es regular, debido a que los sitios monitoreados son los emplazamientos de las localidades y éstas no conservan un patrón regular en su amplitud, ni mucho menos guardan correspondencia directa con límites hidro geográficos; por tanto, es un dato estimado de cobertura.

Métodos de Monitoreo

La selección de métodos sustentables de toma representativa de muestras de aguas subterráneas se basó en el concepto de que hubiera circulación y flujo continuo de agua por lo que se evitó que el agua haya permanecido en el pozo y por ello la columna de agua se hubiere mantenido sobre los filtros, por ello los pozos se purgaron para tomar las muestras con régimen dinámico en el sistema de extracción (pozo), así la muestra no se tomó de agua que estuviera sin contacto directo con el sistema de flujo de aguas subterráneas y bajo el impacto de factores atmosféricos y del material de la tubería, lo cual afecta sus propiedades; por ello los pozos se purgaron, para tomar muestras representativas del estado dinámico del sistema.

Los principales métodos de muestreo implementados de acuerdo con las condiciones de flujo del acuífero fueron:

- 1) muestreo después de remover el agua acumulada sobre el intervalo de filtros.
- 2) en pozos de bajo rendimiento, muestreo por succión o recolección de muestras después de bombear el pozo y recuperar la columna de agua.
- 3) purgar el pozo mientras se miden parámetros de campo (usualmente pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto).

En el caso de acuíferos muy profundos con alto rendimiento, son recomendables los muestreos simples de un intervalo determinado utilizando técnicas de packer (empaques aislantes que proporcionan incomunicación permanente entre zonas discretas), ya que una mezcla de agua de diferentes niveles acuíferos no se considera satisfactoria.





En base a lo anterior, se decidió monitorear tras la purga de los sistemas, medir los parámetros de campo durante el lapso de tiempo de purga y por último, tomar la muestra después de bombear el pozo para adquirir el recurso directamente del acuífero, siendo así un método particular en función de las condicionantes del estudio, es decir, procurando la representatividad fiel de las características del agua.

- Pozos de monitoreo

Además, se obtuvo información de un pozo no convencional correspondiente a una perforación ex profeso para caracterización del material geológico de la zona del tiradero. Dicho pozo, cumple con especificaciones mínimas relacionadas con el reconocimiento de su diseño, capta únicamente el acuífero objeto del monitoreo y garantiza las disposiciones sanitarias que impiden el acceso de contaminantes desde la superficie.

Por otra parte, como ya se mencionó, se hizo uso de todos los pozos de producción siempre guardando los procedimientos de muestreo y toma de datos en los que se considera un estado estático y una purga adecuada.

En todos los casos, los pozos de monitoreo cumplieron con lo siguiente:

- a) Estar georeferenciados y nivelados.
- b) Contar con medidas sanitarias (cerramiento, tapa de seguridad y sello sanitario).
- c) Cuentan con zonas de protección definidas.
- d) Tienen una ficha en la base de datos del sistema de monitoreo que incluye codificación, fotografía del pozo, características de diseño, fecha de instalación, propiedades hidráulicas del acuífero y del pozo obtenidas a partir de pruebas de bombeo, opcionalmente descripción de sistema de recepción y transmisión de datos, fechas de limpieza, desarrollo y mantenimiento.

Desarrollo del protocolo

El desarrollo del protocolo de monitoreo de agua, tanto subterránea como superficial, comprendió diferentes etapas:

Se programaron actividades como: verificación geológica de la zona de estudio, recabando material fotográfico, identificando los distintos materiales que sobreyacen así como subyacentes a partir de la estratigrafía de subsuelo cuando así fue posible, además de un censo de obras instaladas para llevar a cabo el monitoreo.





A continuación, se seleccionaron los puntos (manantiales y pozos profundos); para diseñar las campañas de muestreo, las campañas se llevaron a cabo de manera extensiva, incluso atacando puntos por fuera del parteaguas. Dicho monitoreo, consideró una periodicidad anual con la finalidad de obtener datos de dos campañas.

Selección de la muestra.- se procedió a identificar todos los aprovechamientos que operan para suministro de agua potable tanto de origen superficial como subterráneo teniendo como criterios los siguientes:

Criterios de inclusión: a) tratarse de fuentes de suministro en uso regular para suministro a la población, b) que su ubicación estuviera dentro del parteaguas y en caso contrario a menos de 5 km fuera del perímetro, c) que el acceso al aprovechamiento estuviera garantizado por los operadores, d) tratándose de manantiales, que sus gastos fueran mayores a 2.5 lts/seg.

Estrategia de recolección de datos.- dicha actividad contempla varias etapas que desglosamos a continuación, mismas que van desde las rutas críticas y cronograma (tabla 10), hasta la entrega de resultados de los análisis.

Cronograma de actividades:

PROGRAMACIÓN DE MUESTREOS, MONITOREO DE LIXIVIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CAMPO PARA LA SUB CUENCA MORELIA-CAPULA		PRIMER CAMPAÑA								SEGUNDA CAMPAÑA							
APROVECHAMIENTOS	CLAVE	DICIEMBRE 2006 - ENERO 2007								SEPTIEMBRE - OCTUBRE 2007							
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Aracurio	01-ARA-SUB-NP																
Tarehuicho	02-TAR-SUB-NP																
Tzintzamacato Chico	03-TCH-SUB-NP																
Tzintzamacato Grande	04-TGR-SUB-NP																
San Antonio Carupo	05-SAC-SUB-NP																
Coro Grande	06-CGR-SUB-NP																
Tiristaran	07-TIR-SUB-NP																
Asiento de Piedra	08-API-SUB-NO																
El Resumidero	09-RES-SUB-NO																
Teremendo Jasso	10-TJA-SUB-NP																
Sajo Grande	11-SGR-SUB-NP																
Sajo Chico	12-SCH-SUB-NP																
Buenvista	13-BUE-SUP-SP																
Iratzio	14-IRA-SUB-SP																
San Bernabé – La Joya	15-SBE-SUB-SP																
Capula	16-CAP-SUB-SP																
Tacícuaró	17-TAC-SUB-SO																
Cuto de la Esperanza	18-CES-SUB-NO																

Tabla 10.- Cronograma de actividades (1/2).





PROGRAMACIÓN DE MUESTREOS, MONITOREO DE LIXIVIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CAMPO PARA LA SUB CUENCA MORELIA-CAPULA																		
APROVECHAMIENTOS	CLAVE	PRIMER CAMPAÑA								SEGUNDA CAMPAÑA								
		DICIEMBRE 2006 - ENERO 2007								SEPTIEMBRE - OCTUBRE 2007								
		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Lomas de la Maestranza	19-LMA-SUB-SO																	
Villa Magna	20-VMA-SUB-SO																	
Cuanajillo	21-CUA-SUB-SO																	
San Nicolás Obispo	22-SIN-SUB-SO																	
La Hacienda y el Bosque	23-HAC-SUB-SO																	
Las Garzas	24-GAR-SUB-SO																	
La Concepción	25-CON-SUB-SO																	
San José Itzicuario	26-SJO-SUB-SO																	
Villas del Pedregal	27-VPE-SUB-SO																	
Villas de la Loma	28-VLO-SUB-SO																	
Arko San Juan	29-ASA-SUB-SO																	
Itzicuario	30-ITZ-SUB-SO																	
Cerrito Itzicuario	31-CIT-SUB-SO																	
Roca Dura	32-RDU-SUB-SO																	
Balneario Cointzio	33-BCO-SUB-SO																	
Mintzita	34-MIN-SUP-SO																	
San Antonio Parangare	35-SAN-SUP-SO																	
Cointzio	36-COI-SUP-SO																	
Parían	37-PAR-SUP-SO																	
San Isidro Itzicuario	38-SIS-SUB-SO																	
Ciudad Jardín	39-CJA-SUB-SO																	
San Juanito Itzicuario	40-SJU-SUB-SO																	
Lixiviado Tiradero Morelia	LIX-TIR-MOR																	

Tabla 10.- Cronograma de actividades (2/2).

Recolección:

La técnica de toma de muestras se sistematizó lo más posible, es decir, procuramos realizar los monitoreos conservando un patrón de horario en los equipos de bombeo, entre otros; así pues, el tiempo requerido para la colecta de muestras fue de 3 horas aproximadamente, por lo que el rendimiento por brigada fue de 2 fuentes/día.

La determinación in situ, de parámetros físico-químicos fue de carácter obligatorio pues algunos parámetros pueden variar con relación al tiempo.

Las consideraciones generales durante la recolección están desglosadas en éste capítulo y fueron: a) contar con envases limpios y suficientes ya sean de primer uso o lavándolos con agua des ionizada, acorde al tipo de análisis que se les practicará; b) utilizar preservadores (reactivos de alta pureza) en el caso de los metales pesados y aplicarlos





directamente en campo (ácido nítrico al 3%), c) etiquetar las muestras (nomenclatura de control), d) transportar las muestras en hieleras a una temperatura mínima de 4° C; e) utilizar equipos de medición libre de contaminantes, f) considerar obtención de muestras de control de calidad como son las muestras blancas de campo y duplicados g) entregar las muestras al laboratorio lo más pronto posible para disminuir la interacción del agua con los envases y retardar los cambios químicos y biológicos, logrando así resultados más fidedignos.

Análisis y validación:

Los análisis realizados a las muestras comprendieron medidas de calidad para la obtención de resultados reales; las determinaciones se hicieron para: pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, color verdadero, turbiedad, alcalinidad total, dureza total, sulfatos y coliformes fecales.

La validación asegura la calidad de los procesos en el laboratorio, aún y cuando se llevaron a cabo acciones de control como: validación de métodos analíticos, evaluación del desempeño del laboratorio por medio del análisis de muestras de referencia certificadas, muestras de control de laboratorio; blancos y duplicados.

Por último, el manejo de los datos y su enfoque, se definió según su tipo: químico, geológico, hidrogeoquímico, salud, hidrogeológico, etc., mismos que se dirigirán a comprobar la hipótesis.





IX.- RESULTADOS

La gestión integral de los recursos hídricos debe considerar el conocer a detalle, todos y cada uno de los procesos que influyen en la determinación cualitativa y cuantitativa de los caudales tanto superficiales como subterráneos, así como efectos y consecuencias de las variaciones de los parámetros físico-químicos en el entorno inmediato. Por lo anterior, es indispensable poder evaluar el comportamiento geohidrológico de una cuenca a partir de datos conocidos, que establezcan relaciones entre variables representativas. El asociar estas relaciones permite reproducir situaciones posibles en los procesos naturales y antrópicos.

Derivado de los análisis realizados a 40 muestras de agua provenientes de pozos y manantiales de la región Morelia-Capula, fue posible realizar la caracterización físico-química para la zona de estudio, en dos temporadas durante un año completo (tablas 11 y 12).

Las tablas fungen como matrices de susceptibilidad para cada aprovechamiento evaluado y a partir de ellas, es posible identificar aquellos puntos de monitoreo que presentan valores de concentraciones por arriba de los límites permisibles; al respecto, se muestra una clasificación en colores (verde, amarillo y rojo), que pretende agrupar los valores de concentración sin problemas asociados a su consumo.

Color amarillo para valores medios cercanos al límite permisible establecido por norma (NOM-001-ECOL-1996 y NOM-127-SSAI-1994) y color rojo para aquellos puntos con valores altos de concentración con posibles afectaciones al ser humano si su ingesta es por tiempos prolongados, respectivamente.

Para el caso de parámetros que no se encuentran normados, como es el caso de la conductividad, alcalinidad y temperatura, la categorización se llevó a cabo de acuerdo a recomendaciones del Organismo Operador de Agua Potable y Alcantarillado de Morelia (OOAPAS), a través de la Subdirección de Producción, Departamento de Calidad del Agua, que establece valores que no representan problemas en el aprovechamiento para consumo humano del agua.

A continuación se presentan los valores de parámetros evaluados en la región durante el primer monitoreo realizado durante el periodo comprendido del 20 de diciembre del 2006 al 01 de febrero del 2007, el cual se considero como realizado posterior a la temporada de lluvias, lo que se traduce en un ambiente no saturado:





PRIMER CAMPAÑA									
Nomenclatura	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Color	Turbiedad	Alcalinidad	Dureza	Sulfatos
		° C	Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Mg/L	VERDADERO	U.T.N.	Total	Total	Mg/L
limites	6.5 - 8.5	ND	ND	1000	20	5	ND	5000	400
01-ARACURIO-SUB-NP	6.97	7.5	169.5	84.7	11	0.34	80	50.6	2
02-TAREHUIC-SUB-NP	6.55	7.8	219	109.3	31	5.47	80	66.7	13
03-TZICHICO-SUB-NP	7.02	14.2	172.6	86.3	5	0.41	90	36.8	1
04-TZGRANDE-SUB-NP	7	12.2	281	141	22	3.49	80	89.7	21
05-SACARUPO-SUB-NP	6.96	8.9	241	120.7	33	2.15	130	62.1	2
06-COGRANDE-SUB-NP	7.01	10.1	421	211	12	0.43	210	138	3
07-TIRISTAR-SUB-NP	7.39	11	160.2	80.1	2	0.32	100	52.9	0
08-ASPIEDRA-SUB-NO	7.66	8.9	248	124.2	17	0.93	140	89.7	1
09-RESUMIDE-SUB-NO	7.64	16.5	231	115.3	37	15.2	130	69	0
10-TERJASSO-SUB-NP	8.09	19.8	94.9	85	47	3.7	62	56	5.65
11-SAGRANDE-SUB-NP	8	20.3	395	340	45	1.2	140	200	34.12
12-SAJCHICO-SUB-NP	7.92	20.4	158.1	130	70	5.5	86	86	14.25
13-BUENAVIS-SUP-SP	7.23	7.8	485	242	1554	786	33	55	96
14-IRATZIO-SUB-SP	8.09	19.6	154.5	152	0	0.96	82	70	2.88
15-SBERNABE-SUB-SP	7.4	9.3	229	115	2	0.38	80	90	10
16-CAPULA-SUB-SP	7.35	9	301	150	5	0.68	90	90	6
17-TACICUAR-SUB-SO	6.9	12	277	138	11	1.07	120	75	0
18-CESPERAN-SUB-NO	6.78	7.2	281	141	0	0.3	150	75	2
19-LMAESTRA-SUB-SO	SIN REGISTROS								
20-VILMAGNA-SUB-SO	7.04	6.3	440	220	103	0.5	150	145	14
21-CUANAJIL-SUB-SO	7.32	11.7	177.3	88.6	0	1.08	80	65	0
22-SNICOLAS-SUB-SO	7.54	10.2	179.6	89.8	4	0.22	90	60	2
23-LHACIEDA-SUB-SO	7.13	7.1	239	120	5	2.25	80	90	2
24-LAGARZAS-SUB-SO	6.42	7.8	266	123	0	0.16	110	95	1
25-CONCEPCI-SUB-SO	7.56	14.3	245	123	0	0.84	130	100	1
26-SJOITZIC-SUB-SO	7.45	10.8	256	128	0	0.69	110	100	4
27-VPEDREGA-SUB-SO	7.5	8.1	245	122	8	1.3	100	90	2
28-VILLLOMA-SUB-SO	7.55	15.5	250	125	0	0.16	120	110	1
29-ARKSJUAN-SUB-SO	7.66	9.6	320	160	4	0.82	100	125	17
30-ITZICUAR-SUB-SO	6.63	9.9	411	206	11	2.09	110	160	37
31-CITZICUA-SUB-SO	7.33	14.5	452	226	0	1.54	180	150	0
32-ROCADURA-SUB-SO	7.42	13.3	182.6	91.3	14	4.13	70	80	1
33-BCOINTZI-SUP-SO	5.77	13	510	255	0	0.96	260	170	0
34-MINTZITA-SUP-SO	7.09	13.8	197.7	98.8	16	4.35	80	65	2
35-SAPARANG-SUP-SO	7.09	13.8	197.7	98.8	16	4.35	80	65	2
36-COINTZIO-SUP-SO	6.01	12.7	144.5	72.3	5	2.12	50	30	0
37-ELPARIAN-SUP-SO	7.06	10.5	356	178	13	3.12	110	100	15
38-SIITZICU-SUB-SO	7.38	11.4	238	120	0	0.14	100	60	1
39-CIJARDIN-SUB-SO	7.1	12.5	206	103	6	0.31	90	60	0
40-SJUITZIC-SUB-SO	6.1	9.7	306	153	4	1.14	120	80	0

Tabla 11.- Resultados de análisis de muestras acuosas, campaña 1.

Cabe señalar que ambas campañas se llevaron a cabo con un año de diferencia, pero desarrolladas durante el mismo periodo a fin de visualizar diferencias en el comportamiento de las concentraciones de los parámetros evaluados. Los siguientes diagramas por parámetro, muestran la temporada (campaña 1) que presentó mayores concentraciones:



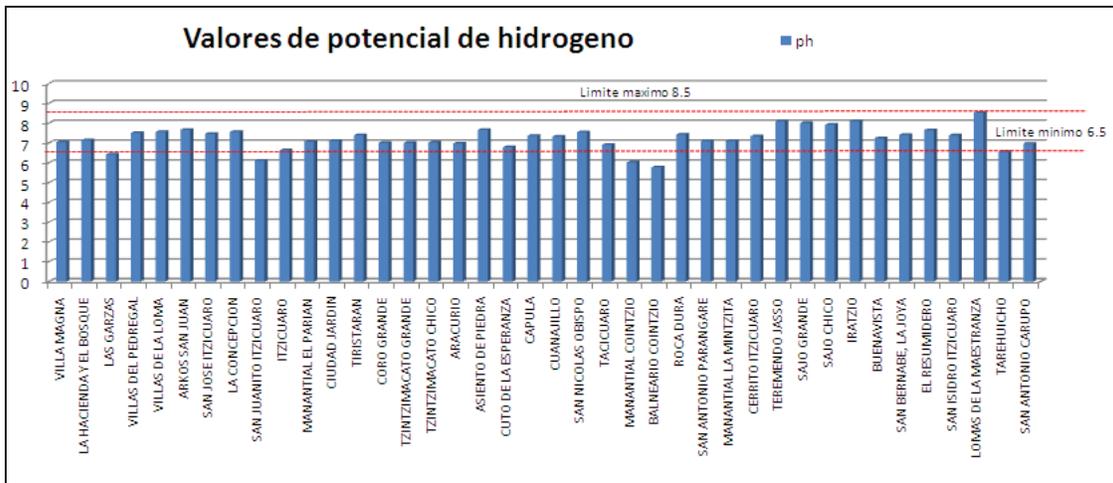


Fig. 51.- Valores de potencial de hidrogeno.

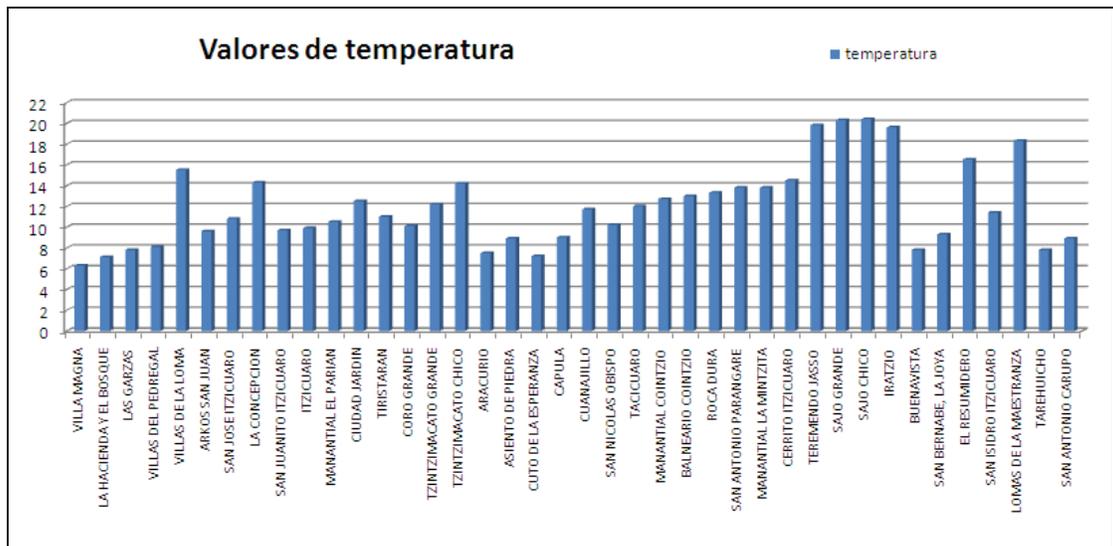


Fig. 52.- Valores de temperatura.

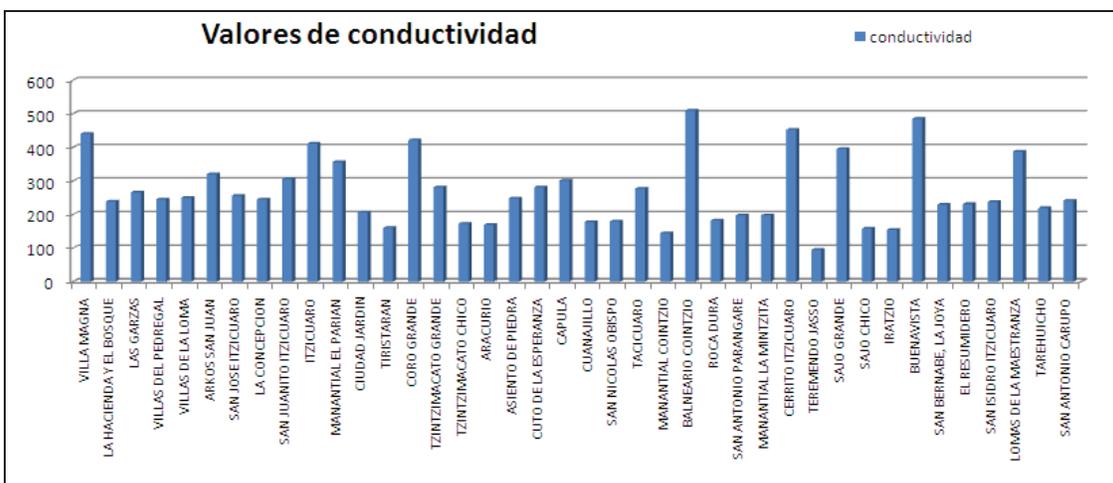


Fig. 53.- Valores de conductividad.



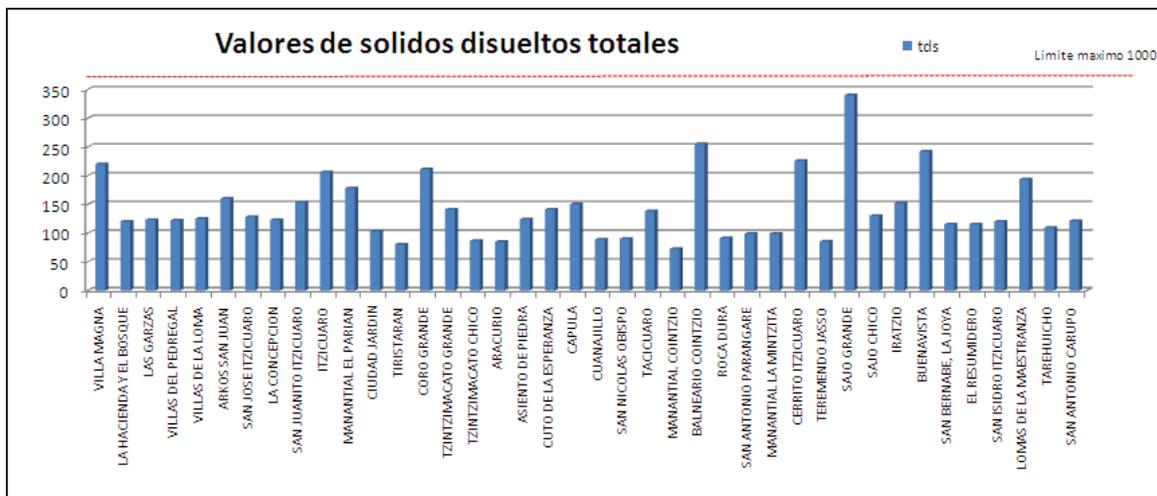


Fig. 54.- Valores de sólidos disueltos totales.

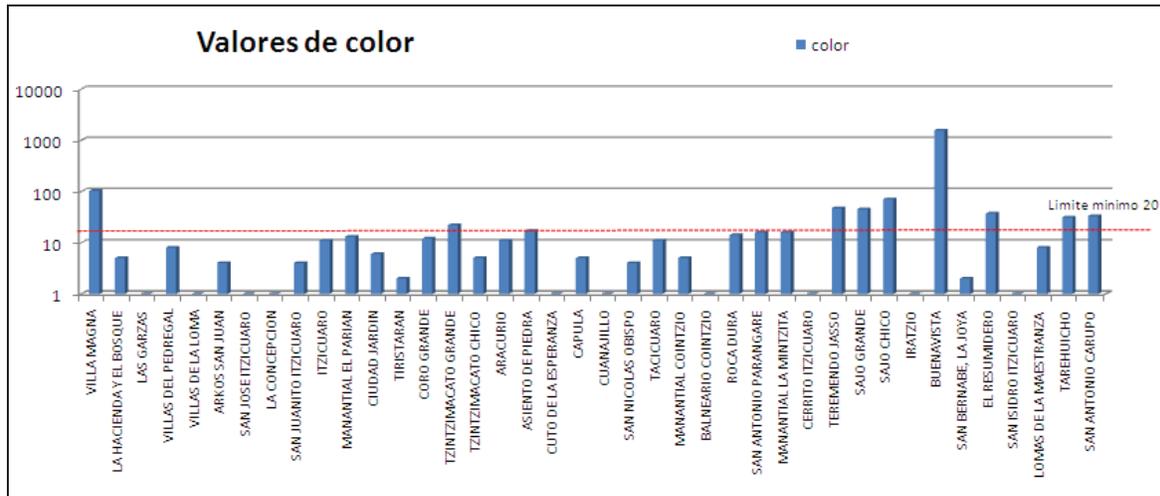


Fig. 55.- Valores de color.

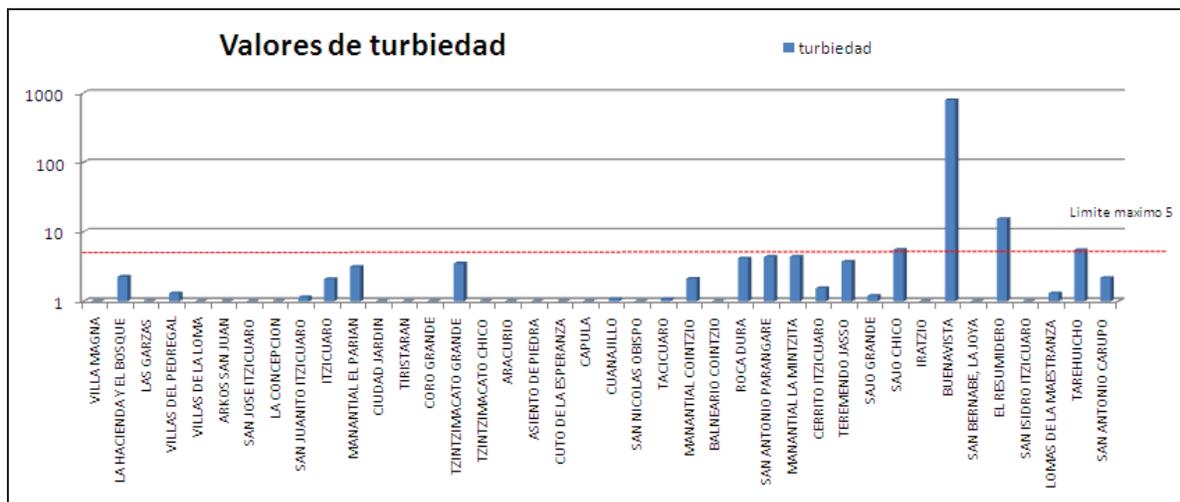


Fig. 56.- Valores de turbiedad.



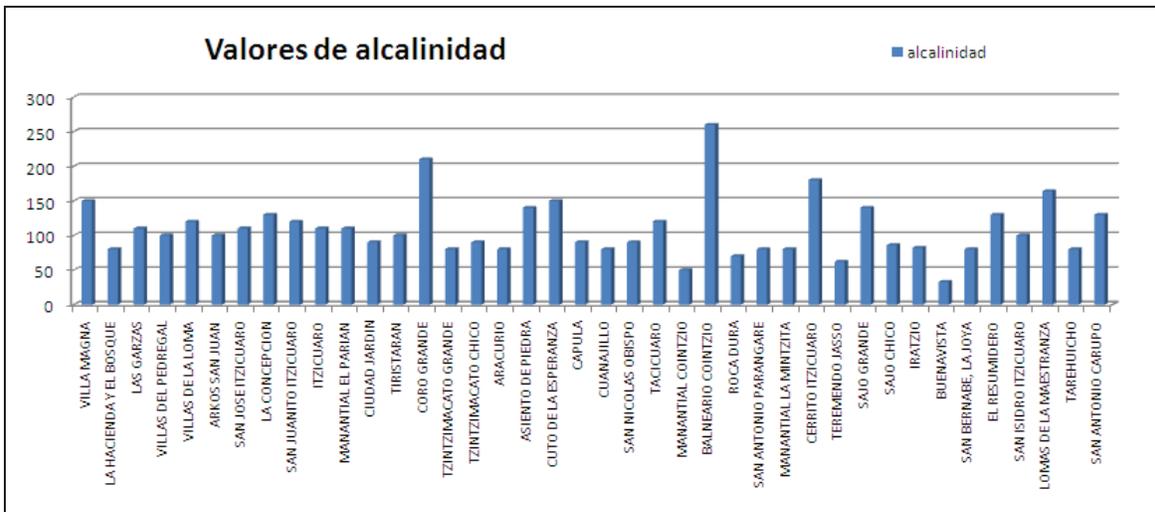


Fig. 57.- Valores de alcalinidad.

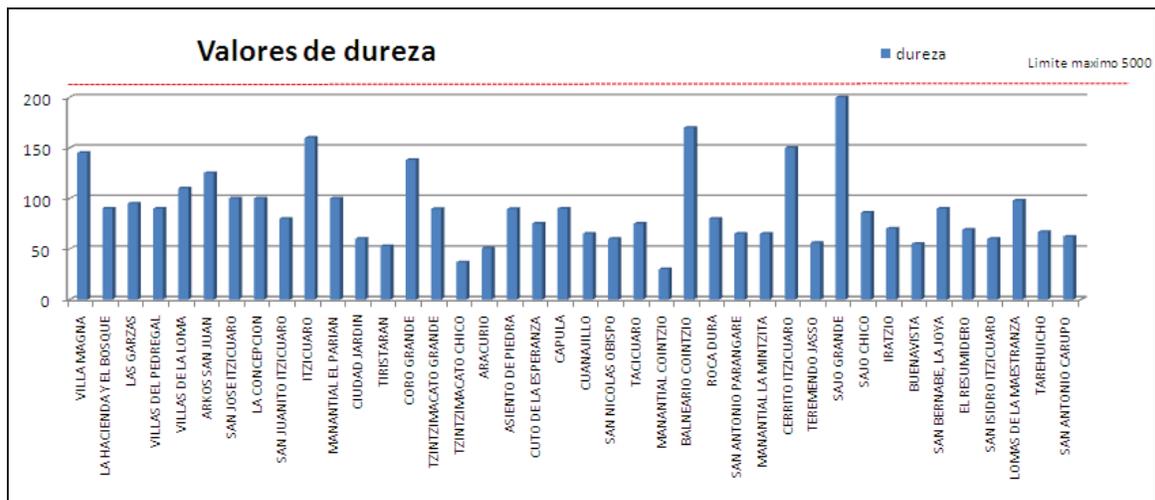


Fig. 58.- Valores de dureza.

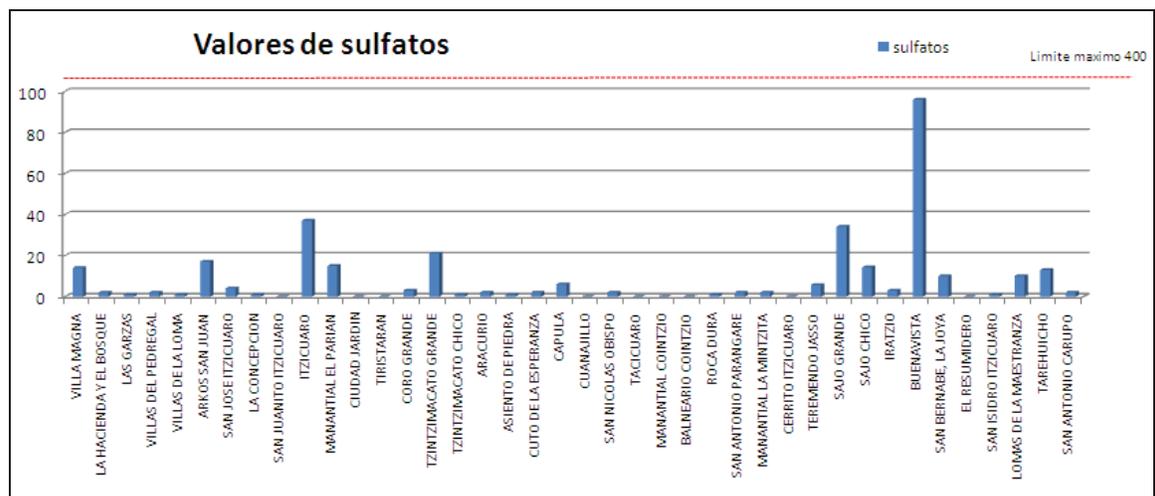


Fig. 59.- Valores de sulfatos.





Por otra parte, la campaña 2, si bien muestra resultados semejantes, las variaciones son muy poco significativas por lo cual tomamos en cuenta los resultados iniciales para la elaboración de los mapas de Isolineas, con la particularidad de considerar los datos del aprovechamiento Lomas de la Maestranza para desarrollar los gráficos pues durante la primer campaña no fue posible el acceso para la toma de muestra, a continuación se presentan los valores resultantes de la segunda campaña (tabla 12):

SEGUNDA CAMPAÑA									
Nomenclatura	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Color	Turbiedad	Alcalinidad	Dureza	Sulfatos
		° C	Eléctrica µS/cm	Mg/L	VERDADERO	U.T.N.	Total	Total	Mg/L
limites	6.5 - 8.5	ND	ND	1000	20	5	ND	5000	400
01-ARACURIO-SUB-NP	8.28	20.2	191.2	95.8	0	0.3	78	80	< 10
02-TAREHUIC-SUB-NP	8.1	18.3	228	113.3	17	2	82	102	15.62
03-TZICHICO-SUB-NP	7.89	18.7	173.8	86.4	2	0.2	84	56	< 10
04-TZGRANDE-SUB-NP	7.89	18.7	173.8	86.4	2	0.2	84	56	< 10
05-SACARUPO-SUB-NP	8.03	19.4	222	112.1	5	0.5	104	78	< 10
06-COGRANDE-SUB-NP	8.07	18.9	401	200	6	0.5	192	156	< 10
07-TIRISTAR-SUB-NP	7.91	22.4	153.4	71	3	0.6	82	70	< 10
08-ASPIEDRA-SUB-NO	8.09	18.1	238	117.3	3	0.45	122	106	< 10
09-RESUMIDE-SUB-NO	8.1	19.4	235	116.7	1	0.25	104	80	< 10
10-TERJASSO-SUB-NP	8.09	22.2	126.8	63.6	24	2.5	60	64	< 10
11-SAGRANDE-SUB-NP	7.71	21.2	381	18.5	14	1	112	170	24.88
12-SAJCHICO-SUB-NP	8.24	19.1	196.1	98.4	35	4.1	76	90	12.18
13-BUENAVIS-SUP-SP	8.35	18.1	108.7	54.5	51	6	54	68	< 10
14-IRATZIO-SUB-SP	8.36	18.3	181.9	90.9	16	1.9	88	80	< 10
15-SBERNABE-SUB-SP	8.15	20.6	198.5	99	8	0.45	92	94	< 10
16-CAPULA-SUB-SP	8.31	20.1	328	164.3	2	0.3	110	126	< 10
17-TACICUAR-SUB-SO	8.29	20.4	270	135.1	2	0.3	136	74	< 10
18-CESPERAN-SUB-NO	8.18	20.2	197.8	99.6	2	0.5	90	78	< 10
19-LMAESTRA-SUB-SO	8.52	18.3	387	193.7	8	1.3	164	98	< 10
20-VILMAGNA-SUB-SO	7.49	19.5	225	113.4	3	0.6	110	82	< 10
21-CUANAJIL-SUB-SO	8.12	20	186.9	93.1	13	2	80	74	< 10
22-SNICOLAS-SUB-SO	7.59	19.1	169.4	84.1	24	2.6	82	78	< 10
23-LHACIEDA-SUB-SO	7.36	19.3	215	107.1	9	6.9	106	88	< 10
24-LAGAZAS-SUB-SO	6.42	7.8	266	123	0	0.16	110	95	< 10
25-CONCEPCI-SUB-SO	7.4	19.2	248	123.5	13	1.1	114	84	< 10
26-SJOITZIC-SUB-SO	8.31	20.1	244	120	0	0.35	120	88	< 10
27-VPEDREGA-SUB-SO	7.47	19.5	234	117.3	12	1.4	116	80	< 10
28-VILLLOMA-SUB-SO	8.31	20.5	247	122	0	0.3	122	88	< 10
29-ARKSJUAN-SUB-SO	8.4	20.2	253	124.7	0	0.3	120	90	< 10
30-ITZICUAR-SUB-SO	8.15	18.9	283	146.1	106	6.9	138	100	< 10
31-CITZICUA-SUB-SO	7.77	19.1	446	222	24	0.4	216	126	< 10
32-ROCADURA-SUB-SO	7.78	20.6	171.8	86.1	13	3.2	80	72	< 10
33-BCOINTZI-SUP-SO	7.78	21.1	183.6	91.2	13	1.6	98	68	< 10
34-MINTZITA-SUP-SO	7.63	20.5	169.5	84.8	16	4	82	76	< 10
35-SAPARANG-SUP-SO	8.2	19.1	182.5	91.8	17	2.2	80	80	< 10
36-COINTZIO-SUP-SO	7.58	18.9	292	142.6	0	0.25	160	96	< 10
37-ELPARIAN-SUP-SO	8.17	20.2	371	185.2	8	1	132	92	13.06
38-SIITZICU-SUB-SO	8.16	22	358	180.4	8	2.1	140	90	12.33
39-CIJARDIN-SUB-SO	7.82	22.1	196.2	97.8	3	0.95	104	52	< 10
40-SJUITZIC-SUB-SO	7.49	19.1	370	185	1	0.3	156	82	< 10

Tabla 12.- Resultados de análisis de muestras acuosas, campaña 2.





A continuación en la tabla 13, de interpretación de resultados obtenidos en laboratorio, para las muestras acuosas de la región Morelia-Capula:

Clasificación en parámetros físico-químicos de muestras acuosas. “Caso de Estudio Acuífero Morelia-Capula” Campaña de estiaje y lluvia.				
Parámetro	Categorización			Observaciones
	Adecuado	Regular	Desfavorable	
Potencial de Hidrógeno (Ph)	7 – 7.5	7.5 – 8.5 básico 6.5 – 7.0 ácido	< 6.5 > 8.5	La norma establece valores óptimos de consumo aquellos entre 6.5 – 8.5, considerando a hacia ambos valores se establecieron los rangos estimados como adecuados
Temperatura (°C)	11 - 19	8 – 11 19 - 22	< 8 fría > 22 caliente	Las aguas frías y calientes les asignamos color rojo sin embargo la norma no establece límites, ya que es posible ingerir todas las aguas
Conductividad Eléctrica (µS)	0 - 250	250 - 450	> 450	Se clasificó en función de la proporcionalidad con los sólidos disueltos, pues un agua con alto contenido de minerales puede ser difícil de ingerir (el agua de mar contiene 5 S/m y el óptimo para consumo humano es entre 0.005 - 0.05 S/m)
Sólidos Disueltos Totales (Mg/L)	0 - 200	200 - 300	> 300	Aunque la especificación contempla 1,000 Mg/L, hemos aplicado tres categorías en función de los valores arrojados por el laboratorio a fin de ubicar los más altos y tenerlos en observación
Color Verdadero (Unidades en la escala Pt-Co)	0 - 15	15 – 20	> 20	Teniendo el umbral de 20 unidades como desfavorable para el consumo humano, establecimos 3 rangos que sirven de control teniendo valores entre 15 – 20 como sensibles a salir de la norma
Turbiedad (U.T.N)	0- 4	4 - 5	> 5	Considerando contar con un rango que ponga de manifiesto la susceptibilidad y riesgo de sobrepasar el umbral establecido en norma, se propuso establecer los límites 4 – 5 como vulnerables
Alcalinidad Total	0 -100	100 - 200	> 200	En función de los valores obtenidos del análisis a todas las muestras durante las 2 campañas, se definieron las clasificaciones aplicables para indicadores
Dureza Total	0 -100	100 - 200	> 200	A pesar de que los valores calculados no superan los 5,000 que la norma establece, se optó por considerar como de cuidado aquellos por arriba de los 200 y entre los 100 – 200 como susceptibles
Sulfatos (Mg/L)	0- 10	10 - 20	> 20	Siguiendo la tendencia adoptada para los parámetros anteriores, se decidió manejar tres umbrales aplicables para valores estimados como adecuados (verde), susceptible (amarillo) y cuestionable o de cuidado (rojo). Lo anterior independientemente de que los resultados cumplan con la normatividad

Tabla 13.- Indicadores de Calidad según parámetro evaluados.





Adicionalmente, utilizando resistivímetro de 300 m en campo, se midieron los niveles de operación de los aprovechamientos subterráneos en cuestión (nivel estático y nivel dinámico), obteniendo los siguientes resultados (tabla 14):

NIVELES DE OPERACION			
Nomenclatura	Abatimiento	Nivel Estático	Nivel Dinámico
01-ARACURIO-SUB-NP	31	35	66
02-TAREHUIC-SUB-NP	39	38	77
03-TZICHICO-SUB-NP	19	83	102
04-TZGRANDE-SUB-NP	21	81	102
05-SACARUPO-SUB-NP	35	49	84
06-COGRANDE-SUB-NP	23	79	102
07-TIRISTAR-SUB-NP	27	78	105
08-ASPIEDRA-SUB-NO	15	77	92
09-RESUMIDE-SUB-NO	35	52	87
10-TERJASSO-SUB-NP	4	79	83
11-SAGRANDE-SUB-NP	11	83	94
12-SAJCHICO-SUB-NP	14	80	94
13-BUENAVIS-SUP-SP	CAPTACION SUPERFICIAL		
14-IRATZIO-SUB-SP	16	77	93
15-SBERNABE-SUB-SP	12	79	91
16-CAPULA-SUB-SP	24	76	100
17-TACICUAR-SUB-SO	11	61	72
18-CESPERAN-SUB-NO	19	88	107
19-LMAESTRA-SUB-SO	33	52	85
20-VILMAGNA-SUB-SO	23	83	106
21-CUANAJIL-SUB-SO	16	77	93
22-SNICOLAS-SUB-SO	14	65	79
23-LHACIEDA-SUB-SO	30	78	108
24-LAGARZAS-SUB-SO	7	42	49
25-CONCEPCI-SUB-SO	25	79	104
26-SJOITZIC-SUB-SO	17	55	72
27-VPEDREGA-SUB-SO	27	51	78
28-VILLLOMA-SUB-SO	24	56	80
29-ARKSJUAN-SUB-SO	19	61	80
30-ITZICUAR-SUB-SO	14	62	76
31-CITZICUA-SUB-SO	16	54	70
32-ROCADURA-SUB-SO	9	7	16
33-BCOINTZI-SUP-SO	MANANTIAL		
34-MINTZITA-SUP-SO	MANANTIAL		
35-SAPARANG-SUP-SO	MANANTIAL		
36-COINTZIO-SUP-SO	MANANTIAL		
37-ELPARIAN-SUP-SO	MANANTIAL		
38-SIITZICU-SUB-SO	56	56	112
39-CIJARDIN-SUB-SO	18	68	86
40-SJUITZIC-SUB-SO	34	20	54

Tabla 14.- Niveles de operación en fuentes de abastecimiento humano.





A continuación se presentan los mapas y modelos correspondientes a la primer campaña de muestreos a partir de los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos.

En ellos se observan las tendencias en cuanto a áreas de influencia espacial de cada uno de los parámetros examinados; en ellos se aprecian las zonas de valores extremos.

Las diferencias entre periodos de muestreo no son considerables y guardan cierta similitud en cuanto al comportamiento de las concentraciones de cada parámetro, por lo anterior, solo se presenta un gráfico por parámetro, el cual representa la condición de mayor valor.

IX.1 Parámetros Físicos

Turbiedad, indicador que relaciona el grado de transparencia y limpieza del agua, depende de la cantidad de sólidos en suspensión y puede deberse a posible actividad biológica o presencia de componentes no deseables.

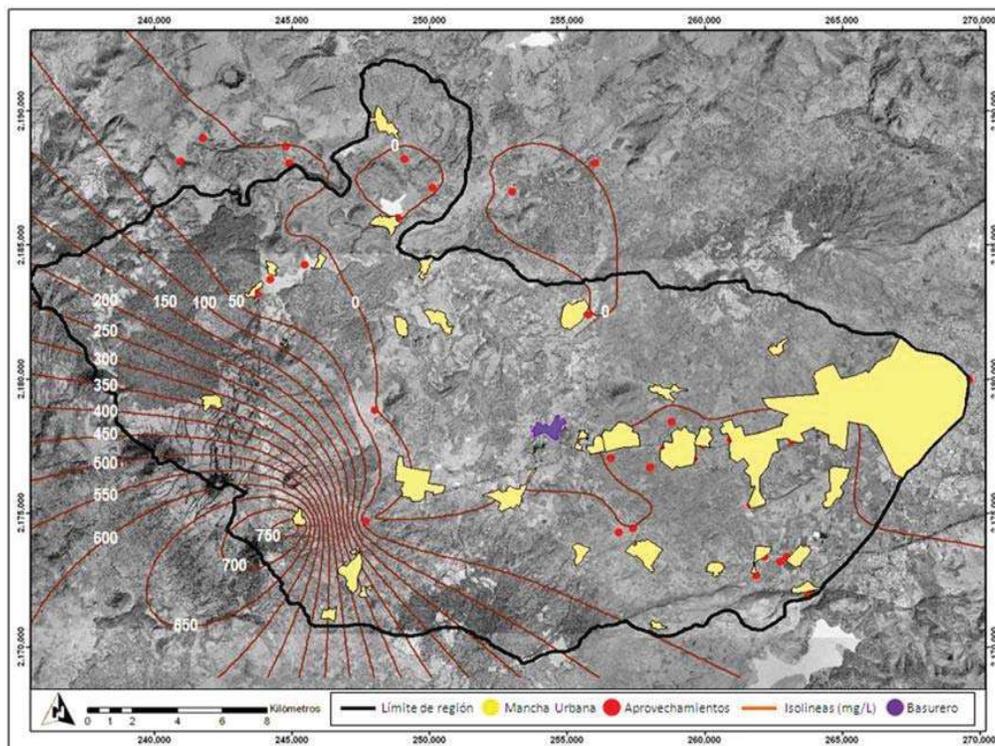


Fig. 60.- Mapa de Isolíneas de turbidez.

De la observación, se deduce que el acuífero en las zonas de Sajó Chico, El Resumidero y Tarehuicho, presentan problemas de turbidez, además de que se trata de comunidades marginadas. El aprovechamiento de Buenavista, por ser superficial y no contar con medidas precautorias que atenúen el ingreso de partículas a la olla de captación, muestra valores extremadamente altos, muy por arriba de lo establecido en la norma vigente. Debido a que la





geología de la región, en las zonas mencionadas es prácticamente la presencia de conos cineríticos con su consecuente producción de suelos altamente erosionables y de partículas pequeñas de fácil transporte ya que se trata de limos y cenizas volcánicas.

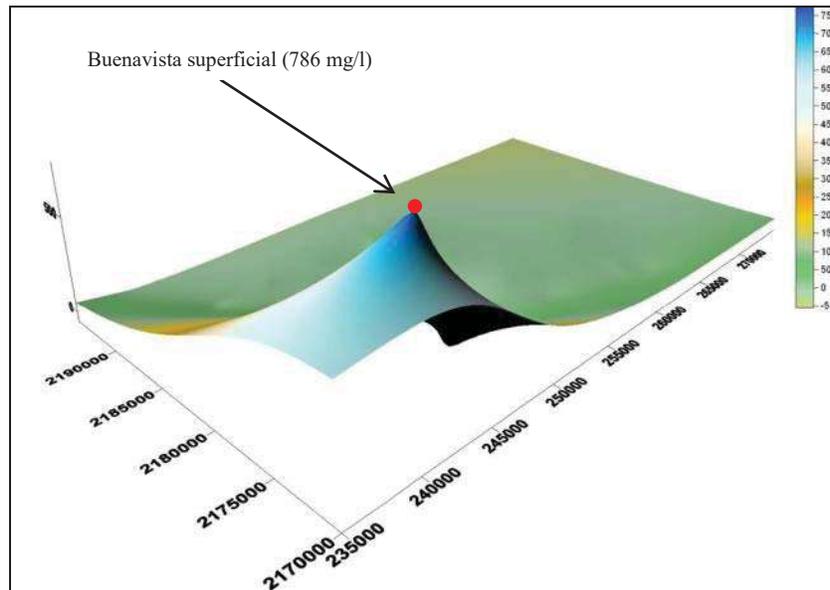


Fig. 61.- Modelo de comportamiento de turbidez.

Sólidos Disueltos Totales, partículas que se encuentran en un medio acuoso, su determinación es función del filtrado a través de una membrana con poros de $2.0 \mu\text{m}$, éste parámetro se relaciona directamente con el grado de mineralización del agua, derivado de la acción de disolver estructuras con el flujo subterráneo.

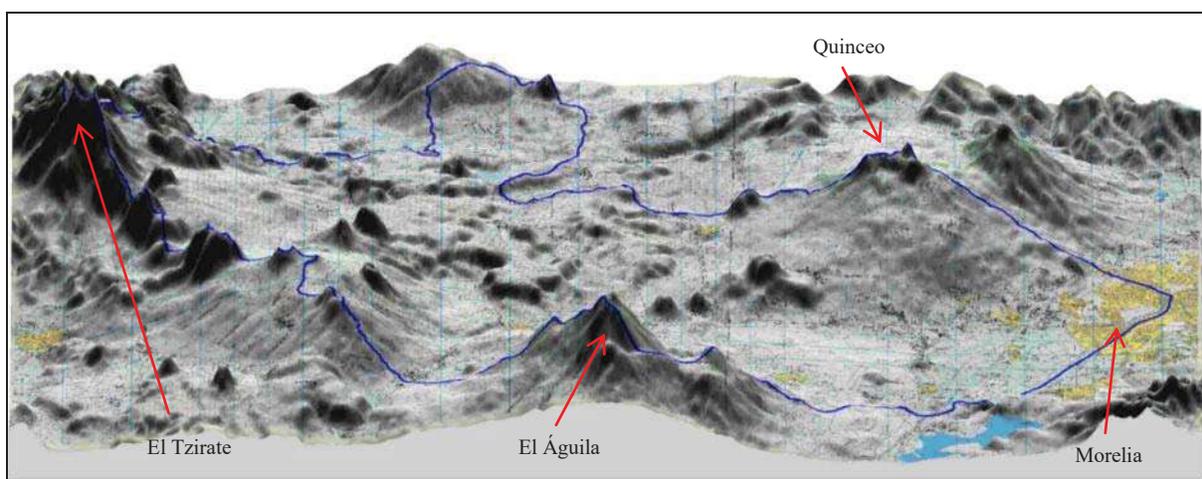


Fig. 62.- Perfil oriente-poniente de la región Morelia-Capula.

Los SDT guardan relación al interior del acuífero con la configuración topográfica del terreno (figura 62).





Las partículas transportadas se llegan a generar producto de la erosión en zonas altas, pendientes pronunciadas o zonas de cárcavas y materiales granulares de diámetros pequeños, mismas que infiltran al acuífero teniendo como medio de transporte el agua, por lo que en las cercanías a los aparatos volcánicos, los valores de concentraciones presentan un incremento considerable respecto al comportamiento del resto de la región.

Como se observa en la figura 63, de sobreposición de mapas temáticos, más que puntos de confluencia entre parámetros, se aprecian zonas marcadas de influencia evidente, sobre todo al nor-poniente posiblemente debido a las altas pendientes (ver figura 22) con valores superiores a 25 de pendiente, e incluso en los límites de la región con valores mayores a 45 de pendiente. Respecto a las concentraciones de sólidos disueltos totales, el valor mayor (Sajo Grande) con 340 mg/L asociados a una turbidez de 1.2 UTN, mientras que en Buenavista se registraron 242 mg/L y el máximo de turbidez (786 UTN). La presencia de valores elevados de sólidos en suspensión se atribuye a zonas rurales, posiblemente derivado de la mínima protección de las fuentes y no tanto por el transporte de minerales a nivel de subsuelo. Los feldespatos (silicoaluminatos de calcio, sodio y potasio) son minerales presentes en las rocas ígneas, cuando la alteración química los ataca, los remueve, razón por la cual existen concentraciones altas de sólidos disueltos en sitios donde existe la presencia de rocas ígneas.

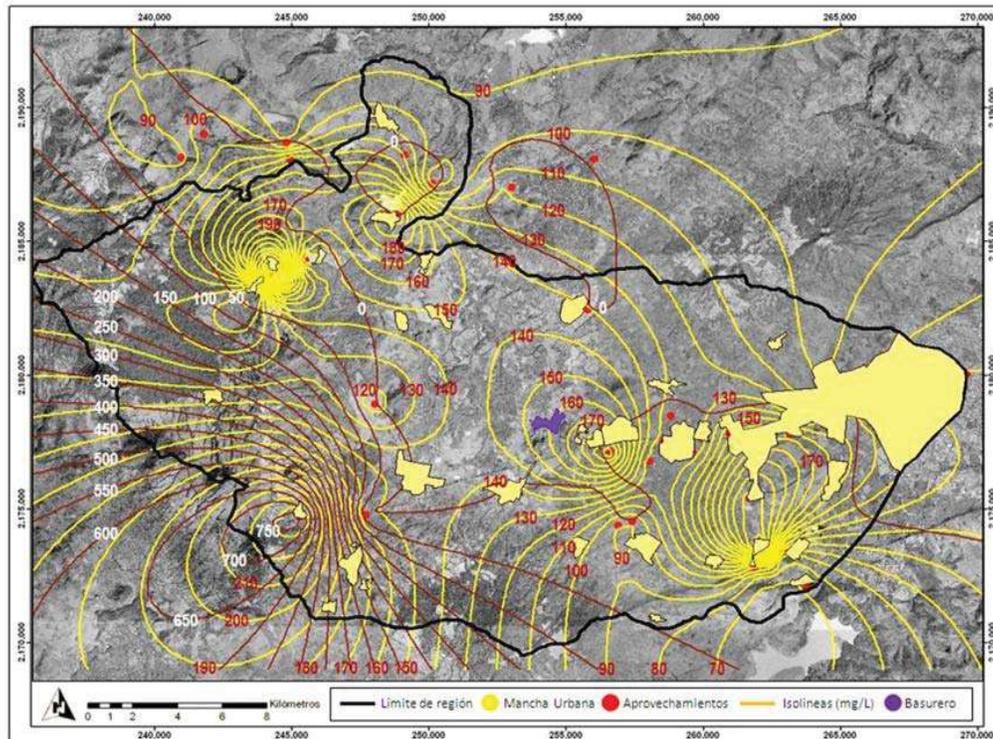


Fig. 63.- Mapa de Isocóncas de sólidos disueltos totales en color amarillo y turbidez en color rojo.

En la zona urbana la presencia de sólidos disueltos totales es menor a las áreas rurales, mientras que al poniente las concentraciones se incrementan, como se verifica en la figura 64.



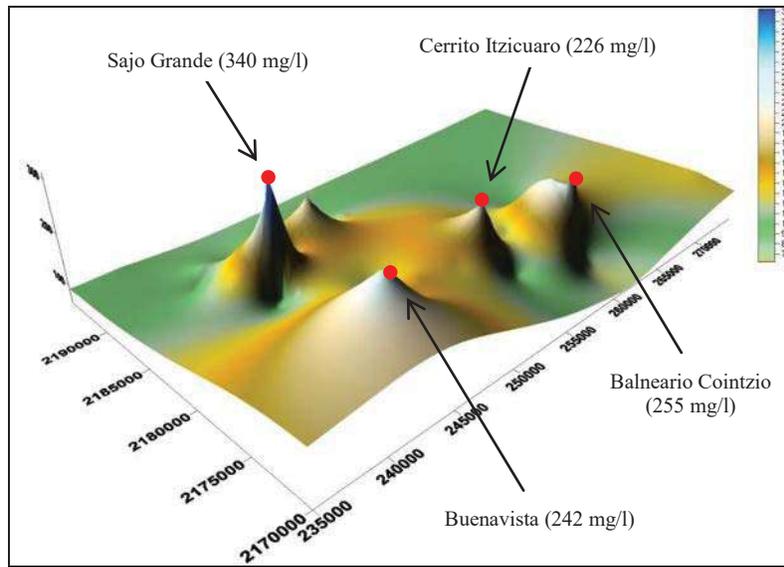


Fig. 64.- Modelo de comportamiento de sólidos disueltos totales.

Color, causado normalmente por la presencia de hierro y manganeso coloidal en solución, además del contacto con desechos orgánicos.

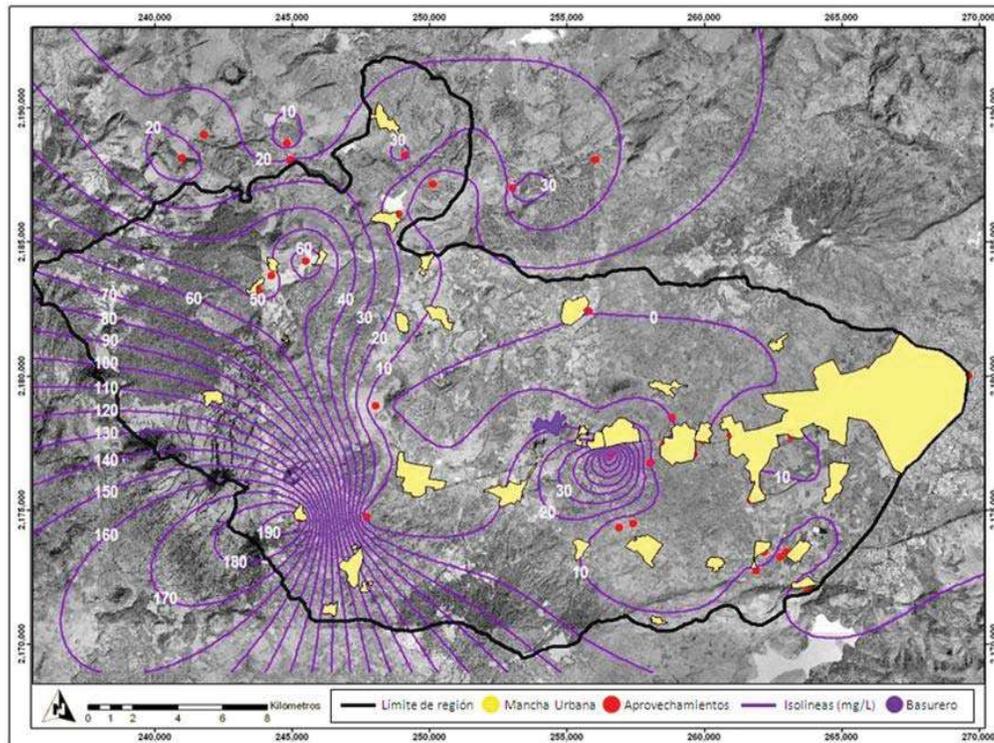


Fig. 65.- Mapa de Isolinias de color.





Los valores más altos se observa en la zona aledaña al tiradero de Morelia, aunque las líneas de igual valor se presentan alcanzando también la zona urbana (figura 65 y 66). En el caso de los aprovechamientos de Villa Magna, Tzintzimatato Grande, Teremendo Jasso, Sajo Grande, Sajo Chico, Buenavista (superficial), El resumidero, Tarehuicho y San Antonio Carupo; los valores de color son altos. Podemos afirmar que en el vector de crecimiento urbano no se tiene problema por niveles elevados de color, lo que garantiza una dotación de calidad para los asentamientos ubicados desde la confluencia del río Chiquito con el río Grande y hasta la salida a Quiroga en los fraccionamientos de reciente creación.

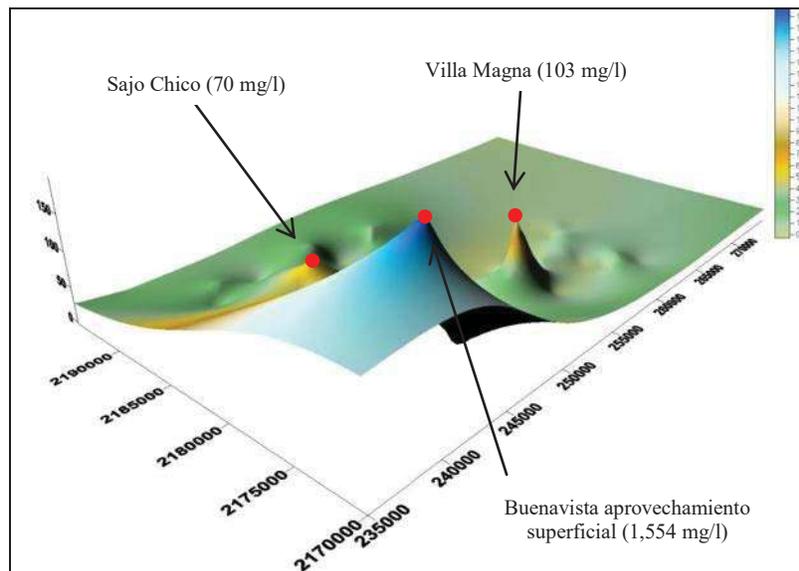


Fig. 66.- Modelo de color.

En lo que respecta al aprovechamiento Buenavista, al ser una hoya de captación superficial, el valor es elevado pero se debe a la falta de protección de la estructura tanto al fondo a través de algún tipo de geomembrana como en el exterior por no contar con techumbre; en el caso de Villa Magna, los valores se asocian mas a la actividad antrópica.

La **Temperatura** en un acuífero es un indicador del tipo de flujo, ya sea regional o local; los lixiviados que se generan por la descomposición de residuos sólidos depositados incrementan la temperatura de los mantos freáticos.

La interpretación de la figura 67, destaca la existencia de una línea divisoria imaginaria que nos indica presumiblemente orígenes distintos del recurso hídrico. Temperaturas elevadas (superior izquierda de la figura 68) corresponden a flujos regionales limitados por estructuras geológicas que se encuentran en la parte alta de la región, mientras que las temperaturas menores se registraron en la superficie restante. Dicho comportamiento se atribuye a que el agua se extrae de un flujo local emergiendo a través de manantiales.



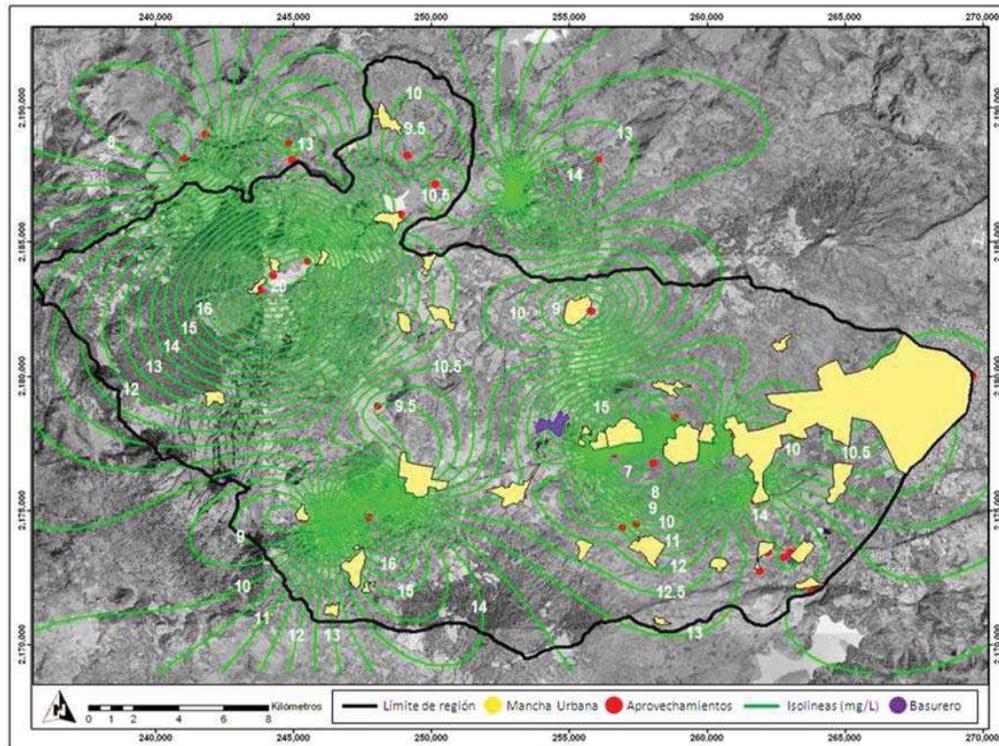


Fig. 67.- Mapa de Isolinias de temperatura.

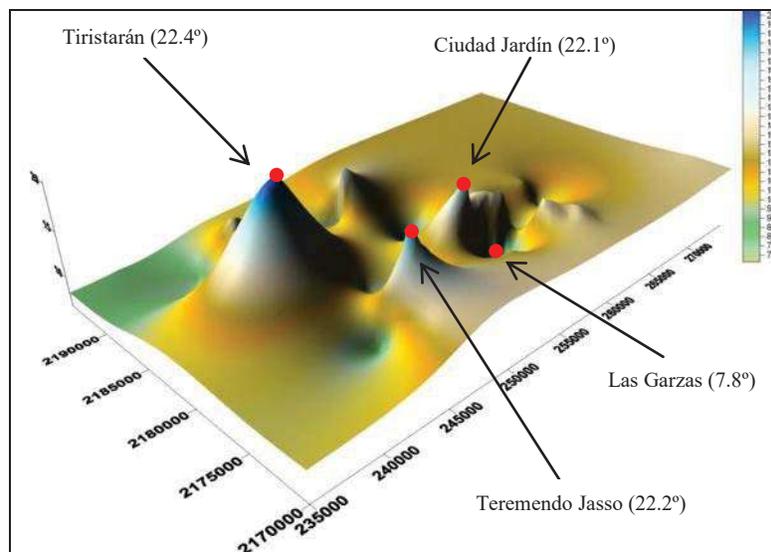


Fig. 68.- Modelo de comportamiento de temperatura.

Los manantiales de (Cointzio, Mintzita y Parían), se asocian a niveles freáticos más someros. Un acuífero más profundo y muy posiblemente con gran potencial de explotación se encuentra en la zona de productos volcánicos que conforman niveles de terreno. En cuanto a las diferencias registradas de temperaturas entre las dos campañas, se deben a los horarios en que se tomaron las muestras en campo.





La tectónica activa del área condiciona la distribución del flujo de calor y la estratigrafía, asimismo, las fallas asociadas controlan el movimiento del agua subterránea.

La **Conductividad Eléctrica** es un parámetro para el cual las normas oficiales no contemplan un límite máximo.

Los aprovechamientos más asociados a acuíferos con condiciones de hidrotermalismo alineados al sistema de fallas E-W son: Balneario Cointzio y Buenavista (superficiales) y Cerrito Itzicuaro, Itzicuaro, Coro Grande y Villa Magna. Por lo anterior, se deduce una gran heterogeneidad en cuanto a las áreas de influencia de las líneas de valores iguales y por lo tanto, la no existencia de un patrón definido de comportamiento de los acuíferos.

En cuanto a los resultados obtenidos de las dos campañas, las concentraciones encontradas son similares a excepción de los aprovechamiento superficiales de Buenavista y Balneario Cointzio con diferencias significativas del orden de los $376.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $326.4 \mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Posiblemente debido a la forma de colecta de muestra.

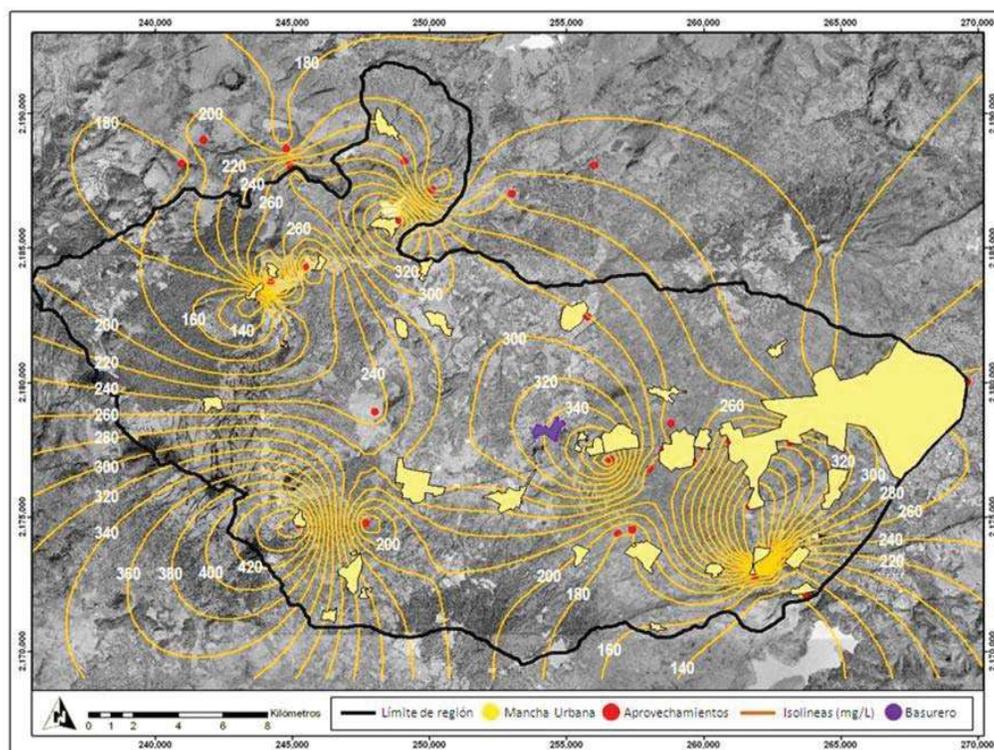


Fig. 69.- Mapa de Isolneas de conductividad eléctrica.

Las zonas con mayor presencia en cuanto a concentraciones de valores de conductividad son: las faldas del aparato volcánico El Águila y las cercanías al tiradero municipal.



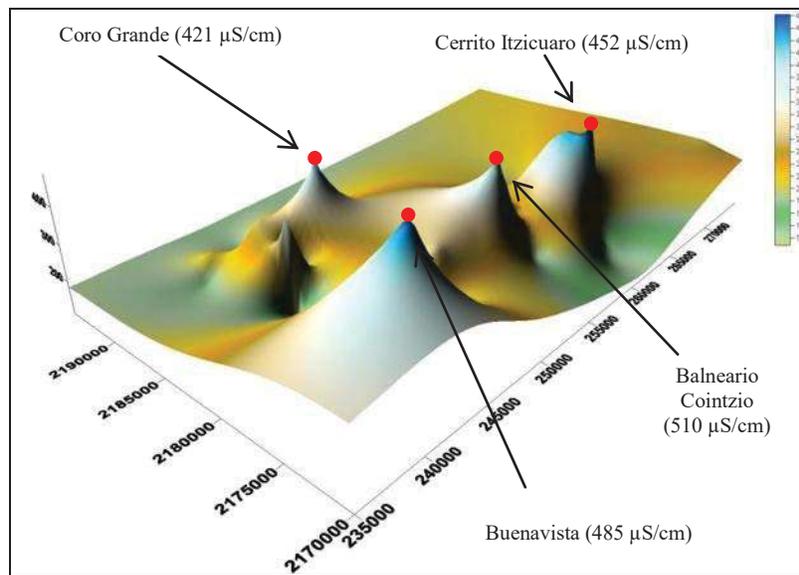


Fig. 70.- Modelo de comportamiento de conductividad eléctrica.

Sulfatos, la zona cercana al depósito de residuos sólidos no presenta valores elevados, sin embargo se aprecia un comportamiento similar a la conductividad eléctrica (figura 71), en cuanto a la dirección de amplitud de cada parámetro y de igual forma, un decremento en sus valores registrados conforme la distancia se hace mayor.

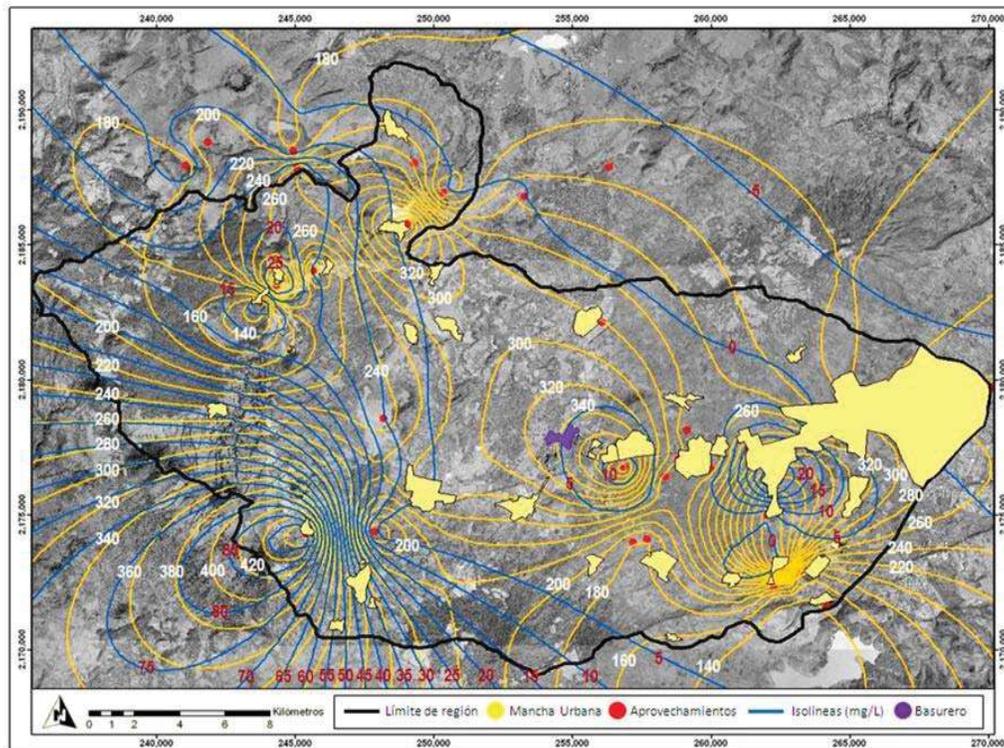


Fig. 71.- Mapa de Isolinias de sulfatos (azul) y conductividad eléctrica (amarillo).





Los sulfatos se encuentran naturalmente en las aguas en un amplio intervalo de concentraciones así como también pueden proceder de la presencia de vertidos de aguas residuales, industriales y el uso de fertilizantes agrícolas, por lo que se presentan mayores concentraciones en la zona rural de la región, debido sobre todo a la vocación y uso del suelo.

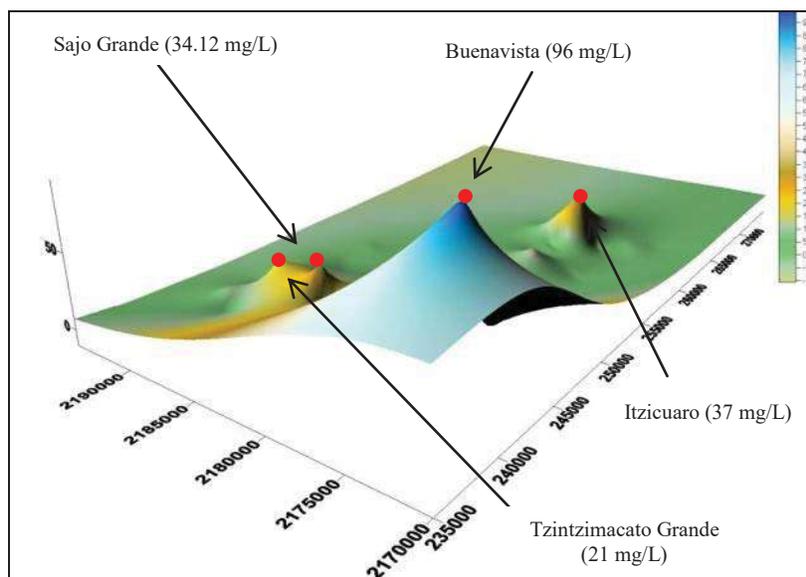


Fig. 72.- Modelo de comportamiento de sulfatos.

Las concentraciones en ambas campañas de monitoreo en la mayoría de los aprovechamientos se mantienen por abajo de los 10 mg/L, mientras que en las fuentes con valores superiores presentan ligeras variaciones, pero conservan en términos generales las zonas de influencia (no urbanizadas y de vocación agrícola).

IX.II Parámetros Químicos

Dureza, indicador de la medida de consumo de jabón (detergente), la cual puede ser considerada problemática cuando excede valores de 50 mg/L.

Del total de los aprovechamientos, el 85% se encuentra por debajo de los 120 mg/L, lo que de acuerdo a la clasificación de dureza se conoce como agua entre buena y de uso no objetable.

Se observa mayor presencia en lugares de asentamientos humanos (figuras 73 y 74) y sobre todo en la zona de balnearios, causado por el uso constante de jabones en los centros recreativos.

En cuanto a la influencia del tiradero en este parámetro, no se le asocia ningún tipo de relación que condicione las características del acuífero.



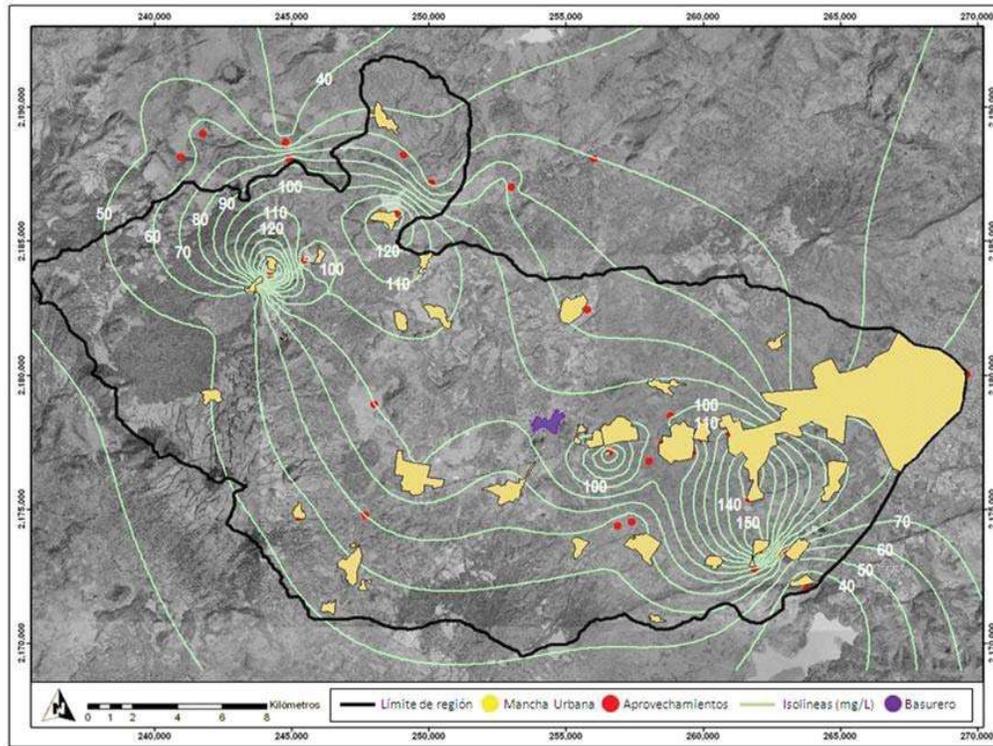


Fig. 73.- Mapa de Isolinias de dureza.

Con valores de 200 mg/L (Sajo Grande), 170 mg/L (Balneario Cointzio), 160 mg/L (Itzicuario), 150 mg/L (Cerrito Itzicuario), por mencionar los aprovechamientos con las mayores concentraciones; se observa en la figura 74 la presencia de actividades antrópicas y por ende aguas consideradas duras.

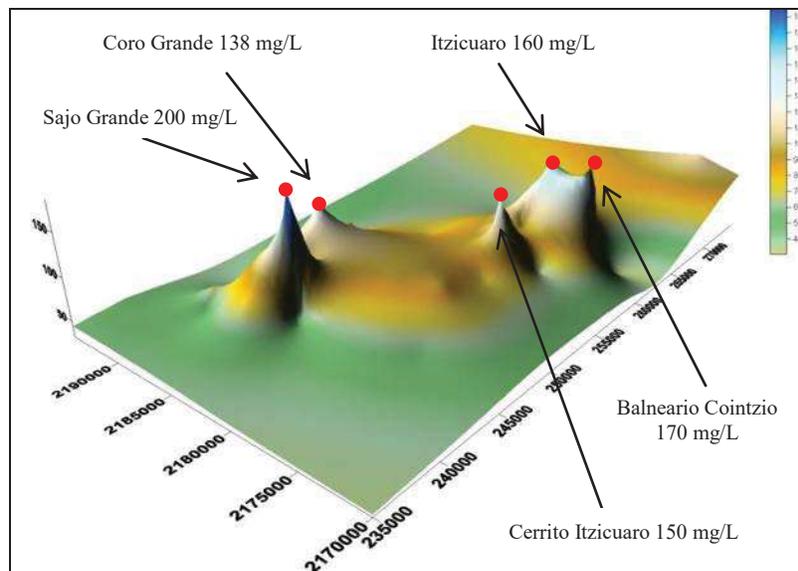


Fig. 74.- Modelo de comportamiento de dureza.





Las variaciones entre valores de campañas son mínimas y se conservan los sitios con presencia notable de aguas duras.

Alcalinidad, medida conocida como capacidad de neutralizar ácidos (condición distintiva de los sitios de depósito de residuos sólidos producto de la descomposición de los mismos).

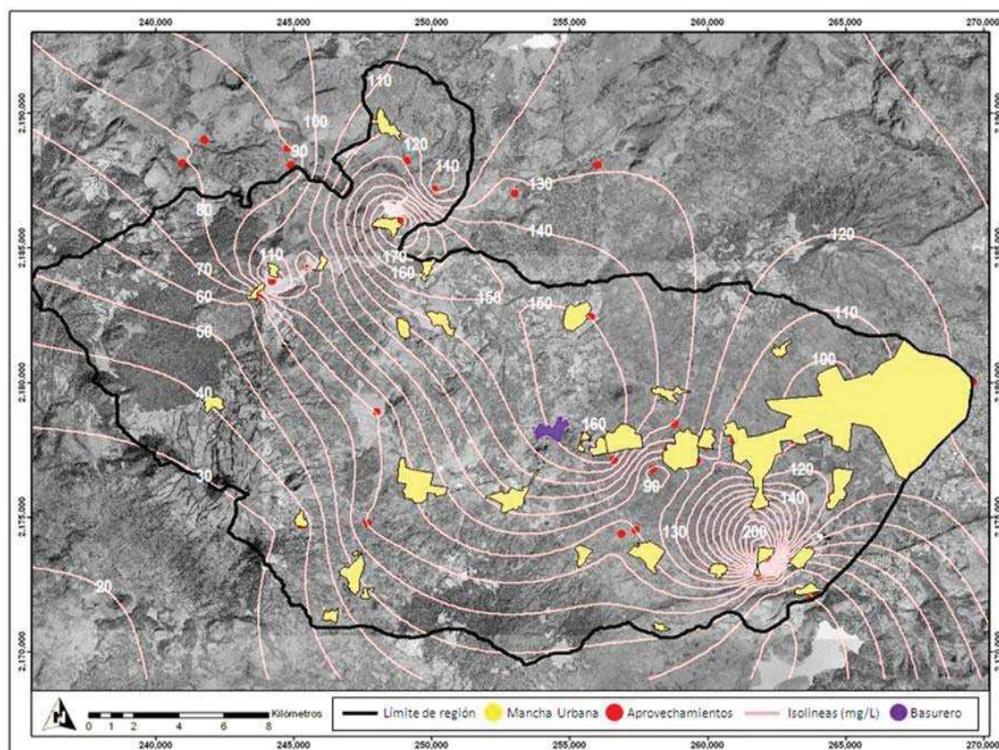


Fig. 75.- Mapa de Isolíneas de alcalinidad.

Los aprovechamientos que mayores valores de Alcalinidad (figuras 75 y 76) presentaron fueron: Balneario Cointzio con 260 mg/L (superficial) y Coro Grande con 210 mg/L (subterráneo), ubicados en sitios opuestos uno del otro; pero en los límites del área cada uno (sureste y noroeste respectivamente).

Respecto a diferencias considerables entre campañas de muestreos, únicamente para los casos de Balneario Cointzio, se registraron 260 mg/L y 98 mg/L y Cointzio con 50 mg/L y 160 mg/L; para la primera y segunda campaña respectivamente; mientras que para el resto de los aprovechamientos monitoreados, los valores de concentración se mantuvieron relativamente iguales, con variaciones no mayores a los 60 mg/L.

En las cercanías del tiradero no se observan datos elevados en cuanto a concentraciones de alcalinidad que pudieran estar asociadas a la presencia y disposición de residuos sólidos.



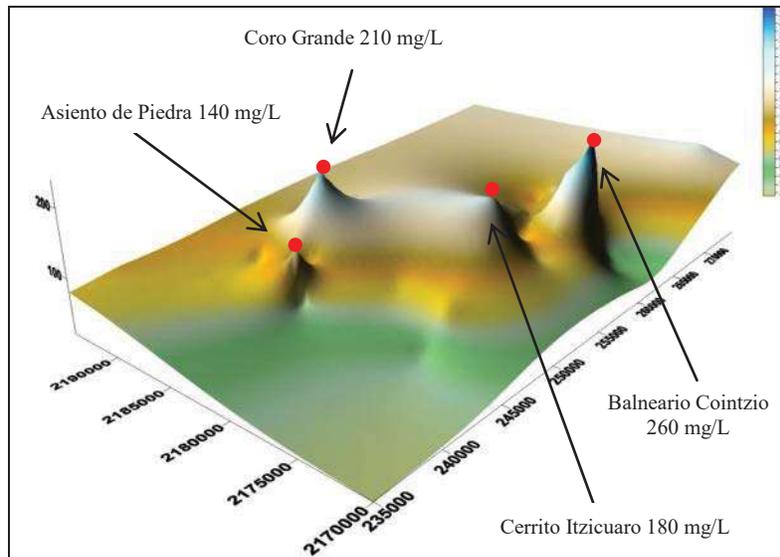


Fig. 76.- Modelo de comportamiento de alcalinidad.

Potencial de Hidrógeno, indica la condición de acidez de la solución (agua); a pesar de que el común denominador es que, en aguas subterráneas se encuentre balanceado (valor de 7), se encontraron aprovechamientos que no cumplen con ésta premisa y dichas fuentes están relativamente cercanas al sitio de depósito de residuos sólidos de la ciudad de Morelia.

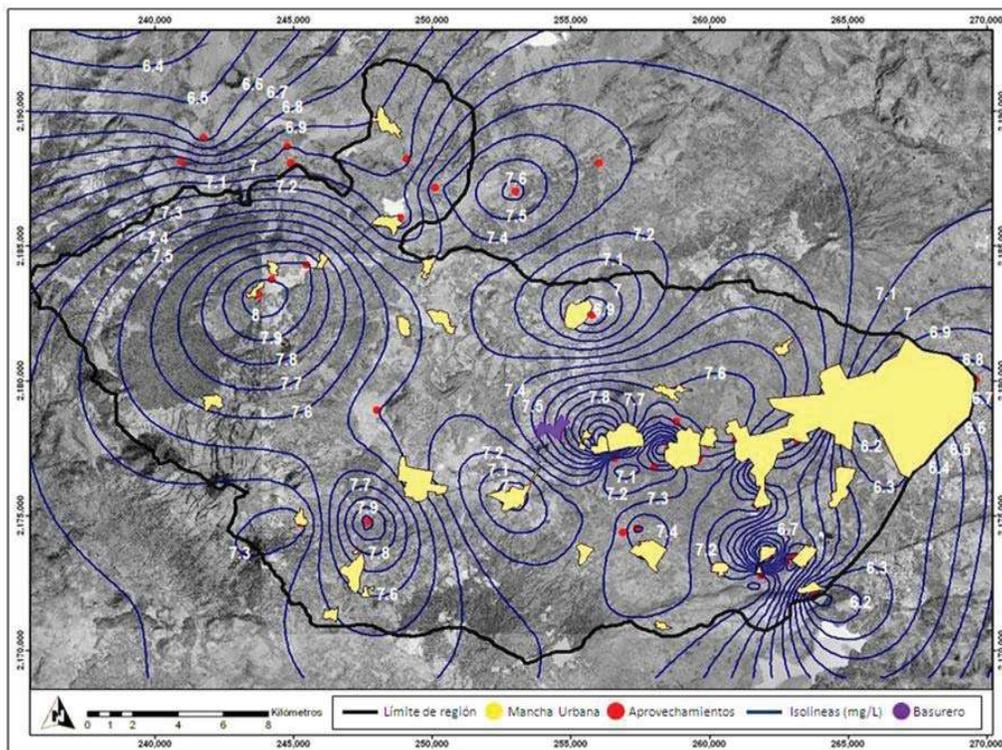


Fig. 77.- Mapa de Isolinias de potencial de hidrógeno.





El caso del pozo Lomas de la Maestranza es muy particular pues su pH es más bien alcalino y su cercanía relativa al tiradero es pequeña y no se observa afectación o congruencia con la relación de ubicación del tiradero.

Lo anterior, quizás se deba a que se trate de diferentes flujos subterráneos pues los niveles de operación registrados difieren cerca de 25 metros, es decir, el aprovechamiento en cuestión se alimenta de un acuífero superior al de los siguientes aprovechamientos: Villas del Pedregal, San Juanito Itzicuaró, Manantial Cointzio y Balneario Cointzio (con valores registrados inferiores a 6.5), adicionalmente, el Balneario Cointzio (pH de 5.77) se asocia al mayor porcentaje de SiO₂ debido a su proximidad con rocas ácidas (riolitas e ignimbritas) mientras que las rocas basálticas y andesítica presentan porcentajes más bajos de sílice por ser básicas y por consecuencia valores altos de potencial de hidrógeno (Iratzio, Sajo Grande y Teremendo Jasso con valores de 8.09, 8 y 8.09 respectivamente), lo que indica también una mayor concentración de sales.

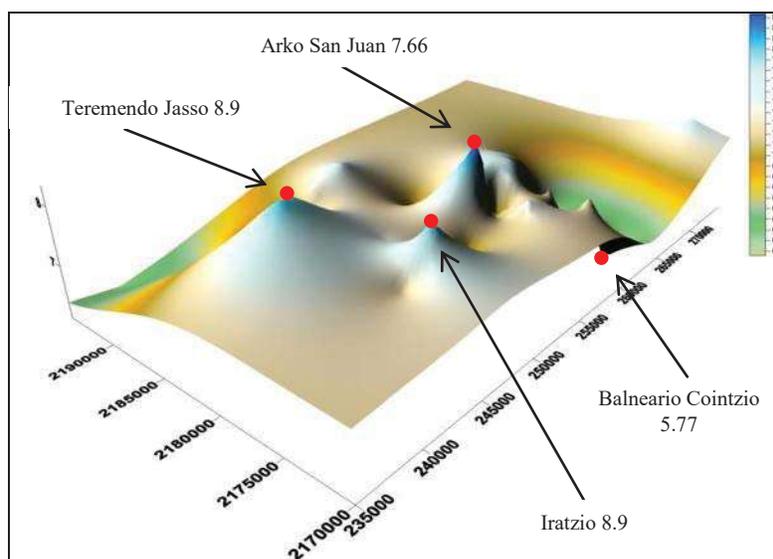


Fig. 78.- Modelo de comportamiento de potencial de hidrógeno.

Si bien solamente dos fuentes de aprovechamiento (Lomas de la Maestranza y Las Garzas) quedan fuera de los rangos establecidos por la normatividad en ambas campañas de muestreo; otros tres pozos presentaron condiciones irregulares durante los primeros análisis (Balneario Cointzio, Cointzio y San Juanito Itzicuaró) con valores considerados ácidos; condición que no se repitió durante el segundo monitoreo, lo que puede atribuirse al manejo de las muestras.

El resto de los aprovechamientos se mantuvieron dentro de los límites mínimo y máximo con fluctuaciones en sus valores consideradas como normales.





IX.III Isótopos

La deducción de trayectorias y ciclos del agua, fue posible mediante estudios isotópicos; en la figura 79, se aprecian tres agrupaciones, relacionadas al origen del recurso.

Se integran en el grupo I, aquellos aprovechamientos más cercanos a la línea meteórica (trazo que diferencia a las aguas provenientes de precipitación, de aquellas que afloran en forma de manantiales o bien que son extraídas del subsuelo posterior a su infiltración al acuífero); grupo II, fuentes que se caracterizan por ser de niveles freáticos relativamente someros, grandes potenciales de producción, nacimientos en forma de manantiales de elevados volúmenes de agua, adicionalmente, se trata de perforaciones realizadas con anterioridad, ubicadas en la zona de crecimiento urbano denominada anteriormente como vector de desarrollo de la mancha urbana (antiguamente zona rur-urbana), también se logró identificar que son pozos o manantiales que se encuentran en la zona media del escurrimiento natural; el grupo III, concentra las fuentes de reciente construcción, con niveles de operación profundos y ubicados dentro de los límites urbanos, además son aprovechamientos cercanos al punto de descarga del área de estudio (posicionadas aguas abajo).

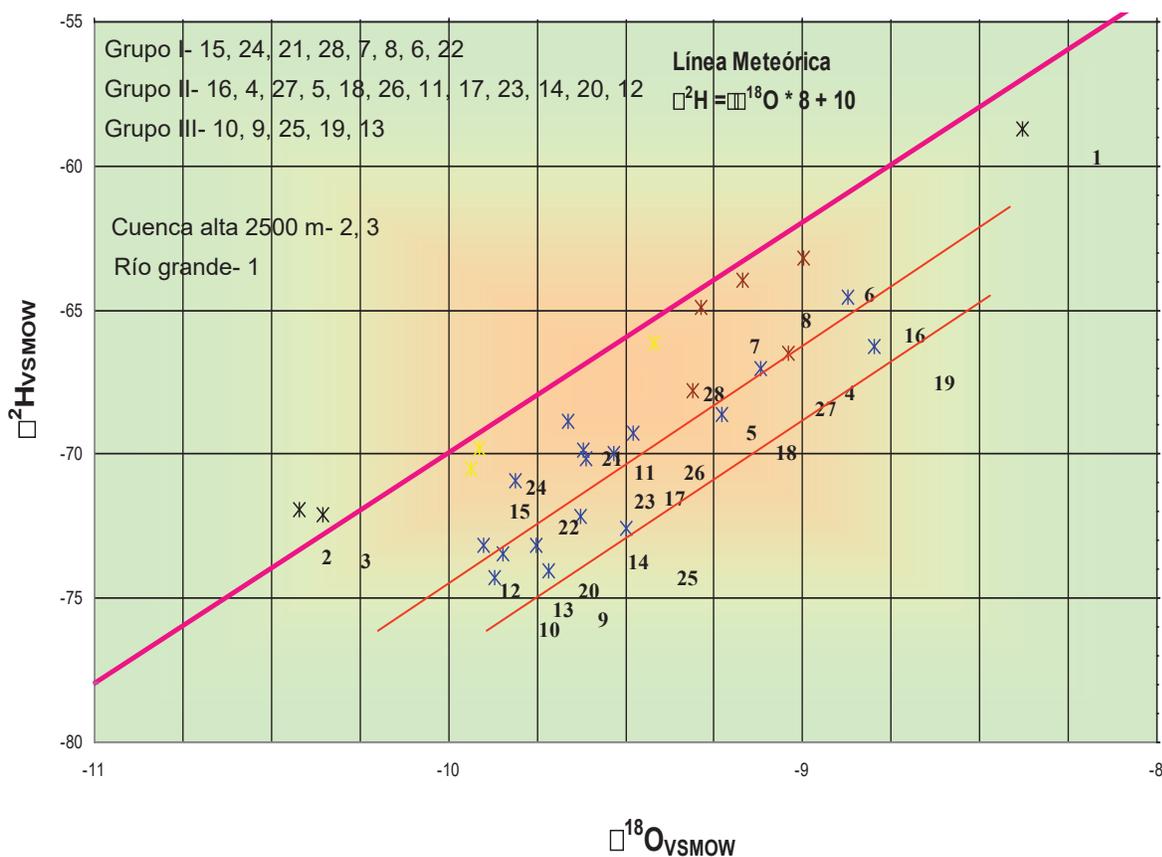


Fig. 79.- Valores Isotópicos.





En la tabla 15, se muestran los valores resultantes interpretados anteriormente en el gráfico, donde el grupo III corresponde a las fuentes topográficamente ubicadas en cotas por arriba de los 2,050 msnm y que además se encuentran al sur del cerro del Quinceo, sin llegar a la vía de comunicación carretera Morelia-Quiroga (línea divisoria del escurrimiento natural efímero principal en la región); otro aspecto a resaltar, es que dichos aprovechamientos ofrecen un recurso que ha mantenido un ciclo y no son recargados directamente por precipitación (seguramente ligado a los pocos escurrimientos existentes y a las pendientes de su localización).

APROVECHAMIENTO	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} (\text{‰})$	$\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}} \text{‰}$	$\delta\text{-excess} [\text{‰}]$
9.- VILLA MAGNA	-9.72	-74.1	3.7
10.- LA HACIENDA Y EL BOSQUE	-9.87	-74.3	4.7
11.- LAS GARZAS	-9.62	-69.8	7.1
12.- VILLAS DEL PEDREGAL	-9.90	-73.1	6.1
13.- VILLAS DE LA LOMA	-9.85	-73.5	5.3
14.- ARKOS SAN JUAN	-9.63	-72.2	4.9
15.- SAN JOSE ITZICUARO	-9.91	-69.8	9.5
16.- SAN ISIDRO ITZICUARO	-8.87	-64.6	6.4
17.- LA CONCEPCION	-9.53	-70.0	6.3
18.- SAN JUANITO ITZICUARO	-9.23	-68.6	5.2
4.- MANANTIAL ITZICUARO	-9.04	-66.5	5.8
5.- MANANTIAL EL PARIAN	-9.31	-67.8	6.7
19.- CIUDAD JARDIN	-8.80	-66.3	4.1
20.- CUTO DE LA ESPERANZA	-9.75	-73.1	4.9
21.- LAS TROJES	-9.66	-68.8	8.5
6.- BUENAVISTA	-9.00	-63.2	8.8
22.- CAPULA	-9.81	-70.9	7.5
23.- SAN BERNABE	-9.61	-70.2	6.7
24.- CUANAJILLO	-9.93	-70.5	9.0
25.- SAN NICOLAS OBISPO	-9.50	-72.6	3.4
26.- TACICUARO	-9.48	-69.3	6.5
7.- COINTZIO	-9.29	-64.9	9.4
8.- MANANTIAL COINTZIO	-9.17	-64.0	9.4
27.- SAN ANTONIO PARANGARE	-9.12	-67.0	5.9
28.- CERRITO ITZICUARO	-9.42	-66.2	9.2
1.- Río Grande	-8.38	-58.7	8.3
2.- Jesús del Monte Afluente	-10.42	-71.9	11.4
3.- Río Pico Azul	-10.35	-72.1	10.7

Tabla 15.- Valores Isotópicos.





IX.IV Metales Pesados

Los valores de concentración encontrados para los elementos traza evaluados para los aprovechamientos de la región Morelia-Capula, se muestran a continuación (tabla 16):

ELEMENTOS TRAZA													
Nomenclatura	Titanio	Vanadio	Manganeso	Hierro	Cobalto	Niquel	Cobre	Zinc	Arsénico	Estroncio	Cadmio	Estaño	Plomo
	Ti	V	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Sn	Pb
Limites (mg/L)													
01-ARACURIO-SUB-NP	0.00871	17.570	0.000	268.80	0.04272	11.330	23.69	0.09012	1.6030	141.60	0.000	0.000	0.00273
02-TAREHUIC-SUB-NP	0.01400	7.198	3.585	527.00	0.15380	15.480	103.50	0.00000	0.5727	246.00	0.000	0.000	0.00246
03-TZICHICO-SUB-NP	0.00877	16.620	0.000	165.30	0.11260	8.398	4.56	1.16600	2.9660	123.70	0.058	0.040	0.00217
04-TZGRANDE-SUB-NP	0.01621	8.695	4.488	501.70	0.18950	21.570	2.1190	0.00000	0.5262	405.40	0.067	0.035	0.00419
05-SACARUPO-SUB-NP	0.011620	3.141	0.553	299.50	0.03306	10.610	6.7990	0.78510	2.0080	122.70	0.000	0.000	0.00917
06-COGRANDE-SUB-NP	0.009139	13.770	1.223	514.60	0.17570	27.660	0.3977	3.21800	0.5585	320.80	0.055	0.034	0.00271
07-TIRISTAR-SUB-NP	0.010280	8.725	1.759	203.20	0.11990	8.680	0.8859	0.47800	0.2047	123.60	0.049	0.044	0.00112
08-ASPIEDRA-SUB-NO	0.009793	14.580	3.015	508.80	0.18130	25.220	0.5329	13.80000	0.8108	255.50	0.061	0.029	0.00349
09-RESUMIDE-SUB-NO	0.007688	21.730	0.000	342.20	0.13450	17.000	10.1300	0.62470	2.5870	99.38	0.095	0.083	0.00191
10-TERJASSO-SUB-NP	0.011850	22.120	1.526	233.40	0.15630	8.696	2.6210	0.00000	0.3996	91.40	0.105	0.074	0.00059
11-SAGRANDE-SUB-NP	0.008855	12.840	0.266	511.90	0.17580	28.010	0.1571	0.67340	0.7226	251.30	0.045	0.017	0.00177
12-SAJCHICO-SUB-NP	0.011260	11.480	2.069	399.00	0.15110	14.920	0.4751	0.67280	0.4043	188.80	0.034	0.010	0.00097
13-BUENAVIS-SUP-SP	0.004422	13.090	0.967	392.70	0.14340	14.390	2.3020	0.05591	0.8361	101.30	0.000	0.000	0.00000
14-IRATZIO-SUB-SP	0.008371	25.990	0.536	340.10	0.06515	12.500	5.2790	0.09014	1.0670	102.30	0.000	0.000	0.00031
15-SBERNABE-SUB-SP	0.007466	28.310	0.000	261.90	0.04746	11.210	58.1600	0.03457	1.0460	132.90	0.555	0.785	0.00000
16-CAPULA-SUB-SP	0.007593	26.110	0.128	410.00	0.09166	16.470	37.5700	0.14400	1.6910	230.40	0.219	0.282	0.00478
17-TACICUAR-SUB-SO	0.009054	0.000	4.249	207.40	0.03685	9.638	44.8900	0.29130	1.1350	115.40	0.000	0.014	0.00085
18-CESPERAN-SUB-NO	0.008761	23.200	1.755	331.30	0.13490	15.200	2.4480	5.91000	2.4800	210.20	0.061	0.037	0.00257
19-LMAESTRA-SUB-SO	0.009555	12.120	4.106	365.10	0.05998	13.570	27.6300	0.00000	4.4230	142.80	0.000	0.000	0.00605
20-VILMAGNA-SUB-SO	0.008349	33.200	0.243	217.10	0.04407	9.847	2.7250	0.03276	1.2270	140.40	0.007	0.000	0.00028
21-CUJANAJIL-SUB-SO	0.009240	21.610	0.123	221.50	0.04233	8.920	7.1680	0.18940	0.9177	120.50	0.000	0.000	0.00455
22-SNICOLAS-SUB-SO	0.010160	19.750	0.851	239.10	0.06962	9.402	1.7440	0.00000	0.6763	123.70	0.000	0.000	0.00006
23-LHACIEDA-SUB-SO	0.008895	40.900	1.970	508.00	0.06418	9.781	9.9080	0.04924	1.1280	152.00	0.000	0.000	0.00797
24-LAGARZAS-SUB-SO	0.008949	39.470	33.950	417.20	0.23050	10.780	16.2200	0.72660	1.7570	133.80	0.374	0.470	0.00455
25-CONCEPCI-SUB-SO	0.007592	37.750	0.743	212.10	0.03251	9.373	5.7420	0.01749	2.9580	132.50	0.000	0.000	0.00020
26-SJOITZIC-SUB-SO	0.008892	36.070	0.057	222.90	0.03229	10.270	2.9170	0.07887	1.3600	146.60	0.000	0.000	0.00134
27-VPEDREGA-SUB-SO	0.010070	32.170	1.160	230.60	0.03114	9.771	4.9770	0.00000	2.4000	144.90	1.413	1.902	0.00000
28-VILLLOMA-SUB-SO	0.008159	41.830	0.000	215.80	0.04559	9.858	17.7200	0.13030	1.5650	146.50	0.000	0.000	0.00011
29-ARKSJUAN-SUB-SO	0.009328	37.460	0.113	257.80	0.05465	11.530	62.4100	0.01178	1.8170	168.50	0.140	0.192	0.01108
30-ITZICUAR-SUB-SO	0.011250	34.620	0.531	340.00	0.06519	13.300	2.2310	0.00000	1.7720	197.50	0.000	0.000	0.02489
31-CITZICUA-SUB-SO	0.008149	0.301	186.300	359.50	0.09637	14.710	1.6080	0.05750	1.3360	211.00	0.000	0.000	0.00000
32-ROCADURA-SUB-SO	0.010710	19.580	0.695	260.40	0.15100	8.692	9.8100	0.00000	0.6830	119.60	0.000	0.000	0.00015
33-BCOINTZI-SUP-SO	0.007700	2.061	0.793	198.90	0.05130	9.176	321.2000	0.08863	2.2270	99.04	0.000	0.000	0.00121
34-MINTZITA-SUP-SO	0.009146	18.490	0.251	224.80	0.05064	8.675	0.8510	0.00000	0.6824	114.20	0.000	0.000	0.00227
35-SAPARANG-SUP-SO	0.009213	16.440	0.567	284.00	0.07260	10.560	19.8000	0.00985	0.7002	121.40	0.000	0.000	0.00316
36-COINTZIO-SUP-SO	0.009178	4.742	0.000	361.70	0.05922	15.310	3.7800	0.44680	5.8530	152.30	0.000	0.000	0.00024
37-ELPARIAN-SUP-SO	0.009089	19.620	0.303	290.80	0.08333	12.130	2.7210	0.10690	1.7560	184.30	0.090	0.087	0.00930
38-SIITZICU-SUB-SO	0.008144	17.610	0.162	280.60	0.0716	11.140	21.7200	0.00999	1.5630	161.90	0.000	0.000	0.00073
39-CIJARDIN-SUB-SO	0.010120	23.120	0.048	177.10	0.0154	9.177	1.6090	0.00970	4.1530	117.10	0.000	0.000	0.00055
40-SJUITZIC-SUB-SO	0.010340	19.890	1.803	328.00	0.06288	15.14	52.6200	0.00754	4.4260	155.00	0.000	0.000	0.00062

Tabla 16.-Resultados de análisis de metales pesados, campaña 2.





Los valores consignados en la tabla 16 representan las concentraciones de metales pesados encontradas en las fuentes monitoreadas y se optó por clasificarlas en el caso de los elementos regulados por normatividad en tres colores (verde, amarillo y rojo), para diferenciar aquellos que se encuentran por debajo de los límites permisibles, amarillo aquellos cercanos al rango máximo aceptado para consumo humano y en rojo los que superan las recomendaciones.

Titanio, las concentraciones más altas de este elemento se observan en Tzintzamacato Grande con 0.0162 mg/l y Roca Dura al oriente de la región con un valor de 0.0107 mg/l (figura 80). Es un metal abundante en la naturaleza y en la superficie terrestre. No se encuentra en estado puro sino en forma de óxidos, en la escoria de ciertos minerales de hierro y en las cenizas de animales y plantas.

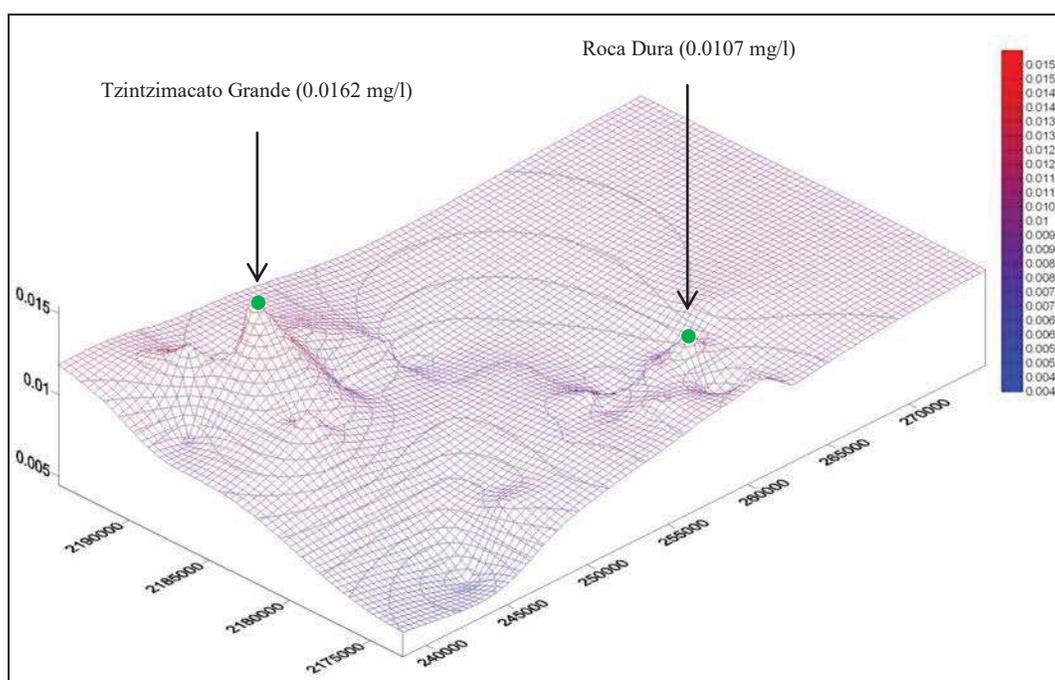


Fig. 80.- Modelo de comportamiento de titanio.

Los valores de concentración más altos de **Vanadio**, se observan en la región de nuevo crecimiento urbano del occidente de Morelia (fraccionamientos La Hacienda y El Bosque, Villas de la Loma, Arko San Juan, Las Garzas), en donde alcanzan los 40.9 mg/l, 41.83 mg/l, 37.46 mg/l y Las Garzas 39.47 mg/l respectivamente (figura 81).

En contraparte, tanto el aprovechamiento de Tacicuaro como Cerrito Itzicuaro prácticamente se encuentran libres de este elemento, con valores de 0.000 y 0.301 mg/l respectivamente.



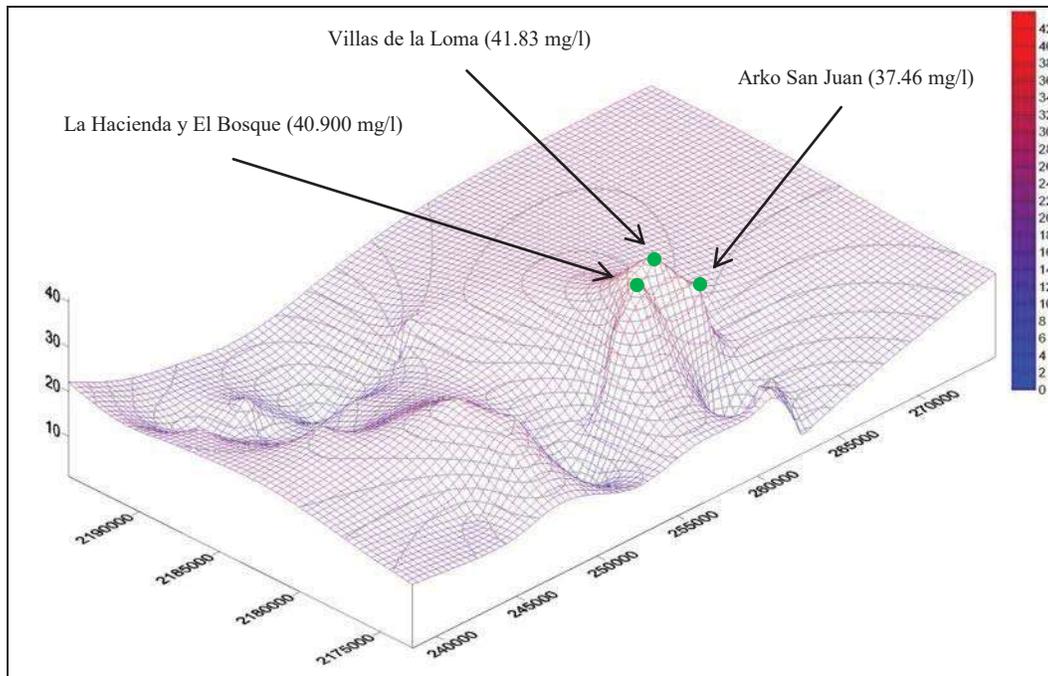


Fig. 81.- Modelo de comportamiento de vanadio.

Manganeso, se registro una concentración muy alta de este elemento en forma puntual, en Cerrito Itzicuaro con 186.3 mg/l, ubicado en las inmediaciones de la zona de manantiales termales (figura 82).

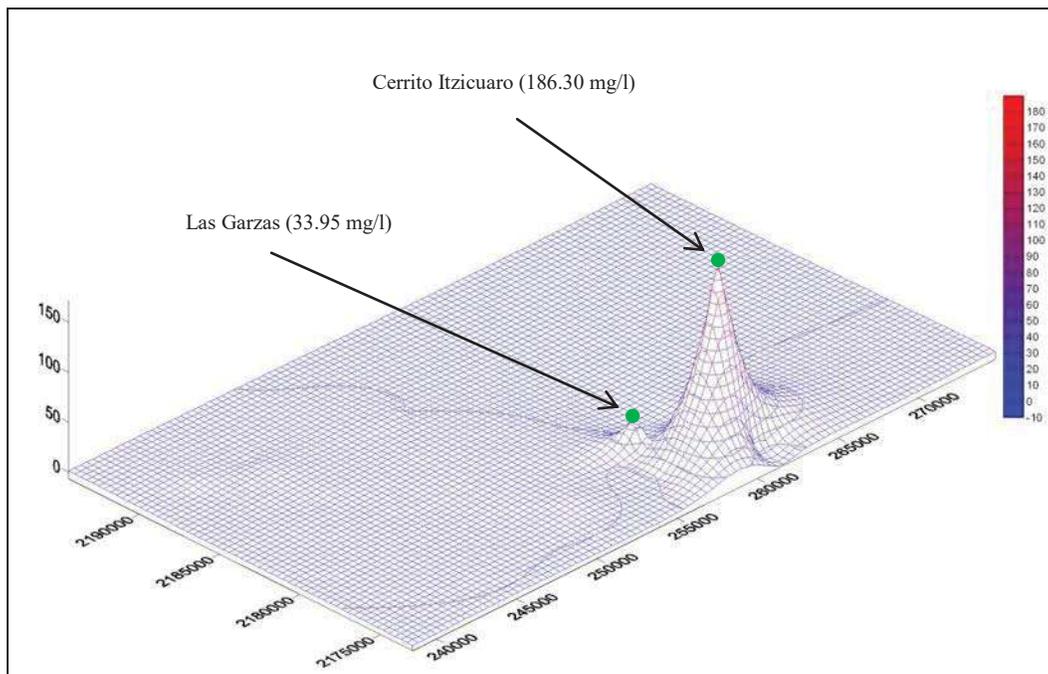


Fig. 82.- Modelo de comportamiento de manganeso.





Hierro, se encuentra en la naturaleza formando parte de numerosos minerales, entre ellos muchos óxidos, y raramente se encuentra libre, en exceso es tóxico. En Tarehuicho (figura 83) se manifestó el valor mayor de concentración de hierro con 527.00 mg/l, siguiéndole en orden descendente Coro Grande, Sajo Grande, Asiento de Piedra y La Hacienda y El Bosque, todos estos pozos concentrados en el límite suroeste de la región Morelia-Capula y corresponden a la lixiviación del basalto y andesitas basálticas.

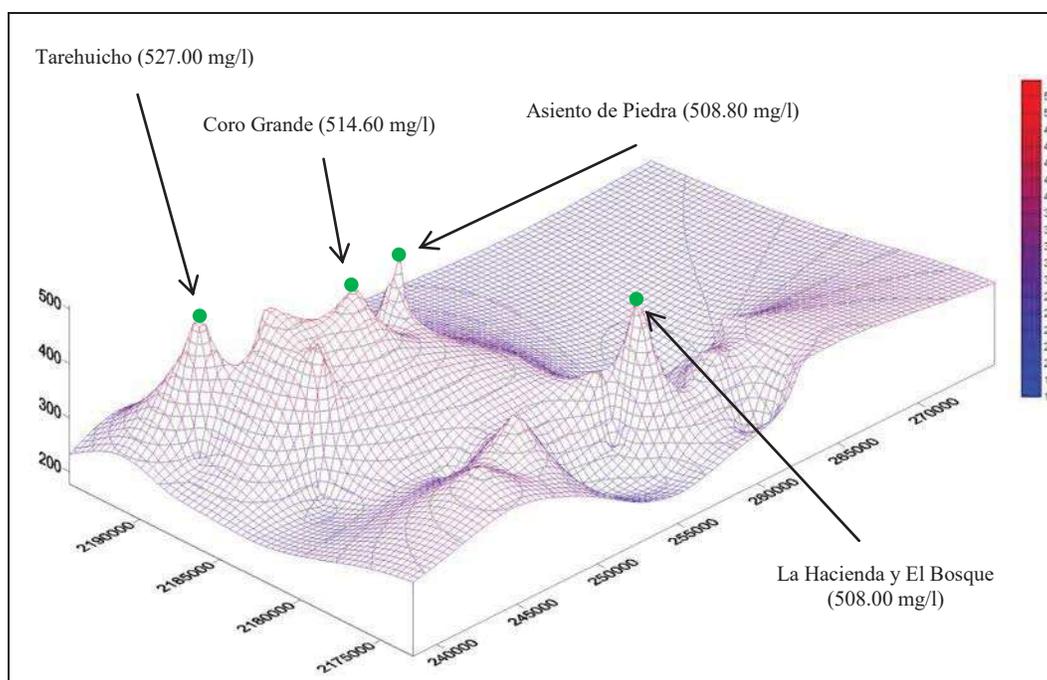


Fig. 83.- Modelo de comportamiento de hierro.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en su Guía de la calidad del agua potable recomienda un nivel máximo de **Cobre** de 2 mg/l. Valor adoptado en la Unión Europea como límite en el agua potable, mientras que en Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental ha establecido un máximo de 1,3 mg/l.

El nivel más alto encontrado fue en Balneario Cointzio con 321.20 mg/l, muy por arriba del establecido por la NOM-127-SSAI-2000 (2 mg/l), tal y como se observa en la figura 84, seguido por Tarehuicho con 103 mg/l siendo los aprovechamientos con niveles críticos, sin embargo, otras 21 fuentes presentaron concentraciones superiores a las recomendadas con valores desde los 3.78 mg/l y hasta los 62.41 mg/l.

Fueron: Coro Grande, Tiristarán, Asiento de Piedra, Sajo Grande y Sajo Chico, estos ubicados en la zona rural de la región hacia el norponiente; San Nicolás Obispo, Cerrito Itzicuaró, Mintzita y Ciudad Jardín ubicados en la zona de manantiales; todos ellos, aprovechamientos con concentraciones dentro del rango establecido como máximo permisible.



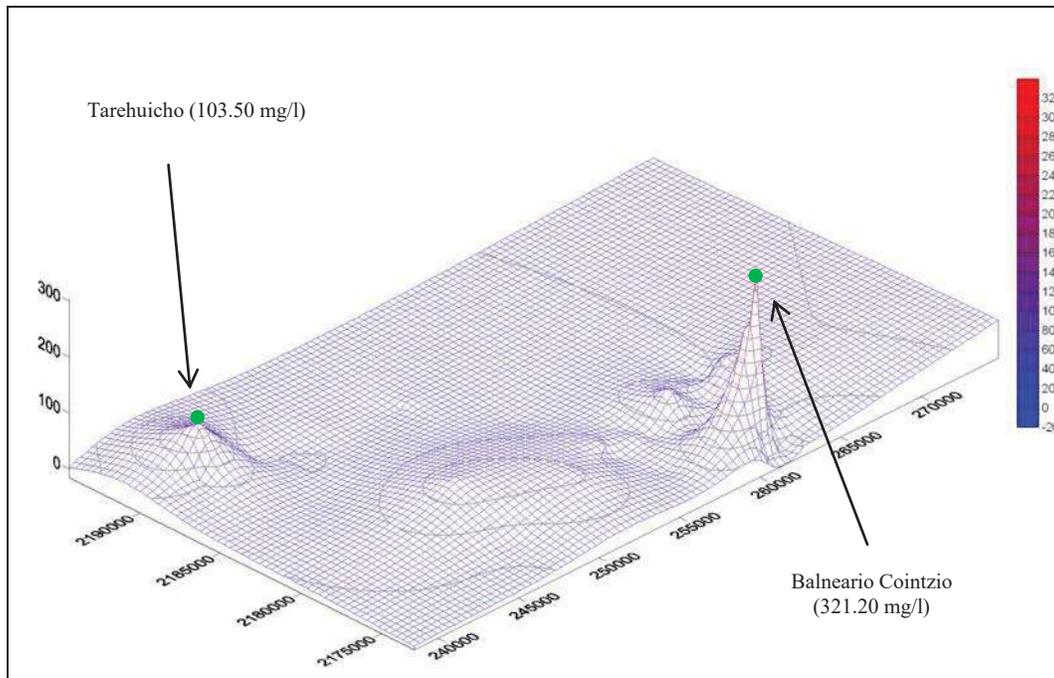


Fig. 84.- Modelo de comportamiento de cobre.

Niquel, metal para el cual no se tiene establecido un límite en la NOM-127-SSAI-2000. La zona noroeste corresponde a la presencia de altos morfológicos de rocas basálticas.

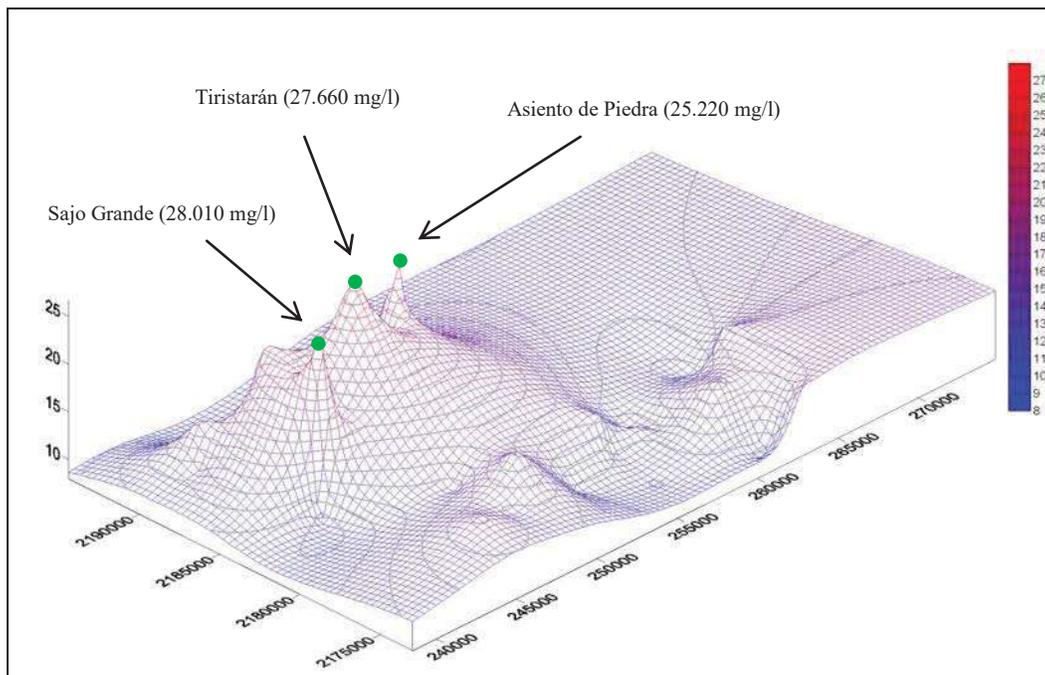


Fig. 85.- Modelo de comportamiento de níquel.





Los valores altos se detectaron en Sajo Grande, Coro Grande, Asiento de Piedra y Tzintzimatato Grande (figura 85) con valores de 28.01, 27.66, 25.22 y 21.57 mg/l respectivamente.

Cobalto, elemento traza para el cual la norma vigente no contempla límite máximo permisible; no obstante los niveles recomendados son del orden de los 15 mg/l y en ese sentido, son cinco los aprovechamientos que presentan valores superiores, siendo Coro Grande con 0.175 mg/l, Asiento de Piedra con 0.181 mg/l, Sajo Grande con 0.175 mg/l, Tzintzimatato Grande con 0.189 mg/l y con el valor mayor Las Garzas con 0.230 mg/l (figura 86).

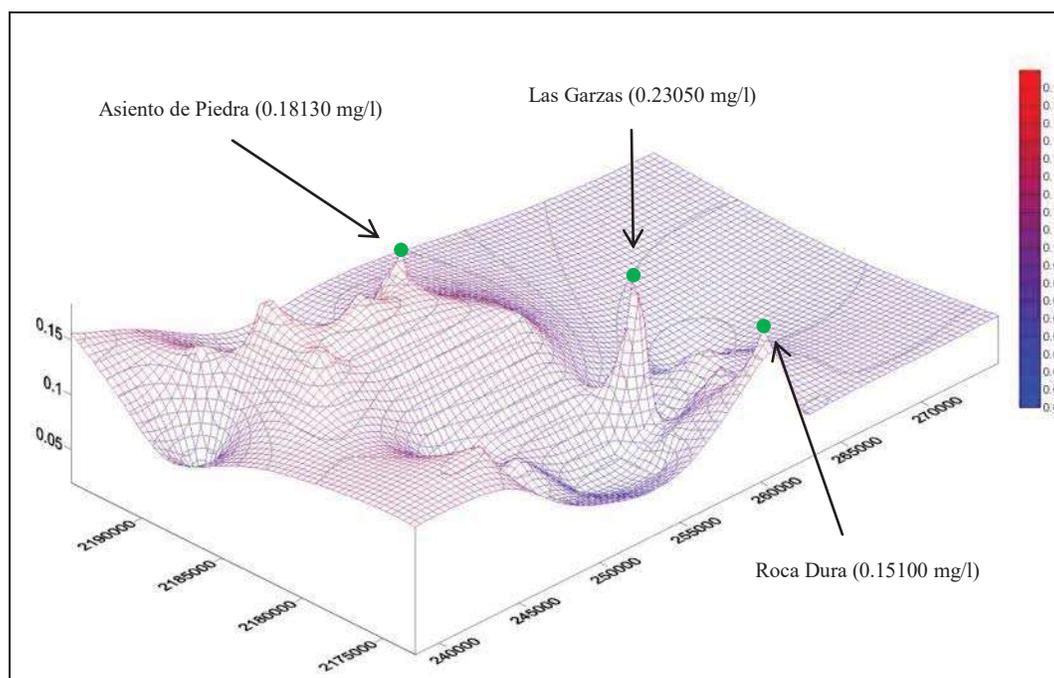


Fig. 86.- Modelo de comportamiento de cobalto.

Zinc, no considerado como tóxico pero sí algunos de sus compuestos como el óxido y el sulfuro. Manary, M.J., et al, (2000). El valor máximo permisible por norma es de 5 mg/l.

Dos son los aprovechamientos que presentaron concentraciones por arriba del límite permisible, Asiento de Piedra con 13.8 mg/l ubicado al norte de la región y Cuto de la Esperanza con 5.91 mg/l ubicado en la zona centro (figura 87); el resto de las fuentes utilizadas para el suministro de agua potable no tienen problemas de elevadas concentraciones, sin embargo, Coro Grande con 3.218 mg/l podría en futuros análisis reflejar aumento en los valores de zinc registrados.



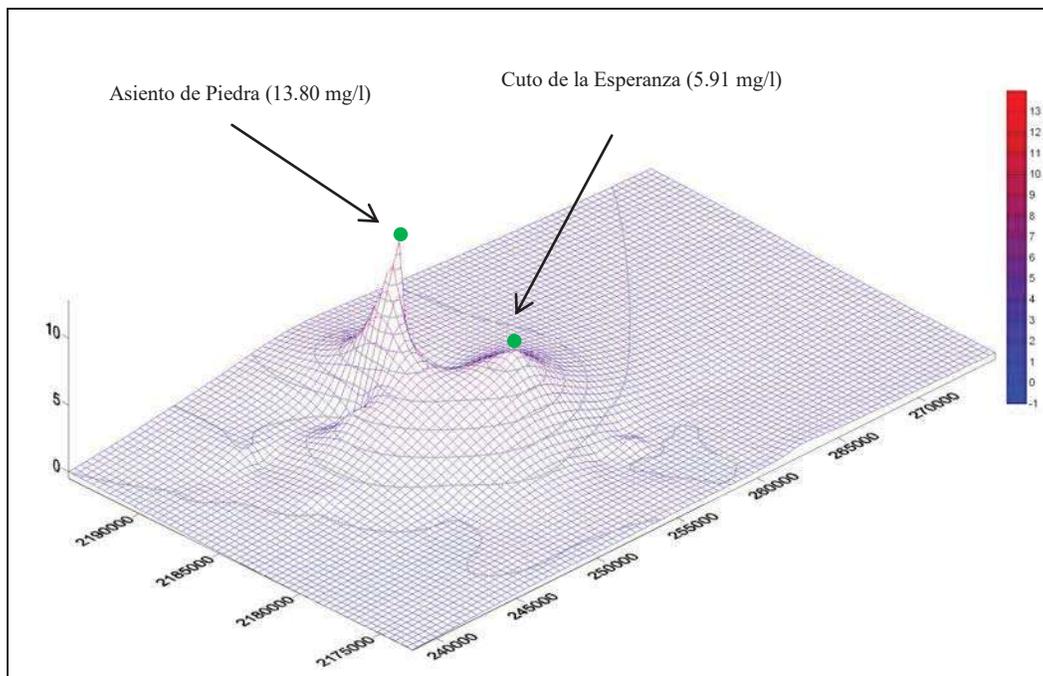


Fig. 87.- Modelo de comportamiento de zinc.

En cuanto al **Arsénico**, el valor más alto registrado se observa en el manantial de Cointzio (5.853 mg/l) y se infiere que es de origen hidrotermal ya que a nivel regional, valores semejantes han sido reportados en el Lago de Cuitzeo (Alfaro et. al. 2007)

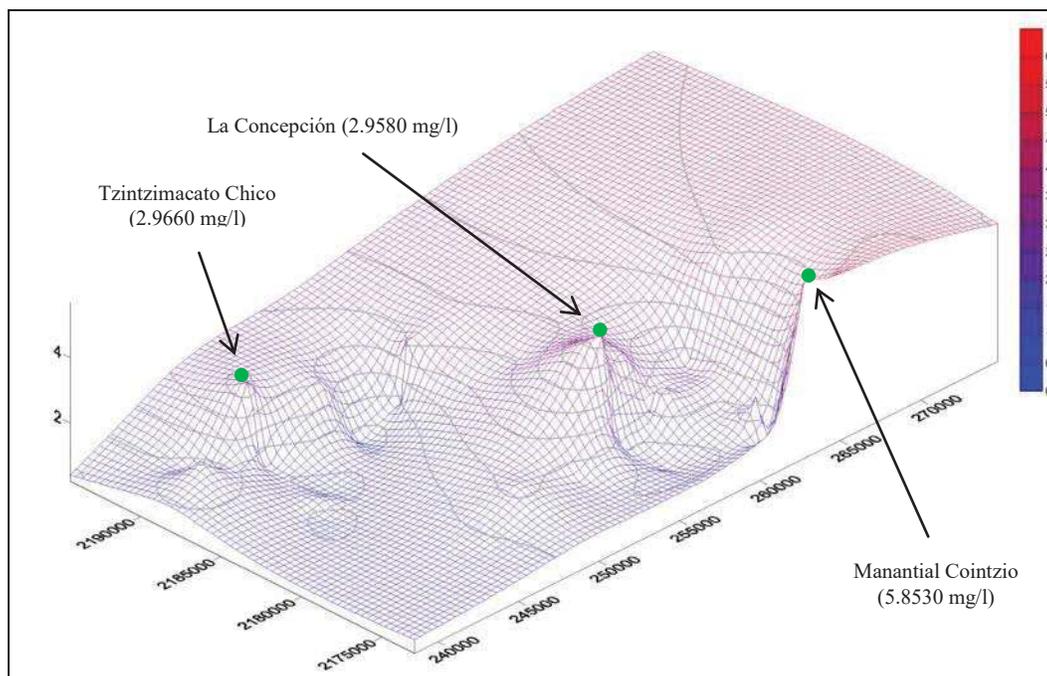


Fig. 88.- Modelo de comportamiento de arsénico.





El valor máximo establecido por la NOM-127-SSAI-2000 para concentraciones de arsénico es de 0.025 mg/l, límite que el total de los aprovechamientos sobrepasa.

Estroncio, los valores de este elemento se presentaron más elevados en el suroeste, en la zona de altos morfológicos basálticos con una marcada tendencia a disminuir conforme nos acercamos a la zona urbana (noreste) como se observa en la figura 89.

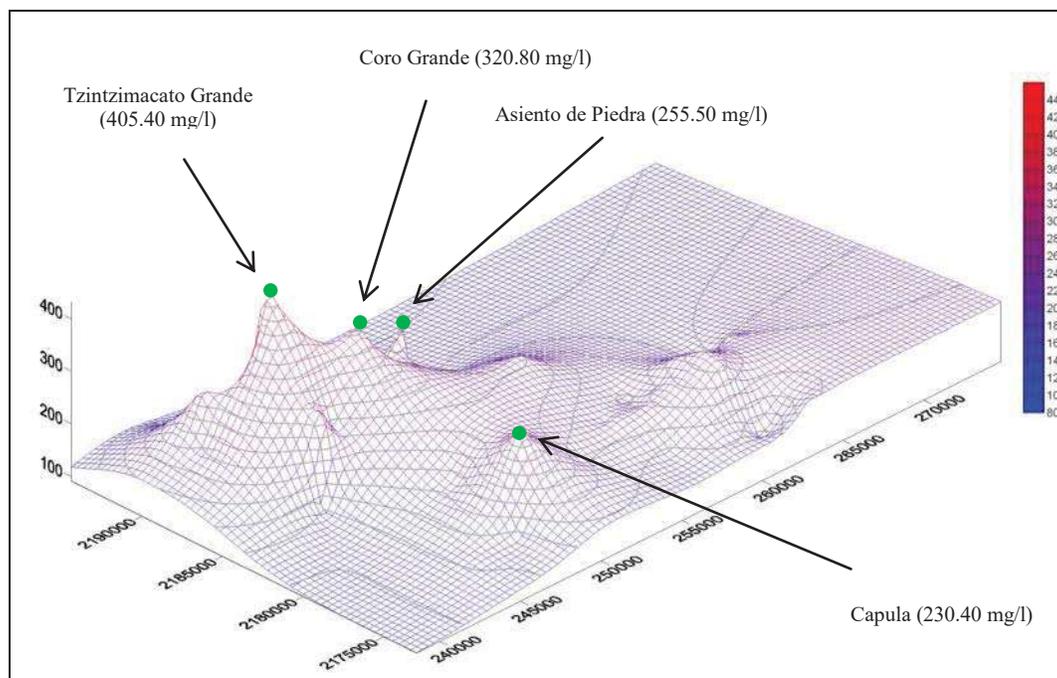


Fig. 89.- Modelo de comportamiento de estroncio.

Los aprovechamientos que registraron los niveles más elevados fueron: Tzintzimacato Grande con 405.40 mg/l, Coro Grande con 320.80 mg/l, Asiento de Piedra con 255.50 mg/l y Sajó Grande con 251.30 mg/l, el resto de las fuentes presentaron concentraciones inferiores a los 250 mg/l.

Cadmio, es un metal pesado que produce efectos tóxicos en los organismos vivos, aun en concentraciones muy pequeñas. Se libera en los ríos a través de la descomposición de rocas, también es liberado al aire a través de incendios forestales y volcanes. El resto es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación. Sólo una pequeña cantidad de Cadmio entra en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.





La exposición al cadmio en los humanos se produce generalmente a través de dos fuentes principales: la primera es la vía oral (por agua e ingestión de alimentos contaminados.) La segunda vía es por inhalación. En organismos sobreexposados, el cadmio ocasiona graves enfermedades.

La fuente más importante de descarga de cadmio al medio ambiente es la quema de combustibles fósiles (como carbón o petróleo) o la incineración de la basura doméstica común; este metal es común que lixivie a partir de descargas urbanas e industriales en cantidades elevadas en regiones de alta porosidad y permeabilidad.

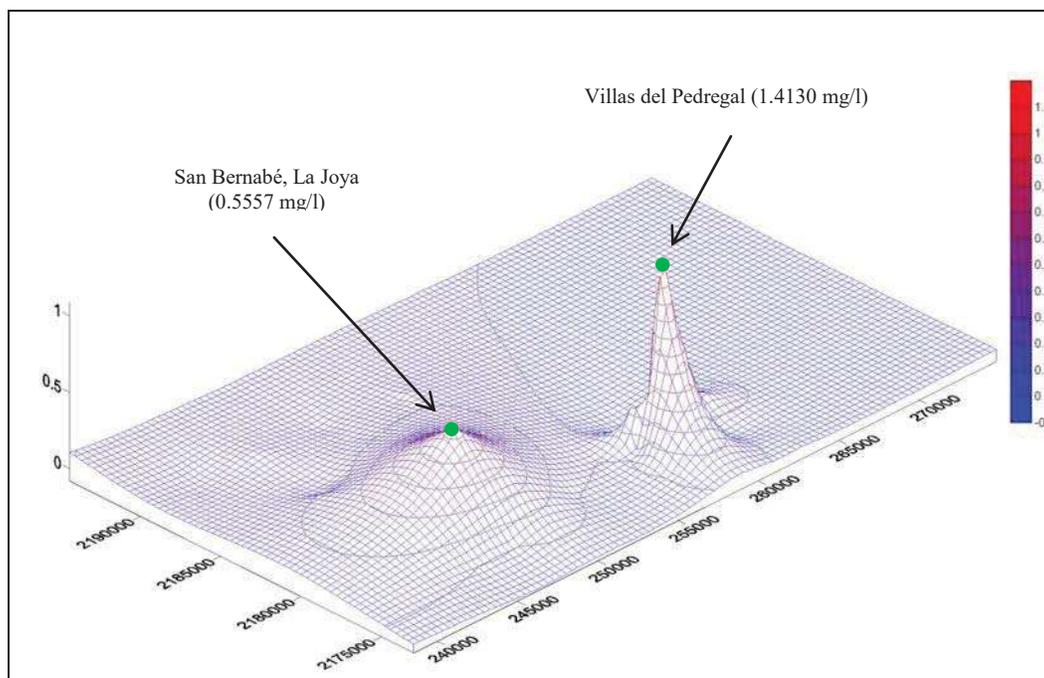


Fig. 90.- Modelo de comportamiento de cadmio.

Del total de aprovechamientos, el 42.5% (17 pozos) presentaron problemas en cuanto al límite permisible de concentración de éste elemento; siendo Villas del Pedregal el de mayor valor observado (1.413 mg/l) seguido por San Bernabé con 0.555 mg/l, valores muy por encima del máximo (0.005 mg/l); por otro lado, 23 fueron las fuentes que no registraron presencia alguna de este metal, la mayoría de ellas ubicadas al noreste de la región como se puede observar en la figura 90.

En el caso particular del pozo Las Garzas que presentó concentración de 0.374 mg/l, se tienen registros anteriores (17-junio-1997) con valores de 0.127 mg/l, lo que nos indica un incremento considerable de presencia de Cadmio al presentar casi el triple de niveles de concentración, mientras que para Tacicuaro se observó una disminución con respecto al valor obtenido de 0.002 mg/l de los análisis realizados el 18 de febrero de 1998.





Estaño, se obtiene a partir de origen mineral en donde se presenta como óxido. Con un valor máximo de 1.902 mg/L, el cual se obtuvo de la muestra recolectada en la fuente de origen subterránea llamada Villas del Pedregal, seguido de San Bernabé con 0.785 mg/l ubicados rumbo al poniente de la región (figura 91).

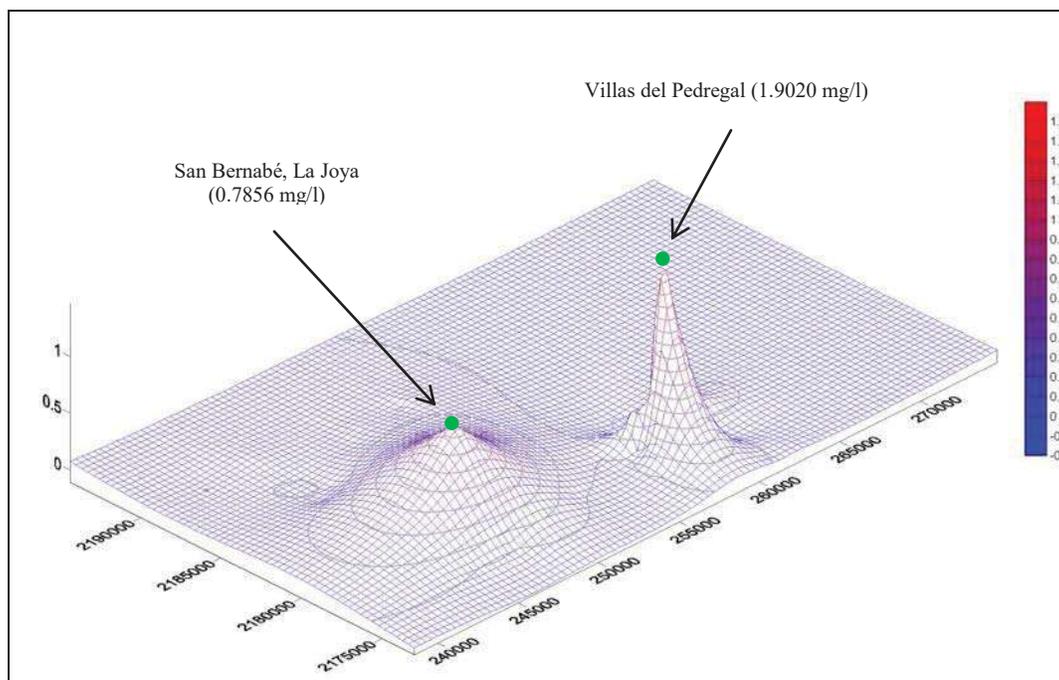


Fig. 91.- Modelo de comportamiento de estaño.

Plomo, proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo). El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser ingerido, aire o agua, se encuentra de forma natural en el ambiente, pero las concentraciones encontradas son resultado de las actividades humanas.

El valor establecido como límite máximo es de 0.01 mg/l, valor que en los aprovechamientos de Itzicuaró y Arko San Juan son superados con concentraciones registradas de 0.02489 mg/l y 0.01108 mg/l respectivamente, ambos ubicados en la zona sur-centro de la región Morelia-Capula, como se puede observar en la figura 92.

Respecto del resto de los pozos monitoreados, los valores obtenidos se mantuvieron muy por debajo del umbral máximo, presentándose resultados para El Parian 0.0093 mg/l, San Antonio Carupo 0.0091 mg/l y continuando con concentraciones inferiores hasta llegar a la no detección de presencia de plomo en los casos de Buenavista, San Bernabé y Cerrito Itzicuaró.





La evolución del plomo comparando los resultados obtenidos recientemente (2008) respecto de análisis previos (1997) para el aprovechamiento Las Garzas, fue de tendencia a disminuir las concentraciones detectadas con registros de 0.0045 mg/l y 0.066 mg/l y respectivamente.

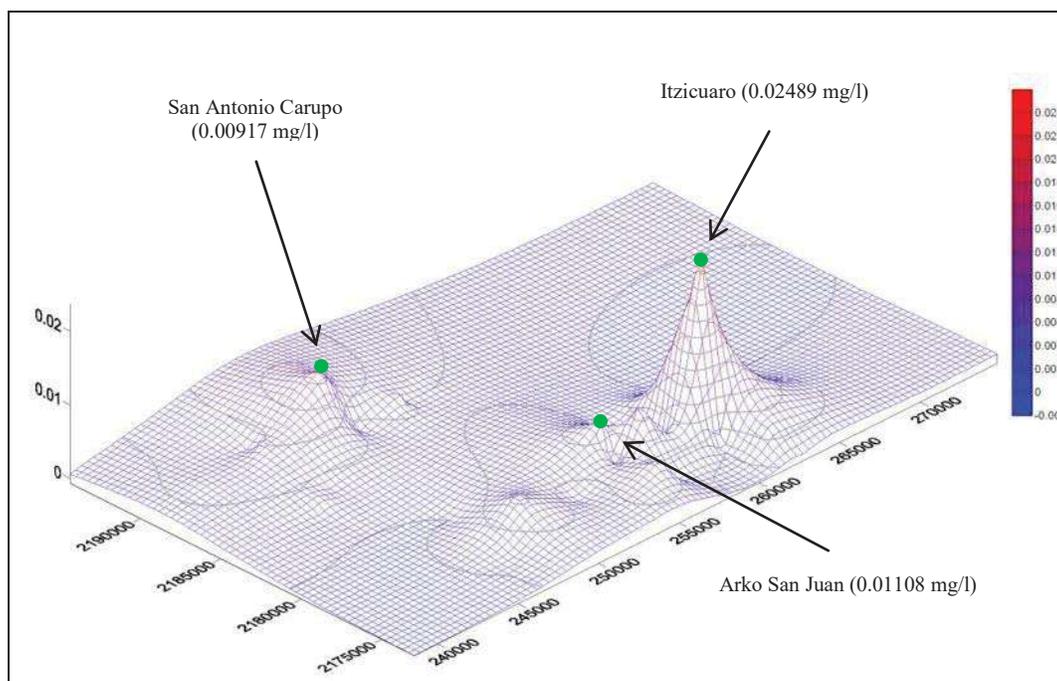


Fig. 92.- Modelo de comportamiento de plomo.





X.- ANALISIS Y DISCUSION

Se evaluaron 40 aprovechamientos, 22 parámetros (físico-químicos y metales pesados), de los cuales, para aquellos en los que la NOM-127-SSAI-2000 establece límites máximos de concentraciones, a excepción de la dureza, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, sulfatos y alcalinidad, las series restantes de datos presentaron al menos un valor fuera de lo permisible.

En cuanto al **Potencial de Hidrógeno (Ph)**, fueron 5 aprovechamientos (12.5%) los que presentaron resultados por fuera de norma (Lomas de la Maestranza, Las Garzas, Balneario Cointzio, Cointzio y San Juanito Itzicuaru), mismas que se encuentran cercanas al depósito de residuos sólidos y tienen por característica que se ubican en cotas bajas de la región, de ahí que se infiere alguna relación sobre el origen termal de las aguas mas no de presencia de lixiviados provenientes del tiradero.

Como se mencionó en el marco teórico, las mediciones de **Temperatura** en un acuífero son resultado de la profundidad del recurso, aunque también puede ser influencia de posible contaminación, pues los lixiviados incrementan la temperatura de los mantos freáticos, lo que se traduce en una virtual pluma contaminante si se identifican aumentos bruscos de valores en zonas cercanas al tiradero, condición que no se cumple.

Se presentan valores más altos de temperatura en flujos regionales y debido al gradiente geotérmico teniendo variaciones en incremento por cada 30 metros de profundidad aproximadamente. Teremendo Jasso, Sajo Grande, Sajo Chico e Iratzio fueron los pozos con mayor temperatura con 19.8°, 20.3°, 20.4° y 19.6° respectivamente, atribuibles a flujos regionales profundos; mientras que La Hacienda y El Bosque, Aracurio, Tarehuicho, Buenavista, Cuto de la Esperanza, Villa Magna y Las Garzas son los aprovechamientos con temperaturas menores en la región.

Para el parámetro de **Conductividad Eléctrica**, se aprecian zonas definidas con valores relativamente altos al sur de la zona (Cerrito Itzicuaru, Balneario Cointzio y Buenavista), siguiendo una tendencia de disminución con dirección noreste. Las concentraciones mayores se asocian a zonas rur-urbanas que antiguamente tenían vocación agrícola, por otro lado, las zonas de menor presencia en cuanto a conductividad eléctrica fueron la parte alta de la cuenca (norponiente) así como la zona centro-este con valores observados a partir de los 144.5 mg/l.

Siendo 1,000 mg/l el valor umbral máximo permisible para la presencia de **Sólidos Disueltos Totales**, en ninguno de los 40 aprovechamientos se observaron problemas de concentraciones mayores, el valor más alto registrado se presento en Sajo Grande (340 mg/l), el cual se ubica en una zona de pendientes abruptas al igual que pozos con valores ligeramente menores, lo que nos indica que los sólidos disueltos se asocian al transporte de material (suelo)





así como minerales contenidos en rocas ígneas que con el ataque de acción química, son removidos o arrastrados, ingresando al acuífero por falta de medidas preventivas de protección sobre todo en las zonas rurales.

Del **Color** podemos decir que fueron 9 los aprovechamientos que registraron datos superiores a las 20 unidades en la escala Pt-Co, lo que significa que el 22.5% de las fuentes no cumplen con lo establecido por la normatividad vigente; de las cuales sobresale el caso de Buenavista (1,554) que si bien es una fuente de origen superficial por lo que el ingreso de partículas que alteren los niveles de color es evidente, es indispensable establecer medidas correctivas y de prevención para mejorar la calidad del agua de suministro. De la lectura de Isolíneas elaboradas a partir de los datos de color, se observó que la variación de los niveles depende sobre todo de las condiciones prevalecientes en superficie y no tanto a características del subsuelo o transporte de material dentro del acuífero, ya que los valores que sobrepasan lo permisible se presentaron en zonas predominantemente rurales como Tzintzimatato Grande, Tarehuicho, San Antonio Carupo, Resumidero, Teremendo Jasso, Sajo Grande, Sajo Chico, ubicados al norponiente de la región; o bien en asentamientos de reciente creación como es el caso de Villa Magna que registro un valor de 103.

En cuanto a la **Turbiedad**, en general, para la zona urbana de Morelia, los valores son bajos y no guardan relación de superficie con el tiradero (la lectura de Isolíneas, nos indica que la turbidez disminuye del centro al noreste de la cuenca, por lo que podemos deducir que la afectación es un fenómeno independiente a cualquier atribución al relleno, en contraparte, los valores elevados se asocian a rocas ricas en feldespatos y en el caso de aprovechamientos sin protección o ademe, es fácil que las arcillas entren en suspensión en el agua (Tarehuicho, Resumidero, Sajo Chico y Buenavista).

Para el caso de **Alcalinidad**, las líneas de igual valor se distribuyen con cierta similitud a la configuración topográfica de la región, pues los sitios de mayores valores registrados (Balneario Cointzio con 260 mg/l y Coro Grande 210 mg/l) se encuentran en las faldas de la mesa purépecha a una altura estimada de 2,000 msnm y en la región de aparatos volcánicos cineríticos a una cota aproximada de 2,145 msnm, éste último con un registro de abatimiento de 23 metros y nivel dinámico de 102 metros, es decir, una diferencia tan solo de 43 metros respecto a la fuente superficial, pero a 19.50 kilómetros de distancia en línea recta, por lo que podría existir relación entre el origen del recurso de ambos aprovechamientos.

En todos los aprovechamientos, los valores observados de **Dureza** no superaron el máximo permisible; manteniéndose por debajo del 4% del valor establecido por norma; es evidente la influencia de los asentamientos humanos en relación a éste parámetro asociado en gran parte a los derivados de detergentes, ya que los valores





más elevados se registraron cerca de los balnearios de Cointzio, además de la zona conocida como los Itzicuaros (aguas termales); adicionalmente en Sajó Grande se obtuvo el máximo con 200 mg/L, agua considerada como muy dura no recomendable para su ingesta.

Para el parámetro de **Sulfatos**, los valores alcanzados se mantuvieron por debajo de 100 mg/l. Se aprecia un comportamiento similar al de la conductividad eléctrica, en cuanto a la dirección de amplitud y distribución, así como, un decremento en sus valores registrados conforme la distancia se hace mayor. Un aspecto importante a resaltar, es que la distribución espacial de las líneas para cada uno de los parámetros analizados, no guarda relación alguna con el perímetro de la región de estudio, así pues, es posible afirmar que los fenómenos que se presentan a nivel de subsuelo, específicamente en el acuífero son independientes y no reconocen fronteras de superficie (parte aguas). Los valores más bajos o la no presencia de concentraciones de sulfatos se observaron predominantemente en zonas con desarrollo urbano sobre todo al oriente de la región (San Juanito Itzicuaró, Ciudad Jardín, Cointzio, Balneario Cointzio, Cerrito Itzicuaró), también al centro-poniente (Cuanajillo, Tacicuaró) y al norte en los aprovechamientos de Tacicuaró, Resumidero y Tiristarán.

En estudios desarrollados en el valle del Yaqui en Sonora, realizados por Canales 1987, González 1992 y González et al 1998, se identifica la posible causa de salinidad como el manejo inapropiado del agua de riego asociado a una alta tasa de evaporación que produce concentración y lixiviación de sales desde el suelo hasta el acuífero; la presencia de sulfatos en menor o mayor proporción en el acuífero sugiere la existencia de recarga vertical de agua de riego y transportación de solutos desde los suelos agrícolas hasta el acuífero.

En lo que respecta a metales pesados:

El **Titanio**, no representa ningún problema en las concentraciones encontradas en la zona, el valor más alto registrado se localizó en el pozo Tzintzimatato grande con un valor de 0.01621 mg/L.

Debido a la biocompatibilidad, no se han descubierto casos de toxicidad, sin embargo, el contacto con la piel y los ojos, puede provocar irritación. Respecto a la cancerología que pueda tener, la agencia internacional para la investigación del cáncer (IARC) lo considera no clasificable como elemento cancerígeno en los humanos, asimismo, no se contempla un valor máximo permisible en las normas oficiales mexicanas.

El **Vanadio** registró su mayor valor en el aprovechamiento Villas de la Loma con 41.830 mg/L (zona centro de la región), para este metal no existe un valor límite establecido como máximo. Tiene la tendencia a concentrarse en rocas básicas por lo que se correlaciona con el cobalto, níquel, cobre y zinc.





El **Manganeso** tiene un papel tanto estructural como enzimático. En humanos, el manganeso se absorbe en el intestino delgado, acabando la mayor parte en el hígado, de donde se reparte a diferentes partes del organismo.

En exceso es tóxico y las exposiciones prolongadas a compuestos de manganeso, de forma inhalada u oral, pueden provocar efectos adversos en el sistema nervioso, respiratorio, y otros. El máximo se presentó en la fuente subterránea conocida como Cerrito Itzicuaro, con un valor de 186.300 mg/L, en segundo lugar Las Garzas con un valor registrado de 33.95 mg/L, ambos ubicados en la zona centro de la región; a excepción de estos aprovechamientos, el resto presentaron valores por debajo de los 5 mg/L.

Los valores obtenidos de **Hierro** fueron todos mayores a los límites recomendados por la presencia de materiales que lo contienen en el subsuelo. Al ser tóxico, se corre el riesgo de acumularlo en exceso en el hígado y provocar daños en este órgano. Destaca un valor elevado en Tarehuicho que puede estar asociado a descargas del tiradero que lixivia hacia el acuífero (527 mg/L).

En cuanto al **Cobalto**, exposiciones prolongadas se consideran radiactivas y puede provocar cáncer. La ingestión de Co-60 conlleva la acumulación de alguna cantidad en los tejidos, cantidad que se elimina muy lentamente por lo que existe riesgo si su manipulación es constante. El valor mayor se obtuvo en Las Garzas (0.2305 mg/L), sin embargo, dichas concentraciones no se asocian a lixiviaciones, sino más bien a la composición de las rocas existentes en subsuelo.

La exposición a vapores y polvo del **Níquel** se sospecha que sean cancerígenos. En Sajó Grande se presentó el mayor valor con 28.010 mg/L; mientras que la menor presencia se observó al centro-sur de la región (hacia la zona de manantiales).

Para el **Cobre** el valor límite tolerado para consumo humano es de 0,2 mg/L. En el aprovechamiento Balneario Cointzio, el valor obtenido fue de 321.200 mg/L, siendo éste el mayor valor de concentración registrado, más no el único que excede valores recomendados. Solamente nueve fuentes se mantuvieron con niveles dentro de los rangos permisibles, los cuales se encontraron preferentemente en zonas rurales así como zonas bajas de la región (manantiales).

El **Zinc** y su ingesta diaria recomendada, ronda los 10 mg. En Asiento de Piedra (norte de la región) se registró la máxima concentración de éste elemento con un valor de 13.800 mg/L, igualmente Cuto de la Esperanza con 5.91 mg/L, fueron valores superiores a las recomendaciones que establece la NOM-127-SSAI-1994 con un valor de 5 mg/L, por lo que podrían presentarse casos de intoxicación; el resto cumplen los límites.





La ingesta de **Arsénico** establecida como límite máximo permisible es de 0.025 mg/L (NOM-127-SSAI-1994) debido a que sus compuestos son extremadamente tóxicos, especialmente el arsénico inorgánico.

La presencia de arsénico en el agua potable de la región, puede ser resultado de la disolución del mineral presente en el suelo por donde fluye el agua antes de su captación para uso humano, por contaminación industrial o por pesticidas; en el total de los aprovechamientos, los valores de concentración registrados superan el valor límite, siendo el más crítico Cointzio con 5.8530 mg/L, seguido por San Juanito Itzicuar, Lomas de la Maestranza y Ciudad Jardín con concentraciones de 4.4260, 4.4230 y 4.1530 mg/L respectivamente; siendo estas fuentes comunes en cuanto a la ubicación en zonas urbanizadas y en específicamente para el caso del aprovechamiento Lomas de la Maestranza, éste localizado en las cercanías del basurero municipal, sin embargo no se pueden asociar directamente estos valores a la presencia de residuos sólidos dispuestos en el basurero debido a que las concentraciones están presentes en toda la región.

El **Estroncio** se absorbe en el cuerpo humano al igual que calcio. Las formas estables (no radiactivas) de estroncio no provocan efectos adversos significativos en la salud, pero el Sr-90 radiactivo se acumula en el cuerpo prolongando la exposición a la radiación y provocando diversos desórdenes incluido el cáncer de hueso.

El estroncio es un elemento abundante en Tzintzamacato Grande con 405.40 mg/L respecto al resto de fuentes, por su movilidad es disuelto por manantiales que transitan por rocas volcánicas, depositándose en forma de sulfatos ampliamente distribuidos en el área de estudio.

El **Cadmio** en las aguas residuales procede de las industrias mayoritariamente y termina en los suelos, aunque puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles.

Algunos órganos vitales son blanco de la toxicidad del cadmio. La implicación real que este elemento tiene como agente tóxico ha sido poco estudiada, por lo que se considera que debe ser monitoreado y tomar medidas preventivas para mitigar o regular las descargas de cadmio al ambiente, aumentando con ello el número de estudios formales acerca de las consecuencias reales que tiene la acción de este metal sobre los organismos vivos, especialmente en el humano. Es muy posible que algunos de nuestros padecimientos (tales como el cáncer, enfermedades renales, hepáticas, pulmonares, etc.), estén ligados con la exposición prolongada al cadmio. En la fuente de agua subterránea denominada San Bernabé, se encontraron los valores mayores de concentraciones, con 1.413 mg/L. El máximo aceptado por normatividad es 0.005 mg/L (NOM-127-SSAI-1994). El segundo valor más alto encontrado fue en Villas del Pedregal con 0.555 mg/L (cercano a las Garzas), donde anteriormente se había detectado su presencia (Israde et. al. 1999).

Otros aprovechamientos que observaron relativos altos niveles de cadmio, fueron: Las Garzas y Capula, siendo 0.374 y 0.219 mg/L sus concentraciones; ambos aprovechamientos se caracterizan por encontrarse en las periferias





del basurero municipal junto con Villas del Pedregal y San Bernabé, siendo este último el más cercano ubicado al poniente del sitio de depósito de residuos sólidos municipales, por lo que podría existir algún tipo de relación de la presencia de cadmio con los lixiviados generados por la disposición de residuos.

El **Estaño** en nuestro caso para gran parte de los aprovechamientos, no reportaron concentraciones detectables, es decir, no representan contaminación al recurso hídrico (23 de 40 fuentes analizadas).

En cuanto al **Plomo**, puede entrar en el agua potable por corrosión de tuberías, esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida o cuando posee azufre (por ejemplo aguas termales). El plomo se encuentra de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones encontradas son el resultado de las actividades humanas.

Para este parámetro, el valor máximo registrado se presentó en el pozo Itzicuaro con 0.02489 mg/L que se ubica en la zona urbana de Morelia, lo que conduce a inferir contaminaciones antrópicas locales sin sobrepasar el máximo permisible establecido en 0.01 mg/L.





XI.- CONCLUSIONES

El análisis de los datos correspondientes a dos campañas de monitoreo (2007-2008) pone de manifiesto un aumento de los valores en los parámetros de control en el tiempo y, por lo tanto, un avance de la contaminación.

A excepción de la dureza (parámetros físico-químicos), ninguna serie de valores de concentraciones cumple con la normatividad en su totalidad, en contraparte, son 21 aprovechamientos los cuales presentan condiciones de uso adecuado para consumo humano, lo que representa el 52.5% de las fuentes evaluadas.

En cuanto a metales pesados normados, únicamente para la serie correspondiente al plomo se tienen dos valores fuera de límites aceptables de concentración, sin embargo, tratándose del nivel de cumplimiento para el total de los elementos analizados para todas las fuentes, la condición de contaminación para la campaña evaluada supera los valores recomendables en todas las fuentes para al menos un parámetro analizado.

Los valores de variaciones de Cadmio, se observaron por arriba de la norma para 16 aprovechamientos y un incremento notable para Las Garzas respecto de los resultados observados en 1997 (Israde et. al. 1999).

La arcilla existente en el medio acuífero identificada a partir de los cortes litológicos de los aprovechamientos subterráneos, supone tendencias de absorción de metales pesados, que quedan retenidos, por lo que las concentraciones encontradas podrían ser mayores y sobrepasar aún más las estipuladas por la normatividad vigente en la mayoría de los aprovechamientos.

En suelos arenosos (Lomas de la Maestranza, San Isidro Itzicuar, Tacicuar, El Parián), a falta de capacidad de fijación de su parte (retención), los contaminantes pasan rápidamente al subsuelo deteriorando los niveles freáticos y con ello la calidad del agua. La toxicidad de un agente, no sólo depende de sí mismo sino considerablemente de las características del suelo y medio de transporte, por lo que el riesgo puede ser mayor o menor en función de la velocidad y tendencia de propagación.

En cuanto a turbidez y color, los aprovechamientos de Buenavista, Resumidero, Sajo Grande, así como los manantiales presentan elevados valores derivados sobre todo por la incorporación de sólidos totales al acuífero.

En la región, altos valores de sulfatos se encuentran en Tzintzamacato Grande, Sajo Grande, Buenavista y el pozo Itzicuar.

La gestión de los recursos hídricos, no siempre esta regida con criterios técnicos científicos, ni realizada con la información y conocimientos hidrogeológicos adecuados. La pérdida de información no difundida o no recolectada, repercute en el planteamiento de actuaciones indebidas con su relacionada perdida de recursos económicos, que podrían tener una aplicación más ética en un contexto de manejo integrado del recurso hídrico. Una de las razones que necesariamente influyen en esta dispersión de conocimientos y esfuerzos es la falta de programas de monitoreo





del agua subterránea, que es un método para soportar la estrategia y políticas de protección y conservación del recurso hídrico subterráneo.

Las particularidades de la región, hacen de ella un territorio propicio para el desarrollo de transformaciones rurales y urbanas debido sobre todo a las condiciones como la topografía del terreno, la protección de la zona de recarga acuífera, el sentido de territorialidad y pertenencia de los habitantes asentados inicialmente en la zona y la tendencia de crecimiento traducida en ciudad dispersa, ligada al valle bajo ubicado sobre la red hidrológica que alimenta superficialmente al manantial de la Mintzita; características enmarcadas en los procesos políticos y económicos de carácter local, es decir, del municipio de Morelia y sus tenencias ubicadas al oeste de la ciudad específicamente Tacicuaro, Cuto de la Esperanza, Capula y San Nicolás Obispo.

La gestión del territorio tendrá mejores resultados al analizar y diseñar estrategias con una perspectiva local que congrege la sostenibilidad y preservación del territorio, que deberán culminar en lo regional.

La influencia del tiradero sobre las fuentes de aprovechamiento de recurso hídrico es real y continuará afectando al acuífero en menor o mayor medida según las condiciones de protección, mitigación y control en la disposición de residuos sólidos aunado a la lógica generación de lixiviados; mismos que se infiltran al subsuelo si no son captados y tratados adecuadamente. Además la naturaleza geológica del subsuelo es otro factor que condiciona el relieve de los modelos, por lo cual, no necesariamente los valores críticos resultantes son preocupantes en el sentido de calidad del agua. La zona presenta materiales de naturaleza volcánica integrados por lavas altamente fracturadas que se intercalan con depósitos de caída de granulometría mayor a 3 mm sin matriz por lo que la porosidad y permeabilidad del substrato de la zona es alta.

Derivado de la visualización de los mapas temáticos y partiendo de la definición de contaminante, es posible decir que los contaminantes que en la región se hacen presentes son: un foco puntual (relleno sanitario) por su generación de lixiviados y pulsos de infiltración según la temporalidad, tipo y origen de los desechos, así como condiciones climatológicas. Adicionalmente, los coliformes fecales son también un contaminante presente en los pozos monitoreados y representan un indicador directo de contaminación reciente en el ambiente, lo que se debe a malas medidas de protección en los pozos (brocales, ademes, malla ciclónica, etc.).

La incorporación de elementos diferentes al suelo como a los mantos acuíferos conlleva a problemas de calidad en los mismos, tratándose del suelo, es conocida la pérdida de fertilidad para cultivos, se presentan además cambios en la vocación del suelo y se reducen los posibles usos que al mismo se le pueden dar, también se crean sitios conocidos como focos de infección los cuales es difícil de revertir a su estado natural pues los tiempos de residencia





de los agentes contaminantes son largos. En cuanto a la mezcla con cuerpos de agua subterráneos (acuíferos), el mayor problema radica en su ingesta por parte de la población.

Indirectamente el acuífero se ha visto influenciado por la dinámica urbana, en cuanto a la velocidad de respuesta superficial motivado por el incremento de la superficie cementada (vialidades y casas habitación), ya que los recorridos naturales de los escurrimientos han sido modificados teniendo puntos de desfogue direccionados.

Además, la vocación del suelo ha venido sufriendo alteraciones y lo que antes eran zonas agrícolas, ahora son zonas de nuevos asentamientos humanos por lo que la infiltración de la precipitación que anualmente se registra en la región se supone menor, por otro lado, los problemas de inundaciones en la capital del Estado son más comunes derivado de la falta de espacios donde las corrientes superficiales puedan ingresar al acuífero.

Adicionalmente, la presión urbana sobre el acuífero tiene un vector de contaminación puntual (basurero), lo que se traduce en impacto directo al subsuelo y migración de componentes ajenos al medio acuoso. Por lo anterior, el crecimiento de la población conlleva directamente (no necesariamente) un mal manejo de los residuos que genera la población aunado a la falta de cultura de reciclaje y manejo de los residuos sólidos, por lo cual son necesarias acciones de protección y conservación a los recursos naturales.

De la evolución espacio-temporal del lixiviado así como de su propio porcentaje en el agua se concluye que los 40 aprovechamientos presentan afectación.

Los metales pesados: cobre, arsénico, cadmio, por las consecuencias dañinas que acarrearán si su consumo excede los niveles recomendados, para los aprovechamientos Balneario Cointzio y Tarehuicho (cobre en concentraciones > 100 ppm); San Juanito Itzicuaró, Ciudad Jardín, Manantial Cointzio y Lomas de la Maestranza (arsénico con valores > 4 ppm); Las Garzas, Villas del Pedregal, Arco San Juan, Capula, Teremendo Jasso y San Bernabé- La Joya (cadmio con registros > 0.10 ppm); deben restringir su aprovechamiento para uso humano.

Es conveniente adoptar los presentes resultados como base de gestión para la región, pues se trata de información reciente y sobre todo representativa de la zona, además de que se consideran restricciones superiores a las establecidas en la normatividad vigente a fin de poner de manifiesto la necesidad de prevenir principalmente en lugar de remediar, debiendo ser dicha premisa el eje rector en la gestión integral de cualquier cuenca.





XII.- RECOMENDACIONES

En función del nivel de gravedad de contaminación, en cuanto a parámetros físico-químicos, la turbiedad, color, conductividad y sólidos disueltos totales deberían de ser quienes definan el uso del recurso para consumo humano en la región ya que su presencia es evidente y representa riesgo su ingesta; por lo anterior, se recomienda que los aprovechamientos Buenavista, El Resumidero, Sajo Chico y Tarehuicho no sean destinados para consumo, a menos que se les aplique un proceso de filtrado previo a su incorporación a la red de agua potable.

En cuanto al color, los aprovechamientos de: Villa Magna, Tzintzimatato Grande, Teremendo Jasso, Sajo Grande, Sajo Chico, El Resumidero, Tarehuicho y San Antonio Carupo, pueden mantener su servicio, mientras que para la fuente Buenavista se sugiere utilizar el agua que no provenga del fondo de la olla de captación superficial.

Debido a los niveles de mineralización del agua proveniente de Balneario Cointzio, Cerrito Itzicuaru y Buenavista, se recomienda utilizar filtros para disminuirlos, sin embargo, es posible su ingesta sin problemas.

Respecto a los sólidos disueltos totales, la única fuente de la cual no es conveniente consumir es Sajo Grande.

Como medida de seguridad, se recomienda realizar monitoreos periódicos y frecuentes (cada 3 meses como mínimo), en la fuente Lomas de la Maestranza a fin de evaluar el comportamiento del potencial de hidrógeno, lo anterior debido a la cercanía al relleno sanitario y su consecuente generación de lixiviados por la descomposición de residuos sólidos.

SUGERENCIAS PARA TRABAJO FUTURO

Para complementar y/o fortalecer la investigación presente, se sugiere realizar caracterizaciones al recurso hídrico cada 3 meses, directamente en las fuentes, adicionalmente, evaluar aleatoriamente dentro de la región, en las tomas domiciliarias las condiciones de contaminación, asimismo contemplar análisis en temporada de lluvias a fin de recabar información de los parámetros, pero en un ambiente saturado, lo que ayudara a estimar el comportamiento y disminución de concentraciones espacio temporales.

Otra recomendación para trabajos subsecuentes, es implementar pozos de monitoreo homogéneamente distribuidos en la zona de estudios que permitan el seguimiento de movimiento vertical y lateral de contaminantes, además de que mejorarían la generación de Isolinias de concentraciones y por ende la elaboración de los modelos y su interpretación.





Es conveniente continuar caracterizando el lixiviado, para conocer las concentraciones de elementos traza en función de los volúmenes dispuestos en el relleno sanitario, actividad que nos proporcionará bastante información y se podrán generar alternativas de tratamiento y bioremediación que sean amigables con el entorno; además se puede realizar un ejercicio de planificación y reuso de desechos a fin de disminuir sustancialmente la cantidad de contaminantes por lixiviación.

La aplicación de un trazador colorimétrico es, sin duda, una actividad que debe considerarse para inferir las trayectorias que siguen los vertidos producto de la descomposición, pues detectar la presencia del propio trazador en los aprovechamientos y cuantificar su cantidad proporcional, paralelamente a los resultados de concentración definirá la extensión y dirección de una pluma contaminante.





XIII.- BIBLIOGRAFIA

Abelanda, D., Almagro, L., y Rocha L., 1994. Hidrogeoquímica del acuífero superior de la cuenca del Chuy. II Congreso Latinoamericano de Hidrología subterránea. Santiago de Chile.

Acevedo Cristóbal D., 1993. Comparación de métodos de interpolación en variables hídricas del suelo. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, 111p.

Aparicio Mijares F. J., 1987. Fundamentos de Hidrología de Superficie, Cap. 2 La cuenca hidrológica, pág. 19, Limusa Noriega Editores.

Arredondo J., 1983; Levantamiento gravimétrico en la zona central de la laguna de Cuitzeo Mich. Informe 29/83 G.P.G. Comisión Federal de Electricidad (inédito). 11 pág.

Batista E., 2002. Necesidad de la divulgación hidrogeológica para una óptima gestión de los recursos hídricos: El coste de la ignorancia y falta de información. En Groundwater and Human Development. Barcelona, España.

Beltrán J., 1994. Calidad del agua subterránea. Diseño de un sistema de información de análisis de agua. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Unidad Académica de Ambiental. Santafé de Bogotá.

Buenrostro Delgado O., 2001. Caracterización de los Residuos Sólidos Residenciales de Morelia, Michoacán, México, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, INIRENA, UMSNH.

Buenrostro Delgado O., e Israde Alcántara I., 2001. La Generación de Residuos Sólidos Municipales en la cuenca del lago de Cuitzeo, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, INIRENA, UMSNH, Departamento de Geología y Mineralogía, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH.

Environmental Research Foundation. 1998. The basics of landfills. Fuente de Internet: <http://www.zerowasteamerica.org/BasicsOfLandfills.htm>.

Burrough, P. A., y McDonnell, R. 1998. Principios de los Sistemas de Información Geográfica para la evaluación de los recursos de la tierra. New York: Oxford University Press.





Canales E., A.G. 1987. Planeación del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en el Valle del Yaqui, Sonora. 2da. Parte. En: Informe Técnico del Instituto Tecnológico de Sonora para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciudad Obregón, Sonora, México, 90 p.

Canino Rolón, G.; Harris, Jeffrey., 1997. Simulación de la generación de lixiviados en un relleno sanitario propuesto utilizando el modelo de computadoras Help. Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. Congreso Regional de AIDIS para Norteamérica y el Caribe, San Juan.

Carreras N., Sánchez D. M., Sánchez M., Dorronsoro J. L., Quejido A., Fernández M. E., Herráez I., 1994. Estudio de la incidencia del vertedero de RSU de la ciudad de Madrid (Valdemingomez) en las aguas de su entorno. Importancia de su ubicación. Soil and liquid wastes. ANQUE. V.1, pág. 111-118.

Carrillo Amezcua., J. C., Leal Lozano L., Cendejas R., Buenrostro Delgado O., Sánchez Yáñez J. M., 2005. El reciclaje de los residuos sólidos plásticos como alternativa para mejorar la calidad ambiental en el municipio de Morelia, Michoacán, México. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, UMSNH.

Carrillo-Rivera J. J., Cardona, A., Edmunds, W. M., 2002. Use of abstraction regime and Knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosi basin, Mexico. Journal of Hydrology, v. 261, pp. 24-47.

Carrillo-Rivera J. J., Cardona, A., Edmunds, W. M., 2007. Groundwater flow functioning in arid zones with thick volcanic aquifers units: North Central Mexico. Advances in isotope Hydrology and its Role in Sustainable Water Resources Management (IHS-2007) Vol. 1, pp. 199-206.

CONABIO-SEMARNAT 2003. Aguas continentales y diversidad biológica de México. III Foro Mundial del Agua, Japón. 15 pág.

Collins, F.C., y P.V. Bolstad. 1996. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. In: Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico, January 21-25. Santa Barbara, California: National Center for Geographic Information Analysis (NCGIA).





De Beurs K., 1998. Evaluation of spatial interpolation techniques for climate variables: Case study of Jalisco, Mexico. MSc thesis. Department of Statistics and Department of Soil Science and Geology, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Delgado Campos J., 2002. Hacia el espacio rural urbano: una revisión de la relación entre el campo y la ciudad., Instituto de Geografía, UNAM, pág. 101-102.

Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable y Saneamiento en el Municipio de Morelia, Mich; 2001, Cap. 2, Sub Cap. 2.4.1, págs. II.87 – II.97.

Fatima-Zohra Benmostefa Lagueche., 2006. Estimating soil contamination with kriging interpolation method. Department of Mathematics, University Badji-Mokhtar of Annaba, Algeria. American Journal of Applied Sciences 3 (6): 1894-1898.

Feria y Seminario Internacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI, Medellín, Noviembre 1999.

Foster Stephen, Hirata Ricardo., 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes. OPS-CEPIS. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

G. Díaz y Arizabalo., 1991. La Contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos, cuadernos del Instituto de Geofísica de la UNAM.

García E., 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana), 3ra. Edición, México D.F. 252 pág.

Garduño Monroy V. H., Rodríguez Torres G., Israde Alcántara I., Arreygue Eleazar, Canuti P., y Chiesa S., 1999. Efectos del clima (El niño) en los fenómenos de fluencia de las fallas geológicas de la ciudad de Morelia, GEOS, Vol. No. 19, No. 2 pág. 84-93





Gijón Yescas N., Aragón Sulik M., Navarro Mendoza S., Belmonte Jiménez S., 2004. Evaluación Geohidrológica del Tiradero Municipal de la ciudad de Oaxaca, para cumplir con la Norma Ecológica NOM-083/ECOL-1996). CIIDIR, IPN, Oaxaca.

González Moran T., 2002. Modelo funcional del proceso de alteración del agua subterránea en las cercanías del basurero Santa Catarina, Chalco, México. Instituto de Geofísica; Universidad Nacional Autónoma de México.

González, I., 1992, La salinidad del agua subterránea y su relación con el tipo de arcilla interestratificada, en el Valle del Yaqui, Sonora, México, Tesis de Maestría en Ingeniería de la Especialidad en Administración de Recursos Hidráulicos, Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México, 104 p.

González, R., A.G. Canales y L.E. Marín. 1998. Hidrogeoquímica y mineralogía de un estrato del acuífero del Valle del Yaqui. Revista ITSON-DIEP, Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México, 2(7): 55-64.

H. Ayuntamiento de Morelia, Carta Urbana, corredor Morelia-Capula, Programa de Desarrollo Urbano, Secretaria de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, 2008-2011.

INEGI, 2000 con base en SEDESOL, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Dirección de Residuos.

INEGI, 2002 con base en SEDESOL DGOT Subdirección de Asistencia Técnica a Organismos Operadores Urbanos Regionales, Generación e Residuos Sólidos Urbanos por Entidad Federativa 1998 a 2006.

INEGI 2005, II Censo de población y vivienda, resultados definitivos, Michoacán de Ocampo, México y sus Municipios.

Israde Alcántara I., 1998. Proyecto para la localización de un sitio idóneo para el relleno sanitario del municipio de Morelia.

Israde Alcántara I., 1999. Los lagos volcánicos y tectónicos de Michoacán, UMSNH, IIM, Departamento de Geología y Mineralogía, pág. 53.

Israde Alcántara I., Buenrostro Delgado O., Garduño Monroy V. H., Hernández Madrigal V. M., y López Granados E., Problemática geológico-ambiental de los tiraderos de la cuenca de Cuitzeo, norte del estado de Michoacán,





Departamento de Geología y Mineralogía, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH, 1999. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 61, Núm. 1, 2009 pág. 203-211.

Israde Alcántara I., Rodríguez R., Silva T., Carrillo Chávez A., y García A., 1999. El tiradero de Morelia y sus lixiviados. Rev. Vinculación. Ensayos. En Michoacán, Agriculturización, uso del agua e impacto social. Editorial UMSNH. Edición especial de ensayos No. 6. Noviembre de 1999. pág. 34-43

Israde Alcántara I., y Garduño Monroy V. H., 2004. Contribuciones a la geología e impacto ambiental de Morelia. La geología de la región de Morelia. UMSNH, IIM, Departamento de Geología y Mineralogía, Vol. 1, pág. 4.

Jaramillo Pérez J. A., 1999. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Gestión de residuos sólidos municipales GIRSM, Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, siglo XXI. Medellín, noviembre 9-12.

Laslett, G.M., 1994. Kriging and splines: An empirical comparison of their predictive performance in some applications. Journal of the American Statistical Association 89:391-400.

Manary M. J., et al., 2000. Dietary phytate reduction improves zinc absorption in Malawian children recovering from tuberculosos but not in well children. Journal of Nutrition, 130: 2959-2964.

Martínez Cob, A., y J.M. Faci González., 1994. Análisis geoestadístico multivariable, una solución para la interpolación espacial de la evapotranspiración y la precipitación. Riegos y Drenaje 21 78:15-21.

Ministerio Medio Ambiente – MIMAM (1996b). Actuaciones en infraestructuras para la gestión de residuos sólidos urbanos. Serie monografías. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental.

Molano C. C., Rodríguez N., y Cesar O., 1994. Determinación de las velocidades del agua subterránea y áreas de protección del acuífero de Santa Martha con isotopos estables. II Congreso Latinoamericano de Hidrología subterránea. Santiago de Chile.

MUSIKAR, R., 2002. Redes cuantitativas de seguimiento de las aguas subterráneas. En Groundwater and Human Development.





Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", publicada en el Diario Oficial de la Federación 18-01-1995, entro en vigor el 19/ene/1996.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996 que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, Diario Oficial de la Federación 25-11-96, entro en vigor a partir de noviembre 1999.

Organization Mundial de la Salud & UNESCO, WHO. 1978. Water Quality Surveys; a guide for the collection and interpretation of water quality data. Studies and reports in hidrology. Londres, Inglaterra. 350 pág.

Organización Panamericana de la Salud, Segunda Edición, 1998. Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.

Peñuela Arévalo Lilitiana Andrea, 2007. Proceso de recarga-descarga de agua subterránea receptora de pago por servicio ambiental hidrológico, sierras Nevada y Las Cruces, México. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra (Geología Ambiental), UNAM.

Precedo Ledo A., 1996. Nuevas realidades territoriales para el siglo XIX, Desarrollo local, identidad territorial y ciudad difusa, Editorial Síntesis, 226 pág. Madrid, España.

Rodríguez Castillo R., 2008. "Contaminación de Acuíferos", *Fuentes de Contaminación, Departamento de Recursos Naturales*, Instituto de Geofísica UNAM, México.

Rico, Montiel, R., Martínez-López, L., Fernández Barajas M.R., y Vilaclara Fatjo G., 1995. Los lagos muertos de México. En "lagos y presas de México". De la Lanza Espino y García Calderón eds. pág. 195-209.

Rodríguez N., Cesar O. 1997. Investigaciones de campo sobre la hidráulica de las lagunas y Ciénegas y su aplicación en estudios de contaminación. HIDRUN. Santafé de Bogotá D.D.

Romero Rojas J. A., 1996. Acuiquímica; Escuela colombiana de Ingeniería. Santa Fe de Bogotá.





Sánchez Yáñez J. M., Carrillo Amezcua J. C., Peláez F. A., Manzo Zamudio F., Leal Lozano L., 2005. El impacto negativo sobre la salud humana. CIC-UMSNH, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Microbiología Ambiental; monografías.

Sawyer, Clair y McCarthy, Perry., 1978. Chemistry for environmental engineering. Mc Graw Hill International. USA. 3th Edition.

SEDESOL/INE 1993, Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, 220 p.

Silva-Mora L., 1979. Contribution a la connaissance de Laxe Transmexicain: etude geologique et petrologique des laves du Michoacán Oriental, PHD tesis, Universidad Aix-Marsella III.

Tóth J., 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. Boletín Geológico y Minero, 111-4(2000):9-26.

VRBA, J., 2000. The role of groundwater Quality Monitoring in the strategy of Groundwater protection. Proceedings of the XXX IAH Congress. Balkema/Rotterdam.





XIV.- ANEXOS

XIV.I Fichas Técnicas de Aprovechamientos

ARACURIO 01 – ARA – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.97	8.28	Alcalinidad Fenolftaleina	12
Temperatura	7.5 ° C	20.2 ° C	Bicarbonatos	54
Conductividad Eléctrica	169.5 μ S/cm	191.2 μ S/cm	Carbonatos	24
Sólidos Disueltos Totales	84.7 mg/L	95.8 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	11 U.C. Pt-Co	0.0 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	40
Turbiedad	0.34 U.T.N	0.30 U.T.N	Dureza de Magnesio	40
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	78 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	50.6 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Fierro	< 0.1
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.1
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05



Pozo profundo de servicio diario con 8 hrs/día de operación, suministra agua a la localidad de Aracurio

Bomba sumergible

Fontanería de extracción 3" plg fo.fo

Válvula de admisión y expulsión de aire roscada

Válvula Check bridada en buen estado

Hidrante previo a bifurcación con desfogue de ½ " plg

Atraque de concreto reforzado

Tee de 3" plg de diámetro

2 válvulas de seccionamiento de 3" plg

Válvula reductora de presión VAMEX bridada

No cuenta con dispositivo de medición de flujo

TAREHUICHO 02 – TAR – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.55	8.1	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	7.8 ° C	18.3 ° C	Bicarbonatos	82
Conductividad Eléctrica	219 μ S/cm	228 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	109.3 mg/L	113.3 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	31 U.C. Pt-Co	17 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	54
Turbiedad	5.47 U.T.N	2 U.T.N	Dureza de Magnesio	48
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	82 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	66.7 mg/L CaCO ₃	102 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.185
Sulfatos	13 mg/L	15.65 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	5.4
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05





Pozo profundo de 8 hrs/día de operación, abastece únicamente a Tarehuicho

Bomba sumergible

Tubería de 3" plg fo.fo.

Válvula de admisión y expulsión de aire roscada

Macro medidor de propela

Válvula Check bridada

Atraque de concreto

Tee bridada de 3" plg

2 válvulas de seccionamiento de 3" plg bridadas

TZINTZIMACATO CHICO 03 – TCH – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.02	7.89	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	14.2 ° C	18.7 ° C	Bicarbonatos	84
Conductividad Eléctrica	172.6 μ S/cm	173.8 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	86.3 mg/L	86.4 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	5 U.C. Pt-Co	2 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	24
Turbiedad	0.41 U.T.N	0.2 U.T.N	Dureza de Magnesio	32
Alcalinidad Total	90 mg/L CaCO ₃	84 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.49
Dureza Total	36.8 mg/L CaCO ₃	56 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.21
Sulfatos	1 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.2
Coliformes Fecales	62	ND	Manganeso	0.034



Pozo profundo con 12 hrs/día de operación, abastece de agua a Tzintzimatato Chico

Bomba sumergible SAER

Tren de descarga de 4" plg fo.fo.

Válvula de admisión y expulsión de aire roscada

Válvula Check bridada

Tee de 4" plg

2 válvulas de seccionamiento de 4" plg

No cuenta con macro medidor ni dispositivo de inyección de cloro





TZINTZIMACATO GRANDE 04 – TGR – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7	7.89	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	12.2 ° C	18.7 ° C	Bicarbonatos	78
Conductividad Eléctrica	281 μ S/cm	173.8 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	140.5 mg/L	86.4 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	22 U.C. Pt-Co	2 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	60
Turbiedad	3.49 U.T.N	0.2 U.T.N	Dureza de Magnesio	50
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	84 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.99
Dureza Total	89.7 mg/L CaCO ₃	56 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.09
Sulfatos	21 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.8
Coliformes Fecales	23	ND	Manganeso	0.073



Pozo profundo de 12 hrs/día de operación que abastece de recurso a Tzintzimatato Grande

Bomba sumergible

Fontanería de 2"plg fo.fo.

Válvula de admisión y expulsión de aire

Válvula Check bridada

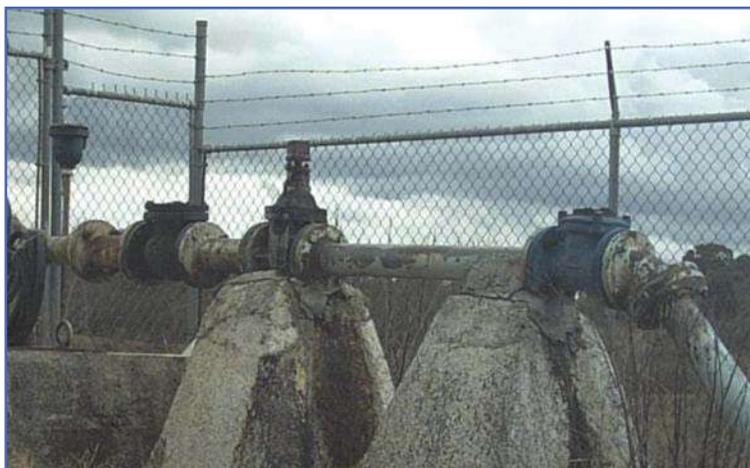
Tee de 2"plg

2 válvulas de seccionamiento

No presenta macro medidor y tampoco dispositivo de inyección de cloro

SAN ANTONIO CARUPO 05 – SCA – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.96	8.03	Alcalinidad Fenolftaleina	8
Temperatura	8.9 ° C	19.4 ° C	Bicarbonatos	88
Conductividad Eléctrica	241 μ S/cm	222 μ S/cm	Carbonatos	16
Sólidos Disueltos Totales	120.7 mg/L	112.1 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	33 U.C. Pt-Co	5 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	38
Turbiedad	2.15 U.T.N	0.5 U.T.N	Dureza de Magnesio	40
Alcalinidad Total	130 mg/L CaCO ₃	104 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	62.1 mg/L CaCO ₃	78 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.16
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.6
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.055





Pozo profundo con bomba sumergible
 Tubería de 3"plg fo.fo.
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Válvula Check bridada
 1 válvula de seccionamiento
 Macro medidor de propela
 2 atraques de concreto
 No cuenta con inyección de cloro
 El medidor de flujo cumple con longitud específica (5 diámetros) aguas arriba solamente

CORO GRANDE 06 – CGR – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.01	8.07	Alcalinidad Fenolftaleina	4
Temperatura	10.1 ° C	18.9 ° C	Bicarbonatos	184
Conductividad Eléctrica	421 μ S/cm	401 μ S/cm	Carbonatos	8
Sólidos Disueltos Totales	211 mg/L	200 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	12 U.C. Pt-Co	6 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	72
Turbiedad	0.43 U.T.N	0.5 U.T.N	Dureza de Magnesio	84
Alcalinidad Total	210 mg/L CaCO ₃	192 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.99
Dureza Total	138 mg/L CaCO ₃	156 mg/L CaCO ₃	Hierro	0.18
Sulfatos	3 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.5
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.092



Pozo profundo de 12 hrs/día de operación,
 bomba sumergible
 Válvula de admisión y expulsión de aire
 Válvula Check roscada
 Válvula de seccionamiento roscada
 Inyector dotador de cloro
 Tee roscada con salida clausurada
 No cuenta con dispositivo aforador





TIRISTARAN 07 – TIR – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.39	7.91	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	11 ° C	22.4 ° C	Bicarbonatos	82
Conductividad Eléctrica	160.2 μ S/cm	153.4 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	80.1 mg/L	71 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	2 U.C. Pt-Co	3 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	30
Turbiedad	0.32 U.T.N	0.6 U.T.N	Dureza de Magnesio	40
Alcalinidad Total	100 mg/L CaCO ₃	82 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.99
Dureza Total	52.9 mg/L CaCO ₃	70 mg/L CaCO ₃	Hierro	0.05
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	8.9
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.101



Pozo profundo con bomba sumergible
 Tren de descarga de 3" y 2 ½" plg de diámetro fo.fo.
 Dosificador de cloro
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Macro medidor de propela análogo
 Válvula Check bridada
 Tee bridada de 2 ½" plg con una sección sellada
 Válvula de seccionamiento bridada previo a conducción

ASIENTO DE PIEDRA 08 – API – SUB - NO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.66	8.09	Alcalinidad Fenolftaleina	2
Temperatura	8.9 ° C	18.1 ° C	Bicarbonatos	118
Conductividad Eléctrica	248 μ S/cm	238 μ S/cm	Carbonatos	4
Sólidos Disueltos Totales	124.2 mg/L	117.3 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	17 U.C. Pt-Co	3 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	62
Turbiedad	0.93 U.T.N	0.45 U.T.N	Dureza de Magnesio	44
Alcalinidad Total	140 mg/L CaCO ₃	122 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	89.7 mg/L CaCO ₃	106 mg/L CaCO ₃	Hierro	< 0.1
Sulfatos	1 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.8
Coliformes Fecales	3	ND	Manganeso	< 0.05





Pozo profundo, bomba sumergible
 Fontanería de 3" plg fo.fo.
 Válvula de admisión y expulsión de aire
 Manómetro roscado
 Macro medidor de propela intemperizado
 Atraque de concreto
 Tee bridada de 3" plg
 2 válvulas de seccionamiento
 Válvula Check bridada
 Válvula aliviadora de presión
 No cuenta con inyección de cloro

EL RESUMIDERO 09 – RES – SUB - NO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.64	8.10	Alcalinidad Fenolftaleina	6
Temperatura	16.5 ° C	19.4 ° C	Bicarbonatos	92
Conductividad Eléctrica	231 μ S/cm	235 μ S/cm	Carbonatos	12
Sólidos Disueltos Totales	115.3 mg/L	116.7 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	37 U.C. Pt-Co	1 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	48
Turbiedad	15.2 U.T.N	0.25 U.T.N	Dureza de Magnesio	32
Alcalinidad Total	130 mg/L CaCO ₃	104 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	69 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.06
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.3
Coliformes Fecales	3	ND	Manganeso	0.021



Pozo profundo con bomba sumergible
 Tubería de 4" plg fo.fo.
 Dosificador de cloro
 Macro medidor análogo
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Válvula Check bridada
 Cruz bridada
 2 válvulas de seccionamiento bridadas
 Válvula aliviadora de presión bridada





TEREMENDO JASSO 10 – TJA – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	8.09	8.09	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	19.8 ° C	22.2 ° C	Bicarbonatos	60
Conductividad Eléctrica	94.9 μ S/cm	126.8 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	39.9 mg/L	63.6 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	47 U.C. Pt-Co	24 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	32
Turbiedad	3.7 U.T.N	2.5 U.T.N	Dureza de Magnesio	32
Alcalinidad Total	62 mg/L CaCO ₃	60 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.49
Dureza Total	56 mg/L CaCO ₃	64 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.11
Sulfatos	5.65 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	4.6
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.088



Pozo profundo y bomba sumergible
 Tren de descarga de 4" plg fo.fo.
 Válvula aliviadora de presión
 Válvula de admisión y expulsión de aire
 Válvula Check bridada
 Tee bridada de 4" plg
 2 válvulas de seccionamiento
 No tiene dispositivo clorador
 Posterior al tren de descarga principal,
 cuenta con un rebombeo en serie para
 suministrar a la localidad de Icacuato

SAJO GRANDE 11 – SGR – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	8	7.71	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	20.3 ° C	21.2 ° C	Bicarbonatos	112
Conductividad Eléctrica	395 μ S/cm	381 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	197.5 mg/L	18.5 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	45 U.C. Pt-Co	14 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	80
Turbiedad	1.2 U.T.N	1 U.T.N	Dureza de Magnesio	90
Alcalinidad Total	140 mg/L CaCO ₃	112 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	200 mg/L CaCO ₃	170 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.15
Sulfatos	34.12 mg/L	24.88 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.3
Coliformes Fecales	2.2	ND	Manganeso	0.072





Pozo profundo con bomba sumergible
 Fontanería de 4" plg fo.fo.
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Macro medidor análogo de propela bridado
 Manómetro
 Tee 4" plg bridada
 Hidrante, salida de 2" plg poliducto
 Válvula de seccionamiento bridada
 Válvula Check
 Válvula aliviadora de presión

SAJO CHICO 12 – SCH – SUB - NP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.92	8.24	Alcalinidad Fenolftaleina	4
Temperatura	20.4 ° C	19.1 ° C	Bicarbonatos	68
Conductividad Eléctrica	158.1 μ S/cm	196.1 μ S/cm	Carbonatos	8
Sólidos Disueltos Totales	79.4 mg/L	98.4 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	70 U.C. Pt-Co	35 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	46
Turbiedad	5.5 U.T.N	4.1 U.T.N	Dureza de Magnesio	44
Alcalinidad Total	86 mg/L CaCO ₃	76 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	86 mg/L CaCO ₃	90 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.11
Sulfatos	14.25 mg/L	12.18 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.9
Coliformes Fecales	9.2	ND	Manganeso	0.046



Pozo profundo y bomba sumergible
 Tren de descarga de fo.fo. de 4" plg
 Atraque de concreto y soporte de fierro con abrazadera
 Inyección de cloro
 Válvula aliviadora de presión bridada
 Cruz de 4" plg sellado en una salida
 2 válvulas de seccionamiento bridadas
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 No presenta dispositivo aforador





BUENAVISTA 13 – BUE – SUP - SP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.23	8.35	Alcalinidad Fenolftaleina	4
Temperatura	7.8 ° C	18.1 ° C	Bicarbonatos	46
Conductividad Eléctrica	485 µS/cm	108.7 µS/cm	Carbonatos	8
Sólidos Disueltos Totales	242 mg/L	54.5 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	1554 U.C. Pt-Co	51 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	50
Turbiedad	786 U.T.N	6 U.T.N	Dureza de Magnesio	18
Alcalinidad Total	33 mg/L CaCO ₃	54 mg/L CaCO ₃	Cloruros	4.49
Dureza Total	55 mg/L CaCO ₃	68 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.14
Sulfatos	96 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.5
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05



Olla de captación pluvial superficial
 Dimensiones aproximadas de 25 m de ancho y 35 m de largo
 Lecho con recubrimiento de concreto
 Taludes 1:2 recubiertos
 Forma irregular con cortina de 2.5 m de profundidad en su zona baja
 No cuenta con dosificador de cloro en la toma de suministro a los pobladores
 Abastece únicamente a la localidad de Buenavista, municipio de Morelia

IRATZIO 14 – IRA – SUB - SP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	8.09	8.36	Alcalinidad Fenolftaleina	4
Temperatura	19.6 ° C	18.3 ° C	Bicarbonatos	80
Conductividad Eléctrica	154.5 µS/cm	181.9 µS/cm	Carbonatos	8
Sólidos Disueltos Totales	83.4 mg/L	90.9 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	16 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	42
Turbiedad	0.96 U.T.N	1.9 U.T.N	Dureza de Magnesio	38
Alcalinidad Total	82 mg/L CaCO ₃	88 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.49
Dureza Total	70 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.104
Sulfatos	2.88 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.2
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05





Pozo profundo, bomba sumergible que abastece al Correo e Iratzio
 Fontanería de 6" plg fo.fo.
 Hidrante de 1/2" plg
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Válvula Check bridada
 Cruz 6 x 4" plg
 Válvula aliviadora de presión
 Inyector de cloro
 2 válvulas de seccionamiento (4" y 6" plg)
 No tiene macro medidor

SAN BERNABE, JOYITAS, LA LUZ 15 – SBE – SUB - SP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.4	8.15	Alcalinidad Fenolftaleina	4
Temperatura	9.3 ° C	20.6 ° C	Bicarbonatos	84
Conductividad Eléctrica	229 µS/cm	198.5 µS/cm	Carbonatos	8
Sólidos Disueltos Totales	114.6 mg/L	99 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	2 U.C. Pt-Co	8 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	44
Turbiedad	0.38 U.T.N	0.45 U.T.N	Dureza de Magnesio	40
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	92 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	90 mg/L CaCO ₃	84 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.02
Sulfatos	10 mg/L	< 10 mg/L	Nitrtatos como Nitrogenos	2
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.029



Pozo profundo que abastece a las comunidades de San Bernabé, Joyitas y La Luz.
 Válvula de admisión y expulsión de aire
 Válvulas de seccionamiento
 Fontanería protegida
 No cuenta con bifurcaciones previo a la conducción





CAPULA 16 – CAP – SUB – SP				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.35	8.31	Alcalinidad Fenolftaleina	16
Temperatura	9 ° C	20.1 ° C	Bicarbonatos	78
Conductividad Eléctrica	301 μ S/cm	328 μ S/cm	Carbonatos	32
Sólidos Disueltos Totales	150.3 mg/L	164.3 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	5 U.C. Pt-Co	2 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	58
Turbiedad	0.68 U.T.N	0.3 U.T.N	Dureza de Magnesio	68
Alcalinidad Total	90 mg/L CaCO ₃	110 mg/L CaCO ₃	Cloruros	11.49
Dureza Total	90 mg/L CaCO ₃	126 mg/L CaCO ₃	Fierro	< 0.1
Sulfatos	6 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.8
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05



Pozo profundo, bomba sumergible
 Tubería de 4" plg fo.fo.
 2 válvulas Check bridada de 4" plg (al inicio y final del tren de descarga)
 Inyector de cloro
 Macro medidor de propela
 Tee de 4" plg con salida lateral sellada
 Reducción bridada en la tee para acoplar hidrante de 1/2" plg
 Ampliación de 4" a 6" plg
 No cuenta con manómetro ni válvulas de control

TACICUARO 17 – TAC – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.9	8.29	Alcalinidad Fenolftaleina	6
Temperatura	12 ° C	20.4 ° C	Bicarbonatos	124
Conductividad Eléctrica	277 μ S/cm	270 μ S/cm	Carbonatos	12
Sólidos Disueltos Totales	138.4 mg/L	135.1 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	11 U.C. Pt-Co	2 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	22
Turbiedad	1.07 U.T.N	0.3 U.T.N	Dureza de Magnesio	52
Alcalinidad Total	120 mg/L CaCO ₃	136 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.49
Dureza Total	75 mg/L CaCO ₃	74 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.04
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.1
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.045





Pozo profundo con bomba sumergible
 Tren de descarga de 3" plg galvanizado y piezas especiales de fo.fo.
 Atraques de concreto
 Línea de cloración
 Tee bridada de 3" plg
 2 válvulas de seccionamiento bridadas
 No cuenta con dispositivo aforador, manómetro ni válvulas de admisión y expulsión de aire

CUTO DE LA ESPERANZA 18 – CES – SUB – NO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.78	8.18	Alcalinidad Fenolftaleina	12
Temperatura	7.2 ° C	20.2 ° C	Bicarbonatos	66
Conductividad Eléctrica	281 µS/cm	197.8 µS/cm	Carbonatos	24
Sólidos Disueltos Totales	140.5 mg/L	99.6 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	2 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	38
Turbiedad	0.3 U.T.N	0.5 U.T.N	Dureza de Magnesio	40
Alcalinidad Total	150 mg/L CaCO ₃	90 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	75 mg/L CaCO ₃	78 mg/L CaCO ₃	Fierro	< 0.1
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.8
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05



Pozo profundo con bomba sumergible que abastece a la comunidad de Cuto de la Esperanza con periodos de operación diaria de 12 hrs
 Fontanería de extracción de 4" plg y 6" plg fo.fo
 Válvula de admisión y expulsión de aire
 Hidrante de 1/2" plg previo a cuantificador de gasto
 Manómetro roscado
 Macro medidor análogo de propela bridado
 Válvula Check bridada
 Válvula de seccionamiento bridada de 6" plg
 No cuenta con dispositivo dosificador de cloro
 La línea de conducción posterior a la válvula de control, ingresa al subsuelo





LOMAS DE LA MAESTRANZA 19 – LMA – SUB – NO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	ND	8.52	Alcalinidad Fenolftaleina	16
Temperatura	° C	18.3 ° C	Bicarbonatos	132
Conductividad Eléctrica	µS/cm	387 µS/cm	Carbonatos	32
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	193.7 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	U.C. Pt-Co	8 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	48
Turbiedad	U.T.N	1.3 U.T.N	Dureza de Magnesio	50
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	164 mg/L CaCO ₃	Cloruros	16.99
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	98 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.1
Sulfatos	mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.3
Coliformes Fecales	ND	ND	Manganeso	< 0.05



Pozo profundo, bomba sumergible
 Medidor de flujo
 Ampliaciones y reducciones en el tren de descarga
 Dosificador de cloro
 Válvulas de seccionamiento
 Válvula de admisión y expulsión de aire
 No cuenta con manómetro

VILLA MAGNA 20 – VMA – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.04	7.49	Alcalinidad Fenolftaleina	2
Temperatura	6.3 ° C	19.5 ° C	Bicarbonatos	106
Conductividad Eléctrica	440 µS/cm	225 µS/cm	Carbonatos	4
Sólidos Disueltos Totales	220 mg/L	113.4 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	103 U.C. Pt-Co	3 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	34
Turbiedad	0.5 U.T.N	0.6 U.T.N	Dureza de Magnesio	48
Alcalinidad Total	150 mg/L CaCO ₃	110 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.49
Dureza Total	145 mg/L CaCO ₃	82 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.11
Sulfatos	14 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.7
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.097





Pozo profundo con bomba sumergible para suministro del fraccionamiento Villa Magna
 Tren de descarga de 6" plg fo.fo.
 2 bifurcaciones 1/2" plg
 2 válvulas de admisión y expulsión de aire
 Medidor de gasto y Válvula Check bridados,
 Inyección de cloro
 Hidrante 1/2" plg
 Tee bridada 6" plg
 Conducción a Tanque de Regularización y Filtros

CUANAJILLO 21 - CUA - SUB - SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.32	8.12	Alcalinidad Fenoltaleina	6
Temperatura	11.7 ° C	20 ° C	Bicarbonatos	68
Conductividad Eléctrica	177.3 μS/cm	186.9 μS/cm	Carbonatos	12
Sólidos Disueltos Totales	88.6 mg/L	93.1 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	13 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	30
Turbiedad	1.08 U.T.N	2 U.T.N	Dureza de Magnesio	44
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.49
Dureza Total	65 mg/L CaCO ₃	74 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.124
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.4
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05



Pozo profundo con sumergible y bomba vertical en serie
 Fontanería galvanizada y fo.fo. 3" plg
 Hidrante 1/2" y Tee bridada con lateral sellado
 Válvula Check bridada
 Tee 3" plg bridada
 Válvula de seccionamiento bridada de 3" plg





SAN NICOLAS OBISPO 22 – SIN – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.54	7.59	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	10.2 ° C	19.1 ° C	Bicarbonatos	82
Conductividad Eléctrica	179.6 μ S/cm	169.4 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	89.8 mg/L	84.1 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	4 U.C. Pt-Co	24 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	34
Turbiedad	0.22 U.T.N	2.6 U.T.N	Dureza de Magnesio	44
Alcalinidad Total	90 mg/L CaCO ₃	82 mg/L CaCO ₃	Cloruros	4.49
Dureza Total	60 mg/L CaCO ₃	78 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.08
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.5
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.002



- Pozo profundo, bomba sumergible
- Tubería de 3" plg galvanizada
- Válvula Check bridada
- Tee de fo.fo. bridada de 3" plg
- 2 válvulas de seccionamiento bridadas
- Inyección de cloro
- Atraque de concreto
- Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
- Hidrante de 1/2" plg
- No tiene medidor de gasto
- No cuenta con manómetro

LA HACIENDA Y EL BOSQUE 23 – HAC – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.13	7.36	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	7.1 ° C	19.3 ° C	Bicarbonatos	106
Conductividad Eléctrica	239 μ S/cm	215 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	119.6 mg/L	107.1 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	5 U.C. Pt-Co	9 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	34
Turbiedad	2.25 U.T.N	6.9 U.T.N	Dureza de Magnesio	54
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	106 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	90 mg/L CaCO ₃	88 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.23
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.8
Coliformes Fecales	3	ND	Manganeso	0.019





Pozo profundo, bomba sumergible que abastece al fraccionamiento operando 12 hrs/día

Tren de descarga de fo.fo. 4" plg

2 manómetros roscados

Válvula de admisión y expulsión de aire

Atraques de concreto

Macro medidor de propela

Válvula Check bridada

Tee 4" plg bridada

2 válvulas de seccionamiento

No cuenta con línea de cloración

LAS GARZAS 24 – GAR – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.42	6.42	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	7.8 ° C	° C	Bicarbonatos	106
Conductividad Eléctrica	266 µS/cm	µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	123 mg/L	mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	34
Turbiedad	0.16 U.T.N	U.T.N	Dureza de Magnesio	54
Alcalinidad Total	110 mg/L CaCO ₃	mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	95 mg/L CaCO ₃	mg/L CaCO ₃	Hierro	0.23
Sulfatos	1 mg/L	mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.8
Coliformes Fecales	3	ND	Manganeso	0.019



Pozo profundo, bomba sumergible

Fontanería de fo.fo.

Cruz 4" plg con un lateral sellado

Línea No. 1: Reducción de 4" - 2" plg, macro medidor bridado, ampliación de 2" - 4" plg y válvula de seccionamiento

Línea No. 2: Reducción de 4" - 2" plg, medidor de gasto bridado, ampliación de 2" - 2 1/2" plg, válvula de seccionamiento y ampliación de 2 1/2" - 4" plg

No tiene dosificación de cloro





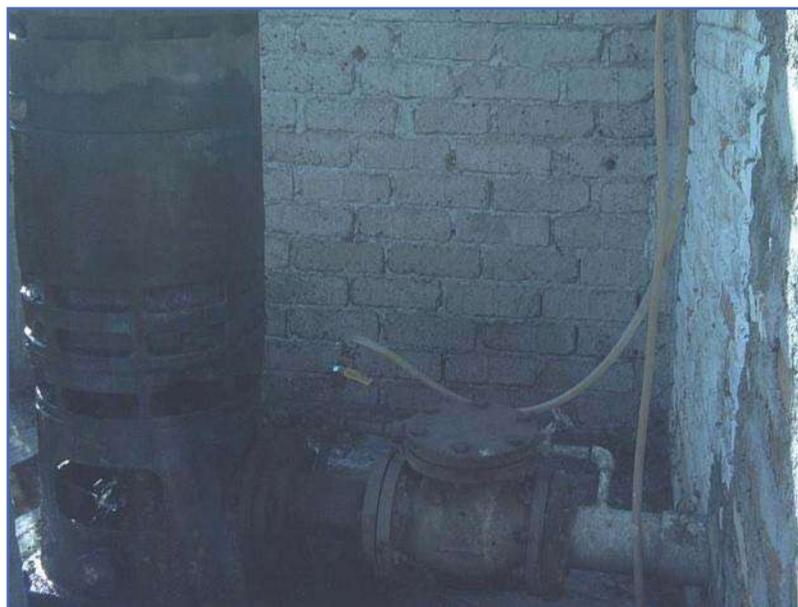
LA CONCEPCION 25 – CON – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.56	7.4	Alcalinidad Fenolftaleina	2
Temperatura	14.3 ° C	19.2 ° C	Bicarbonatos	110
Conductividad Eléctrica	245 µS/cm	248 µS/cm	Carbonatos	4
Sólidos Disueltos Totales	122.6 mg/L	123.5 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	13 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	34
Turbiedad	0.84 U.T.N	1.1 U.T.N	Dureza de Magnesio	50
Alcalinidad Total	130 mg/L CaCO ₃	114 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	100 mg/L CaCO ₃	84 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.29
Sulfatos	1 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.7
Coliformes Fecales	4	ND	Manganeso	0.058



Pozo profundo, bomba sumergible
 Tubería de 3" y 4" plg fo.fo.
 Inyección de cloro
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Ampliación de 3" – 4" plg
 Manómetro roscado
 Dispositivo aforador bridado
 Válvula Check bridada
 2 tee bridadas (una sellada lateral)
 Válvula aliviadora de presión
 Válvula de seccionamiento bridada
 Conducción galvanizada 4" plg

SAN JOSE ITZICUARO 26 – SJO – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.45	8.31	Alcalinidad Fenolftaleina	6
Temperatura	10.8 ° C	20.1 ° C	Bicarbonatos	108
Conductividad Eléctrica	256 µS/cm	244 µS/cm	Carbonatos	12
Sólidos Disueltos Totales	127.8 mg/L	120 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	0 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	32
Turbiedad	0.69 U.T.N	0.35 U.T.N	Dureza de Magnesio	56
Alcalinidad Total	110 mg/L CaCO ₃	120 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.99
Dureza Total	100 mg/L CaCO ₃	88 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.02
Sulfatos	4 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.011





Pozo profundo con bomba vertical
 Tren de descarga de 4" plg fo.fo.
 By pass de 1/2" plg con válvula de compuerta
 Hidrante de 1/2" plg
 Inyección de cloro
 Válvula Check bridada
 Válvula de seccionamiento bridada
 No tiene instalado medidor de gasto
 Sin bifurcaciones previas a la línea de conducción
 No cuenta con manómetro ni válvula de admisión y expulsión de aire

VILLAS DEL PEDREGAL 27 - VPE - SUB - SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.5	7.47	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	8.1 ° C	19.5 ° C	Bicarbonatos	116
Conductividad Eléctrica	245 µS/cm	234 µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	122.4 mg/L	117.3 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	8 U.C. Pt-Co	12 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	32
Turbiedad	1.3 U.T.N	1.4 U.T.N	Dureza de Magnesio	48
Alcalinidad Total	100 mg/L CaCO ₃	116 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.49
Dureza Total	90 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.41
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.8
Coliformes Fecales	3	ND	Manganeso	0.172



Pozo profundo, bomba sumergible
 Fontanería de 6" plg fo.fo.
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Atraques de mampostería
 Manómetro
 Macro medidor bridado
 Válvula Check bridada
 Tee 6" plg
 2 válvulas de seccionamiento de 6" plg fo.fo. bridadas
 No cuenta con dispositivo dosificador de cloro





VILLAS DE LA LOMA 28 – VLO – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.55	8.31	Alcalinidad Fenolftaleina	8
Temperatura	15.5 ° C	20.5 ° C	Bicarbonatos	106
Conductividad Eléctrica	250 μ S/cm	247 μ S/cm	Carbonatos	16
Sólidos Disueltos Totales	125 mg/L	122 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	0 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	30
Turbiedad	0.16 U.T.N	0.3 U.T.N	Dureza de Magnesio	58
Alcalinidad Total	120 mg/L CaCO ₃	122 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.99
Dureza Total	110 mg/L CaCO ₃	88 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.01
Sulfatos	1 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.7
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.025



- Pozo profundo, bomba sumergible
- Tubería de 6" plg de fo.fo.
- Macro medidor digital bridado
- Válvula de admisión y expulsión de aire
- Válvula Check bridada
- Cruz 6" x 4" plg
- Válvula aliviadora de presión
- Hidrante de 1/2" plg
- Válvula de seccionamiento bridada
- Dosificador de cloro
- Tee de 6" plg bridada
- 2 válvulas de control

ARKOS SAN JUAN 29 – ASA – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.66	8.4	Alcalinidad Fenolftaleina	10
Temperatura	9.6 ° C	20.2 ° C	Bicarbonatos	100
Conductividad Eléctrica	320 μ S/cm	253 μ S/cm	Carbonatos	20
Sólidos Disueltos Totales	160 mg/L	124.7 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	4 U.C. Pt-Co	0 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	32
Turbiedad	0.82 U.T.N	0.3 U.T.N	Dureza de Magnesio	58
Alcalinidad Total	100 mg/L CaCO ₃	120 mg/L CaCO ₃	Cloruros	9.49
Dureza Total	125 mg/L CaCO ₃	90 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.03
Sulfatos	17 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2
Coliformes Fecales	20	ND	Manganeso	0.022





Pozo profundo con bomba sumergible, suministra recurso al fraccionamiento Arkos San Juan, Morelia

Tren de descarga de fo.fo. con diámetro de 4" y 6" plg

Válvula de admisión y expulsión de aire roscada

Medidor de gasto de propela bridado

Tee bridada de 4" plg

2 válvulas de seccionamiento bridadas de 4" plg

Válvula Check

Atraques de concreto

Ampliación de 4" – 6" plg

Válvula de control de aire

Dosificador de cloro

La conducción es directa al tanque de regularización

ITZICUARO 30 – ITZ – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.63	8.15	Alcalinidad Fenolftaleina	8
Temperatura	9.9 ° C	18.9 ° C	Bicarbonatos	122
Conductividad Eléctrica	411 μ S/cm	283 μ S/cm	Carbonatos	16
Sólidos Disueltos Totales	206 mg/L	146.1 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	11 U.C. Pt-Co	106 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	46
Turbiedad	2.09 U.T.N	6.9 U.T.N	Dureza de Magnesio	54
Alcalinidad Total	110 mg/L CaCO ₃	138 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	160 mg/L CaCO ₃	100 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.04
Sulfatos	37 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.7
Coliformes Fecales	460	ND	Manganeso	0.007



Pozo profundo, bomba sumergible

Fontanería de 3" plg fo.fo.

Inyector de cloro

Atraque de concreto

By pass de 1/2" plg de tubería galvanizada

Válvula Check bridada

Hidrante de 1/2" plg

Tee de 3" plg bridada con lateral sellado

Válvula de seccionamiento de compuerta

No tiene dispositivo aforador





CERRITO ITZICUARO 31 – CIT – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.33	7.77	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	14.5 ° C	19.1 ° C	Bicarbonatos	216
Conductividad Eléctrica	452 µS/cm	446 µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	226 mg/L	222 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	24 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	52
Turbiedad	1.54 U.T.N	0.4 U.T.N	Dureza de Magnesio	74
Alcalinidad Total	180 mg/L CaCO ₃	216 mg/L CaCO ₃	Cloruros	8.99
Dureza Total	150 mg/L CaCO ₃	126 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.04
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.3
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.165



Pozo profundo, bomba sumergible
 Tubería de 4" plg fo.fo.
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Manómetro
 Macro medidor de propela bridado
 Válvula Check
 Atraque de concreto
 Tee de 4" x 2" plg
 2 válvulas de seccionamiento (4" y 2" plg bridadas)
 Dispositivo inyector de cloro antes de línea de conducción a tanque

ROCA DURA 32 – RDU – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.42	7.78	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	13.3 ° C	20.6 ° C	Bicarbonatos	80
Conductividad Eléctrica	182.6 µS/cm	171.8 µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	91.3 mg/L	86.1 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	14 U.C. Pt-Co	13 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	28
Turbiedad	4.13 U.T.N	3.2 U.T.N	Dureza de Magnesio	44
Alcalinidad Total	70 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	80 mg/L CaCO ₃	72 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.149
Sulfatos	1 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.7
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05





Pozo profundo, bomba sumergible
 Tren de descarga de 2" plg fo.fo.
 Hidrante de 1/2" plg
 Manómetro roscado
 Válvula Check bridada
 Tee de 2" plg
 2 válvulas de seccionamiento bridadas
 No cuenta con atraques
 Línea de dosificación de cloro
 Sin medidor de flujo
 Conducción directa a tanque de regularización

BALNEARIO COINTZIO 33 – BCO – SUP – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	5.77	7.78	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	13 ° C	21.1 ° C	Bicarbonatos	98
Conductividad Eléctrica	510 µS/cm	183.6 µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	255 mg/L	91.2 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	13 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	30
Turbiedad	0.96 U.T.N	1.6 U.T.N	Dureza de Magnesio	38
Alcalinidad Total	260 mg/L CaCO ₃	98 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	170 mg/L CaCO ₃	68 mg/L CaCO ₃	Hierro	< 0.1
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.1
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05



Manantial de agua termal
 Aprovechamiento de origen superficial
 La fuente está protegida con mampostería y mortero acomodada
 Se encuentra cercada con herrería de protección
 El nacimiento no cuenta con rejillas ni obra de control de sedimentos
 El gasto es constante durante casi todo el año a excepción de temporada de estiaje, cuando su caudal se reduce a razón del 50%
 El flujo medio aforado es del orden de 1.5 lts/seg
 El recurso aflora al pie de rocas basálticas





MINTZITA 34 – MIN – SUP – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.09	7.63	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	13.8 ° C	20.5 ° C	Bicarbonatos	82
Conductividad Eléctrica	197.7 µS/cm	169.5 µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	98.8 mg/L	84.8 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	16 U.C. Pt-Co	16 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	24
Turbiedad	4.35 U.T.N	4 U.T.N	Dureza de Magnesio	52
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	82 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	65 mg/L CaCO ₃	76 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.143
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.7
Coliformes Fecales	210	ND	Manganeso	< 0.05



Manantial de producción perenne

Abastece a gran parte de la ciudad de Morelia

El nacimiento se encuentra protegido con mampostería acomodada con mortero

Aguas abajo del nacimiento se capta y conduce para su mejor aprovechamiento

El gasto aforado en el canal de llamada antes de la toma de la empresa CRISOBA ha registrado 1,963 l.p.s; de los cuales, 1,041 l.p.s. se destinan hacia la línea de conducción que va de la obra de toma a la planta de bombeo que opera el OOAPAS

El manantial se ubica aproximadamente a 6 km al sureste de la ciudad de Morelia

SAN ANTONIO PARANGARE 35 – SAN – SUP – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.09	8.2	Alcalinidad Fenolftaleina	8
Temperatura	13.8 ° C	19.1 ° C	Bicarbonatos	64
Conductividad Eléctrica	197.7 µS/cm	182.5 µS/cm	Carbonatos	16
Sólidos Disueltos Totales	98.8 mg/L	91.8 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	16 U.C. Pt-Co	17 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	34
Turbiedad	4.35 U.T.N	2.2 U.T.N	Dureza de Magnesio	46
Alcalinidad Total	80 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Cloruros	6.49
Dureza Total	65 mg/L CaCO ₃	80 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.04
Sulfatos	2 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.7
Coliformes Fecales	210	ND	Manganeso	0.001





Aprovechamiento de origen superficial, con 2 bombas verticales
 Conducción de tubería galvanizada de 3" plg
 Almacenamiento en tanque de regularización superficial de mampostería que suministra por gravedad
 Dosificador de cloro
 Abastece a la localidad de San Antonio Parangare operando 12 hrs/día
 No tiene medidor de flujo instalado

COINTZIO 36 - COI - SUP - SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.01	7.58	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	12.7 ° C	18.9 ° C	Bicarbonatos	160
Conductividad Eléctrica	144.5 µS/cm	292 µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	72.3 mg/L	142.6 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	5 U.C. Pt-Co	0 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	96
Turbiedad	2.12 U.T.N	0.25 U.T.N	Dureza de Magnesio	54
Alcalinidad Total	50 mg/L CaCO ₃	160 mg/L CaCO ₃	Cloruros	9.99
Dureza Total	30 mg/L CaCO ₃	96 mg/L CaCO ₃	Hierro	0.07
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	1.9
Coliformes Fecales	3	ND	Manganeso	0.004



Aprovechamiento superficial que suministra a la comunidad de Cointzio
 El agua proviene de dos nacimientos denominados "Manantial Bañerios y Manantial de Arriba"
 El almacenamiento se tiene en un tanque superficial de concreto armado con capacidad de 30 metros cúbicos
 Dispositivo de cloración
 No son aforados los manantiales





PARIAN 37 – PAR – SUP – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.06	8.17	Alcalinidad Fenoltaleina	6
Temperatura	10.5 ° C	20.2 ° C	Bicarbonatos	120
Conductividad Eléctrica	356 μ S/cm	371 μ S/cm	Carbonatos	12
Sólidos Disueltos Totales	177.8 mg/L	185.2 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	13 U.C. Pt-Co	8 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	42
Turbiedad	3.12 U.T.N	1 U.T.N	Dureza de Magnesio	50
Alcalinidad Total	110 mg/L CaCO ₃	132 mg/L CaCO ₃	Cloruros	22.99
Dureza Total	100 mg/L CaCO ₃	92 mg/L CaCO ₃	Fierro	< 0.1
Sulfatos	15 mg/L	13.06 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.5
Coliformes Fecales	93	ND	Manganeso	< 0.05



Manantial de uso local y suministro a pipas particulares

El nacimiento se encuentra protegido perimetralmente y cuenta con caseta de bombeo

El abastecimiento a los pobladores cercanos es mediante el uso de infraestructura hidráulica instalada al interior de una caseta que alberga 2 equipos de bombeo en paralelo con tubería de 1" plg

Cuentan con válvula de purga, válvula de desfogue, check e hidrante roscados

Dosificador de cloro

No tiene instalado medidor de flujo

El gasto aforado al final del vertedor es de 4.5 l.p.s. aproximadamente

SAN ISIDRO ITZICUARO 38 – SIS – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.38	8.16	Alcalinidad Fenoltaleina	0
Temperatura	11.4 ° C	22 ° C	Bicarbonatos	140
Conductividad Eléctrica	238 μ S/cm	358 μ S/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	120 mg/L	180.4 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	0 U.C. Pt-Co	8 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	42
Turbiedad	0.14 U.T.N	2.1 U.T.N	Dureza de Magnesio	48
Alcalinidad Total	100 mg/L CaCO ₃	140 mg/L CaCO ₃	Cloruros	22.49
Dureza Total	60 mg/L CaCO ₃	90 mg/L CaCO ₃	Fierro	< 0.1
Sulfatos	1 mg/L	12.33 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	3.2
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05





Pozo profundo, bomba sumergible
 Fontanería de 6" plg y 8" plg fo.fo.
 Atraque de concreto
 Macro medidor digital
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Ampliación de 6" – 8" plg
 Válvula Check bridada
 Tee de 8" plg bridada
 Reducción de 8" – 4" plg
 2 válvulas de seccionamiento bridadas (8" plg y 4"plg)
 Dosificador de cloro

CIUDAD JARDIN 39 – CJA – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	7.1	7.82	Alcalinidad Fenolftaleina	0
Temperatura	12.5 ° C	22.1 ° C	Bicarbonatos	104
Conductividad Eléctrica	206 µS/cm	196.2 µS/cm	Carbonatos	0
Sólidos Disueltos Totales	103.1 mg/L	97.8 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	6 U.C. Pt-Co	3 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	24
Turbiedad	0.31 U.T.N	0.95 U.T.N	Dureza de Magnesio	28
Alcalinidad Total	90 mg/L CaCO ₃	104 mg/L CaCO ₃	Cloruros	7.99
Dureza Total	60 mg/L CaCO ₃	52 mg/L CaCO ₃	Fierro	< 0.1
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2.3
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	< 0.05



Pozo profundo, bomba sumergible
 Tubería de 6" plg y 8" plg fo.fo.
 Hidrante 1/2" plg
 Medidor de flujo digital
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Válvula Check bridada
 Atraque de concreto
 Tee de 6" x 2" plg bridada
 2 válvulas de seccionamiento bridadas (6" plg y 2" plg)
 Ampliación de 6" – 8" plg
 Inyección de cloro





SAN JUANITO ITZICUARO 40 – SJU – SUB – SO				
Parámetro Físico	Resultado Campaña 1	Resultado Campaña 2	Parámetro Químico	Resultado Campaña 2
Ph	6.1	7.49	Alcalinidad Fenolftaleina	4
Temperatura	9.7 ° C	19.1 ° C	Bicarbonatos	148
Conductividad Eléctrica	306 μ S/cm	370 μ S/cm	Carbonatos	8
Sólidos Disueltos Totales	152.9 mg/L	185 mg/L	Hidroxidos	0
Color Verdadero	4 U.C. Pt-Co	1 U.C. Pt-Co	Dureza de Calcio	44
Turbiedad	1.14 U.T.N	0.3 U.T.N	Dureza de Magnesio	38
Alcalinidad Total	120 mg/L CaCO ₃	156 mg/L CaCO ₃	Cloruros	18.99
Dureza Total	80 mg/L CaCO ₃	82 mg/L CaCO ₃	Fierro	0.09
Sulfatos	0 mg/L	< 10 mg/L	Nitratos como Nitrogenos	2
Coliformes Fecales	No detectable	ND	Manganeso	0.055



Pozo profundo, bomba sumergible
 Tren de descarga de 6" plg fo.fo.
 Válvula de admisión y expulsión de aire roscada
 Línea de cloración
 Macro medidor digital bridado
 Atraque de concreto
 Válvula Check
 Cuenta con tres líneas de conducción
 Tee bridada (2, 8" x 6" plg; 1, 6" plg)
 Válvulas de seccionamiento (3 de 6" plg; 1 de 8" plg)





XV.- GLOSARIO DE TERMINOS

Para comprender mejor el tema de estudio, se muestran a continuación algunos conceptos considerados relevantes para el desarrollo y comprensión de la investigación:

Descripción de premisas y conceptos generales:

Contaminación: alteración de la calidad natural. En la Hidrogeología, modificación del agua subterránea, física, química o biológica, ya sea como consecuencia directa o indirecta de la actividad del hombre o por razones naturales, disminuyendo o limitando los usos a los que se destina. La definición anterior implica el conocimiento de la calidad natural del agua, la cual variará no solamente geográficamente sino incluso temporalmente.

Evolución de la gestión de residuos sólidos: los residuos sólidos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos. El término residuo sólido comprende tanto la masa heterogénea de los desechos de la comunidad urbana como la acumulación más homogénea de los residuos agrícolas, industriales y minerales.

Desarrollo de la gestión de residuos sólidos: la gestión de los residuos sólidos puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas. Dentro de su ámbito, la gestión de residuos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales, de planificación y de ingeniería involucradas en las soluciones de todos los problemas de los residuos sólidos.

Orígenes de los residuos sólidos: los orígenes de los residuos sólidos en una comunidad están, en general, relacionados con el uso del suelo y su idealización, aunque pueden desarrollarse un número variable de clasificaciones sobre los orígenes, las siguientes categorías son útiles: 1) doméstico, 2) comercial, 3) institucional, 4) construcción y demolición, 5) servicios municipales, 6) zonas de plantas de tratamiento, 7) industrial y 8) agrícola.

Residuos: todas aquellas materias generadas en las actividades de consumo y producción que no alcanzan, en el contexto en el que son producidas, ningún valor económico.





Residuos en la naturaleza: los ecosistemas naturales también generan una serie de basuras o residuos, pero al contrario de lo que ocurre en las sociedades humanas, éstos son reutilizados, consumidos o reciclados por los diferentes organismos que lo conforman.

Tipos de residuos sólidos:

Domésticos.- son aquellos que tienen sus orígenes en el hogar, a partir de viviendas aisladas y bloques de baja, mediana y elevada altura, unifamiliares y multifamiliares; pueden incluir residuos tóxicos y peligrosos tales como pilas y disolventes, pero su mayor porcentaje lo componen restos alimenticios, papel, vidrio, plásticos, textiles madera y metales.

Comerciales.- generados en restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos, etc.

Institucional.- considerando escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales, etc.

Servicios municipales.- aquellos originados por la limpieza cuencas, playas, parques, paisajismo, zonas de recreo y calles. Principalmente son recortes de árboles y plantas, desechos de comida, así como materia orgánica.

Plantas de tratamiento e incineradoras.- solo infraestructura destinada al saneamiento por medio de tecnologías aerobias, anaerobias, wetlands, etc., siendo la principal fuente de contaminación el agua, aguas residuales y procesos de tratamiento industrial.

Industria.- aquellos producidos por la construcción, fabricación ligera y pesada, refinerías, plantas químicas, centrales térmicas, demoliciones, etc.

Agrícolas.- cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, ganadería intensiva, granjas, residuos alimenticios y agrícolas.

Composición de los residuos sólidos: es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos sólidos y su distribución relativa, usualmente basada en porcentajes por peso. La información sobre la composición de los residuos sólidos es importante para evaluar las necesidades de equipo, los sistemas, programas y planes de gestión. A continuación se describe la siguiente composición:

Orgánico.- residuos de alimentos, papel, cartón, textiles, goma, cuero, residuos de jardín, madera y orgánicos misceláneos.

Inorgánico.- vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, plásticos, cenizas, etc.

Propiedades y clasificación de los residuos peligrosos: se definen como residuos o combinaciones de residuos que plantean un peligro sustancial, actual o potencial a los seres humanos u otros organismos vivos porque: 1) tales





residuos son no degradables o persistentes en la naturaleza; 2) pueden acumularse biológicamente; 3) pueden ser letales, o 4) pueden de otra forma causar o tender a causar efectos perjudiciales acumulativos.

Las propiedades de los materiales residuales que sirven para valorar si un residuo peligroso o no, están relacionadas con cuestiones de salud (corrosividad, explosividad, inflamabilidad) y seguridad (cancerogenicidad, infecciosidad, irritante "con respuesta alérgica", mutagenicidad, toxicidad "venenos", toxicidad aguda, toxicidad crónica, radioactividad, teratogenicidad).

Relleno Sanitario.- es una obra de infraestructura que, siguiendo los requisitos que marca la NOM-083-ECOL-1996, aplica métodos de ingeniería para evitar la contaminación del suelo, agua y aire que provoca la basura, la cual, produce líquidos llamados lixiviados, que, si no se controlan, pueden dispersarse por el suelo e infiltrarse hasta llegar a los mantos acuíferos. Así mismo, produce gases que pueden tener importantes impactos sobre el medio ambiente y la salud de la población.

Características principales de un relleno sanitario.- consiste en la disposición final de los residuos sólidos, al igual que al manejo integral de los mismos generados en la localidad, de tal forma que no cause perjuicio al ambiente ni peligros a la salud y seguridad pública.; en él, los residuos se colocan en capas compactadas, cubiertas con tierra, utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogeneización y compactación. Antes de la colocación de los residuos, el suelo se prepara para prevenir la infiltración de líquidos lixiviados provenientes de la descomposición de los residuos, utilizando materiales naturales o sintéticos (geotextiles); al mismo tiempo se construyen obras de control y monitoreo, como pozos de venteo y quemadores para el biogás o colectores para captar los lixiviados. Esta infraestructura se utiliza cuando se prevén ingresos de más de 10 toneladas de residuos al día.

Lixiviados: líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener material suspendido o disuelto, generalmente los dos. Este líquido es más comúnmente hallado asociado a rellenos sanitarios, en donde, como resultado de la disposición de la basura aunado a la acción de las lluvias, reacciona con los productos de descomposición, agroquímicos, y otros compuestos. Típicamente, el lixiviado es anóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro; tiene un olor característico difícil de confundir; se debe a altas concentraciones orgánicas y nitrógeno amoniacal.

Acuífero: aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarlos con materiales muy variados como gravas, calizas, areniscas, depósitos volcánicos (brechas, arenas, cenizas, lavas fracturadas), etc.





En función de las características de las rocas, se tiene la siguiente clasificación:

Acuifugo: no posee capacidad de circulación ni de retención de agua.

Acuicludo: contiene agua en su interior, incluso hasta la saturación, pero no la transmite.

Acuitardo: contiene agua y la transmite muy lentamente.

Acuífero: almacena agua en los poros y circula con facilidad por ellos.

Desde otro punto de vista, se define un acuífero como aquella formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua susceptible de ser explotada en cantidades económicamente apreciables para atender diversas necesidades. Por otro lado, conociendo que los acuíferos reciben agua de la precipitación (aunque pueden recibirla por otras vías), es posible identificarles tres zonas: zona de alimentación o recarga, zona de circulación y zona de descarga.

La zona de alimentación es aquella donde el agua de precipitación se infiltra. La zona de descarga es la zona donde el agua sale del acuífero, como puede ser un manantial o la descarga al mar o a un río. La zona de circulación es la parte comprendida entre la zona de alimentación y la zona de descarga, en donde el agua se desplaza por gravedad.

Los tipos de acuíferos son:

Acuíferos libres.- también llamados no confinados o freáticos. En ellos existe una superficie libre y real del agua encerrada, que está en contacto con el aire y a la presión atmosférica. El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas. Si se perfora total o parcialmente la formación acuífera, la superficie obtenida por los niveles de agua de cada pozo forman una superficie real: superficie freática o piezométrica, que coinciden.

Acuíferos confinados.- también llamados cautivos, a presión o carga. El agua está sometida a una presión superior a la atmosférica y ocupa totalmente los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. No existe zona no saturada. Si perforamos, el nivel de agua asciende hasta situarse en una determinada posición que coincide con el nivel de saturación del acuífero en el área de recarga. Si la topografía es tal que la boca del pozo está por debajo del nivel del agua, el pozo es surgente o artesiano; si no es así, el nivel del agua ascenderá hasta el nivel correspondiente, pero no será surgente. La superficie piezométrica es una superficie ideal resultante de unir todos los niveles en diferentes perforaciones que capten el acuífero.

Acuíferos semiconfinados.- el muro y/o techo no son totalmente impermeables sino que son acuitardos y permiten la filtración vertical del agua y, por tanto, puede recibir recarga o perder agua a través del techo o de la base. Este flujo vertical sólo es posible, si existe una diferencia de potencial entre ambos niveles. Un mismo acuífero puede ser libre, cautivo y semicautivo según sectores.

Acuífero colgado.- se producen ocasionalmente cuando, por efecto de una fuerte recarga, asciende el nivel freático quedando retenida una porción de agua por un nivel inferior impermeable. El agua que se infiltra queda





atrapada en una capa que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima. Los acuíferos colgados, son más comunes de lo que se puede suponer, aunque quizás solo ocupan unos pocos centímetros de espesor, por lo que no suponen un recurso muy fiable ya que a veces se pueden perforar del todo y el pozo construido facilita el drenaje del agua contenida en la capa hacia la zona saturada.

Fuentes de contaminación.- el origen es importante dadas las implicaciones que tiene en los mecanismos de transporte y de ser el caso, en los programas de remediación. El sitio de origen de la contaminación se denomina fuente, esta puede ser potencial o activa dependiendo si está o no generando lixiviados. La sola presencia de elementos o sustancias de naturaleza contaminantes en una fuente no implica que estos estén migrando hacia el acuífero. Una fuente inactiva, como un relleno sanitario, es potencial, ya que pueden darse las condiciones para que posteriormente pueda generar lixiviados, incluso puede iniciar su actividad en casos donde exista control de infiltración por daños en geomembranas, fallamientos, etc.

Las fuentes también se pueden catalogar por su geometría, pudiendo ser lineales, puntuales o difusas. Se definen como difusas, a aquellas que en una vasta zona, aportan solutos en diferentes puntos de su interior. El carácter puntual depende de la escala de trabajo con que se aborde la problemática, ya que un basurero de algunas hectáreas será puntual, si se le considera en una escala de 1:50,000; pero será difusa si se utiliza un mapa de referencia 1:5,000.

Se diferencian las fuentes, por su temporalidad de acuerdo a lo siguiente: si constantemente producen solutos, se les denomina continuas; si la producción se supedita a la presencia de excesos de humedad que favorezcan infiltraciones serán intermitentes; mientras que en caso de existir alguna contingencia (accidentes químicos, derrames) que produzca percolaciones induciendo una entrada única al sistema acuífero, entonces se dice que la fuente es un pulso (Rodríguez, 2003).

De igual manera, las fuentes también se clasifican por su origen como antropogénicas, si su origen corresponde a acciones del hombre y naturales.

La contaminación como tal, no es un concepto aislado ni mucho menos reciente, sin embargo, hoy en día es un tema de creciente interés tanto a nivel general como local debido sobre todo a los impactos y consecuencias a corto, mediano y largo plazo. Dichos impactos y consecuencias, se originan al no dar soluciones adecuadas al tratamiento de residuos sólidos generados en asentamientos humanos, de igual forma, el aprovechamiento de recursos naturales de calidad, como el agua, que no se encuentren en condiciones adecuadas para su consumo, debido a alteraciones propiciadas por la acción antropogénica directa o indirectamente, contribuyen a incrementar la contaminación.

