

10
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE LA SUBSIDENCIA EN LA CIUDAD DE
AGUASCALIENTES, AGS., DESDE UN ENFOQUE
GEOLOGICO AMBIENTAL

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO

PRESENTA:

FELIX IGNACIO MALPICA SANCHEZ



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-018

SR. FELIX IGNACIO MALPICA SANCHEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Luis Miguel Mitre Salazar, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

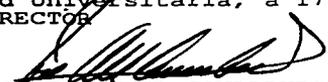
**ANALISIS DE LA SUBSIDIENCIA EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES,
AGS., DESDE UN ENFOQUE GEOLOGICO AMBIENTAL**

- I INTRODUCCION
- II CONCEPTUALIZACION DE LA GEOLOGIA AMBIENTAL
- III CONDICIONES AMBIENTALES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES
- IV MARCO GEOLOGICO REGIONAL
- V CARACTERIZACION DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES
- VI ANALISIS ESTRUCTURAL
- VII GEOLOGIA URBANA DE AGUASCALIENTES, AGS.
- VIII DISCUSION
- IX CONCLUSIONES
- X REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS
- XI ANEXOS

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

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

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 17 de febrero de 1995
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*EGLM*tjh

- *¿A qué llama usted el mundo?*
- *El mundo es todo lo que está encajado aquí - dijo...*

C. Castaneda

A

Brígida Sánchez Vargas y Félix Malpica del Valle

*Estela Brígida, Aída y Frida, P.
Malpica Sánchez*

*Margarita y Pura;
Sofía, Vinicia, María, Rosa, Luciano y Teresa
Vargas Quevedo*

*A los vientos del sureste
y a los que vuelan alto con ellos.*

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Luis Miguel Mitre Salazar por sus enseñanzas, consejos, apoyos, ánimos y por haber hecho efectivo desde principio a fin su "let it be".

Al Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz por su paciencia, comprensión, interés y ayuda incondicional desde que lo conozco.

A los ingenieros Jorge Nieto Obregón, Alfredo Victoria Morales y Javier Arellano Gil por las facilidades dadas en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Dante Morán Zenteno por haber dado su visto bueno a la salida a campo.

Al personal del Instituto de Geología por sus gestos de amistad y solidaridad.

A los ingenieros Rafael Berumen y Juan Fuentes por sus amabilidades en los días que estuve en la Ciudad de Aguascalientes.

A mis maestros Oralia Oropeza Orozco y Víctor Manuel Dávila Alcocer siempre dispuestos a cooperar animosamente.

A Jesús Vega, Raymundo García Herrera por asesorarme en mis vericuetos computacionales; a Manuel Figueroa Mah Eng y Armando Altamira Areyán por participar solidariamente en la hechura del MDT, y principalmente a los 4 por su cuatitud.

A Antonio Altamira, Alejandro Arévalo, Luis Burgos, Ruth Castañeda, Leticia Contreras, Eloisa Domínguez, Raúl Estrada, Enrique Huesca, Laura Lozano, Maru Malagón, Isidro Maldonado, Christian Metzger, Dalia Ortiz, Enoch Ortiz, Arturo Osorio, Luis Ramos, René Ramos, Luz Rodríguez, Virgilio Rodríguez, José Ruiz, Luis Sánchez, Laura Sierra, Carlos Vargas, Fernando Vega, Juan Carlos Velasco, Karine Zurcher y Lupe Zurita por compartir espacio, momentos, ideas y estados de ánimo.

Con un agradecimiento muy especial a Silvia Correa, Rosa Martha Quintero y Laura Rosales por su aliento, estímulo, comprensión y complicidad a lo largo y ancho de este trabajo.

CONTENIDO

Resumen	1
Introducción	2
Capítulo I	
Conceptualización de la Geología Ambiental	8
Capítulo II	
Condiciones Ambientales del Estado de Aguascalientes	
Factores Naturales	24
Factores Antrópicos	31
Impacto Ambiental	41
Capítulo III	
Marco Geológico Regional	
Marco Tectónico	44
Marco Estratigráfico	46
Geomorfología	53
Evolución Geológica	56
Capítulo IV	
Caracterización del Graben de Aguascalientes.	
Geología	59
Clima	63
Hidrología Superficial	66
Geohidrología	68
Geotermalismo	75
Capítulo V	
Análisis Estructural	78
Capítulo VI	
Geología Urbana de Aguascalientes, Aguascalientes.	
Antecedentes	89
Fenómeno de la Subsistencia	92
Riesgos Ocasionados por el Fenómeno de la Subsistencia	102
Capítulo VII	
Discusión	108
Conclusiones	116
Referencias Bibliográficas	120
Anexo	

No sugiero que el dato inicial de percepción deba aceptarse como indudable; esto no es en modo alguno así. Hay métodos bien conocidos para aumentar o debilitar la fuerza del testimonio individual; en los tribunales se usan ciertos métodos, en la ciencia se usan otros un poco diferentes. Pero todos dependen del principio de que debe designarse *algún* peso a cada elemento testimonial, pues sólo en virtud de este principio puede sostenerse que una serie de testimonios concordantes otorgan una elevada probabilidad. Las percepciones individuales son la base de todo nuestro conocimiento, y no existe ningún método por el que podamos partir de datos públicos, compartidos por muchos observadores.

El Conocimiento Humano. Su alcance y sus Límites (1948).
Bertrand Russell

RESUMEN

La Ciudad de Aguascalientes se encuentra en la región ecológica árida del país, lo que ha llevado a la extracción, progresiva y acelerada, del agua de los mantos acuíferos del Valle de Aguascalientes, proveedor principal del estado. Esto ha causado impactos ambientales importantes: escasez y contaminación del recurso agua, así como subsidencia del terreno, entre otros daños de importancia.

La subsidencia por extracción de agua se refiere al hundimiento de la superficie, acompañado con la aparición de grietas y fallas, al compactarse las unidades permeables. En el estado de Aguascalientes la afectación es de carácter regional, ya que abarca al valle del mismo nombre. Y a la Ciudad de Aguascalientes, de manera específica, se le considera en estado de desastre, debido al grado de afectación en su infraestructura por causa de dicho fenómeno - lo que ha implicado un incremento en su vulnerabilidad -.

En el presente estudio se analizó al fenómeno de la subsidencia desde la perspectiva de la Geología Ambiental. Se concibió a la región desde un enfoque sistémico, caracterizando y relacionando los elementos que conforman al geosistema Aguascalientes, pasando desde lo regional hasta lo local (zonas geomórficas, graben y zona urbana), con el fin de contextualizar los cambios en el uso de suelo y el aprovechamiento del agua subterránea. Se hizo énfasis en el análisis de la estructura geológica, con base en la identificación de lineamientos, que pudiera estar influyendo en el funcionamiento del agua subterránea.

A partir del desarrollo de este trabajo, se observó, el como una sociedad al desconocer las características del medio natural en el cual habita, degrada irremediablemente sus recursos naturales al momento de quererlos aprovechar. Los problemas de índole ambiental, como la subsidencia de este tipo, no pueden ser analizados sin examinar la interrelación entre las condiciones del medio físico y la dinámica socioeconómica de la región. Siendo evidente que al ignorar la capacidad de carga que tiene la región, es decir, al desconocer si el medio físico es apto para soportar la demanda que genera las necesidades de la población, hará más frágil el equilibrio de esta interrelación.

Se busca con este trabajo valorar la significación de la información geológica en estudios ambientales y su importancia en el análisis de ubicación de asentamientos humanos. Además, se deja entrever, que una solución de raíz a este problema, es cuestionar el tipo de desarrollo productivo de la región, e induce a reflexionar sobre los límites que impondrían los recursos naturales a la evolución de la ciudad capital y al desarrollo del Estado de Aguascalientes.

INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales representan un bien patrimonial de la sociedad, ya que de ellos depende su desarrollo. En la actualidad, el deterioro de nuestro entorno natural está llegando a niveles alarmantes, siendo lo más grave de esta situación, el estado de concientización de la sociedad, ya que las acciones de ésta para contrarrestar el evidente deterioro se encuentran muy rezagadas con respecto al incremento en la degradación de los recursos naturales.

Al no considerar dentro de los planes económicos el deterioro continuo de los recursos naturales, que implica adoptar nuevos estilos de vida, se ha llegado a afectar la cantidad y calidad de éstos. Mientras tanto, la mayoría de la gente se resigna y grupos minoritarios dan pequeños pasos para impedirlo.

Datos recientes indican que uno de cada cuatro mexicanos vive en las áreas metropolitanas del Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey y Puebla. Con lo cual los responsables de las políticas de descentralización plantean estrategias para distribuir la sobrecarga de las actividades antrópicas en la República Mexicana, pero reproducen esquemas en el desarrollo de las ciudades medias, es decir, crece la población, la actividad industrial y se extiende la mancha urbana sin detener el deterioro ni restaurar al medio natural, continuando así la sobreexplotación y contaminación de los recursos naturales básicos como son el agua, el suelo y la flora.

Un ejemplo de ciudad media con daños en su medio físico es Aguascalientes. Ésta se encuentra afectada por el desequilibrio entre la oferta del medio natural y la demanda de la población, manifestándose en consecuencia el fenómeno de la subsidencia.

El fenómeno de subsidencia, en general, se refiere al desplazamiento vertical de la superficie terrestre. Sucede solamente cuando el material del subsuelo es desplazado dejando espacios vacíos de tamaño macro o micro. Se caracteriza por tener un pequeño o nulo movimiento horizontal, ya que no presenta una superficie libre, como sería el caso de los movimientos de remoción de masa.

Al fenómeno geológico de la subsidencia se le puede abordar para su estudio desde diferentes perspectivas: Geohidrología, Geología Estructural, Mecánica de Suelos, Geografía, Análisis de Riesgos, Protección Civil y otras. En este trabajo se optó por estudiarlo desde el enfoque de la Geología Ambiental.

La Geología Ambiental se enmarca en el ámbito de las ciencias que tratan de mejorar el medio ambiente. En esta área de estudio es indispensable enfocar los problemas integralmente, ya que nada funciona aisladamente y todo se relaciona con todo en todas las partes del sistema, es decir, son interdependientes sus elementos y si se afecta a uno de ellos los demás sufrirán alteraciones. Por lo tanto, para lograr dicho mejoramiento es condición equilibrar el desarrollo económico y el aprovechamiento de los recursos naturales.

Esto significa vincular las actividades antrópicas con las condiciones naturales del área en cuestión y no estudiar los problemas de manera puntual, en el caso de querer resolver los problemas de raíz. Desde esta perspectiva se analiza al fenómeno geológico que afecta a la ciudad de Aguascalientes.

El estado de Aguascalientes se ubica en un medio físico semiárido, donde el agua superficial es escasa, lo que ha llevado a disponer de manera progresiva y acelerada del agua subterránea, cuya extracción está en función de las actividades económicas y sociales de la región.

Los mantos acuíferos de mayor importancia en el estado son los del Valle de Aguascalientes, donde se asientan las localidades más pobladas y donde hay un mayor dinamismo de la actividad industrial.

Ciertas actividades productivas han requerido en los últimos años grandes cantidades de agua del subsuelo con lo cual se ha propiciado un desequilibrio en el medio natural, originando el fenómeno geológico de la subsidencia en el valle de Aguascalientes.

Específicamente en la ciudad capital la subsidencia se ha manifestado desde principios de la década de los ochenta, donde han aparecido grietas que afectan la infraestructura de la ciudad, deteriorando al recurso agua (escasez y contaminación) e impactando al propio hábitat geológico.

Ejemplificándose aquí claramente, de como una sociedad al desconocer las características del medio natural donde habita, deteriora irremediablemente a sus recursos naturales al momento de quererlos aprovechar.

Este hecho cuestiona las políticas o criterios de desarrollo productivo de la región y surgen interrogantes, como por ejemplo, ¿cuáles serán los límites que impondrán los recursos naturales a la evolución económica y social de la región de Aguascalientes?

Además, el caso de la subsidencia en la ciudad de Aguascalientes sirve como ejemplo a otras ciudades que crecen aceleradamente y todavía no sufren de éste o similares fenómenos derivados de las actividades humanas.

En consecuencia, es evidente la importancia de evaluar las condiciones geológico-ambientales para que el crecimiento que se está dando en esta región sea lo más equilibrado posible con el medio natural y realmente se piense en un desarrollo sustentable, es decir, comprendiendo la capacidad de carga que tiene el

territorio para mantener el modelo de desarrollo socioeconómico seleccionado o impuesto.

Por lo que el objetivo central de esta tesis es el conocimiento integral del fenómeno de la subsidencia a partir de las condiciones geológicas del valle de Aguascalientes.

Se desarrolla la investigación contextualizando al fenómeno geológico en su ambiente físico y social. Se explica cuáles son las características del medio natural, así como el de sus rasgos sociales y económicos representativos, con el fin de hacer ver que la subsidencia no es un fenómeno casual y aislado, sino que es producto de las condiciones y la dinámica natural-social-económica de la región.

Entonces el trabajo se estructuró tomando como eje la idea del párrafo anterior, de tener una visión más abierta del fenómeno de la subsidencia y que las causas no solamente se restringen al campo de la Geología sino que el fenómeno existe dentro de un sistema natural antropizado y que el entendimiento correcto del problema será desde una óptica integral donde se comprenda cómo funciona ese geosistema.

En el primer capítulo, "Conceptualización de la Geología Ambiental", se establece el enfoque con el que se trata a los asuntos concernientes a la problemática ambiental y se hace ver como los estudios geológicos son de relevancia en este ámbito, con el objetivo de posibilitar la comprensión del fenómeno de subsidencia desde una perspectiva integral.

En el segundo capítulo, "Condiciones Ambientales del Estado de Aguascalientes", se describen los factores ambientales, para constatar las correspondencias entre los elementos naturales (geología, clima, geomorfología, edafología), con el comportamiento social (demografía, actividades económicas, evolución de la ciudad de Aguascalientes, etcétera); resultando de ésta interacción el estado actual de los recursos naturales de la entidad.

El tercer capítulo, "Marco Geológico Regional", trata de las condiciones geológicas que rigen en la región centro-noroccidente de México donde se ubica el área de estudio (tectónica, marco estratigráfico, geomorfología y evolución geológica).

En el cuarto capítulo, "Caracterización del Graben de Aguascalientes", se mencionan las singularidades del graben que influyen, directa o indirectamente, en la aparición de la subsidencia: características geológicas, geomorfológicas, climatológicas, del agua superficial y subterránea.

En el quinto capítulo se analizan los elementos lineales del relieve, con base al modelo digital de terreno generado por un sistema de información geográfica, con el propósito de proponer un modelo de fracturamiento que pudiera estar controlando el comportamiento del agua subterránea.

En el sexto capítulo, "Geología Urbana de Aguascalientes, Ags.", se caracteriza al fenómeno geológico de manera más detallada: evolución, daños, antecedentes, estudios importantes realizados, configuración del subsuelo en base a información geofísica y de mecánica de suelos, se explica en que consiste el fenómeno de subsidencia, que características presenta en la ciudad de Aguascalientes y que riesgos representa para ésta.

En el capítulo "Discusión" se trata de analizar la situación ambiental del estado-ciudad de Aguascalientes desde la óptica de un sistema, enmarcando así el proceso de origen y desarrollo del fenómeno de la subsidencia. Se comenta la investigación realizada, de sus alcances, limitaciones, los objetivos no alcanzados, y las condiciones que se requieren para aportar algo más efectivo con repercusiones favorables en la sociedad: zonificación de la ciudad.

Por último, este trabajo tiene la intención de hacer ver, con base a lo expuesto, que el fundamento de un proceso de planificación territorial es el diagnóstico real de lo que sucede en un espacio geográfico determinado, por lo que el tipo y grado de peligro que representa el fenómeno de la subsidencia, en el caso de Aguascalientes, y de otros fenómenos naturales o inducidos por la actividad humana podrán analizarse y resolverse si se incluye a las investigaciones geológicas sin que se les margine de la situación económica, social y ambiental particular, con el propósito de lograr el desarrollo equilibrado de la región.

CAPÍTULO I

CONCEPTUALIZACIÓN DE LA GEOLOGÍA AMBIENTAL

*"No podemos mandar sobre la Naturaleza más que obedeciéndola".
Francis Bacon*

El ser humano, como todos los seres vivos, padece necesidades y para satisfacer algunas de ellas actúa sobre la naturaleza, es decir, sus necesidades de energía y materia las satisface aprovechando los recursos naturales, pero a diferencia de los demás seres vivos, es el único organismo que agrade a su ambiente (Gortari, 1987).

La historia de esta relación, naturaleza-humanidad, ha sido de evolución, de un continuo superar obstáculos y errores, sin embargo, el desarrollo cultural ilimitado, en especial el tecnológico, durante los últimos cien años, ha propiciado que esta relación se encuentre deteriorada al grado de considerársele, en algunos casos, en estado de crisis.

Circunscribiéndonos al mundo occidental, la cosmovisión imperante ha llevado a que nos preocupemos más por nuestro nivel de vida, olvidándonos de su calidad, siendo el progreso industrial, la producción y el consumo, los intereses supremos y opuestos a los valores ambientales.

Es un hecho que mientras la humanidad siga manipulando los recursos naturales y la energía sin respetar los límites que la misma naturaleza marca, su vulnerabilidad ante los problemas ambientales será cada vez mayor.

El no tomar medidas de fondo que mejoren sustancialmente la calidad de vida, es decir, el no modificar las causas que originan el deterioro ambiental, como son

por ejemplo, seguir concibiendo la realidad de manera limitada, caracterizada por un consumismo irracional, ineficiencia y verticalidad en la toma de decisiones de interés social, aunado a la gran dependencia de los combustibles fósiles y falta de programas efectivos de control demográfico, entre otros, la naturaleza tarde o temprano pasará la cuenta, desconociéndose cuándo, dónde y con que intensidad se presentarán los percances (Chiras, 1994).

De acuerdo con Chiras (*op. cit.*), en la actualidad sobresalen 16 factores vinculados con la problemática ambiental:

1. Crecimiento poblacional.
2. Especies en extinción.
3. Deforestación.
4. Destrucción de humedales (*wetlands*).
5. Desertificación.
6. Erosión del suelo.
7. Salinización de suelos agrícolas.
8. Modificación en el uso de las tierras de cultivo.
9. Contaminación del agua subterránea.
10. Insuficiencia del agua subterránea.
11. Reducción en el suministro del petróleo.
12. Disminución en el abastecimiento mineral.
13. Carencia de aguas superficiales.
14. Efectos del calentamiento global.
15. Secuelas por las lluvias ácidas.
16. Peligros por el adelgazamiento de la capa de ozono.

El margen amplio de adaptación del ser humano con relación a otros organismos vivos parece indicar que podemos sobrevivir a condiciones extremas paliando los problemas ambientales pero, hasta hoy, solamente conocemos los efectos primarios de esta forma de vida (Curry, 1974).

El ser humano se ha interesado por los sistemas naturales o se ha dado cuenta de su valor cuando ha roto sus equilibrios dinámicos (procesos de intercambio de materia y energía). Estos sistemas pueden alterarse dentro de ciertos límites, ya que son capaces de tolerar y regenerar algunos desequilibrios, sabiendo que el funcionamiento de uno de sus componentes estará dependiendo de la interacción con los demás elementos que conforman ha dicho sistema. No obstante, cuando se traspasa la capacidad de autorrecuperación hay deterioro y en casos extremos degradación de los sistemas.

Los sistemas naturales, formados durante cientos de miles de años de evolución podrían ser destruidos instantáneamente por la acción irracional del hombre, mientras que su recuperación tardaría tanto que, en nuestro tiempo de existencia, serían prácticamente irrecuperables.

Cuando a estos sistemas se les analiza integral y sistemáticamente en su estructura, función y manejo nos encontramos dentro del dominio de la Ecología.

Los sistemas naturales, denominados ecosistemas, están constituidos por las diferentes manifestaciones e interrelaciones de materia y energía, pudiendo distinguirse dos grandes grupos, el de los bióticos y los abióticos. En el primero, se encuentran los productores, consumidores y degradadores. En el segundo, se reconocen a los componentes físicos básicos del ambiente, a los cuales está supeditada cualquier comunidad biológica (Miracle, 1986), (véase cuadro I.1).

El estado crítico de la relación naturaleza-humanidad representa un peligro y, simultáneamente, una oportunidad de rectificar, reflejándose en la disyuntiva de la ecología humana: se vive de la naturaleza o con la naturaleza. Variando así el pensamiento en que se le consideraba como un bien inagotable al servicio y bajo el control de la humanidad, al de mirarse como parte de ella y por lo tanto dependiente de sus leyes.

Factores De Un Ecosistema.

Factores Bióticos	Ser Humano Fauna Flora
Factores Abióticos	Roca Clima Aire Agua Suelo

Cuadro I.1

Asimismo, la crisis ambiental actual en el planeta se caracteriza no sólo por el aumento de los problemas ya conocidos, sino por el surgimiento de nuevas perturbaciones que no existían o que no eran evidentes, ya sea por la intensidad o la magnitud de las regiones afectadas (Novikov, 1978). Bajo esta óptica, pueden observarse tres escenarios según sea la extensión del espacio afectado por el impacto ambiental: planeta, macrourbes y regiones rurales, los cuales son interdependientes y por lo mismo comparten problemas y situaciones comunes (Rivero, 1994), (véase cuadro I.2).

Los sistemas socioeconómicos de los países altamente industrializados han servido y sirven de modelos de progreso a los países en vías de desarrollo, sin embargo, una de las principales características de estos sistemas es que tienen objetivos exclusivamente económicos, sin considerar la preservación del ambiente.

En los últimos años, sobre todo a partir de la década de los ochenta, la estrategia mundial del modelo neoliberal se singularizó por concentrar el poder económico incrementando las desigualdades sociales, teniendo como raíz del "desarrollo económico" la rápida destrucción de la naturaleza, cuyos efectos

probados y posibles se han convertido en un lastre al desarrollo social de los países de economías pobres.

Problemas Ambientales Característicos En Cada Escenario.

Escenario	Problemas Ambientales
Planeta	Efecto Invernadero
Ciudad	Daños en la Salud Contaminación Atmosférica Escasez de Agua
Zonas Rurales	Deterioro del Paisaje Cambios en el Uso del Suelo Pérdida de la Biodiversidad Sobreexplotación de Recursos Naturales Contaminación de Suelo y Agua

Cuadro 1.2

Como resultado de lo anterior, sólo una quinta parte de la población mundial consume y contamina el ochenta por ciento de los recursos naturales, por lo que las causas de origen del deterioro ambiental son, entre otras, el desmedido consumo y contaminación per cápita, el injusto reparto del ingreso y la riqueza, y el desequilibrio en la distribución poblacional.

En el caso de México, su gran deterioro ambiental se muestra en los siguientes datos alarmantes (Gobierno de la República Mexicana, 1995):

- escasez de agua provocando conflictos sociales y ambientales en ciudades y comunidades;
- alta contaminación de 29 de las 37 regiones hidrológicas;
- generación de 7 millones de toneladas de residuos industriales por año;
- deforestación anual de 678 mil hectáreas;
- pérdida en la biodiversidad;

- erosión del 80% del territorio nacional, ocasionando la disminución progresiva de áreas con vocación agrícola, lo que conlleva insuficiencia alimentaria y deterioro de la economía del país.

México es un país con problemas económicos, y para generar divisas depende en lo fundamental de la exportación de sus recursos naturales, por lo que tiene una necesidad creciente de extraerlos; por otra parte, el insuficiente conocimiento de los recursos naturales con los que cuenta y la carencia de estudios de las repercusiones de las actividades económicas hacia el medio natural conforman un escenario social-político-económico-ambiental crítico. Galeano (1994) revela para nuestro país un futuro poco alentador:

"Buena parte de la basura norteamericana que se descarga sobre México llega envuelta en "proyectos de desarrollo" o disfrazada de "ayuda humanitaria", y no es por casualidad que la zona fronteriza es la más contaminada del planeta, y el río Bravo el más envenenado. Aunque la mayor parte de la basura se vuelca de contrabando, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos reconoce que México recibió legalmente, en 1992, 72 mil toneladas de desechos tóxicos de su vecino. Siete veces más que el año anterior y quién sabe cuántas veces menos que en estos nuevos tiempos de frontera abierta (TLC)".

Estos problemas ecológicos no son exclusivos de México, aunque por sus condiciones propias presenta ciertas singularidades. Olvera (1984) menciona las principales causas del impacto ambiental en el país:

- desarrollo urbano y regional desequilibrado que favorece la excesiva concentración del capital;
- crecimiento acelerado de algunas ciudades;
- ampliación indiscriminada de las fronteras agrícolas y pecuarias;
- mecanización del campo, abandonando prácticas tradicionales en el manejo de los recursos;
- gigantismo de algunas obras públicas;
- aplicación de tecnologías de otros contextos biogeográficos y socioeconómicos, inadecuadas a nuestra realidad.

Sin embargo, el estar consciente de la problemática ambiental, en cualquier sociedad, se refleja en respuestas, y la más efectiva es la de la evaluación de los riesgos, la cual consiste en conocer y cuantificar la posible interacción entre la peligrosidad del fenómeno, ya sea de origen natural o antrópico, y la vulnerabilidad territorial, que indica la susceptibilidad de la sociedad a padecer un desastre, entendida la palabra desastre como un estado de daños o pérdidas para la comunidad (Wilches, 1993).

En consecuencia, los estudios sobre la prevención de desastres son una condición básica para la toma de decisiones en la planificación territorial, ya que identifica, predice, aminora, controla o evita la acción dañina en el medio natural y, por consiguiente mitiga la vulnerabilidad, ya sea ecológica, social, política, económica o ideológica (Wilches, *op. cit.*), (véase cuadro I.3).

Aspectos Básicos En El Análisis Ambiental.

Población	Recursos Naturales	Riesgo E Impacto
Tamaño Distribución Densidad Velocidad De Crecimiento Pob. Econ. Activa Migración Uso De Suelo Proceso Histórico Costumbres De Vida Producto Interno Bruto Infraestructura Actividades Económicas	Inventario Obtención Usos Demanda Suministro	Identificación Caracterización Análisis Evaluación Control Manejo Restauración

Fuente: Chiras, 1994; modificado

Cuadro I.3

Los planes de ordenamiento territorial deben ser el producto de una rigurosa y exhaustiva investigación integral en las ciencias naturales y sociales (Geología,

Biología, Química, Ecología, Geografía, Historia, Arquitectura, Arqueología, Antropología, Economía, etcétera), a través del conocimiento y evaluación de los bienes culturales, recursos naturales, características ambientales, riesgos ambientales y del contexto socio-económico, vinculado a decisiones políticas que impulsen a realizar dichos estudios, dentro del desarrollo orgánico regional (Panizza, 1987); lo anterior representa un proyecto alternativo para armonizar el desarrollo de las sociedades con el medio natural.

De la misma forma, es necesario diseñar programas y planes que permitan la sensibilización o concientización de la situación ambiental y que éstos sean de impacto global en todas las esferas de la sociedad. Sólo de esta manera serán realmente efectivos los programas de Protección Civil.

La educación ambiental sugerida, deberá estar enmarcada en un medio político organizado y democrático, y orientada para entender que la naturaleza se rige por reglas, que existen fundamentos ecológicos y factores ambientales limitantes, cuyo conocimiento es imprescindible para predecir los resultados de las acciones tanto naturales como humanas.

La implementación de los planes de desarrollo a nivel regional y local considera al conocimiento geológico como un requisito indispensable, ya que contribuye, por una parte, al ordenamiento y a la protección del medio natural, y por otra, tal como lo expresa Mitre (1992), a la existencia de "una relación directa entre el grado de conocimiento de las distribuciones espacial y temporal de las rocas y el desarrollo económico de los diferentes países".

La actividad del geólogo se ha diversificado según el momento de desarrollo social y económico que ha atravesado México. En cierta época, por ejemplo, la minería, el petróleo y el agua han absorbido la atención de éstos, en la actualidad, se han incorporado a sus intereses lo relativo al medio ambiente.

Considerándosele como una rama de la Ecología, la Geología Ambiental estudia las relaciones entre el ser humano con su hábitat geológico. Estas relaciones tratan en esencia de las correspondientes acciones y reacciones suscitadas por la permanente interacción dinámica entre ellos (Flawn, 1970). De esta manera, se altera el enfoque de esta ciencia que ha estado supeditada a los intereses de la extracción de recursos para que ahora los proteja.

La Geología Ambiental tiene como objeto parcial de estudio, diversos fenómenos geológicos que representan desastres a la sociedad, causados por la naturaleza o provocados por la actividad antrópica; ésta última se equipara por su magnitud a los agentes geológicos caracterizados como peligrosos (véase cuadro I.4).

La Geología Ambiental es una ciencia nueva, multidisciplinaria e interdisciplinaria; multidisciplinaria porque algunas ramas de las Ciencias de la Tierra están aplicadas directamente a los estudios ambientales (Estratigrafía, Sedimentología, Geología Estructural, Geohidrología, Geomorfología, Geoquímica, Geofísica, Edafología, Geotécnica, etcétera) e interdisciplinaria porque forma parte de un cuerpo de ciencias afines que tienen el propósito común de aplicar sus conocimientos en la preservación del ambiente (Biología, Química, Ecología, Medicina, Informática, Ingeniería, etcétera).

La necesidad de un enfoque actualizado de la naturaleza por parte del geólogo cuya meta sea resolver los problemas ambientales, es dado a partir del concepto de sistema, por ser amplio, completo e integral. El término geosistema es relativamente nuevo, se refiere al "resultado, en un marco espacio-temporal dado, de la interrelación naturaleza-sociedad-economía" (Oropeza, 1990), constituido a su vez por los subsistemas abiótico, biótico, antrópico y de sus respectivas interfases (edafología, agricultura, entre las más importantes) (Bolós, 1992). Las soluciones que se den a partir de este concepto persiguen el reajuste integral del sistema, resolviendo las perturbaciones de manera radical (véase cuadro I.5).

Al visualizar global e integralmente al medio natural, la tarea del geólogo ambiental consiste en intervenir en el conjunto de acciones comprendidas en la prevención de desastres, cambiando, por lo tanto, el momento de su participación: hasta ahora sólo da cuenta del suceso, investigando las causas y estableciendo responsabilidades; en el futuro se espera que reconozca el estado en que se encuentra el área en cuestión, previendo las consecuencias y ofreciendo soluciones convenientes y oportunas.

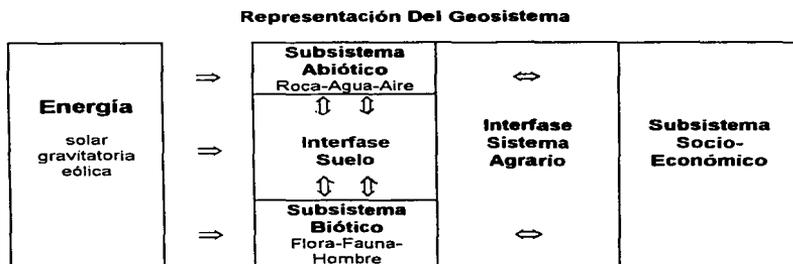
Fenómenos Geológicos Que Representan Desastres Al Ser Humano.

Origen Natural	Geodinámica Interna	Sismos Maremotos Vulcanismo Fallamiento Activo
	Geodinámica Externa	Erosión Inundaciones Deslizamientos Lahares Subsidencia Actividad Costera
Origen Antrópico	Deslizamientos Sobreexplotación de Recursos Contaminación de Acuíferos Subsidencia Impactos por Obras Civiles Impactos por Actividades Mineras Ubicación de Centrales Nucleares Ubicación de Confinamientos para Desechos	

Cuadro 1.4

También, aunque parezcan muy lejanos los asuntos políticos al ámbito de la investigación geológica, aquí en esta área de las Ciencias de la Tierra, su eficacia tangible dependerá de la voluntad política de la sociedad, aceptando obligaciones y

responsabilidades, traducidas en la custodia del entorno natural y en el financiamiento para las múltiples actividades en pro del ambiente.



Cuadro 1.5

Fuente: Bolós, 1992.

Las investigaciones de Geología Ambiental recopilan y analizan la información, histórica y técnica, oral y escrita, gráfica y documental de los fenómenos geológicos que han afectado a las comunidades, por medio de la caracterización geológica, que considera, esencialmente, según sea el caso, los aspectos siguientes: Ubicación Geográfica, Topografía, Geomorfología, Historia Geológica, Estratigrafía, Sedimentología, Procesos de Intemperismo y Erosión, Geología Estructural, Geotécnica, Hidrología, Geohidrología, Geoquímica, Edafología, Sismología, Usos del Suelo y del Agua, Meteorología, Flora, Fauna, Demografía, etcétera; de lo cual se infiere que la Geología Ambiental es la síntesis de los estudios anteriores.

Esta información se procesa utilizando mapas temáticos de pendientes, de características geomorfológicas, físicas, mecánicas, procesos erosivos, inundaciones, inestabilidad de vertientes, etcétera, que darán la pauta para las acciones posteriores: ubicación de las estaciones de monitoreo, elaboración de reglamentos del uso del suelo, programas de reubicación, obras físicas de protección, etcétera (Lugo, 1992).

La Geología Ambiental tiene especial interés en el Cuaternario, por la razón que el desarrollo de las sociedades depende en gran medida de este periodo geológico; Mitre (*op. cit.*) lo precisa de la siguiente manera:

"La mayoría de las ciudades de nuestro país se encuentran instaladas sobre depósitos de edad cuaternaria y desconocemos en muchos casos los recursos aprovechables (agua, suelos, etc.) y los riesgos que se pueden presentar ante la posible ocurrencia de fenómenos naturales.

"Los suelos de donde proviene toda la producción agrícola son también del cuaternario y desconocemos en muchos casos sus procesos dinámicos, que contribuyen, conjuntamente con las actividades antrópicas, al deterioro del recurso.

"En un gran porcentaje, el agua se extrae de los depósitos cuaternarios, y se carece de información detallada del potencial de los acuíferos y del comportamiento de los fluidos para evitar su contaminación.

"Finalmente, es de vital importancia, y la historia reciente en México nos lo ha demostrado, que se conozca la historia geológica del Cuaternario para entender el comportamiento de algunas estructuras geológicas (fallas activas, volcanes, formación del relieve moderno, etc.) y delinear las zonas que presentan mayor riesgo ante la posible ocurrencia de fenómenos catastróficos y, en su caso, prevenir los desastres".

Para encontrar el equilibrio entre las actividades humanas, el consumo de los recursos naturales y la contaminación ambiental es indispensable tener presente el principal factor que origina la problemática ambiental: la sobrepoblación, y en el caso específico de los países en desarrollo, como los de América Latina, el de las grandes concentraciones humanas en áreas urbanas (CNE, 1988).

En este siglo la población mundial se triplicó, la de México se multiplicó por seis, y la de la ciudad de México por veinte; este incremento es notable en nuestro país a partir de la década de los sesenta (Rivero, *op. cit.*).

Una proporción considerable de la población mundial ocupa áreas urbanas, se calcula que éstas abarcan un 2% de la superficie emergida (Bocco, 1994), y debido a que son centros de una gran dinámica económica, se convierten en polos de

atracción de individuos que buscan un mejor nivel de vida. Por lo que se prevé, para un futuro relativamente cercano una población netamente urbana, mientras las condiciones originadas por éstos hacinamientos marquen un límite drástico en su crecimiento.

En las últimas décadas, el modelo de desarrollo económico, político y cultural impuesto en México (sustentado en el principio de producción-consumo-producción-consumo, como objetivo en sí mismo) ha privilegiado los procesos de urbanización e industrialización, manifestado principalmente en la elevada concentración poblacional en cuatro grandes zonas metropolitanas: Distrito Federal, Monterrey, Guadalajara y Puebla, y una dispersión contrastante de comunidades con menos de 2500 habitantes, lo cual implica altos costos económicos, sociales y ambientales.

En las urbes puede notarse con facilidad los desastres de estas medidas de desarrollo convertidas en amenazas públicas: población excesiva, alteraciones en la salud física y mental, insalubridad, desempleo, malestar en la población (inseguridad y violencia), descomposición en la estructura social, industrias mal ubicadas, generación de grandes volúmenes de desechos, contaminación con productos tóxicos, manejo inadecuado de la basura y de los residuos peligrosos, aglomeraciones automovilísticas, ruido, contaminación atmosférica, invasión y ausencia de áreas verdes, deterioro del paisaje, problemática de la vivienda, improvisación ante las catástrofes naturales, impacto a la biodiversidad del lugar y áreas contiguas, escasez en los recursos agua y suelo, mal uso del suelo, por mencionar algunos de los más importantes males ciudadanos.

Algunas ciudades, en ciertos momentos, parecían ser hábitats idóneos, pero por su propia naturaleza -espacios abiertos al exterior, lugar de intercambios de todo tipo-, sus habitantes no la adecuaron a las condiciones imperantes del medio, por no darse cuenta o por desconocimiento de cómo preservar el equilibrio entre su crecimiento y la conservación del entorno natural, ocasionando daños irreversibles

de corto, mediano y largo plazo en su estructura y, por ende, en la vida de los propios habitantes.

Los focos principales de contaminación de suelos y mantos acuíferos en áreas urbanas e industriales son por fugas en redes de alcantarillado y por los depósitos de desechos e instalaciones industriales, las descargas de afluentes líquidos a cauces o terrenos permeables, la lixiviación de residuos sólidos en tiraderos o rellenos sanitarios, principalmente. Adicionalmente a lo anterior, se debe tener presente, que es en el campo donde se genera el mayor volumen y distribución de contaminantes derivados de fertilizantes y pesticidas, aunado a la ausencia de una infraestructura sanitaria (Chávez, 1991).

Para resolver los problemas urbanos es necesario comprender lo que es una ciudad. Olvera (*op. cit.*) señala que las ciudades se componen por un conjunto dinámico de elementos, los más importantes son:

"la sociedad, el sujeto transformador mas relevante, la estructura físico natural, el objeto transformado, y por último los recursos, o sea el objeto por aprovecharse a través de las relaciones de producción y de reproducción social y de tecnología".

Las ciudades y áreas industrializadas son "naturaleza transformada" y, como ecosistemas, requieren del equilibrio físico-biológico y de una organización de sus elementos, observada, ya sea, en una comunidad primitiva o en una macrourbe (Olvera, *op. cit.*). En este orden de ideas, es claro que las características geológicas tienen marcada influencia en áreas urbanizadas, lo cual nos aleja del pensamiento que las ciudades "son lugares muy especiales y que todos sus problemas están arriba de la superficie" (Legget *et al*, 1986).

La aplicación de los principios y conocimientos geológicos en una ciudad determina el estudio de la Geología Urbana; sus estudios proporcionan información geológica detallada de áreas con problemas de subsidencia, fallas activas, deslizamientos, suelos expansivos, etcétera, (AGI, 1987).

En los programas de ordenamiento urbano y zonas conurbadas, la Geología constituye una ciencia básica para que la mancha urbana no siga avanzando en detrimento de los recursos naturales, y las investigaciones geológicas sirven para determinar los lugares aptos para las diversas actividades programadas por el hombre dentro de un equilibrio armónico con el medio natural.

En la actualidad, todo proyecto o plan de desarrollo de cualquier país debe de tener presente, como punto de partida, un enfoque analítico y sistemático de la naturaleza, desde una perspectiva global e integral, desde una concepción dinámica, sin aislar al objeto de estudio, ya sea de orden geológico, climatológico, biológico, humano, social, económico, tecnológico, político, entre los que no hay barreras absolutas, sino interacciones e interdependencias. "Es insuficiente la reducción a unidades elementales cuantificables; insuficiente y, hoy más que nunca, empobrecedor. Por el contrario, lo urgente es concebir la organización de las unidades complejas, no perder el marco teórico de conjunto" (Sosa, 1990).

El país que no acepte o postergue estos cambios de estrategia, sufrirá irremediablemente la disminución de sus reservas naturales. Siendo una obligación social actual el lograr un desarrollo sustentable, cuyo objetivo sea satisfacer las necesidades presentes sin comprometer los recursos que satisfacerán los requerimientos de las futuras generaciones. Este desarrollo tiene como prioridades y retos: el saneamiento y estabilización de la economía, la disminución de la pobreza y desigualdades sociales, así como la aplicación de una política ambiental que conozca y respete al medio natural, en un ámbito participativo, es decir, democrático (BID, 1991). Cabe mencionar, que para hacer real el desarrollo sustentable en México se tendrá, antes que nada, resolver la insuficiencia alimentaria que sufren amplios sectores de la población.

Entonces, el preservar la herencia de las generaciones futuras consiste en establecer mecanismos de planificación de mediano y largo plazo, cuyo propósito

sea buscar un balance entre los recursos naturales empleados y los regenerados, de tal manera que al usarlos se dejen tan limpios como antes de haberlos aprovechado, y que estos sistemas naturales se restauren y se preserven constantemente (Chiras, *op. cit.*).

Ya que la vida está determinada por el medio natural, se requiere de un cambio cultural profundo de la humanidad, concibiendo a la cultura como el cultivo del mundo de lo natural y del mundo de lo humano. En consecuencia, la actitud del ser humano frente a la naturaleza será: "que entienda la esencia natural del lugar, que lo aproveche, que lo involucre, que lo proteja, no que lo arrase, que lo ignore y que lo desconozca".

CAPÍTULO II

CONDICIONES AMBIENTALES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

"Considero imposible conocer las partes sin el todo, del mismo modo que conocer el todo sin conocer particularmente las partes".
Pascal

Para comprender y resolver los problemas ambientales se requiere visualizar a la naturaleza como un todo, como un sistema, lo que permitirá estar conscientes de que un fenómeno ambiental no ocurre aisladamente sino que es producto de una serie de factores propios del hábitat, ya sean de orden natural, antrópico o conjugados. Por tanto hay que determinarlos y analizar de que manera interactúan.

FACTORES NATURALES

El aprovechar y proteger un espacio geográfico implica planificarlo integralmente, y el primer paso es regionalizarlo, es decir, estudiarlo desde un punto de vista global, cuyas condiciones de formación y evolución sean comunes, observando la dinámica de las relaciones entre sus elementos abióticos, bióticos y antrópicos, ya que ésto conformará su fisonomía e identificación como unidad. El enfoque paisajístico cumple con estas condiciones (Chávez, 1994).

Se consideran como criterios básicos para definir unidades paisajísticas los factores climáticos, geomorfológicos y edafológico, y como criterios asociados el drenaje, vegetación original y fauna nativa (Barajas, *et al.*, 1986).

Fundamentándose en el enfoque paisajístico, la regionalización ecológica de la República Mexicana (Barajas, *et al.*, *op. cit.*) distingue cuatro zonas ecológicas: árida, templada, trópico húmedo y trópico seco.

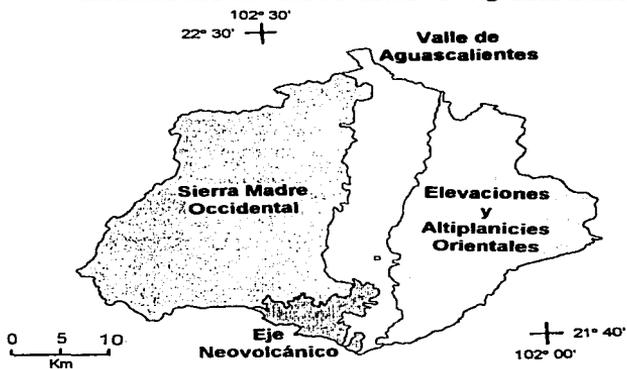
El estado de Aguascalientes se ubica dentro de la zona árida. En este trabajo, se desarrollan los criterios básicos y asociados con el objeto de presentar un bosquejo que caracterice las condiciones del medio natural, con la intención de saber, de manera concisa, con qué recursos cuenta esta región central de México y cómo se interrelacionan estas características en la generación del fenómeno de la subsidencia.

La causa, inicial y decisiva, de las condiciones que imperan en un medio natural es el de su posición geográfica, en consecuencia el estado de Aguascalientes tiene una ubicación con latitud norte: al norte 22° 27' y al sur 21° 38', y con longitud oeste: al este 101° 53' y al oeste 102° 52'. La altitud varía de 1800 a 3050 m.s.n.m.

En el estado de Aguascalientes se diferencian cuatro unidades morfológicas: la correspondiente a la Sierra Madre Occidental, las dos que pertenecen a la Mesa Central: el Valle de Aguascalientes y las Elevaciones y Altiplanicies Orientales, y la unidad del Eje Neovolcánico, de escasa extensión, situada al sur del estado (Alcántara, 1993) (véase figura II.1).

Estas unidades geomórficas al igual que su posición geográfica, condicionan el clima del estado, el cual por su humedad es clasificado como semiárido, con un régimen de lluvias en verano, y con una precipitación pluvial de intensidad media anual de 526 mm; por su temperatura es considerado como templado en las zonas mayores de 2000 metros de altitud (temperatura media anual entre 12 y 18 °C), y en las áreas inferiores a los 2000 metros como semicálido (temperatura media anual entre 18 y 22 °C) (SPP, 1981 y García, 1973) (véase figura II.2).

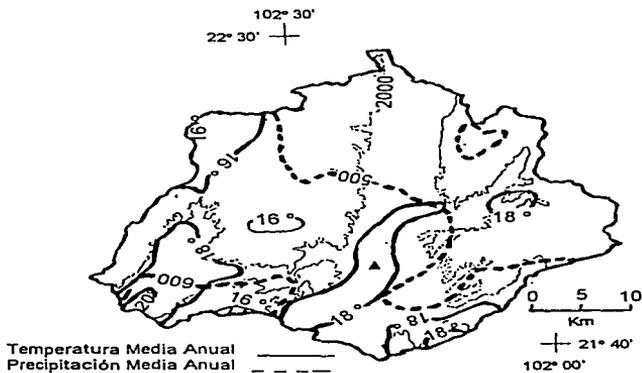
Unidades Geomórficas Del Estado De Aguascalientes.



Fuente: Alcántara, 1993; modificada.

Figura II.1

Clima Del Estado De Aguascalientes



Fuente: INEGI, 1993; modificada.

Figura II.2

Las rocas volcánicas terciarias, por su abundancia, son la litología característica de la región aguascalentense, al igual que los depósitos de gravas y arenas, derivados de las primeras. También afloran aisladamente rocas sedimentarias y volcánicas deformadas de edad mesozoica. Dentro y fuera del estado, la orientación general de las estructuras geológicas de dimensiones regionales es Norte-Sur. Las estructuras de fosas (grabens) y pilares tectónicos (horsts) están expresadas en la alternancia de valles y sierras o lomeríos, regulando el comportamiento del flujo del agua superficial y subterránea (véase figura II.3).

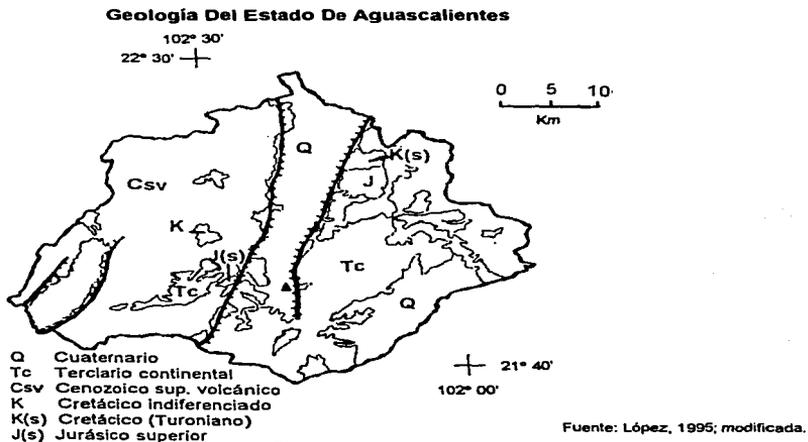


Figura II.3

Los tipos de suelos dominantes en el estado de Aguascalientes son los propios de la región árida y semiárida del centro de México: planosol, xerosol y castañozem. En los valles de Aguascalientes y Calvillo los suelos son fértiles para las actividades

agrícolas debido a su buena textura y porosidad, así como a su gran contenido de materia orgánica, siendo su espesor en ocasiones superior a un metro; a diferencia de las otras zonas, que tienen un pobre contenido de materia orgánica, además de su reducido espesor (15 a 30 cm), convirtiéndolos en suelos propensos a la erosión (INEGI, 1993 y SPP, 1981).

La vegetación de la entidad, ubicada en correspondencia a la altitud, clima y tipo de suelo, es la de pastizal, matorral xerófilo, bosques de coníferas, de encino y tropical caducifolio, caracterizada por su escasez y discontinuidad (SSP, 1981).

El estado de Aguascalientes se ubica en dos regiones hidrológicas de la Vertiente del Pacífico: Lerma-Santiago y El Salado (INEGI, 1993). La región hidrológica Lerma-Santiago cubre el 98.7% de la superficie del estado, dentro de la cual rigen dos de sus cuencas: la del Río Verde Grande y la del Río Juchipila. La primera es la de mayor interés ya que abarca el 77.5% de la superficie de la entidad. La segunda se localiza en la porción oeste del estado y corresponde al valle de Calvillo.

El estado consta de 5 valles, de los cuales los valles de Aguascalientes y Calvillo son los más importantes, ya que cuyos ríos del mismo nombre, representan las corrientes fluviales más importantes de la entidad, y al igual que en sus afluentes, se han edificado numerosas obras de almacenamiento y derivación, por lo que el estado es considerado como una región generadora de agua más que receptora (INEGI, 1993) (véase figura II.4).

Tomando en cuenta la morfología del estado, resulta conveniente analizar las características principales de cada uno de los elementos.

El Valle de Aguascalientes atraviesa el centro del estado con una orientación Norte-Sur. Es una depresión alargada que se extiende desde el estado de Zacatecas al norte hasta el de Jalisco, en el sur. La altitud fluctúa entre 1800 a 2100 m.s.n.m. La

planicie esta conformada por un relleno aluvial (textura intermedia: arena, limo y arcilla) y material volcánico diseminado, ambos de edad cuaternaria. El clima en este valle es semiárido y semicálido (18-22 °C y precipitación de 500 mm promedio). De norte a sur fluye el Río Aguascalientes, también conocido como San Pedro, y corresponde al caudal más importante del estado. Los suelos son del tipo xerosol, regosol, feozem y planosol, de profundidad promedio mayor a los 50 cm., poco compactados, sin cementante y de buena porosidad y permeabilidad, en tanto la vegetación original es la de pastizal (INEGI, 1993 y SPP, 1981).



Fuente: INEGI, 1993; modificada.

Figura II.4

Al oeste del Valle de Aguascalientes se sitúa la unidad morfológica correspondiente con la Sierra Madre Occidental (Subprovincia de Sierras y Valles Zacatecanos) (Quiñonez, 1984), constituida por rocas ígneas extrusivas ácidas, areniscas y conglomerados. Ocupa el 46.56% de la superficie del estado. La altitud

varía entre 2000 a 3050 m.s.n.m. De relieve montañoso, las sierras y valles presentan una orientación NE-SW, sustituyendo al relieve característico del paquete ignimbrítico de gran espesor. Por su elevación sobresalen las sierras: Fria, El Muerto y El Laurel, el Cerro El Picacho y los valles de Calvillo y El Venadero. El clima en su parte montañosa es templado (12-18 °C y precipitación de 700 mm, promedio), en tanto que en el Valle de Calvillo domina una temperatura semicálida (18-22 °C y precipitación entre 500 y 650 mm). La red de drenaje desemboca al sur, en los ríos Verde y Grande de Santiago. Los tipos de suelo predominantes en esta unidad son el feozem, el planosol y el litosol. La vegetación dominante corresponde con bosques de coníferas, encino, tropical caducifolio y matorral desértico (INEGI, 1993 y SPP, 1981).

Por otra parte, hacia el este del Valle de Aguascalientes se localiza la unidad morfológica denominada Elevaciones y Altiplanicies Orientales, conocida también como Subprovincia Llanos de Ojuelos-Aguascalientes (Quiñonez, *op. cit.*). Esta unidad corresponde con una zona de transición entre las rocas ignimbríticas terciarias y las rocas sedimentarias plegadas mesozoicas, características de la Mesa del Centro, ocupa el 50.04% de la superficie del estado (incluyendo al Valle de Aguascalientes). La altitud varía entre los 2000 y 2660 m.s.n.m., presenta un relieve montañoso menos desarrollado que el de la Sierra Madre Occidental, siendo sus principales formas del relieve: La Sierra de Tepezalá, el Cerro los Gallos y los valles El Llano y el Chicalote; sus mesetas y llanuras están muy disectadas, y sus lomeríos tienen suaves pendientes. Las litologías predominantes son riolitas, areniscas-conglomeráticas, calizas y lutitas, lutitas y areniscas y material aluvial. El clima es semiárido con temperaturas que oscilan de templadas en las partes más altas, a semicálidas en las más bajas. Los suelos dominantes son feozem, litosol, xerosol, regosol, planosol y fluvisol, en tanto que la vegetación es del tipo de matorral xerófilo y mezquital (INEGI, 1993 y SPP, 1981).

FACTORES ANTRÓPICOS

En México, primordialmente por su marcado centralismo político y económico, después de la Revolución de 1910, se ha acentuado la migración de la población rural a los centros urbanos. Ciertamente en las ciudades se gozan de múltiples beneficios sociales (salud, vivienda, servicios, seguridad, etc.), pero al ser un polo de atracción, la densidad poblacional aumenta y provoca con ello el incremento proporcional de más necesidades, que derivarán en una serie de problemas complejos en la sociedad, con lo cual se comprueba que a mayor concentración de la población menor será su calidad de vida.

El estado de Aguascalientes no ha sido la excepción, ya que de acuerdo con la información demográfica, el número de habitantes aumentó en este siglo siete veces y en las décadas de los setenta y ochenta, la tasa media de crecimiento poblacional fueron de 4.1% y 3.4% respectivamente, superiores a las del país.

La población aguascalentense que en 1900 era predominantemente rural, para 1990 el 80% aproximadamente era urbana. En la cuadro II.1, se muestra la evolución de la población del estado, considerando de acuerdo con Ducci (1989), que la población urbana corresponde a localidades de quince mil habitantes o más.

Población Total Del Estado De Aguascalientes, Urbana Y Rural.

Año	Población	Urbana	%	Rural	%
1900	102,416	--	--	--	--
1910	120,512	50,000	41.49	70,511	58.51
1920	107,581	53,554	49.78	54,027	50.22
1930	132,900	72,735	54.73	60,165	45.27
1940	161,693	92,745	57.36	68,948	42.64
1950	188,075	103,262	54.90	84,813	45.10
1960	243,363	145,760	59.89	97,603	40.11
1970	338,142	215,160	63.63	122,982	36.37
1980	519,439	365,545	70.73	153,894	29.63
1990	719,659	574,648	79.85	145,011	20.15

Fuente: INEGI, Censo Poblacional y de Vivienda, 1990.

Cuadro II.1

Con base en el Censo de Población y Vivienda de 1990 (INEGI, 1994), en 15 localidades de las 1357 existentes en el estado, se asienta el 76% de la población total (véase cuadro II.2).

Localidades Del Estado Por Su Número De Habitantes.

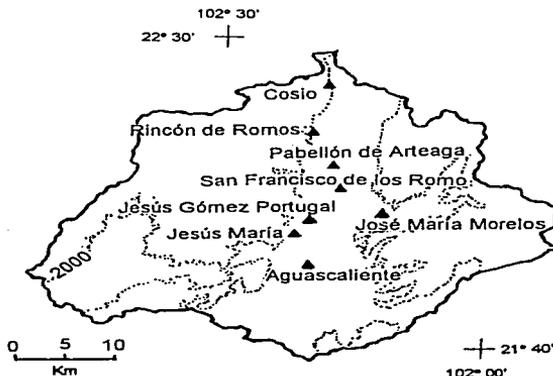
Número de Habitantes	Localidades
100,000 - 499,999	1
15,000 - 19,999	3
10,000 - 14,999	1
menor a 9,999	1352

Fuente: INEGI, Censo Poblacional y de Vivienda, 1990.

Cuadro II.2

De estas 15 localidades con mayor concentración de habitantes, 4 son consideradas centros urbanos, distinguiéndose y diferenciándose la capital por su gran número de pobladores (véase figura II.5).

Principales Localidades Por Su Porcentaje De Población Municipal Que Concentran.



Fuente: SPP, 1981; modificada.

Figura II.5

Además, 8 de éstas 15 localidades más habitadas se ubican en el valle de Aguascalientes, representando el 70.68% de la población total de la entidad (véase cuadro II.3).

Localidades Más Habitadas Que Yacen En El Valle De Aguascalientes.

Localidades	Habitantes
Ciudad De Aguascalientes	440,425
Pabellón De Arteaga	18,364
Rincón De Romos	16,965
Jesús María	14,809
San Francisco de Los Romos	7,765
Jesús Gómez Portugal	5,131
Cosío	3,197
José María Morelos	2,000

Fuente: INEGI, Censo Poblacional y de Vivienda, 1990.

Cuadro II.3

La población económicamente activa (PEA) del estado es de 44.9%, distribuyéndose en los sectores productivos como se indica en la cuadro II.4:

Población Económicamente Activa Del Estado De Aguascalientes.

Sector Productivo	%
Primario (Agropecuario)	15.0
Secundario (Industrial)	34.2
Terciario (Comercio Y Servicios)	48.9
(Sin Especificar)	1.9
Total	100.0

Fuente: INEGI, 1993.

Cuadro II.4

Con los datos del producto interno bruto (PIB), obtenidos por la sociedad aguascalentense en los años de 1970, 1975, 1980, 1985 y 1988, se muestra que el estado depende básicamente de sus sectores industrial, comercial y de servicios, los cuales participan con el 92% de la productividad (véase cuadro II.5).

El sector primario incide directamente en el medio natural, y específicamente la actividad agrícola es la que provoca mayor impacto al recurso agua, ya que consume el 89% del agua subterránea extraída del estado (INEGI, 1993).

**Producto Interno Bruto. Por Gran División De Actividad
(Estructura Porcentual)**

Sectores	1970	1975	1980	1985	1988
Agrop., Silvicultura Y Pesca	12.18	11.20	8.35	7.64	8.13
Minería	2.52	2.88	6.82	0.69	0.73
Industria Manufacturera	23.68	23.34	23.03	27.63	29.39
Construcción	5.30	5.98	6.46	5.69	4.79
Electricidad	1.16	0.89	0.98	0.52	0.55
Comercio, Restaur. y Hoteles	25.92	25.18	23.37	26.97	26.13
Trans., Almacen. y Comunicac.	4.81	5.69	6.53	7.47	7.74
Servicios Financ., Seg. y Bienes Inm.	11.30	9.48	7.88	7.95	16.58
Servicios, Comunales, Soc. y Pers.	14.35	16.46	17.10	8.56	15.21
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México, 1985 y 1994.

Cuadro II.5

La actividad agrícola desempeñó un papel preponderante en la economía del estado hasta principios de los años cincuentas. Basada principalmente en el aprovechamiento del agua superficial, posteriormente comenzó a extraerse la del subsuelo en forma continua hasta nuestros días, lo que ha llevado a una explotación fuerte del recurso subterráneo (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1992 a).

Por otra parte, en el sector primario laboran el 15% de la población económicamente activa y en los últimos años ha disminuído su participación en la generación del producto interno bruto total del estado (en 1970 fué de 12.18% y en 1988 de 8.13%) (véase cuadro II.6).

De la superficie total empleada por la agricultura, las áreas sembradas por temporal representan el 63.3%, aportando solamente un 4% a la producción, mientras que la superficie sembrada por riego representa el 36% contribuyendo con el 96% de la producción (INEGI, 1994) (véase cuadro II.7).

**Producto Interno Bruto. Gran División: Agropecuario, Silvicultura Y Pesca
(Estructura Porcentual).**

Año	Agricultura	Ganadería	Silvicultura	Caza y Pesca	Total
1970	76.40	23.14	0.46	---	100.00
1975	70.11	29.37	0.52	---	100.00
1980	71.03	27.98	0.99	---	100.00
1985	60.36	39.00	0.20	0.44	100.00
1988	58.13	40.29	1.20	0.38	100.00

Fuente: INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México, 1985 y 1994.

Cuadro II.6

**Superficie Sembrada Y Cosechada En El Año Agrícola Por Disponibilidad De Agua,
En El Estado, 1993.**

	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada
Temporal	63.3 %	48.4 %
Riego	36.4 %	51.6 %
Total	100.00 %	100.00 %

Fuente: INEGI, Anuario Estadístico del Estado de Aguascalientes, 1994.

Cuadro II.7

Asimismo, la producción de importancia ocurre en el período primavera-verano (véase cuadro II.8), sin embargo los periodos de sequías han sido un gran inconveniente, por ejemplo, en 1992 y 1993 el ciclo pluvial fué tan exiguo que ocasionó una pérdida del 60% de la superficie temporalera sembrada (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1993).

**Superficie Sembrada Y Cosechada De Los Cultivos Cíclicos En El Año Agrícola
Por Disponibilidad De Agua Según Ciclo Agrícola, 1993.**

Ciclo	Superficie Sembrada		Superficie Cosechada	
	Riego	Temporal	Riego	Temporal
Otoño-Invierno	16.89	00.00	16.83	00.00
Primavera-Verano	83.11	100.00	83.17	100.00
Total %	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: INEGI, Anuario Estadístico del Estado de Aguascalientes, 1994.

Cuadro II.8

Además con la instalación de las plantas pasteurizadoras en Aguascalientes, la producción de leche ha sido particularmente importante en la región, tanto que ha llegado a ser la tercera cuenca lechera del país, lo que significa incidir en el cambio de cultivo en la región, convirtiéndola de viñedos a forrajera (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1993), (véanse cuadros II.9 y II.10).

Lo anterior es relevante si se considera que la producción de alfalfa verde requiere abundante agua para su cultivo y que ésta proviene en un cien por ciento del riego.

**Volumen De La Producción En El Año Agrícola
De Los Principales Cultivos Por Disponibilidad De Agua, 1993.**

Tipo de Cultivo	Toneladas	Riego (%)	Temporal (%)
Alfalfa Verde	783,662	100.00	00.00
Malz Forrajero	520,777	83.60	16.40
Guayaba	120,852	100.00	00.00
Pasto Ciclo Corto	77,550	100.00	00.00
Avena Forrajera	70,813	99.16	0.84
Pradera	67,131	100.00	00.00
Malz Grano	65,993	86.75	13.25
Papa	18,136	100.00	00.00
Uva	16,214	100.00	00.00
Ajo	8,843	100.00	00.00

Fuente: INEGI, Anuario Estadístico del Estado de Aguascalientes, 1994.

Cuadro II.9

**Cultivos Perennes Por Riego
En El Distrito De Riego No. 01 Pabellón, Aguascalientes**

Cultivo	Superficie Sembrada (Ha)		Superficie Cosechada (Ha)		Producción (Toneladas)		Rendimiento (Ton/Ha)	
	1978	1990	1978	1990	1978	1990	1978	1990
Vid	1,637	289	1,637	289	16,370	2,948	10.000	10.200
Alfalfa	616	1,073	616	1,073	39,424	106,372	64.000	99.140

Fuente: CNA, 1978 y 1990.

Cuadro II.10

El 95.76% de la superficie total del estado se destina al uso agrícola, pecuario y forestal (véase cuadro II.11).

**Uso Actual Del Suelo En El Estado De Aguascalientes
(Al 31 De Diciembre De 1993)**

Uso	Superficie (Has.)	%
Agrícola	168,670	30.17
Pecuario	276,374	49.45
Forestal	90,205	16.14
Industrial y Urbano	9,245	1.65
Otro Uso	14,406	2.6
Total Estado	558,900	100.00

Fuente: INEGI, Anuario Estadístico del Estado de Aguascalientes, 1994.

Cuadro II.11

En el estado de Aguascalientes se cumple lo dicho por Ducci (*op. cit*): "Cuanto mayor sea el centralismo de un país, mayor importancia tendrá su ciudad capital porque en ella se toman la mayoría de las decisiones; acarrea grandes problemas, tanto de crecimiento incontrolado de la capital, como de retraso de las regiones más alejadas y mal comunicadas con la capital".

Contextualizándo los aspectos demográficos del estado con respecto a los de la Nación, cabe explicar que los grandes centros urbanos del país (mayores a un millón de habitantes) han disminuido significativamente su ritmo de crecimiento poblacional en la década de los ochenta (Aguilar, 1990), como consecuencia al impulso que se le ha dado a los planes de desarrollo urbano, específicamente al Plan de Desarrollo Urbano 1977-1978, cuyo propósito ha sido consolidar las ciudades medias (100 mil a menos de un millón de habitantes), induciendo la inmigración hacia ellas buscando el equilibrio en la ocupación del territorio mexicano (García y Sánchez, 1993).

La Ciudad de Aguascalientes, primordialmente durante sus dos últimas décadas, presenta las dos características básicas de las ciudades medias:

urbanización creciente y concentración de la población. García y Sánchez (*op. cit.*) a este fenómeno lo ha llamado "macrocefalia urbana en el estado", con lo cual se considera a la capital como una ciudad-estado.

Este acelerado e incontrolado crecimiento poblacional de la ciudad de Aguascalientes se observa en el cuadro II.12.

Número De Habitantes En La Ciudad De Aguascalientes (Desde 1900).

Año	Habitantes	Con Respecto al Total Estado (%)
1900	35,052	34.23
1910	41,198	34.18
1920	48,041	44.66
1930	62,244	46.84
1940	82,234	50.86
1950	93,358	49.64
1960	126,617	52.03
1970	181,277	53.61
1980	286,878	55.22
1990	440,425	61.20

Fuente: INEGI, Censos.

Cuadro II.12

A partir de su fundación en octubre de 1575, y debido a los cambios demográficos, de actividad económica y de superficie urbana, a la ciudad de Aguascalientes se la ha considerado:

- Por una necesidad defensiva de sus habitantes fué una *ciudad-presidio*, peculiaridad de la época de la Colonia;
- "Atravesada por el camino real y por otras muchas rutas secundarias que la ponían en contacto con los pueblos y haciendas de la comarca, nuestra villa se erigió en el centro económico, político y social de la vida regional", transformándose de ésta manera, a una *ciudad-mercado* (Gómez, 1994);
- En la época Porfiriana, específicamente entre 1900 y 1910, se forja su perfil de *ciudad-industria*, gracias principalmente a la presencia del ferrocarril y la Fundición Central Mexicana;

- A fines de los setenta, hay un nuevo proceso de industrialización, de igual significancia al de principios de siglo. La ciudad se convierte en punto de referencia y motor económico de la región; distinguiéndose por el aumento en su población (por incremento natural y por inmigración), creciente urbanización, industrialización y extensión en la red de comunicación y transporte.
- En 1990, el ritmo de crecimiento de la ciudad de Aguascalientes fué más rápido que el total de la población estatal, ya que albergaba al 61.2% de la población total de la entidad, con una tasa de crecimiento anual de 4.15 %, superior a la del estado. Ocupándose sus habitantes en actividades productivas propias de una urbe: servicios, comercio e industrias. Hasta 1990 existían un total de 1550 industrias, de las cuales 90 correspondían a la industria textil, 212 a la industria del vestido y 1248 a la de transformación.

La evolución que ha tenido la ciudad se refleja principalmente en la expansión de su superficie, la cual fué lenta desde su fundación hasta fines del siglo anterior, acelerándose en el período de 1900 y 1910, así como en 1955, 1970 y en los últimos años (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1994) (véase cuadro II.13).

Crecimiento: Relación Habitantes-Superficie-Densidad Poblacional.

Década	Habitantes	Superficie (Has.)	Densidad (Hab./Has.)
Antes del s. XX	13,000	111.1	117
50's	112,000	865.4	129
80's	300,000	3,316	90.47
90's	477,739	7,372.26	64.80

Fuente: Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1994.

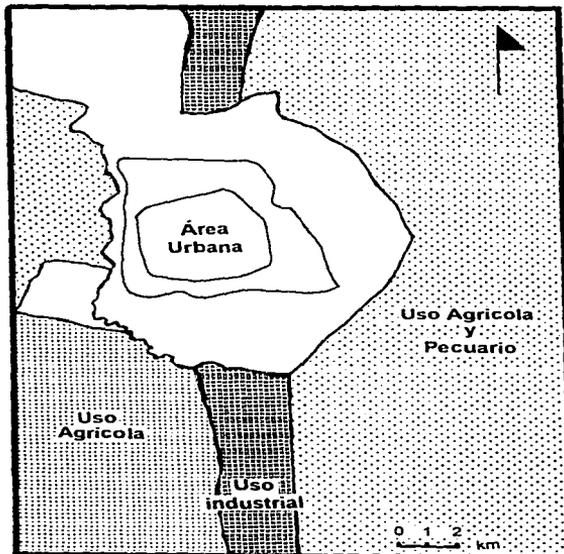
Cuadro II.13

Conforme a Valverde y Kunz (1994), se considera a una ciudad importante económicamente cuando influye en varias localidades. El número de pobladores al igual que el tamaño de la ciudad están en función del conjunto de sus actividades

económicas. Por lo que la ciudad de Aguascalientes de acuerdo a lo anterior, es clasificada como de nivel regional.

En suma, considerando las funciones políticas, administrativas, comerciales, industriales y culturales convierten a la ciudad de Aguascalientes en un centro activo. Ahora bien, si se le agrega el acentuado centralismo, constituye una región con un sistema urbano-rural desequilibrado en todos los ámbitos.

Uso Del Suelo De La Periferia De La Ciudad De Aguascalientes.



Fuente: Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1994.

Figura II.6

IMPACTO AMBIENTAL

La seguridad pública, la disminución del poder adquisitivo y el deterioro ambiental son tres problemas que representan hoy en día las mayores preocupaciones de los habitantes de las ciudades.

El principal problema ambiental que padecen los habitantes del estado de Aguascalientes, por sus repercusiones inmediatas, es el de su déficit en el recurso agua. Evidenciado en la desaparición de manantiales y del flujo base en ríos (Molina *et al.*, 1996), a lo cual se añade otra amenaza que es la de su contaminación, causada por el mal manejo de los residuos industriales, domésticos y el uso excesivo de fertilizantes. Los ejemplos sobresalientes que ilustran esta situación son el del Distrito de Riego Pabellón, donde hay pérdidas considerables de agua, y el de la presa El Niágara II, la cual capta las aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes. Además del elevado contenido de fluoruro en el agua subterránea derivado de la mezcla de diferentes sistemas de flujo causada por la extracción (Cardona *et al.*, 1996).

Al recurso suelo le sucede lo mismo: el suelo productivo es poco abundante (exclusivamente se localizan en los valles de Aguascalientes y Calvillo), sufre esterilización por el uso inadecuado de tecnologías agrícolas (abuso de plaguicidas, fertilizantes) y por el manejo inadecuado de grandes volúmenes de detergentes; añadiéndosele a lo anterior la disminución de la superficie con vocación agrícola, por causa de la invasión de asentamientos humanos y áreas industriales (suelo urbano contrapuesto al suelo agrícola).

El 80.2% de la superficie estatal presenta diferentes grados de erosión, variando de muy severos (3.2%), cuya pérdida es del 75 al 100% de la capa arable, hasta leve y moderada (45%). Las sierras El Laurel y Fría son los ejemplos donde se presenta una intensa erosión por desmontes.

La vegetación escasa, la deforestación, el sobrepastoreo y el excesivo parcelamiento provocan que la desertificación crítica en el estado sea la síntesis de los problemas ambientales antes expuestos (CNE, *op. cit.*).

Como ya se mencionó, desde la Ciudad de Aguascalientes parte el centralismo, con el cual en cierto medida se privilegia a sus habitantes, pero al mismo tiempo son víctimas de un mayor deterioro en su calidad de vida. Esto se observa en la fórmula dada por Chiras (1994):

$$\text{Impacto Ambiental} = \text{Número de Habitantes} + \text{Consumo Per Cápita} + \text{Contaminación y Uso de los Recursos por Unidad de Consumo}$$

Con respecto al grado de contaminación del aire en la entidad, en el mapa Síntesis del Medio Ambiente (Oropeza, 1990) aparece un sector considerable del estado como contaminado.

El grado de contaminación del aire en la capital se desconoce por falta de monitoreo, aunque se sabe que las fuentes de contaminación principal son los vehículos automotores y la actividad industrial. La industria de materiales para la construcción es altamente contaminante: ladrilleras, caleras y elaboradoras de asfalto. Se añade a lo anterior los vientos dominantes y las tolvaneras que trasladan cualquier tipo de contaminantes de los alrededores hacia la ciudad.

Los suelos de lotes y áreas verdes en la periferia de la ciudad, como también los de las márgenes de caminos y ríos aledaños a la capital, son contaminados por la generación de desechos sólidos de las ciudades.

Una de las manifestaciones más frecuentes del impacto del hombre sobre el medio son los asentamientos del terreno y los hundimientos en calles y avenidas,

debido entre otros factores a la expansión de la mancha urbana que ha ocupado superficies de antiguos arroyos nivelados con escombros.

Aunado a lo anterior, se presentan los efectos de la subsidencia, la cual constituye el problema más serio de la ciudad por los daños que ha originado: contaminación del agua subterránea, afectación en la infraestructura en las redes de agua potable, de drenaje y vial, deterioro de casas habitación, daños irreparables al patrimonio cultural, en líneas de alta tensión y el peligro potencial que representa a los ductos de PEMEX.

En síntesis, la constante de deterioro ambiental de todas las ciudades mexicanas, además de las mencionadas, no deja de estar presente en la capital del estado: desperdicio de agua, tala de árboles, inundaciones debido a la invasión de zonas de antiguos cauces de arroyos, asentamientos en áreas niveladas con escombros y basura, ruido y contaminación visual.

CAPÍTULO III

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

*"...el gran incubador planetario, del cual dependen todos los seres vivos..."
Villegas, Solomon, Martín, Martín y Berg.*

MARCO TECTÓNICO

El estado de Aguascalientes se ubica dentro la provincia geológica denominada Faja Ignimbrítica Mexicana, caracterizada por ser del Cenozoico, de origen volcánico y ambiente geotectónico de arco continental. Dentro de esta provincia, el graben de Aguascalientes forma parte del Sistema de Fallamiento Normal de la Región Centrooccidental de México, cuyas estructuras principales se caracterizan por tener orientaciones NE-SW (Ortega *et al.*, 1992).

Los grabens sobresalientes de este sistema de fallamiento, situado en las provincias fisiográficas de la Mesa Central, porción austral, y de la Sierra Madre Occidental, porción sudoriental, son: Calera, Villa de Hidalgo, Juchipila y Loreto en Zacatecas; Bledos, Enramadas y Villa de Arista en San Luis Potosí; Villa de Reyes, Campuzano y La Saucedá en Guanajuato; Lagos de Moreno en Jalisco; y Calvillo y Aguascalientes en el estado de Aguascalientes (Martínez, 1984, Aranda *et al.*, 1989 y Nieto, 1990) (véase figura III.1).

Las fosas tectónicas afectan el área desde el Terciario y están rellenas por depósitos continentales del Terciario Medio y Cuaternario, son de tipo lacustre, aluvial y volcánicoclástico, con intercalaciones de ignimbritas de composición riolítica (Martínez, *op. cit.*, Nieto, *op. cit.*).

El Sistema de Fallamiento Normal presenta un patrón de fracturamiento de dos juegos conjugados de fallas normales con orientación NE y NW, con ángulos de intersección que varían de 50 a 90° (Aranda *et al.*, *op. cit.*).

Sistema De Fallamiento Normal De La Región Centrooccidental De México.

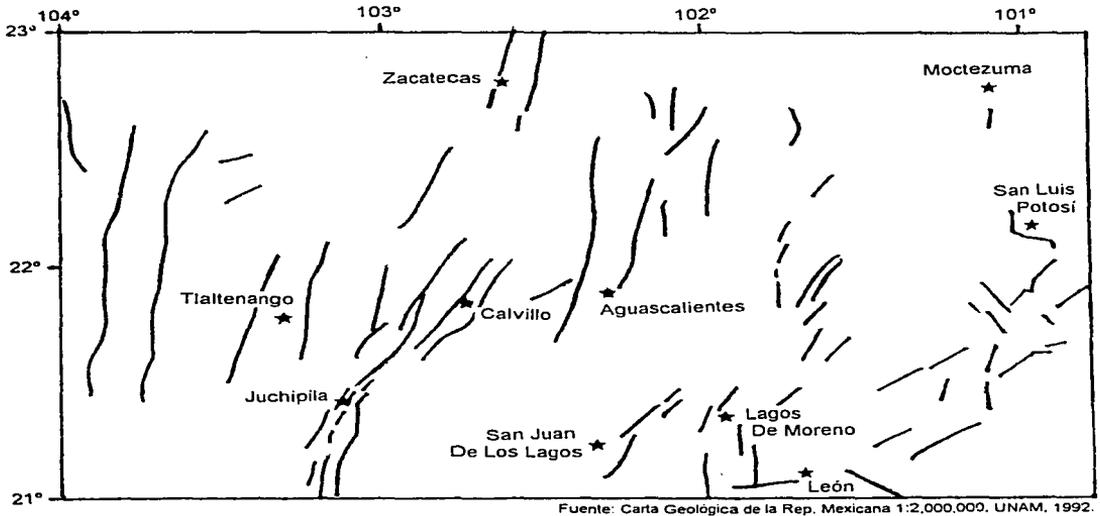


Figura III.1

Existen evidencias de que el Sistema de Fallamiento Normal es consecuencia de una tectónica extensiva postoligocénica, además hay información de actividad tectónica reciente (postpleistocénica) manifestada por flujo térmico y gradiente

geotérmico altos; presencia de focos termales, estructuras de licuefacción y hervideros de lodos; vulcanismo pleistocénico aislado; algunos basaltos están asociados con xenolitos ultramáficos; fallamiento reciente; actividad sísmica de una magnitud baja; depósitos de gravas y arenas con fauna plio-pleistocénicas relacionados al levantamiento regional (Aranda *et al.*, *op. cit.* y Nieto *et al.*, 1996).

Las ideas de varios investigadores sobre la posible causa del tectonismo distensivo en la región son (*in* Nieto, 1990):

- Stewart (1978) propone que el mismo proceso que dio origen a la provincia Basin and Range haya afectado a esta región;
- Tristán (1986) dice que debido al combamiento de la corteza terrestre, causado por un ascenso astenosférico, produjo el aspecto estructural de la región;
- Aranda y colaboradores (*op. cit.*) sugieren que las relaciones de los diferentes sistemas de fallas se encuentran oscurecidas debido a la sobreposición de la actividad tectónica posterior; o que las estructuras mesozoicas controlaron las orientaciones de las fallas;
- Mitre y colaboradores (1987) plantean que la responsable haya sido una discontinuidad estructural mayor, con movimiento lateral diestro, de edad terciaria, orientada N 50 W (dirección aproximada entre las ciudades de Aguascalientes y León).

MARCO ESTRATIGRÁFICO

La actividad volcánica del Terciario que dio origen a la Sierra Madre Occidental significa un punto de referencia para el estudio de las unidades litoestratigráficas del estado de Aguascalientes, ya que a partir de este suceso la estratigrafía de la entidad es de depósitos continentales, a diferencia de la litología variada que antecedió a este suceso conformadas por secuencias arcillo-calcáreas y secuencias volcanosedimentarias marinas (véase figura III.2).

Columna Estratigráfica

EDAD	UNIDAD	LITOLOGÍA	ESPESOR
Cuaternario	Depósitos Aluviales	Relleno aluvial y depósitos de piedemonte.	
	<i>Discordancia</i>		
Pleistoceno Tardío	Toba Aguascalientes	Secuencia clástica conteniendo a una unidad de toba ácida.	400 metros en las partes más profundas
	<i>Discordancia</i>		
Mioceno Medio	Toba Zoyatal	Unidad tobácea ácida intercalada con sedimentos clásticos.	
	<i>Discordancia</i>		
Terciario (Oligoceno)	Ignimbritas	Rocas piroclásticas ácidas similares a las rocas que constituyen a la Sierra Madre Occidental	Mayor de 300 metros
	<i>Discordancia</i>		
Mesozoico (Jurásico al Cretácico)	Complejo Basal	Rocas sedimentarias y volcánicas deformadas con metamorfismo de bajo grado ocasionalmente afectadas por intrusivos de composición granítica	?

Figura III.2

ROCAS PREOLIGOCÉNICAS

Existen dos localidades reportadas en la entidad donde afloran rocas marinas preoligocénicas: en la región de Jesús María, al occidente del graben de Aguascalientes, y al oriente de éste, en la región de Tepezalá; a todo este conjunto Aranda (1989) lo nombra Complejo Basal.

Formación Cienaguitas

Velasco (1989) propone informalmente éste nombre a la secuencia volcanosedimentaria que aflora en la región de Jesús María, entre las localidades de Cienaguitas, La Tomatina y las Tranquitas. Constituida primordialmente por estratos de pedernal con radiolarios, lutitas, grauvacas líticas y derrames basálticos, metamorfoseados a facies de esquistos verdes. Esta formación está intrusionada por

el Tronco San Gregorio y por diques dioríticos. El contacto inferior de la Formación Cienaguitas no se conoce, y las riolitas Tomatina y El Venaderito le sobreyacen discordantemente. La relación estratigráfica entre esta formación y la Formación El Varal es dudosa. Se le ha asignado a la Formación Cienaguitas una edad del Jurásico Superior de acuerdo a las características de los radiolarios presentes, identificados por Víctor Dávila Alcocer (Velasco, *op. cit.*).

Tronco San Gregorio y Diques Dioríticos

El Tronco San Gregorio es un cuerpo intrusivo de composición que varía de diorítica a granítica. Aflora en la parte noreste del poblado La Tomatina, en el arroyo San Gregorio del cual toma su nombre. El Tronco San Gregorio es cortado por diques dioríticos, ambos posteriores a la Formación Cienaguitas y anteriores a la Cubierta Volcánica Terciaria que los sobreyace discordantemente.

Formación El Varal

Velasco (*op.cit.*) propone informalmente éste nombre a la secuencia arcillo-calcárea de la región de Jesús María. Conformada por la alternancia de pizarras y metacalizas en facies de esquistos verdes, caracterizada por su foliación y recristalización. Se estima su espesor en 150 metros. Una peculiaridad de esta formación es que sus relaciones estratigráficas no afloran en el área por lo cual se desconoce la contigüidad con otras unidades; está sobreyacida en discordancia angular con algunas unidades de la cubierta volcánica. Esta unidad antecedió al metamorfismo regional, el cual no llegó a afectar a las rocas del Cretácico Tardío, por lo que su edad es indeterminada.

Rocas del Cretácico Tardío

En la Sierra de Tepezalá, al noreste de la capital del estado, aflora una secuencia de sedimentos marinos, débilmente metamorfoseados e intensamente

plegados. Las litologías más abundantes son intercalaciones de arenisca con lutita y de caliza arcillosa con lutita. También afloran caliza con pedernal y skarn de granate. Esto último producto de los intrusivos, principalmente de composición riolítica y diorítica. A la secuencia marina del área se le asigna una edad del Cretácico Tardío, y se le correlaciona con las formaciones el Caracol, Indidura y Cuesta del Cura (Martínez, *op.cit.*).

CUBIERTA VOLCÁNICA OLIGOCÉNICA

La Cubierta Volcánica, designada así por Aranda (*op. cit*), fue diferenciada en 4 unidades informales en el cerro El Cabrito-La Tomatina: Riolita La Tomatina, Riolita El Venaderito, Toba El Picacho y Riolita La Peña Blanca.

Riolita La Tomatina

Aranda y Aranda (1986) agruparon informalmente dentro de esta unidad a las tobas riolíticas depositadas por flujos de ceniza, a los depositos volcanoclásticos y a un remanente de lava riolítica rica en fenocristales. Los afloramientos no son muy amplios y su distribución está restringida al occidente del poblado La Tomatina. La unidad se compone por varios miembros volcánicos que contrastan en color, textura, y consolidación, lo cual refleja el cambio en las condiciones de vulcanismo. El espesor total de la Riolita la Tomatina se estima que oscila alrededor de 65 metros. Es sobreyacida en discordancia por la Riolita El Venaderito y es subyacida en discordancia por la Formación Cienaguitas y La Formación El Varal. Se le considera la unidad más antigua dentro de toda la secuencia volcánica terciaria del Oligoceno (Velasco, *op.cit.*).

Riolita El Venaderito

Aranda y Aranda (*op.cit.*) proponen éste nombre a esta unidad, cuya distribución es bastante amplia en la región de Jesús María. De composición riolítica, presenta como características importantes la foliación de flujo, desvitrificación selectiva y pliegues singenéticos, encontrándose un vitrófido negro hacia las partes más altas. Se piensa que el espesor puede ser mayor a los 150 metros. Descansa discordantemente sobre rocas del Complejo Basal y en otras zonas sobreyace de igual manera a la Riolita La Tomatina; mientras que la Toba el Picacho le sobreyace discordantemente. La edad asignada es del Oligoceno.

Toba El Picacho

Aranda y Aranda (*op.cit.*) le nombran informalmente así al depósito volcanoclástico que en su base presenta una brecha volcanoclástica caótica pobremente estratificada. Su distribución no es muy amplia y se restringe al Cerro el Picacho y al Cerro Los Azules. La litología se constituye por tobas líticas, cuyos elementos son de composición riolítica y de tamaño aproximado de 23 centímetros. Muestra una estratificación burda a horizontal Su espesor promedio es de 30 metros. Esta unidad descansa discordantemente sobre la Riolita El Venaderito y es subyacida en discordancia a la Riolita La Peña Blanca. Se le asigna una edad del Oligoceno.

Riolita La Peña Blanca

Aranda y Aranda (*op.cit.*) designan con este nombre a una secuencia volcánica de composición riolítica, considerada como la cima de la Cubierta Volcánica, cuyos afloramientos principales se localizan en la cimas de las áreas de mayor elevación, como son los cerros La Peña Blanca, El Picacho y Los Azules. La unidad se caracteriza por su fuerte consolidación, con textura fluidal y por mostrar estratificación. El espesor máximo es de 150 metros en el Cerro La Peña Blanca. Sobreyace en discordancia a la Toba El Picacho y no es sobreyacida por ninguna

unidad en los lugares donde ha sido estudiada. De edad oligocénica, se considera que es la unidad más joven de la Cubierta Volcánica.

Riolita Ojo Caliente

Es una secuencia ignimbrítica donde su afloramiento tipo yace en el sector oriente de la ciudad de Aguascalientes, próximo al balneario Ojo Caliente. Este afloramiento es peculiar, ya que forma un montículo apartado de otros afloramientos similares, por lo que se le considera como una anomalía. De contenido aproximado de 75% de SiO₂, presenta en la parte superior del afloramiento una textura masiva, en contraste con la porción inferior que muestra una textura fluidal. También en el mismo sector se reporta una brecha volcánica de carácter local relacionada a esta riolita (Nieto-Obregón *et al.*, *op cit.*). En base a los cortes litológicos de pozos esta secuencia es sobreyacida en algunas zonas por la Toba Zoyatal y en otras por material aluvial. Se considera como producto de la actividad volcánica oligomiocénica.

ROCAS POSTOLIGOCÉNICAS

Al oriente de la ciudad de Aguascalientes afloran 2 unidades volcanoclásticas: una del Terciario Tardío (Toba Zoyatal) y otra del Cuaternario (Toba Aguascalientes). A éstas le sobreyacen los depósitos aluviales (Hernández, 1981).

Toba Zoyatal (Terciario Tardío)

La Toba Zoyatal fue propuesta por Hernández (1979); se encuentra aflorando principalmente en el área de los arroyos El Cedazo y Paso Hondo, la presa El Cedazo, y al norte del fraccionamiento Ojo Caliente. Es una unidad compuesta fundamentalmente por un paquete de tobas de caída, con interestratificación de sedimentos clásticos de origen aluvial, fluvial y de piedemonte. Presenta

estratificación masiva, de consolidada a semiconsolidada; su espesor aproximado es de 15 metros en los afloramientos, y se calcula, por la relación de su posición horizontal y la configuración del terreno, un espesor máximo de 300 metros. La Toba Zoyatal sobreyace discordantemente a las unidades de la Cubierta Volcánica y es sobreyacida discordantemente por la Toba Aguascalientes y por sedimentos cuaternarios ubicados en las partes más bajas del relieve. Por sus relaciones estratigráficas y contenido fósil de la fauna local (tortugas, aves, armadillos y camellos), se le asigna una edad del Mioceno Tardío (Barstoviano).

Toba Aguascalientes (Cuaternario)

Hernández (*op.cit.*) describe a esta unidad de composición que varía entre riolítica y riodacítica, y cuyas características principales son: el tamaño de sus constituyentes es el de cenizas, su textura es vítrica y vitroclástica, de estratificación masiva, semiconsolidada a bien consolidada, interestratificada por arenas finas y gravas semiconsolidadas. Se diferencia de la Toba Zoyatal por contener en su matriz cementante de carbonato de calcio. El espesor en los cortes de los arroyos es de 15 a 20 metros, con estructura dispuesta horizontalmente. Sobreyace discordantemente a la Toba Zoyatal, y su parte superior es compleja por su probable interestratificación con sedimentos aluviales cuaternarios. Por la presencia de la fauna local El Cedazo, consistente en hervívoros, carnívoros y omnívoros (Mooser, *in* Montellano, 1992) y su afectación por la falla maestra del graben de Aguascalientes, se infiere su edad del Pleistocénico Tardío al Reciente.

Depósitos Aluviales y Suelos.

Los depósitos clásticos de edad reciente, de origen fluviolacustre, coluvial y de abanicos aluviales, están constituidos principalmente por fragmentos de composición riolítica. El tamaño de éstos varía desde arcillas a gravas, y la forma que presentan es redondeada a subredondeada. Estos depósitos sobreyacen discordantemente a

las rocas terciarias y cuaternarias. Se distribuyen en los cauces de los ríos y en las zonas más bajas. Ocupan profusamente el centro del graben de Aguascalientes, aproximadamente alcanzan los 400 metros de espesor, y en los afloramientos de los ríos los espesores varían de 10 a 15 metros. En algunas partes se distinguió una interdigitación entre los depósitos de limos y arcillas con el de la Toba Aguascalientes (Hernández, *op. cit.*).

Los depósitos de regolita representan las condiciones iniciales en la intemperización y erosión de la riolitas y de la Toba Zoyatal (gravas y arenas gruesas). Se localizan en la parte superior de los llanos o lomeríos suaves.

El caliche es común encontrarlo principalmente en los flancos del valle, donde hay mayor impermeabilidad, ya que es el producto de la lixiviación en los sitios áridos. Por sus relaciones estratigráficas se le considera del Cuaternario Tardío.

Los suelos son los correspondientes al clima árido de la región. La diferencia reducida en el relieve y el tipo de clima, hacen que el suelo sea escaso y solamente se encuentre mejor desarrollado en el centro de los grabens de Aguascalientes y Calvillo.

GEOMORFOLOGÍA

Resultado de la interacción entre los procesos endógenos y exógenos, el relieve de la región es de valles y sierras alargadas que es la expresión fisiográfica del arreglo estructural entre grabens y horst. Los horsts presentan formas de mesetas y lomeríos suaves, por su parte los rellenos de los grabens configuran planicies.

Desde un criterio morfogenético, las formas del relieve predominantes en el estado son: elevaciones menores sobre la divisoria, laderas y mesas riolíticas

terciarias, mesas de conglomerado y areniscas terciarias, mesas y lomeríos precretácicos de calizas y lutitas, laderas de valles erosivos originados por una dinámica fluvial, piedemonte, llanuras de inundación y planicies acumulativas.

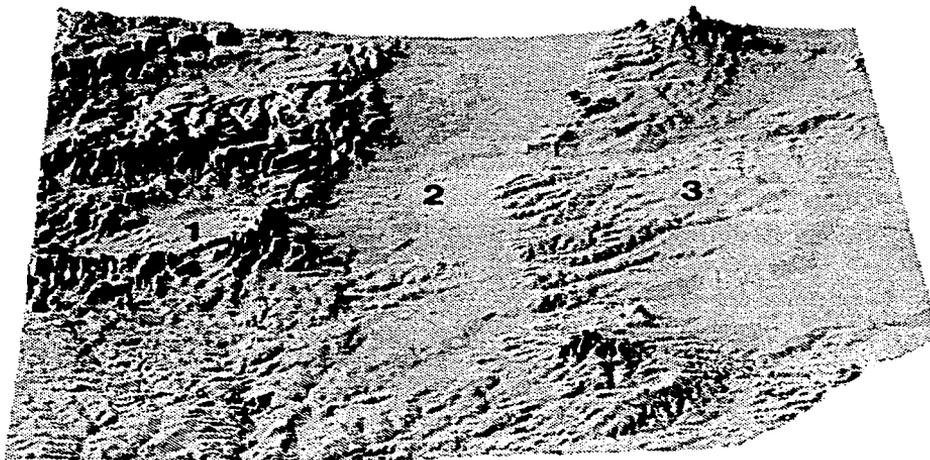
Con la información morfométrica y geológica se distinguen 3 unidades morfológicas sobresalientes en el estado: la central, la occidental y la oriental (Alcántara, 1993) (véase figura III.3).

La unidad morfológica del valle de Aguascalientes es una planicie acumulativa de depósitos aluviales (proceso exógeno) dentro de una estructura tectónica (proceso endógeno). A lo largo del graben se reconocen dos niveles producto de movimientos tectónicos: al norte (1900-2000 m.s.n.m.) y al centro-sur (1800-1900 m.s.n.m.). También se pueden observar llanuras de inundación con superficies reducidas. Las fallas maestras que definen al graben de Aguascalientes corresponden con los límites de las unidades morfológicas adyacentes.

La unidad morfológica del occidente corresponde a la vertiente interior de la Sierra Madre Occidental. Esta unidad geológica, como se mencionó, es el producto de procesos volcánicos y esta conformada por acumulaciones sucesivas de gran espesor de material riolítico de edad oligocénica. Este paquete volcánico conformaba originalmente una gran meseta, la cual fue disectada principalmente por erosión fluvial y por procesos de remoción en masa, activados por movimientos tectónicos de ascenso. Los procesos anteriores han modelado a la región dándole un aspecto montañoso (montañas erosivas), caracterizada por mesas y valles. La ubicación y orientación de los valles corresponden frecuentemente con trazas de fallas y fracturas. Dentro de esta unidad morfológica, también se observa la presencia de elevaciones aisladas de forma cómica de composición ácida, producto del vulcanismo fisural en los lugares interiores más elevados o en la periferia mostrando una orientación preferencial, manifestando con ello un control estructural. El drenaje es dendrítico a irregular.

Por último, la unidad morfológica del oriente representa una zona de transición entre la Sierra Madre Occidental y la Mesa Central, distinguiéndose en ésta última un menor número de afloramientos de rocas volcánicas. Morfológicamente se caracteriza por tener un relieve de lomeríos y mesas conformadas en general por una cubierta de material riolítico sobre las calizas y lutitas plegadas. En la zona más oriental del estado, también se observan en menor medida domos riolíticos aislados y alineados. El drenaje en esta unidad exhibe una disposición paralela orientada de manera general según una dirección N 30° E.

Unidades Morfológicas Del Estado De Aguascalientes



Unidades Morfológicas: 1) Occidental; 2) Central; 3) Oriental.

Figura III.3

EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

En principio, la litología más antigua conocida en el estado se localiza al oeste del Valle de Aguascalientes, y corresponde a la Formación Cienaguitas del Jurásico contenida en el Complejo Basal Preoligocénico. Esta formación presenta similitudes con las rocas del sector meridional de la Sierra de Guanajuato (Aranda, *op.cit.*).

Las secuencias de tipo volcano-sedimentaria y arcillo-calcárea metamorfoseadas del complejo, representan un ambiente de cuenca marina de aguas profundas (por debajo del nivel de compensación de los carbonatos), asociadas a una actividad volcánica submarina efusiva y explosiva (Velasco, *op.cit.*).

Al oriente del Valle de Aguascalientes, en la región de Tepezalá, afloran las partes media y superior de la secuencia sedimentaria marina cretácica de México, Albiano-Cenomaniano y Turoniano-Maastrichtiano, respectivamente. La parte media de origen carbonatado, correlacionable con la formación Cuesta del Cura, expresa la inundación máxima, posterior a la transgresión de los mares en formación del Atlántico (Oxfordiano-Aptiano). La parte superior de origen clástico, correlacionable con las formaciones Indidura y Caracol, manifiesta por su parte el cambio de sedimentación marina en el oriente de México, donde sucedió una regresión orogénica con deformación y levantamiento de oeste a este, provocada por la subducción de la placa Farallón en el borde occidental de Baja California (Cretácico Superior y Paleógeno). Cabe mencionar, que los eventos intrusivos que afectaron a las rocas cretácicas fueron anteriores a las rocas volcánicas terciarias (Ortega *et al.*, 1992).

Posteriormente, el vulcanismo, efusivo y explosivo, que formó a la Sierra Madre Occidental, correspondiente a la litología denominada aquí como Cubierta Volcánica, ocurrió básicamente en el Oligoceno (32 a 38 m.a.), después de la migración hacia el

este del arco magmático y cuya actividad se suspendió durante 45 m.a. (Mcdowell y Clabaugh, 1979)

A principios del Mioceno los fenómenos de expansión de retroarco y el desarrollo del movimiento lateral derecho del Sistema de Fallas de San Andrés ocasionaron un ambiente tectónico de tipo extensivo, creándose así el Sistema de Fallamiento Normal de la Región Centro de México, del cual forma parte el graben de Aguascalientes (Ortega *et al.*, *op. cit.*).

Mientras que en un cambio en el carácter del volcanismo miocénico, por probable diferenciación magmática, se produjeron las características de la Toba Zoyatal. Este vulcanismo se desarrolló en un medio con características de sabana, manifestado con la mastofauna Zoyatal (Hernández, 1979).

En contraste a la formación de la Toba Zoyatal, la Toba Aguascalientes es resultado de una actividad de menor potencia e intensidad. Además, como resultado de la dinámica exógena, se observa la interdigitación de sedimentos aluviales. Un indicador de que el clima era más húmedo con respecto al actual es la presencia de la fauna local El Cedazo (Hernández, *op. cit.*).

Asimismo, durante el Mioceno Tardío y el Pleistoceno, los procesos de levantamiento, vulcanismo y erosión que dieron formación al graben de Aguascalientes y a los depósitos de relleno seguían su actividad, desarrollándose paleocauces, abanicos aluviales y depósitos lacustres de gran espesor. Por la coexistencia, de material limoso y arenoso con intercalaciones de cenizas volcánicas en el relleno del graben, se infiere que la construcción de éste fue de manera gradual (Martínez, *op. cit.*).

Debido a la diferencia entre un ambiente dominante de pradera, evidenciado con la presencia de la fauna pliocénica-pleistocénica de caballos, alces, tortugas,

etc. (Mooser, *in* Montellano *op.cit.*), y el de un régimen árido (presencia extendida del caliche), con lo cual las características climáticas se han perfilado a la aridificación.

Junto con los profundos cambios en el medio físico, como consecuencia de la evolución geológica, se ha afectado a la biodiversidad de la región, sin tomar en cuenta la ocasionada por el hombre, donde la erosión y la desertificación han sido los procesos predominantes en los últimos años.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

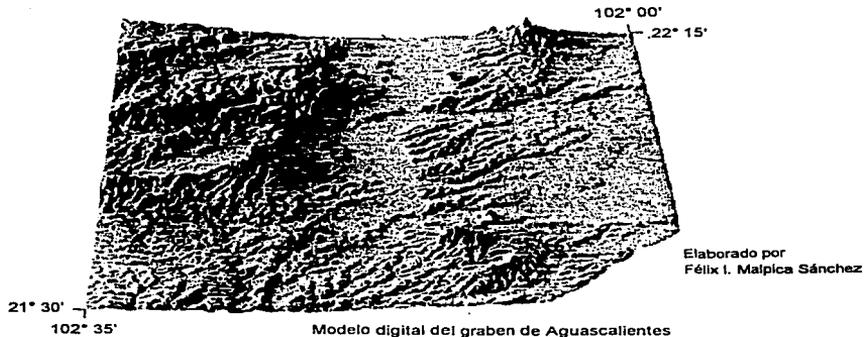
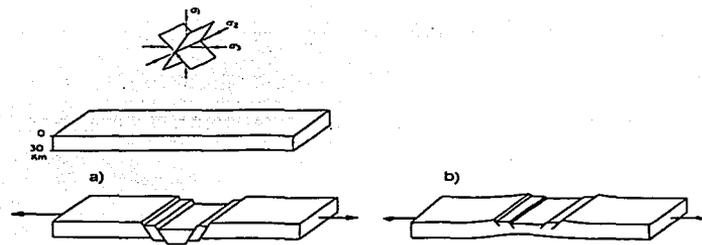
*"El territorio no es un dato: es el resultado de diversos procesos."
André Corboz*

GEOLOGÍA

El acuífero del valle de Aguascalientes es el principal abastecedor de agua del Estado, cuyo funcionamiento está bajo el control geológico estructural del graben del mismo nombre (Martínez, 1984).

Para iniciar, un graben es una estructura geológica producto de un ambiente tectónico extensivo (donde el esfuerzo máximo es vertical (σ_1) y el esfuerzo mínimo e intermedio son horizontales). Limitada por dos fallas maestras normales de similar orientación, esta estructura se divide en áreas cada vez más profundas en dirección al centro de la fosa, donde el relleno está afectado por fracturas. Los grabens, por lo general, son de diferentes tamaños, forman parte de un sistema de fallas más desarrollado, y están asociadas a ellos emisiones volcánicas (véase figura IV.1).

Con respecto al graben de Aguascalientes, éste se extiende desde Ojo Caliente, Zacatecas, hasta el sur del estado de Aguascalientes. Su longitud es de aproximadamente 140 kilómetros, con una anchura variable de 10 kilómetros en la parte norte del estado, en la parte central se adelgaza (donde se localiza la Ciudad de Aguascalientes), y en la porción sur del estado vuelve a ensancharse a 15 kilómetros. El área que abarca esta estructura es alrededor de 1250 kilómetros cuadrados (véase figura IV.1).



Modelo digital del graben de Aguascalientes

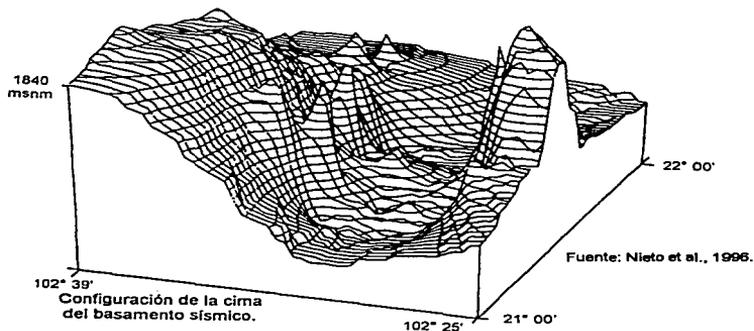


Figura IV.1

La diferencia de alturas en la superficie del graben de Aguascalientes es de 200 metros. Presenta contrastes entre su porción septentrional con respecto a su porción meridional: la primera es de una altitud aproximada de 2000 metros hasta llegar a la altura de la Ciudad de Pabellón de Arteaga en donde desciende a una cota de 1900 metros conservándose hasta el sur de la presa El Niágara para cambiar a 1800 metros.

El relieve de la superficie del graben de Aguascalientes es una planicie de acumulación volcánica y aluvial. La acción de la erosión fluvial es de mayor intensidad en la porción sur, y la profundidad de disección y energía del relieve varía mínimamente entre los dos sectores (Alcántara, 1993).

El graben tiene una orientación N 10° E en la parte septentrional hasta la altura de la Ciudad de Aguascalientes, a partir de aquí se ensancha y cambia visiblemente su rumbo a N 40° E, de disposición similar al de los grabens del occidente (Calvillo y Juchipila) (Aranda *et al.*, 1989).

El graben de Aguascalientes representa la transición entre la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y la denominada Mesa del Centro. Por lo que el borde oeste es un escarpe constituido por mesetas de ignimbritas del Terciario. El borde oriental está formado por un declive de pendiente relativamente suave, conformado por depósitos de grava y arena pliocénica-pleistocénica.

La parte central del graben es una planicie constituida por depósitos aluviales, subyacidos por la Toba Zoyatal y la Toba Aguascalientes. Este paquete de 3 unidades sobreyace discordantemente a las ignimbritas oligocénicas.

**Columna Estratigráfica Ubicada En El Centro Del Graben,
Al Sur De La Ciudad De Aguascalientes.**

Unidad	Espesor m	Profundidad de la base	Litología	Corresponde (equivalencia)
I	70	70	Arenas gravas y gravillas	
II	32	102	Arenas medianas y gruesas con intercalaciones de calizas continentales	
III	168	270	Arenas gruesas y conglomerados	
IV	40	310	Toba híbrida	Toba Aguascalientes
V	72	382	Conglomerados	
VI	10	392	Areniscas y conglomerados	
VII	20	412	Toba vitrea	Toba Zoyatal
VIII	70	482	Areniscas y conglomerados	
IX	30	512	Rioilitas	Rioilita la Tomatina
X	98	610	Rioilitas y tobas con alteración hidrotermal	
XI	22	632	Rioilitas e ignimbritas	Rioilita Peña Blanca
XII	31	663	Tobas ácidas y rioilitas con derrames de basalto	Toba El Picacho
XIII	167	830	Rioilitas y tobas ácidas	Rioilita Venaderito
XIV	20	850	Secuencia metasedimentaria	Compejo Basal Jurásico
XV	40	890	Areniscas y conglomerados rojos	

Fuente: Departamento de Hidrología (INEGI), 1994.

Cuadro IV.1

Las tres unidades juntas alcanzan profundidades variables, llegan generalmente a los 400 metros en el centro del graben, en algunos lugares es más, y disminuye el espesor a medida en que es más próximo a las fallas limitrofes (véase figura IV.2).

En la figura IV.3 se muestran las profundidades alcanzadas por los depósitos aluviales que rellenan el graben. El comienzo de la secuencia ignimbrítica dentro del graben oscila entre 6 y 425 metros según la información obtenida y presentada en la figura IV.4.

Sección Geológica Del Graben De Aguascalientes

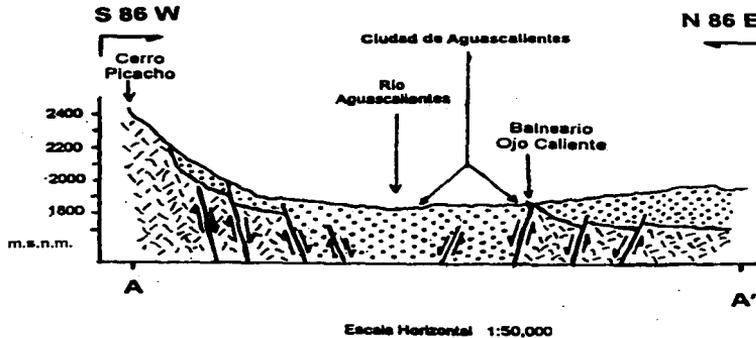


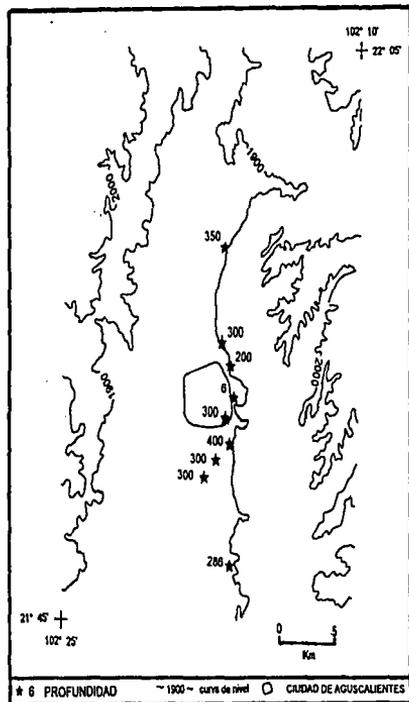
Figura IV.2

CLIMA

Como es sabido el clima incide en los sistemas de escurrimiento (drenaje), en la humedad, en las características del suelo y en el tipo y cantidad de vegetación. Para conocer la abundancia y disponibilidad del recurso agua es indispensable contar con el balance hidrológico de la región, el cual está en parte determinado por los elementos que constituyen al clima. Es importante considerar que el monitoreo deficiente imposibilita tener una idea más realista de dicho balance (véase cuadro IV.2 y figura IV.5).

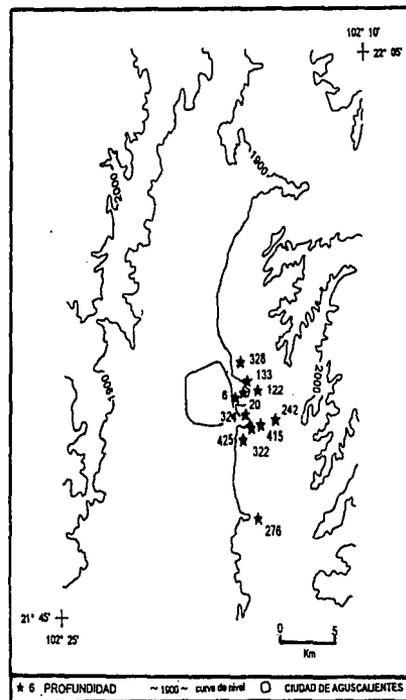
El clima que caracteriza al graben de Aguascalientes es el semiseco a semicálido (BS1), diferenciándose la porción septentrional de la meridional.

PROFUNDIDAD DE LA BASE DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES.



Fuente: Balderas y González, 1992.

PROFUNDIDAD DE LA CIMA DE LA SECUENCIA IGIMBRÍTICA.



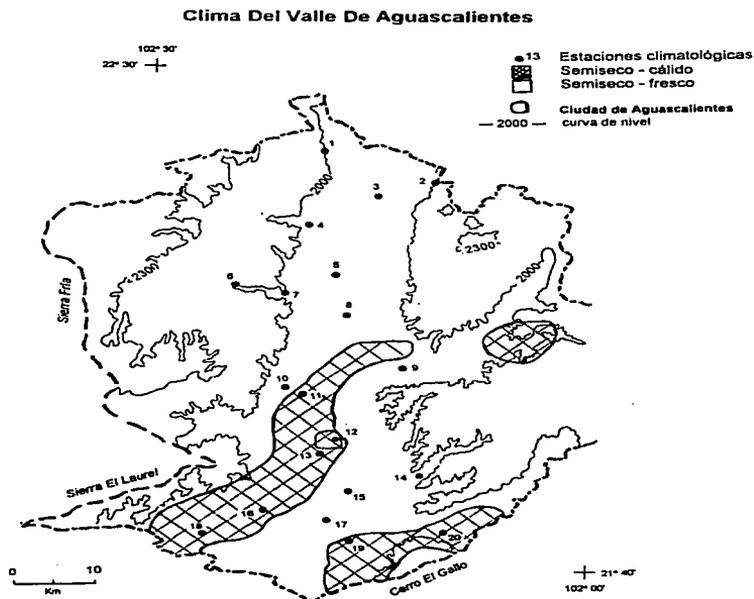
Fuente: Balderas y González, 1992.

Figura IV.3

Figura IV.4

La porción septentrional es templada con verano cálido (BS1k), la temperatura media anual fluctúa entre 16 y 18 °C, la del mes más frío entre -3 y 18 °C y la del mes más caliente es menor de 18 °C. Las precipitaciones son menores a los 500 mm.

La zona meridional, a partir de Jesús María, se caracteriza por tener un clima semicálido con invierno fresco (BS1h), la temperatura media anual es menor a los 18 °C, y las precipitaciones varían de 500 a 600 mm.



Fuente: INEGI, Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, 1993; modificado.

Figura IV.5

La evaporación, función de la temperatura y la precipitación, está determinada para esta zona con un número negativo, ya que el suelo no se mantiene húmedo ni hay corrientes permanentes, afectando a los niveles de infiltración y al coeficiente de escurrimiento; éste último varía entre 0 y 6 %.

Estaciones Climatológicas En El Valle De Aguascalientes, 1988.

Número	Nombre	Promedio de Temperatura	Promedio Anual Total de Precipitación	Promedio Evaporación Potencial
1	Cosío	17.0	379.1	2148.2
2	Montoro	17.8	496.1	2074.3
3	El Chayote	17.0	393.3	1931.8
4	San Bartolo	17.9	549.2	2037.0
5	Palo Alto	17.2	475.0	1999.4
6	Presa Canutillo	17.0	524.5	1981.7
7	Presa Potrerillos	16.9	478.7	2206.4
8	San Fracisco	16.3	467.1	2093.8
9	Cañada Honda	16.7	474.4	1815.0
10	Las Fraguas	16.3	467.2	1919.7
11	Jesus María	11.4	455.6	2133.8
12	Aguascalientes	18.0	531.2	2452.0
13	Malpaso	19.4	572.2	2313.9
14	Calvillito	17.0	399.3	1776.1
15	Arellano	17.7	466.6	1938.7
16	El Niágara	18.3	552.6	2086.2
17	Mitpillas Arriba	16.1	696.6	1675.3
18	Cieneguillas	18.6	533.9	1913.7
19	Presa Calles	17.1	452.8	2086.0
20	Sandovalés	16.1	374.9	2107.5

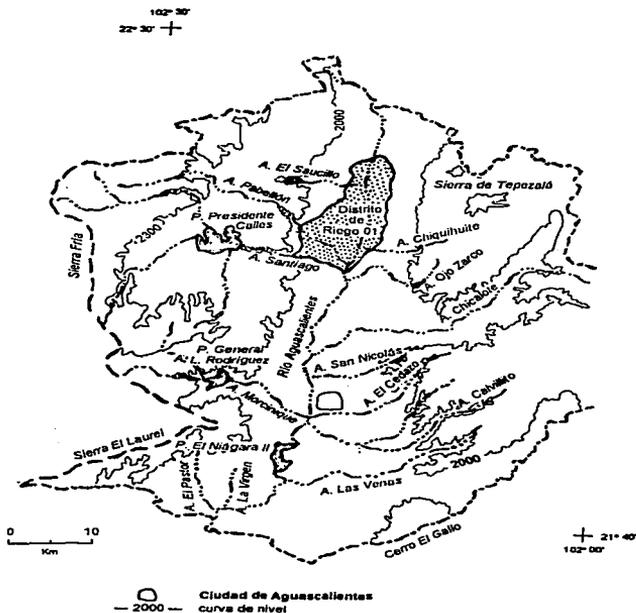
Fuente: Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, INEGI, 1993.

Cuadro IV.2

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

El río San Pedro o Aguascalientes atraviesa al estado por el sector occidental del graben, de norte a sur, siendo el receptor principal en el estado, ya que drena el 77.5% de la superficie de la entidad; forma parte de la cuenca del río Verde Grande, perteneciente a la Región Hidrológica Lerma-Santiago de la vertiente del Pacífico (véase figura IV.6).

Hidrología Del Valle De Aguascalientes



Fuente: INEGI, Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, 1993; modificado.

Figura IV.6

El río recibe en su curso varios afluentes de régimen intermitente. Por la margen derecha y de norte a sur confluyen el río Pabellón, El Blanco y el Prieto que conforman al Santiago, además del río Morcinique, los arroyos El Saucillo, Milpillas, El Pastor y La Virgen. Por la margen izquierda sus afluentes son el río Chicalote y los arroyos Chiquihuite, Ojo Zarco, San Nicolás o La Hacienda, el Cedazo, San Francisco o Calvillito y Las Venas o Salto de Montoro.

Los escurrimientos del río Aguascalientes han sido modificados por los vasos de almacenamiento. Los aprovechamientos hidráulicos con capacidad máxima mayor de 5 millones de metros cúbicos son: la presa Presidente Calles -la más importante del estado-, la presa General Abelardo L. Rodríguez sobre del río Morcinique; la presa El Niágara II sobre el río Aguascalientes; presas menores son el Saucillo y Los Arquitos 1 con capacidad de 6.0 y 0.5 millones de metros cúbicos respectivamente.

Cabe mencionar, que a partir del establecimiento del Distrito de Riego 01, ubicado en la parte norte del centro del graben, de superficie aproximada de 11948 hectáreas, la demanda de agua aumentó significativamente afectando la disponibilidad del agua superficial.

GEOHIDROLOGÍA

Con base en las características hidrogeológicas por donde fluye el agua subterránea, se distinguen tres medios geológicos principales (Molina *et al.*, 1996):

- **Medio granular:** conformado por las unidades clásticas no consolidadas del Terciario-Cuaternario que rellenan el graben de Aguascalientes. La unidad tiene espesores de más de 400 metros La conductividad hidráulica es de 10^4 - 10^7 m/s.
- **Medio fracturado:** corresponde a los paquetes de riolitas e ignimbritas fracturadas del Oligoceno, con intercalaciones de arenas y cenizas volcánicas. El espesor es mayor a los 300 metros. La porosidad es secundaria, la permeabilidad disminuye con la profundidad y la conductividad hidráulica es de 10^3 - 10^5 m/s.
- **Medio de doble porosidad:** corresponde a las unidades tobáceas.
- **El denominado Complejo Basal** es impermeable.

Se diferencia un acuífero libre en la parte superior y otro semiconfinado a confinado en la parte inferior. El primero está ubicado en el relleno granular del área, compuesto por conglomerados poco cementados y tobas riolíticas fracturadas, cubiertos por una delgada capa superficial de aluvión no saturado. El acuífero semiconfinado a confinado, desde la base de los sedimentos lacustres, varía en su profundidad de los 125 a 300 metros.

Pero en general, las unidades hidrogeológicas dentro del graben de Aguascalientes forman un acuífero libre y heterogéneo de amplio espesor, presenta buena porosidad y alta permeabilidad.

Los niveles estáticos más someros del acuífero libre se localizan en la porción septentrional. Los más profundos se ubican en los alrededores de la Ciudad de Aguascalientes y en el suroeste de ésta, rumbo a Teocaltiche.

El agua subterránea del Valle de Aguascalientes está bajo el control geológico estructural del graben, donde los flujos regionales empiezan en los estados vecinos y se profundizan aproximadamente hasta 1500 metros (comunicación personal de Joel Carrillo). La pendiente dominante norte a sur, influye en la orientación del flujo hasta las cercanías de la ciudad de Aguascalientes, para después cambiar de noreste a suroeste, con rumbo a Teocaltiche, Jalisco (INEGI, 1993).

Por estudios hidrogeoquímicos se diferenciaron sistemas de flujo intermedio y regionales, definidos por fronteras hidráulicas (Molina *et al.*, *op. cit.*)

El sistema regional oriental circula por el medio fracturado y su zona de recarga corresponde a el área de Cerro Grande y Cerro de los Gallos; la zona de descarga comprende a las áreas de los manatales de Ojo Caliente, al del valle Chicalote y a la zona de la presa el Niágara. El sistema regional occidental circula por el medio fracturado y en su descarga atraviesa el medio granular; la zona de

recarga corresponde a la Sierra Fría; la zona de descarga comprende al flujo base del río Aguascalientes y a la zona de Rincón de Romos dentro del mismo valle (véase figura IV.7).

La zona de recarga del sistema de flujo intermedio concierne a la Sierra de Tepezalá y a los lomeríos del oriente de la ciudad de Aguascalientes; el valle de Chicalote y los manantiales Ojo Caliente son las zonas de descarga correspondiente. Además la zona de recarga del sistema de flujo intermedio occidental atañe a las estribaciones de la Sierra Fría; la zona de descarga comprende a las áreas de Valladolid y Jesús María y áreas occidentales del graben de Aguascalientes (véase cuadro IV.3 y figura IV.7).

En la margen oriental los valles de Loreto y Chicalote están comunicados con el de Aguascalientes, de igual forma el Valle El Llano cuyo flujo drena libremente hacia éste. por la margen occidental el agua subterránea no traspasa el material por lo cual no hay comunicación con los valles de El Venadero y Calvillo. Asimismo hay aporte vertical producto del escurrimiento y percolación por las precipitaciones, del río Aguascalientes y de las pérdidas en el área del distrito de riego 01 (INEGI, *op. cit.*).

Recarga Estimada En El Valle De Aguascalientes.

	Millones de m ³	%
Forma Natural Directa	145	58
Aportaciones Inducidas	90	36
Inmigra por el Norte de la Entidad	15	6
Recarga Media Anual	250	100

Fuente: Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, I.N.E.G.I., 1993.

Cuadro IV.3

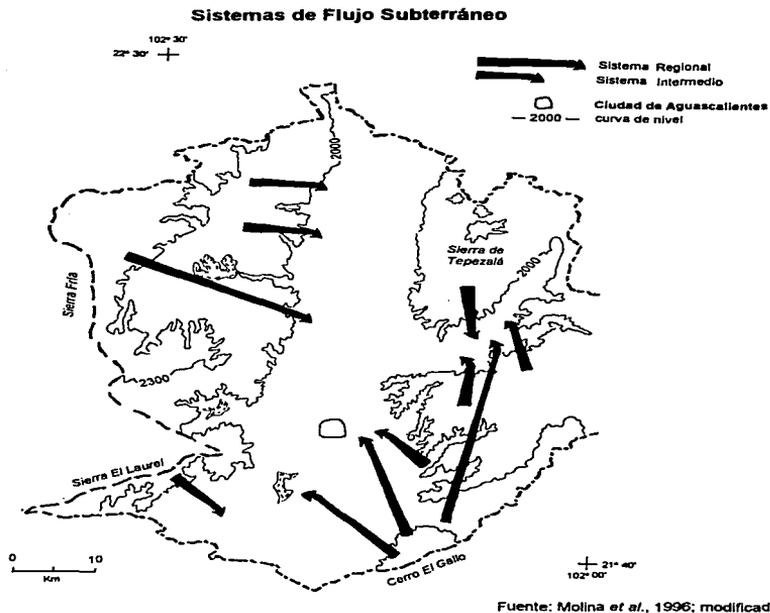


Figura IV.7

Con lo que respecta a los aprovechamientos de los acuíferos del Valle de Aguascalientes, se extrae el 70% del agua que se consume en el estado (véase cuadro IV.4). El promedio en la extracción es superior a los 30 litros por segundo, cuyos valores de potencialidad están entre los 45-100 l/seg. Con un volumen de 483 millones de metros cúbicos (INEGI, 1993). Además, la extracción del agua proviene aproximadamente del 10 % del flujo local y 90 % del regional (comunicación personal de Joel Carrillo).

La densidad de pozos en el valle por kilómetro cuadrado es de 1.16 (1,444 pozos). Entre los 80 y 350 metros oscila la profundidad de los pozos, con promedios

de profundidades de 250 metros. En la parte oriental del valle es donde se localizan los pozos más profundos, con caudales entre 1.5 y 150 litros por segundo.

**Consumo Del Agua Subterránea En El Acuífero Aguascalientes,
(Enero De 1985).**

Aprovechamiento	Millones de m³	%
Riego	296	87.32
Agua Potable	33	9.73
Agua Industrial	8	2.36
Otros Usos	2	0.59
Explotación Total	339	100.00

Fuente: Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, INEGI, 1993.

Cuadro IV.4

El promedio de la profundidad de los abatimientos dentro del valle es del orden de 1.97 metros por año, por lo que se considera que los acuíferos se encuentran sobreexplotados, con valores en la evolución de los niveles estáticos de 15 metros en el centro y de 10 metros en la periferia en el lapso comprendido de 1971 a 1981 (Martínez, *idem*) (véase cuadro IV.5).

**Balance Geohidrológico Del Acuífero Aguascalientes
Millones De Metros Cúbicos (Enero De 1985).**

	Recarga	250
+	Explotación Total	339
	Balance	- 89

Fuente: Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, INEGI, 1993.

Cuadro IV.5

El nivel estático descendió entre 20 y 30 metros en el período de 1971 a 1986, situándolo para el año 1993 entre los 40 y 125 metros de profundidad. Los niveles del agua subterránea han descendido más de 60 metros en los últimos 30 años, encontrándose ahora a profundidades de 80 a más de 100 metros de la superficie del terreno (véase cuadro IV.6 y figura IV.8) (INEGI, 1993).

El graben se considera como un lugar de descarga natural de flujos regionales e intermedios y debido a la intensa extracción se redujo el aporte, con lo cual se han transformado las condiciones del medio (comunicación personal de Joel Carrillo). También en el caso particular del área de la ciudad de Aguascalientes los conos de abatimiento forman anomalías en la dirección de flujo del agua subterránea.

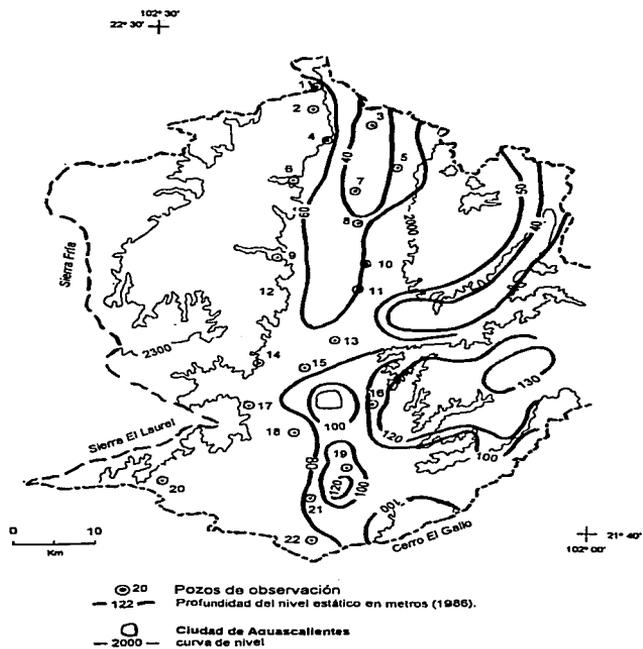
Características De Los Pozos De Observación En El Valle De Aguascalientes, (1987).

Pozo	Nivel Estático	Nivel Dinámico	Gasto (l / Seg)	Profundidad Total (m)	Fecha de Lectura
1	59.00	-	-	400.00	X-1986
2	31.54	86.00	61.00	199.60	XI-1974
3	59.10	-	-	203.00	XII-1986
4	83.60	-	-	250.00	1986
5	117.00	-	-	195.56	XII-1986
6	51.60	76.60	87.00	215.00	VII-1974
7	20.00	63.99	142.44	400.00	XI-1971
8	56.00	105.00	17.00	250.00	1982
9	73.70	-	-	160.00	XII-1986
10	96.00	-	-	300.00	XII-1986
11	62.00	108.00	30.00	250.00	1984
12	-	119.30	29.00	250.00	XII-1986
13	68.19	92.00	86.00	250.00	VIII-1974
14	64.00	116.00	36.00	250.00	1984
15	88.00	108.00	50.00	250.00	1982
16	-	-	30.00	250.00	1984
17	61.50	136.47	2.00	591.41	II-1982
18	47.85	72.00	87.00	329.00	XI-1972
19	127.20	143.30	19.20	286.00	IX-1976
20	58.75	65.40	12.50	-	1984
21	90.80	103.80	60.00	200.00	I-1974
22	64.65	-	-	293.00	I-1987

Fuente: Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, INEGI, 1993.

Cuadro IV.6

Ubicación de los Pozos de Observación en el Valle de Aguascalientes, (1987).



Fuente: INEGI, Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes, 1993; modificado.

Figura IV.8

GEOTERMALISMO

Es importante considerar que las características del agua subterránea están ligadas al medio geológico y al flujo térmico del área en cuestión, ya que las aguas subterráneas que circulan en el estado de Aguascalientes se distinguen por su alta temperatura y su carácter regional (comunicación personal Joel Carrillo).

En la provincia geotérmica de la Sierra Madre Occidental es frecuente que los focos termales estén alineados con orientaciones características y relacionados a estructuras geológicas regionales (Torres *et al.*, 1993).

La asociación entre las manifestaciones termales y las estructuras geológicas, específicamente con fallas normales y fracturas, se observa en el área limitrofe suroriental de ésta provincia geotérmica constituida por las fallas maestras que configuran al graben de Aguascalientes.

En el borde occidental del graben se reportan 23 focos termales y 17 para el borde oriental; siendo éstos de composición sódico-bicarbonatada (véase cuadro IV.7 y figura IV.9).

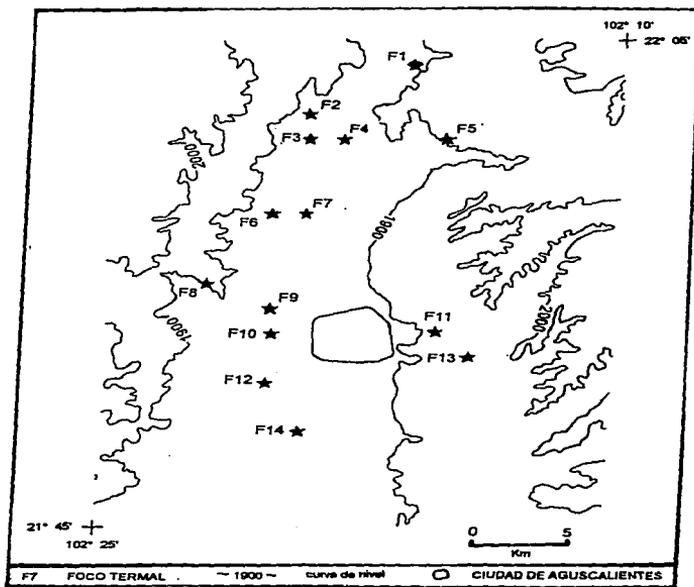
Focos Termales En El Graben De Aguascalientes.

	Localidad Geotérmica	Temperatura Superficial °c	Flujo Calor Kcal/s
F1	Viñedo San José	47.0	Sin Dato
F2	Balneario Valladolid	44.5	585 000
	Ejido Concepción	41.0	320 000
F3	Las Granjitas	44.0	380 000
F4	Buenos Aires	38.0	260 000
	Ejido Lauredo	35.6	265 000
F5	Rancho La Malobra	44.5	390 000
	Sociedad Ricardo Flores	44.0	760 000
	Magón	41.0	320 000
	Viñedos Elvira	30.0	100 000
	Viñedos Elvira	42.4	348 000
	Viñedos Elvira	42.0	340 000
	Viñedos Elvira	44.5	780 000
F6	Viñedos San Elizondo		
	Hacienda Chichimeco	40.3	382 500
	Hacienda Chichimeco	35.5	315 000
F7	Sociedad El Barreno	41.4	164 000
	Sociedad El Barreno	35.6	106 000
F8	Los Arquitos	36.7	175 500
F9	El Chácho	31.8	68 000
	Sociedad Bajío Las Liebres	30.3	132 500
F10	Rancho La Esperanza	30.0	50 000
	Viñedos San Felipe 2a. Sección	30.0	50 000
F11	Ejido Ojo Caliente	40.2	45 600
F12	Balneario La Cantera	36.0	110 000
	Rancho Valle Redondo	36.0	330 000
	Rancho Valle Redondo	34.9	198 000
	Rancho Valle Redondo	32.0	140 000
F13	Cerro La Cruz	40.5	465 000
	Balneario Centro	39.6	438 000
	Deportivo	39.9	148 000
	Tecnológico Regional	40.5	232 000
	E.N.E.F.A.	40.8	47 400
	Casa de Descanso DIF		
F14	Unión Vinícola	40.8	237 000
	Rancho San Luis	31.1	30 500
	Rancho San Luis	36.3	56 500
	Viñedos Aguascalientes	31.0	60 000

Fuente: Torres et al., 1993.

Cuadro IV.7

Ubicación De Focos Termales En El Graben De Aguascalientes



Elaboró: Félix I. Maipica Sánchez.

Figura IV.9

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

"un interior presupone un exterior ..."
M. C. Escher

La evolución del relieve terrestre es el reflejo de la interacción entre los procesos endógenos y exógenos. Por consiguiente, el análisis de los elementos lineales del relieve, de sus diferentes diseños y sistemas de orientación, tiene como finalidad el aportar información sobre la estructura geológica de una región, revelando la intensidad de los movimientos tectónicos y su influencia en la formación de las grandes unidades morfoestructurales (Sherbon, 1977).

Se llaman lineamientos a los elementos del relieve dispuestos en una dirección dominante condicionados por la actividad endógena (Lugo, 1991), pudiendo ser fracturas, fallas, direcciones de capa o características de las rocas metamórficas (*i.e.* foliación, esquistosidad). Los lineamientos se encuentran expresados como rasgos con direcciones fisiográficas de ríos, crestas y líneas de costa que presentan una cierta regularidad geométrica, a causa del paralelismo de líneas rectas o levemente curvas (curvilineamientos), distinguiéndoseles por el contraste tonal entre las superficies (Mitre, 1981).

Los pasos a seguir para proponer un modelo de sistemas de discontinuidades a partir de lineamientos consiste (Lugo, *ídem*; Mitre, *ídem*; Olivares, 1985):

- Primero: identificarlos, mediante una observación sistemática, en imágenes de satélite, cartas topográficas, fotografías aéreas y en modelos digitales de terrenos;
- Segundo: registro de los más importantes, es decir, los evidentes y los de mayor magnitud;

- Tercero: análisis estadístico, por diferente orientación y magnitud, representando los resultados en gráficas (rosas de fracturas);
- Cuarto: diferenciación de áreas (bloques), basada en el ordenamiento y clasificación de ellos;
- Quinto: interpretación estructural, fundamentada en su distribución geográfica, con el objetivo de relacionar sus características con los sucesos tectónicos que se presentaron en la región.

En este trabajo se realizó el análisis de los lineamientos principales en un área que abarca aproximadamente 6 cartas topográficas (INEGI) de escala 1:50,000, (véase tabla V.1):

Cartas Topográficas De La Región Estudiada.

PRESA PRESIDENTE CALLES F13-B-88	RINCÓN DE ROMOS F13-B-89
JESÚS MARÍA F13-D-18	AGUASCALIENTES F13-D-19
VILLA HIDALGO F13-D-28	ENCARNACIÓN DE DÍAZ F13-D-29

Tabla V.1

Para identificar los lineamientos se elaboró un modelo digital de terreno, usando el sistema de información geográfica "ILWIS" (Integrated Land and Watershed Management Information System). Un modelo digital es una representación digital de la superficie terrestre generada con una computadora (López, 1993).

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Se digitizaron curvas de nivel cada 20 metros, con la intención de que aparecieran rasgos del relieve con mayor nitidez en el área correspondiente al graben de Aguascalientes (véase figura V.1).

Al modelo digital se le aplicaron una serie de filtros que tienen la función de variar la orientación de la fuente de luz y el ángulo con respecto a la horizontal, con el objeto de mostrar vistas ortogonales sombreadas del relieve, y así resaltar los distintos lineamientos (véase anexo).

A partir de este modelo, se lograron distinguir rasgos que no podían ser observados en las imágenes de satélite o en fotografías aéreas (véase figura V.2).

El análisis de los elementos lineales (véanse figuras V.3 y V.4) nos indica 4 direcciones preferenciales con un cierto rango de variaciones: NW (30°-45°), NS 10°, NE (30°-60°) y NE (80°-90°).

Por medio de la expresión morfológica y el arreglo de los lineamientos se pudieron establecer diferentes áreas en esta región (véase figura V.5):

1. Área de la Sierra de Tepezalá.
2. Área de los Lomeríos El Llano.
3. Área del Cerro El Gallo.
4. Área sur de la Sierra El Laurel.
5. Área montañosa que comprende: Sierra El Laurel, Sierra El Muerto (Cerro Picacho, Cerro El Cabrito).
6. Área del graben de Aguascalientes.
7. Área presa Gral. A. L. Rodríguez.
8. Área de lomeríos entre las presas A. L. Rodríguez y Presidente Calles.
9. Área presa Presidente Calles.

Sobresalen ciertos rasgos estructurales y geoformas del terreno (véase figura V.6):

1) Se observa con claridad, de manera discontinua, la Falla Maestra Oriental; en el sur desaparece por la presencia de la geoforma del Cerro Los Gallos (volcán asociado a un graben).

2) Se observa un lineamiento con orientación aproximada este-oeste en la Sierra de Tepezalá que va desde la planicie del graben hasta los inicios del Valle de Chicalote.

3) Lineamiento con orientación aproximada N-S en la Sierra de Tepezalá.

4) Este punto señala el cambio de orientación de la Falla Maestra Oriental, justamente en la bifurcación entre los valles de Aguascalientes y el de Chicalote

5) Es el área de Lomeríos El Llano, comprendida desde el Valle de Chicalote hasta la geoforma del Cerro Los Gallos, las unidades litológicas presentan estructuras homogéneas.

6) Es un lineamiento con orientación N-S paralelo a la Falla Maestra Oriental, se distingue por el cambio de orientación de los arroyos.

7) Dentro de la geoforma Cerro Los Gallos se observa un lineamiento muy marcado (es imperceptible en la carta topográfica). Se pierde dentro del graben pero si se prolonga coincide con la curvatura o con el cambio de orientación de la Sierra El Muerto.

8) El Arroyo Calvillito es un lineamiento especial, cuyo cambio de orientación abrupta es notable. Se observa este rasgo dentro de la planicie aluvial del graben, y también coincide con la terminación de la curvatura de la Sierra El Muerto y donde precisamente ésta pierde continuidad.

9) Se marca un lineamiento paralelo en las estribaciones de la Sierra El Laurel; si se prolonga coincide con la orientación característica de los arroyos orientales de los lomeríos El Llano.

10) Es un lineamiento con orientación aproximada N-S, se observa con mayor claridad en el sur del modelo, y con ciertos filtros se distingue su prolongación hacia el norte (ver anexo).

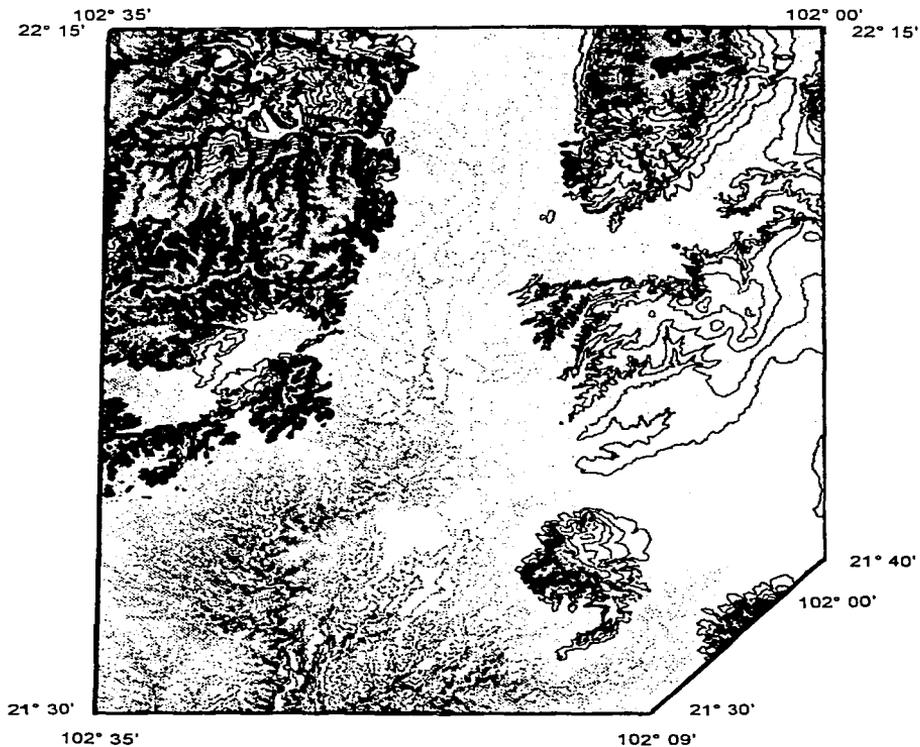
11) Es el piedemonte de la sierra que bordea al graben en su margen occidental, también termina esta forma en el área de la curvatura.

12) En ésta área se observan lineamientos muy marcados paralelos al graben.

13) En las estribaciones de la Sierra Fría se observan lineamientos paralelos con orientación SW-NE.

Considerando lo anterior, el significado del arreglo estructural del graben se hace complejo, por lo que se necesita de un estudio más detallado para que se le asocie al comportamiento del agua subterránea.

**MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES
(TOPOGRAFÍA)**



Escala 1:500,000

Figura V.1

ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

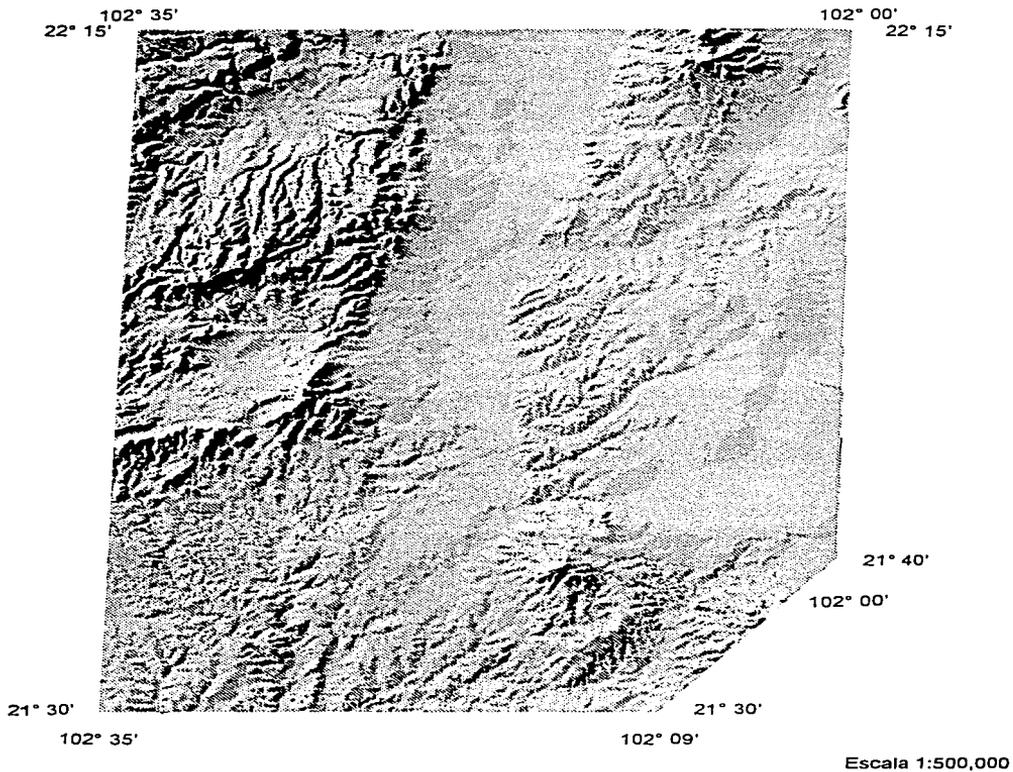


Figura V.2

ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

**MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES
INTERPRETACIÓN CON LINEAMIENTOS PRINCIPALES**

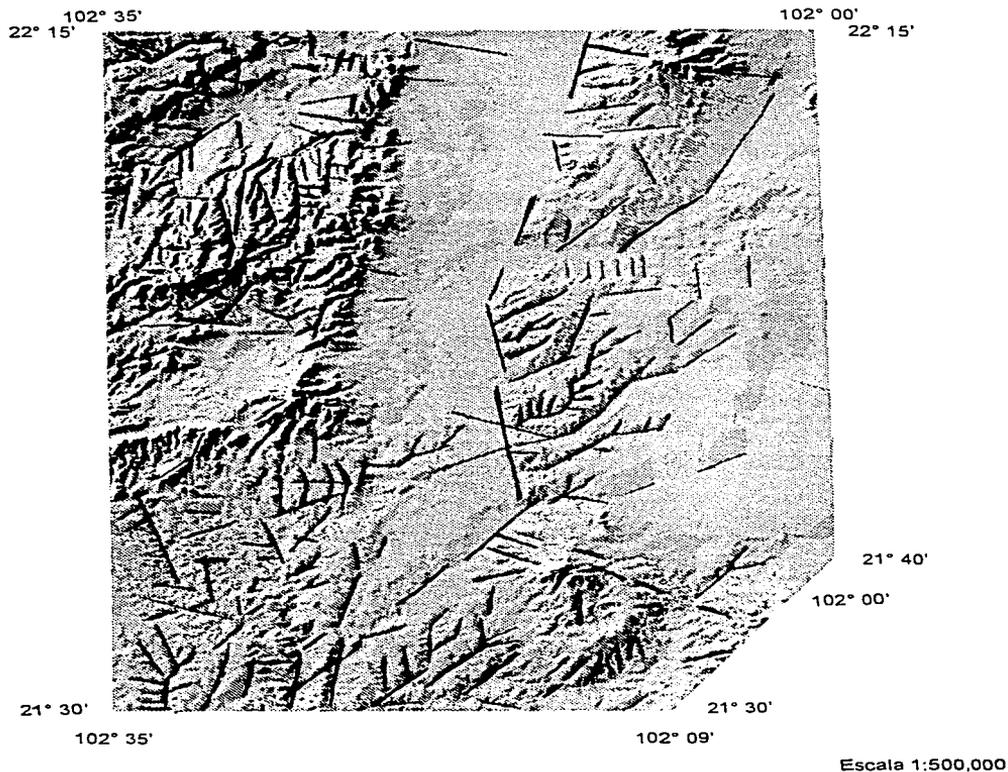
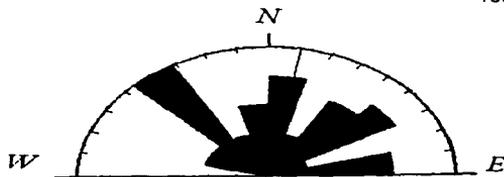
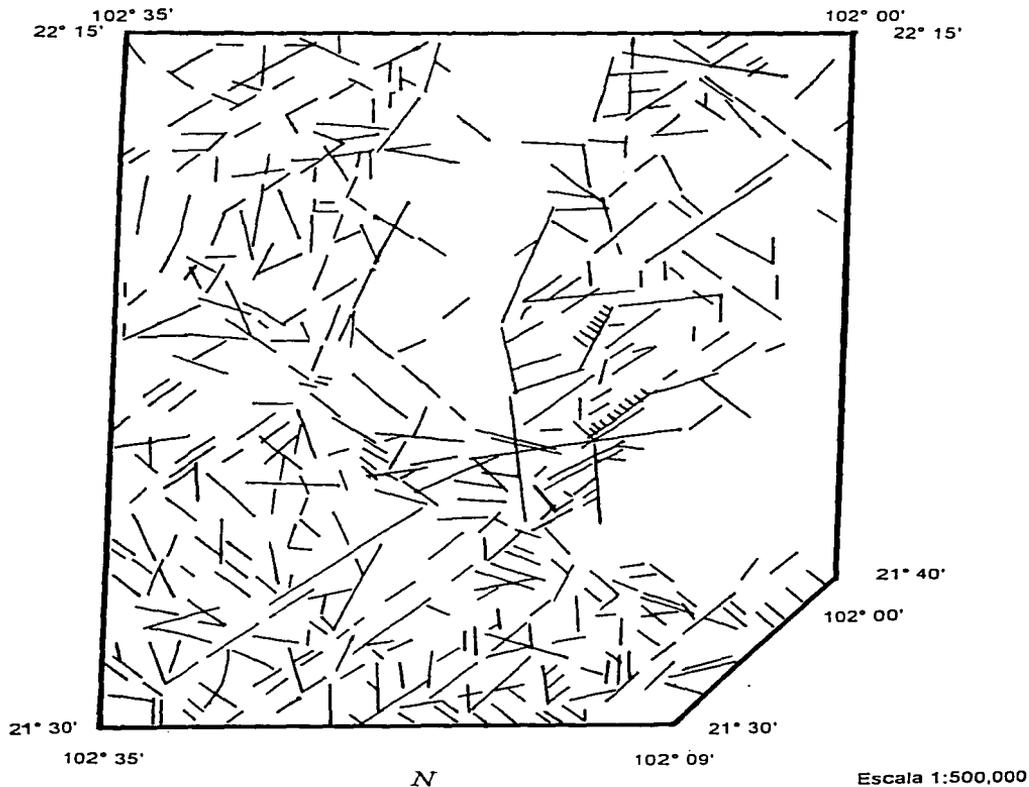


Figura V.3

ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

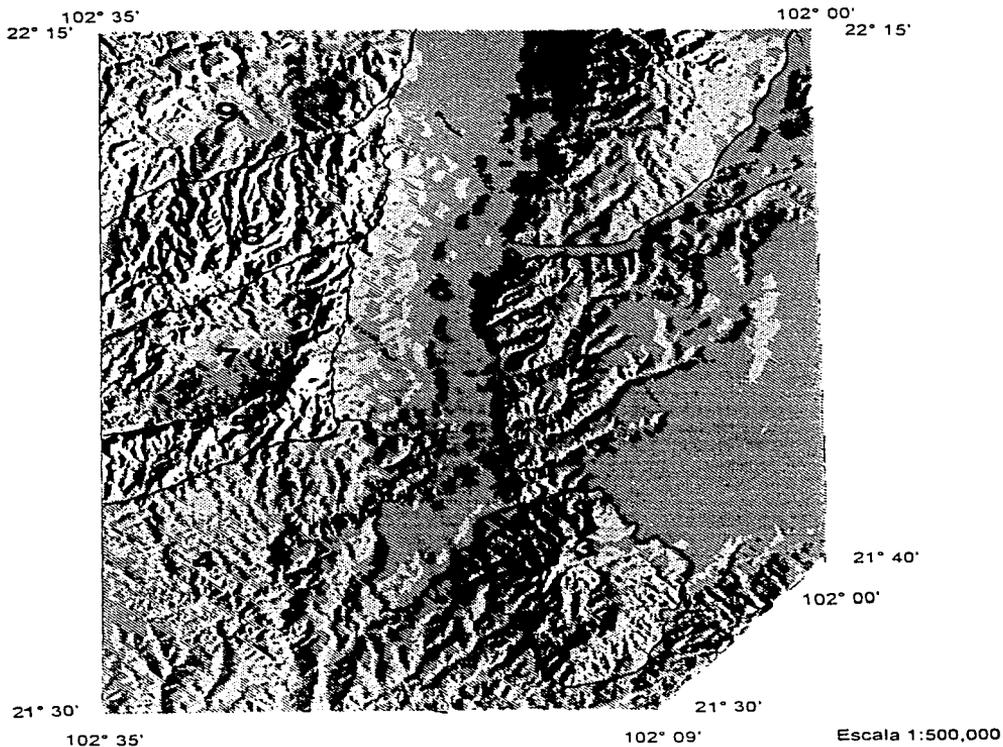
INVENTARIO DE LINEAMIENTOS
DEL MODELO DIGITAL



Distribución De Los Lineamientos
De Acuerdo A Su Orientación

Figura V.4

DIFERENCIACIÓN DE ÁREAS
EN EL
MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES



- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Área de la Sierra de Tepezalá. 2. Área de los Lomeríos El Llano. 3. Área del Cerro El Gallo. 4. Área sur de la Sierra El Laurel. 5. Área montañosa que comprende:
Sierra El Laurel, Sierra El Muerto | <ol style="list-style-type: none"> (Cerro Picacho, Cerro El Cabrito). 6. Área del Graben de Aguascalientes. 7. Área presa Gral. A. L. Rodríguez. 8. Área de lomeríos entre las presas
A. L. Rodríguez y Presidente Calles. 9. Área presa Presidente Calles. |
|---|--|

Figura V.5

RASGOS ESTRUCTURALES SOBRESALIENTES
EN EL
MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

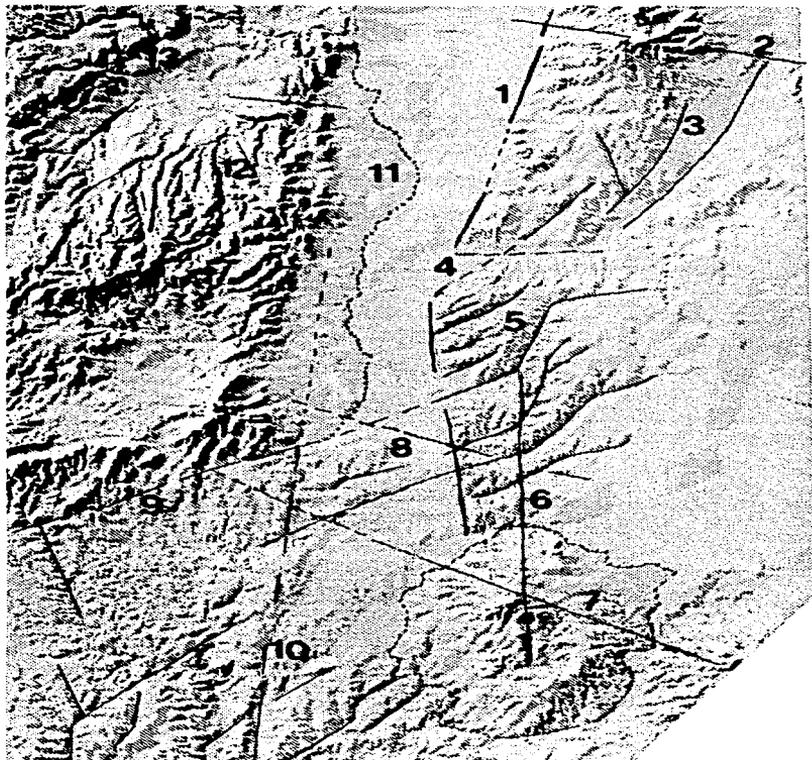


Figura V.6

ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

CAPÍTULO VI

GEOLOGÍA URBANA DE AGUASCALIENTES, AGUASCALIENTES.

*"El territorio como un palimpsesto".
André Corboz*

ANTECEDENTES

En los primeros años de la década de los ochenta, la superficie del Valle de Aguascalientes se ve afectada por grietas y fallas normales, las cuales se han incrementado con el tiempo en número y longitud: en 1985 eran cuatro, en 1988 doce y en 1992 diecinueve.

Específicamente en la Ciudad de Aguascalientes el fallamiento ha ocasionado daños irreversibles en casas habitación, edificios públicos recientes e históricos, en el pavimento de las vías públicas, en la red de agua potable (originando pérdidas de consideración), en el sistema de drenaje (provocando contaminación), entre otros problemas.

Se estima que la población afectada en la ciudad es aproximadamente del 33%. Este cálculo se funda en el número de viviendas afectadas (27,105) y la cifra promedio de 4 habitantes por casa-habitación. Lo anterior muestra y determina la magnitud del problema por resolver (comunicación personal de Palacios Pimentel).

El subsuelo de la Ciudad de Aguascalientes ha sido motivo de estudio desde fines del siglo pasado. El Dr. Díaz de León, en su artículo de 1893: "Estudio sobre la constitución geológica de una parte del suelo en que descansa la ciudad de Aguascalientes", deja entrever asuntos vinculados a la problemática presente: escasez de agua, los requerimientos de ésta para riego, la perforación de pozos

dentro de la ciudad, el comportamiento anormal del agua subterránea y la configuración del subsuelo.

No deja de ser notable que a fines del siglo pasado en un periódico de la Ciudad de México se publicó un artículo intitulado: "Una Ciudad Perforada", el cual trata de explicar el origen de las horadaciones o túneles localizados por debajo de la ciudad (*in* SIC, 1927):

"La ciudad de Aguascalientes se extiende sobre un verdadero laberinto de catacumbas. En el terreno en que está edificada, existen grandes horadaciones que atraviesan en diferentes sentidos el subsuelo de la población. Se ignora el origen de tales catacumbas. Algunos suponen que es obra anterior a la colonización española del lugar. Alguna tribu de las que constantemente batallaban con otras más poderosas, practicó aquellos sótanos, a fin de esconderse en ellos en caso de graves persecuciones. Otros opinan que los túneles aquellos son obra natural: un fenómeno cualquiera de los que han afectado aquella región produjo una especie de grietas inferiores que por falta de energía en la causa, no llegaron a interesar la superficie. Esta opinión de la causa natural, con exclusión de la mano del hombre, es poco sostenible. Porque primeramente, las catacumbas no presentan las irregularidades propias de la grieta, sino el corte perfecto de un túnel. En segundo lugar, son muy amplias, y no se comprende cómo había de faltar energía para abrirlas hasta flor de tierra, al impulso que la formara y que fué capaz de abrir tales espacios. Por último, tienen suelo firme y regular, lo cual nulifica completamente la hipótesis".

En 1986, José Manuel Aranda y José Jorge Aranda investigan el fenómeno de la subsidencia en la ciudad, estableciendo como método de estudio, tres hipótesis del posible origen del fenómeno geológico: 1) movimientos en masa de material no consolidado (creep), 2) sobreexplotación de acuíferos que determinan la compactación diferencial del material y 3) el tectonismo de la región. Trabajaron en la última hipótesis y concluyeron que el agrietamiento y fallas geológicas son producto de la extracción del agua subterránea, provocando la disminución del nivel freático, seguida por la compactación del material más fino, apareciendo grietas y fallas controladas pasivamente por la estructura del graben.

Jorge Nieto, en 1994 (Nieto *et al.*, 1996), investigó sobre las características geológicas del área urbana y sus alrededores, encontró evidencias (inyecciones de arena, volcanes de lodo y bloques desmembrados) que demuestran que el fenómeno extensional sigue activo e influye parcialmente en la aparición de las fallas producto del abatimiento de los niveles freáticos.

Desde principios de este siglo, se tenía ya la preocupación por la problemática de la extracción del agua subterránea en la ciudad de Aguascalientes. En un documento de octubre de 1913 (véase anexo), José C. Pedroza, presidente del Ayuntamiento de Aguascalientes, y el Doctor A. M. López propusieron a la H. Legislatura del Estado, la expedición de un decreto para que no se abrieran más pozos en lugares circunvecinos a los manantiales del Ojocaliente, con el propósito de:

“...evitar a todo trance que disminuya el caudal de agua de que dispone la ciudad para sus necesidades más apremiantes, con tanta mayor razón cuanto que el número de habitantes que hoy pueblan la Capital del Estado es casi doble del de hace veinte años; si Aguascalientes, como es de esperarse sigue poblándose más cada día, es de temerse que en época no remota el agua no sea suficiente para satisfacer sus necesidades...”

En las regiones áridas y semiáridas del país el impacto de las actividades humanas al agua subterránea, producto de la excesiva demanda y mal uso, ha ocasionado daños irreversibles al medio físico en su conjunto, con la aparición de fenómenos del tipo de la subsidencia y sus problemas concomitantes como el de la contaminación de los acuíferos y del bombeo a profundidades económicamente incoasteables.

En México, debido al inadecuado manejo y uso del agua subterránea existen actualmente más de 30 acuíferos considerados como sobreexplotados (Vázquez *et al.*, 1994), habiendo varias ciudades afectadas por el fenómeno de subsidencia, los casos más conocidos aparte de la Ciudad de México son: Celaya, Salamanca, Abasolo, Silao, León, Apaseo el Grande, Villagrán y Santa Cruz de Juventino Rosas, en el estado de Guanajuato; Toluca y Naucalpan, en el estado de México; la Ciudad

de Querétaro; y en los poblados de Jesús María, Puertecito de la Virgen, en el Valle de Chicalote y en la ciudad capital del estado de Aguascalientes.

El factor común entre estas ciudades es la de su ubicación sobre depósitos de cuencas terciarias fluvio-lacustres, que por lo general están controladas por tectónica extensional. Además del cambio en el uso del suelo, específicamente en el tipo de cultivos.

FENÓMENO DE LA SUBSIDENCIA

El fenómeno de subsidencia, en general, se refiere al desplazamiento vertical de la superficie terrestre. Sucede solamente cuando el material del subsuelo es desplazado dejando espacios vacíos de tamaño macro o micro. Se caracteriza por tener un pequeño o nulo movimiento horizontal, ya que no presenta una superficie libre, como sería el caso de los movimientos de remoción de masa.

El proceso de subsidencia de acuerdo al tiempo puede suceder gradualmente - a una velocidad imperceptible (mm/año)- o súbitamente. Con respecto al espacio, la magnitud del fenómeno varía ya que se presenta en áreas reducidas (unos cuantos metros cuadrados) o en extensiones considerables de terreno, clasificándoseles de carácter regional (miles de kilómetros cuadrados).

El origen de la subsidencia se debe a procesos naturales y a las actividades antrópicas. La subsidencia por procesos naturales se lleva a cabo por: 1) la actividad volcánica; 2) por procesos tectónicos; 3) por la acción del agua subterránea que disuelve a las rocas carbonatadas, presentándose con menor frecuencia en las formaciones de sal; 4) debido al socavamiento por conductos del flujo de agua subterránea (piping); 5) por procesos termales que derriten glaciares (thermokarst); y 6) por sismos que provocan la vibración de depósitos poco consolidados y su subsecuente reacomodo (véase cuadro VI. 1).

La subsidencia provocada por el impacto de la actividad antrópica puede ser producto: 1) de la extracción de fluidos (petróleo, gas y agua); 2) por extracción de material sólido (actividad minera); 3) por el humedecimiento de depósitos no consolidados mediante inyecciones de agua, desecándose y compactándose posteriormente (hidrocompactación); 4) por compactación y extensión lateral por carga; y 5) por drenaje y subsecuente oxidación (véase cuadro VI. 1).

Clasificación Del Fenómeno De Subsidencia

Subsidencia	Natural	Actividad Volcánica Tectónica Disolución de secuencias carbonatadas Sismos Socavamiento por agua (piping) Derretimiento de glaciares (thermokarst)
	Antrópica	Extracción de fluidos en un medio poroso Hidrocompactación Compactación y expansión lateral por carga Oxidación Minería

Fuente: Modificado de Costa y Baker, 1981.

Cuadro VI.1

La subsidencia causada por la extracción de materiales sólidos del subsuelo, como la sal, el yeso y el carbón, se singulariza porque el área de afectación es restringida y su aparición es súbita. En contraste, la subsidencia originada por la extracción de fluidos, la más frecuente, se caracteriza por que sus manifestaciones son progresivas e imperceptibles, por lo que el reconocimiento del fenómeno es en una etapa muy avanzada. Esta forma de subsidencia abarca áreas extensas.

La subsidencia por extracción de fluidos, como el petróleo, el agua y fluidos termales, ocasiona la activación del proceso de consolidación, consistente en la disminución del volumen en un tiempo determinado, lo cual provoca un aumento de las cargas sobre el suelo. Lo anterior implica un movimiento en dirección vertical de las partículas del suelo (consolidación unidimensional), es decir, el volumen de la

masa del suelo disminuye, pero los desplazamientos horizontales de las partículas sólidas son nulos.

Este proceso de consolidación unidimensional se lleva a cabo en dos fases: la primera llamada consolidación primaria donde hay dificultad en el desalojamiento del agua; la segunda es llamada consolidación secundaria, que es debida principalmente al retardamiento del proceso de fricción remanente de las partículas.

Dependiendo de la naturaleza de los depósitos la compactación puede ser de dos tipos: si éstos están constituidos por grava y arena gruesa la compactación será pequeña y principalmente elástica y reversible. Si los depósitos son de limo y arcilla la compactación será mucho mayor y básicamente será inelástica y permanente.

La subsidencia por extracción de agua sucede cuando el aprovechamiento del recurso rebasa la recarga natural, con lo cual se abaten progresivamente los niveles piezométricos y se genera la compresión de los depósitos profundos de la unidad permeable. Al haber pérdidas de agua se reduce el espesor por el incremento de los esfuerzos verticales. Por lo tanto, los hundimientos y/o agrietamientos son la expresión superficial del desequilibrio en el sistema acuífero. Además, el funcionamiento de este sistema es modificado, ya que las capas compactadas restringen el movimiento vertical descendente del agua.

El proceso de subsidencia por extracción de agua está determinado o controlado por la composición, clasificación, porosidad, cementación y permeabilidad de la unidad geológica. Este proceso se lleva a cabo principalmente en dos medios geológicos contrastantes: en rocas carbonatadas o susceptibles a la disolución, y en depósitos de sedimentos clásticos de porosidad alta, sin consolidar o semiconsolidados.

Los casos de subsidencia más conocidos mundialmente por extracción de agua son los de las ciudades de México, Tokio, Tucson, Londres y Venecia.

Lofgren (1968) indica que los factores que influyen en la magnitud de la subsidencia por extracción de agua son:

- Incremento en el esfuerzo efectivo (effective-stress).
- Compresibilidad de los depósitos.
- Espesor de las capas compresibles.
- Cómo ha sido aplicado el esfuerzo en el tiempo.

Los problemas principales que causa este tipo de subsidencia son los siguientes:

- Cambios diferenciales en elevación y gradiente del drenaje en estructuras que transportan agua, así como también en las superficies de riego.
- Afectación en la envoltura de los pozos para extracción de agua, resultado de los esfuerzos compresivos por la compactación del sistema acuífero.
- Inundaciones en las regiones costeras, lo cual implica la contaminación salina del agua dulce.
- En áreas de subsidencia intensa hay un desarrollo de esfuerzos tensionales y de compresión sobre edificaciones.

Como consecuencia del hundimiento es la aparición de grietas y/o fallas. Figueroa (1991) con base a la cuantificación de las tensiones inducidas por el abatimiento del agua subterránea, propone que el agrietamiento está controlado por:

- Depresiones piezométrica (en la orilla del cono de abatimientos).
- Inclinación de la roca basal (talud sepultado).
- Presencia de escalones sepultados (tipo Celaya).

La aparición en un lugar determinado de las grietas y/o fallas responden a ciertos factores de la configuración del subsuelo. Larson (*in* Orozco y Figueroa, 1991) menciona los lugares para la probable posición de una grieta:

- Sobre el eje de un lomo de la roca basal.
- Sobre el hombro de un talud sepultado de la roca basal.

- Sobre el contacto del nivel de saturación y un talud rocoso.
- Sobre una facie o transición lateral rápida de sedimentos de diferente compresibilidad.
- En la orilla del frente móvil de hundimientos.
- Junto a cargas o descargas superficiales efectuadas por el hombre.
- Junto a zonas de recarga artificial del acuífero.

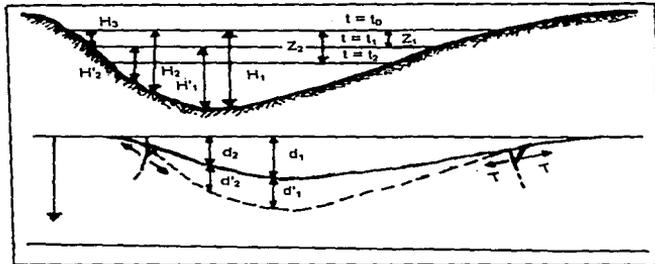
Los factores condicionantes y el mecanismo de falla generado por el abatimiento del nivel piezométrico teórico es el siguiente (Trejo *et al.*, 1991):

- 1°) La configuración del terreno es de una depresión; donde la acumulación de sedimentos es abundante y cuyo espesor máximo está en el eje de ésta.
- 2°) Se extrae agua de los depósitos aluviales.
- 3°) Hay un abatimiento en los niveles piezométricos.
- 4°) Se produce la compactación en la secuencia sedimentaria.
- 5°) Se presentan asentamientos en el terreno debido a los incrementos en los esfuerzos efectivos verticales.
- 6°) Se manifiestan los hundimientos. La magnitud de éstos estará en función de la compresibilidad y el espesor de los depósitos.
- 7°) Aparición de grietas y fallas.

El proceso de subsidencia en la ciudad de Aguascalientes sucede en un medio geológico de depósitos aluviales del Cuaternario. La estratigrafía de la ciudad de Aguascalientes está compuesta en los primeros metros de profundidad por (Aranda y Aranda, 1985):

- arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)
- arenas limosas cementadas con sales carbonatadas (ML)
- alternancia de estratos de arena limosas o arcillosas y depósitos granulares

Proceso De Formación De La Subsistencia



H espesor del manto compresible
 Z profundidad del nivel piezométrico
 d hundimiento diferenciales
 t tiempo
 T tensiones perpendiculares

Fuente: Trejo, et al., 1991.

Figura VI.1

En 1985, se realizó un estudio por el método de resistividad con sondeos eléctricos verticales, diferenciando 5 unidades litológicas en la secuencia estratigráfica (Fuentes, 1985):

- Unidad superficial. Caracterizada por depósitos fluviales y aluviales recientes con poca graduación y baja permeabilidad.
- Segunda unidad. Caracterizada por depósitos aluviales fluviales recientes de arenas, gravas y arcillas con saturación a profundidad. Dentro de esta unidad se distinguen dos subunidades. La subunidad inferior se localiza a profundidades diferentes, tiene un espesor irregular siendo el más potente dentro del valle y es el principal acuífero en la porción poniente, norte y sur en la zona urbana.
- Tercera unidad. Correspondiente a la Toba Aguascalientes, se caracteriza por tener un espesor entre 80 y 100 metros, presenta fracturamiento, por lo que en algunos casos se comporta como semipermeables y en otros permeables. Esta unidad representa el acuífero principal.

- Cuarta unidad. Correspondiente a la Toba Zoyatal, está mejor consolidada que la tercera unidad.
- Quinta unidad. Correspondiente a la roca basal, formada por riolita fluidal que se encuentra en algunos casos alterada e intensamente fracturada con permeabilidad secundaria alta.

Las discontinuidades eléctricas se interpretaron como fallas de tipo normal, y se estableció una secuencia estratigráfica entre la parte norte y oeste de la ciudad, diferenciándose de éstas la parte oriental.

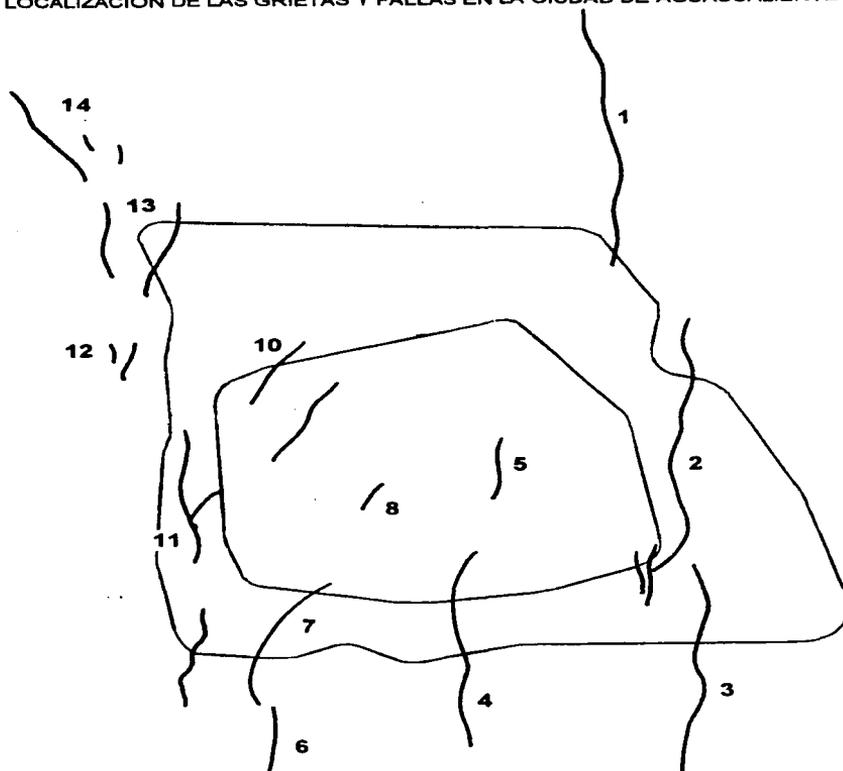
La magnitud de la subsidencia es de escala regional, ya que en el valle de Aguascalientes hay localidades que han sufrido agrietamientos, aunque son incomparables en todos los aspectos con los de la ciudad capital.

Las grietas mantienen un pseudoparalelismo y se piensa que la ubicación está asociada a los escalones de fallas que conforman el graben o al límite que marca el cambio de facies en el relleno de la estructura (véase figura VI.2).

La presencia de las grietas es a lo largo de toda la ciudad de norte a sur. Al aumentar su longitud han llegado a unirse con otras, lo que hace pensar que son una misma, reforzando la hipótesis de una zona preferencial para su aparición. El surgimiento de las grietas ha sido de manera progresiva y la solución, al parecer, es de magnitud regional, ya que respuestas locales no detendrían el surgimiento de más grietas -como el suspender la extracción de agua en zonas críticas dentro de la ciudad- (véase figura VI.3).

Se estima que la profundidad del nivel estático en la ciudad de ubica a 100 metros de profundidad, teniendo abatimientos de un orden de 3 metros anuales (INEGI, 1993). Como los depósitos están constituidos de material fino como -la arcilla- la compactación del acuífero libre entonces será básicamente inelástica y permanente.

LOCALIZACIÓN DE LAS GRIETAS Y FALLAS EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES



Nombres De Las Grietas Y Fallas:

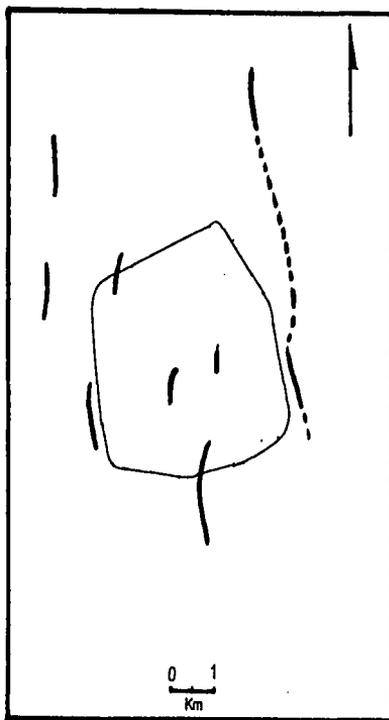
- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Falla Aguascalientes Norte. | 8. Grieta Catedral. |
| 2. Falla Aguascalientes Centro. | 9. Grieta De Los Muertos. |
| 3. Falla Aguascalientes Sur | 10. Grieta Colonia Miravalle. |
| 4. Grieta Parque Héroes Mexicanos. | 11. Grieta Fraccionamiento Del Valle. |
| 5. Grieta La Purlísima. | 12. Grieta Colinas. |
| 6. Grieta de la Colonia Insurgentes. | 13. Grieta Río San Pedro. |
| 7. Grieta La Barranca Del Dorado. | 14. Grieta Fraccionamiento Campestre (Los Vergeles). |

Fuente: Atlas Estatal de Riesgos de Aguascalientes, Gob. del Edo. 1992.

Figura VI.2

EVOLUCIÓN DE LAS GRIETAS Y FALLAS EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES
EN 1985 Y 1995.

100



1985 Fuente: Aranda et al, 1986.



1995 Fuente: Nieto et al, 1996.

Figura VI.3

Por ausencia de monitoreo, se desconoce si la aparición de discontinuidades (grietas y/o fallas) en la ciudad este implicando el hundimiento del terreno. Además al no tener un registro de la operatividad de los pozos no se puede relacionar cuantitativamente la presencia de dichos aprovechamientos con las grietas y fallas, así como también de manera cualitativa es imposible saber dicha relación ya que la ciudad, como el mismo Valle de Aguascalientes, presentan una elevada densidad de pozos; además de la ausencia de un registro histórico de los aprovechamientos, lo que denota la falta de sistematización de la información que sería de gran utilidad para la solución del problema.

RIESGOS OCASIONADOS POR EL FENÓMENO DE LA SUBSIDENCIA.

Evaluar el riesgo que representa la subsidencia en la ciudad de Aguascalientes implica analizar las variables que intervienen en la peligrosidad del fenómeno geológico inducido y en la vulnerabilidad del territorio que ocupa dicha ciudad.

La vulnerabilidad trata de las estructuras hechas por los habitantes del territorio, que directa o indirectamente son susceptibles de sufrir un daño material. Los factores principales que determinan la vulnerabilidad son la población, el espacio geográfico, la infraestructura, las condiciones económicas y la tecnología que se utiliza.

La peligrosidad se refiere a la posibilidad de que un fenómeno se produzca en el territorio. Los factores a considerar para evaluar un fenómeno peligroso son su magnitud espacial y temporal, estructura y morfología, factores y mecanismos condicionantes y fenómenos asociados.

Por lo que mitigar el riesgo implica modificar en lo posible los factores propios de la vulnerabilidad y de la peligrosidad.

La Secretaría de Gobernación en el Atlas Nacional de Riesgos (1991), clasifica a éstos según su origen en: geológicos, hidrometeorológicos, químicos, sanitarios y socio-organizativos.

Dentro de ésta clasificación la ciudad de Aguascalientes sufre principalmente de dos fenómenos peligrosos: uno es el de la subsidencia y el otro es de origen socio-organizativo, que consiste en haber construido extensas redes de oleoductos, poliductos y gaseoductos bajo el área urbana. Éste riesgo se convierte en doblemente peligroso al sumársele los efectos derivados de la acción de la subsidencia.

Hay tres transformaciones que se consideran fundamentales en el deterioro ambiental de la ciudad de Aguascalientes:

1) Crecimiento urbano acelerado: demostrado en la expansión de la mancha urbana que había sido sobre los depósitos aluviales del Cuaternario, pero en los últimos años ésta ha llegado a las unidades de areniscas y conglomerados, traspasando a la falla maestra oriental que limita al graben -en esta zona no han aparecido grietas-.

2) El cambio en el uso de suelo: al crecer la mancha urbana ha generado asentamientos irregulares a gran velocidad, esta expansión territorial es a expensas de áreas naturales y agrícolas necesarias para un desarrollo saludable.

3) La extracción del agua subterránea: se constata en los daños sobre la infraestructura de la ciudad.

Todas estas transformaciones conjugadas han tenido un papel importante en el aumento progresivo de la vulnerabilidad de la ciudad, aunadas a las históricas como se mostró con los documentos de 1893 y 1913 mencionados en este capítulo y la breve reseña histórica de la ciudad que se hizo en el capítulo dos.

La capital de Aguascalientes está entre las 21 ciudades de México de mayor importancia económica, por lo tanto el nivel y calidad en su infraestructura y servicios urbanos (redes públicas de agua potable, drenaje, electricidad, alumbrado público, pavimentación, etc.) se consideran entre los mejores del país.

Pero al ser una ciudad donde en los últimos años a habido un incremento en el número de habitantes (distribución y densidad), se ha deteriorado la calidad de vida, construyéndose unidades habitacionales que manifiestan hacinamientos y requerimientos en la dotación de servicios de energía, agua y drenaje, por lo que la vulnerabilidad es diferente en función de la colonia que se esté.

Entonces, las zonas afectadas por el agrietamiento tienen características socioeconómicas diferentes, con lo cual este fenómeno geológico peligroso no se

asocia exclusivamente a zonas depauperadas como se observa en otros riesgos, en donde a menores niveles de ingreso, mayor densidad poblacional y peores condiciones de urbanización.

Con lo que respecta a la peligrosidad se puede observar en dos dimensiones según su extensión: local (ciudad) y regional (Valle de Aguascalientes). Localmente la afectación es reducida (a 2 metros de cada lado de la grieta o falla), cuya abertura y desplazamiento vertical y longitudinal varían a lo largo de la misma discontinuidad, encontrándose más desarrollada la actividad en algunas partes, como es el caso de la falla maestra oriental y la falla del Fraccionamiento del Valle. A nivel regional los terrenos de cultivos pierden su horizontalidad afectando el funcionamiento de los canales de riego, siendo imperceptible esta alteración menos para los trabajadores de los terrenos.

En los últimos años la perforación ha sido en el medio fracturado, evitando con ello la afectación del terreno, pero si se tiene en cuenta (como el concepto mismo de sistema lo indica), el sistema de flujo se verá afectado no en el área del estado de Aguascalientes sino estará incidiendo en áreas vecinas (como sucede con el Lago de Cuitzeo y Chapala), es decir, se desconoce la respuesta regional de tales medidas. Sin olvidar también que hay un mayor consumo de energía y una importante inversión económica al perforar a esas profundidades.

Un ejemplo de los daños a la infraestructura de la ciudad los ha ocasionado la falla Aguascalientes: atraviesa la vía férrea, rompe el pavimento en las calles y avenidas principales, atraviesa por la mitad una torre de alta tensión, deteriora zonas de urbanización reciente (como el fraccionamiento de Santa Anita), etcétera. Y una muestra de como afecta el fenómeno de la subsidencia al presupuesto público: en 1991 a la Comisión de Caminos del Estado se le asignó un presupuesto de 250 millones de pesos exclusivamente para renivelar las calles (Atlas Estatal de Riesgos, 1992).

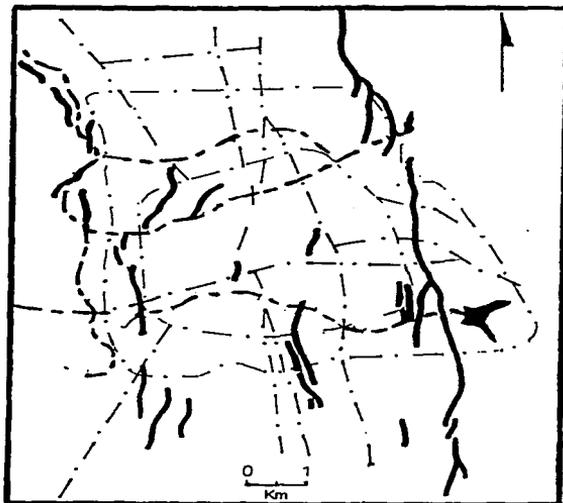
Los riesgos derivados de la subsidencia son en los ductos de agua potable, ya que habrá pérdidas de ésta, y en los ductos de aguas negras, fuente de contaminación de las aguas subterráneas (véase figura VI.4). Por mencionar unos ejemplos: la grieta de los Vergeles va alojada en un tramo de la tubería del drenaje interceptor marginal del Río Aguascalientes; la grieta Río San Pedro atraviesa la tubería de drenaje; la grieta del Fraccionamiento del Valle está cortando perpendicularmente a la doble línea de tubos de concreto de aguas negras; y en el arroyo El Cedazo donde va la red de drenaje se ve afectada por la falla Aguascalientes Centro.

Como es sabido, el estado se ubica en la zona sísmica de baja peligrosidad de la República Mexicana, sin que se tenga registrado en el estado algún epicentro. Pero en 1991 y 1995 se produjeron sismos que llegaron a sentirse en la ciudad, lo cual pudiera perturbar el comportamiento de las grietas y fallas en futuros temblores, y a su vez acelerar los asentamientos y deteriorar más a las edificaciones ya afectadas (ejemplos representativos: edificio de Telégrafos, la Catedral Metropolitana y la grieta de reciente aparición que yace a un costado del Teatro de la Ciudad).

Un riesgo inminente para la población son los ductos de gas, gasolineras e industrias que utilizan sustancias peligrosas, como los casos de la falla Aguascalientes que está cortando al poliducto de PEMEX y al tanque de almacenamiento de la gasolinera ubicada dentro del Campo Militar (véase figura VI.5).

Un problema social por resolverse es la indemnización de los daños a particulares, ya que son las víctimas al satisfacer una necesidad colectiva, dejándolos desamparados ante el desastre por parte de las autoridades. De igual manera pasa con los problemas suscitados con la venta de terrenos afectados por la subsidencia.

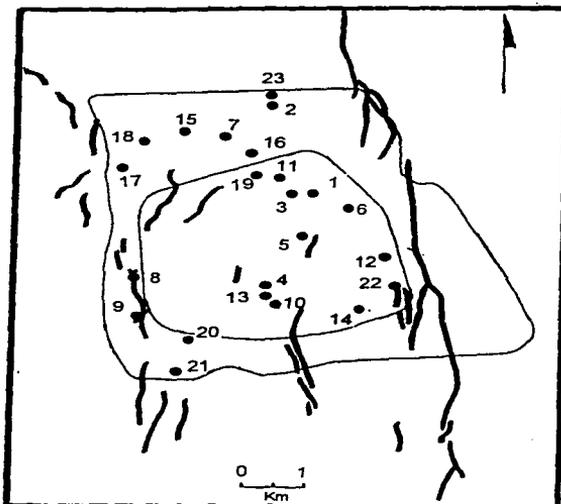
LOCALIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES CANALES INTERCEPTORES
DE AGUAS PLUVIALES Y RESIDUALES CON RESPECTO A LAS
GRIETAS Y FALLAS.



Aguas Pluviales - - - - -
Aguas Residuales - - - - -

Figura VI.4

LOCALIZACIÓN DE INDUSTRIAS DE MAYOR RIESGO
CON RESPECTO A LAS GRIETAS Y FALLAS.



- INDUSTRIAS DE MAYOR RIESGO**
- 1 BALZA S.A.
 - 2 CAL DE AGUASCALIENTES
 - 3 CONST.DE MAQUINARIA TRIUNFO
 - 4 BICICLETAS RACABA
 - 5 MUEBLES MAYO
 - 6 F.F.C.C.
 - 7 FORRAJERA DE GANADEROS
 - 8 HIDROCÁLIDA TEXTIL
 - 9 HILOS RIVA
 - 10 INDUSTRIAS JOBAR
 - 11 INFRA DEL CENTRO
 - 12 LA INDUSTRIAL DE AGS.
 - 13 J.M. ROMO
 - 14 MOLINGS SAN MARCOS
 - 15 MORALES Y PADILLA
 - 16 PEMEX
 - 17 PRODUCTOS QUÍMICOS RODAQUI
 - 18 UGASA
 - 19 ROMZCO DE MEXICO
 - 20 EMBOTELLADORA AGS.
 - 21 CROMADOS PEÑA
 - 22 ALIMENTOS BALANCEADOS SN. MARCOS
 - 23 CENTRAL DE GAS

Figura VI.5

CAPITULO VII

DISCUSIÓN

*"Quién no avizora el futuro es porque no lo tiene."
Joseph Huber*

La subsidencia en Aguascalientes ha sido consecuencia de la interrelación entre las condiciones geológicas (naturaleza) y las formas de aprovechar el recurso agua para satisfacer las necesidades productivas (socioeconómicas). Por lo que la interrogante es: ¿Qué tan susceptible ha sido el geosistema Aguascalientes a la interacción entre sus componentes para que haya habido modificaciones en el medio físico, y de manera particular al hábitat geológico, al grado de impactarlo negativamente?

Para contestar esta pregunta fue necesario en este trabajo caracterizar al geosistema Aguascalientes, siguiendo la lógica misma del concepto, es decir, mostrarlo como un todo y a la vez examinar a sus partes. En este capítulo se sintetiza y a la vez se relacionan los diversos elementos del sistema, con el fin de comprender integralmente la situación y buscar posibles soluciones.

Primero, para aclarar que tan susceptible es el medio físico, o que tan frágil es a las modificaciones, es necesario aislarlo de las actividades antrópicas, es decir, de la carga poblacional y de sus actividades.

Un factor decisivo para la generación del fenómeno es la ubicación del estado en la zona semiárida del país, cuya característica esencial y de la cual dependen otras, es la de su escasa precipitación, que condiciona la recarga de los acuíferos. Además, la evolución geológica ha propiciado cambios climáticos y por ende

ecológicos, y actualmente son cada vez más frecuentes y prolongados los periodos de sequías.

El estado es considerado como una región generadora de agua más que receptora, y por su pertenencia a la zona semiárida se añaden otras condicionantes: mayor evaporación, su zona saturada está a profundidades mayores, y es característico dentro de un graben que el nivel freático muestre una tendencia a bajar. En suma: se propicia un delicado balance entre los recursos agua y suelo.

Dentro del graben de Aguascalientes los recursos vitales mostraron buenas características para la agricultura y para la extracción del agua, con lo cual se sobrecargó el área con asentamientos poblacionales y actividades productivas; ya a principios de siglo existía la preocupación de la susceptibilidad de dicho territorio si se incrementaban las actividades antrópicas.

Esta sobrecarga consistió en modificar primero el funcionamiento del agua superficial, construyendo numerosas obras de almacenamiento; posteriormente se intensificó la extracción del agua subterránea, perforando a mayores profundidades y elevando la densidad de pozos dentro del valle. Además se han establecido dentro del mismo valle dos fuentes importantes de consumo y contaminación del recurso agua: la zona de riego 01 Pabellón de Arteaga y el corredor industrial del estado; sin olvidar la influencia y expansión acelerada de la mancha urbana.

Las consecuencias han sido: la desaparición de manantiales y del flujo base en ríos, la extracción de agua con mayor contenido en flúor, la modificación del sistema acuífero, el impacto a la cobertura vegetal y al suelo, la pérdida de la fauna, el aceleramiento de la erosión y de la aridificación.

Está dinámica dentro del valle es histórica: la Ciudad de Aguascalientes formaba parte del "camino de la plata", que comunicaba a la ciudad de México con Zacatecas; luego en el Porfiriato se reactiva la ciudad, y a fines de la década de los

setenta, hay un nuevo auge, convirtiéndola hasta nuestros días en un lugar estratégico para la economía regional. Además, después de los daños ocasionados por el sismo de 1985 en la Ciudad de México, se empezó a estimular la descentralización para equilibrar la ocupación del territorio mexicano, y la ciudad acogió a las industrias y por consecuencia a los habitantes de otras regiones. Reflejándose en el censo de 1990, donde el 70.68% de la población total de la entidad se asentó en el valle, y así acentuar la centralización progresiva de las actividades humanas.

Aunado a las condiciones naturales del territorio y a la manera en que fue apropiándose el hombre de éste, el catalizador del impacto al medio físico y en particular del agua subterránea en los últimos años, fue el cambio en el uso del suelo, convirtiendo la región de vitivinícola a forrajera. Se instalaron plantas pasteurizadoras que han sido particularmente importantes económicamente, pero a partir de éste cambio hubo un consumo significativo de agua debido a que la producción de alfalfa verde requiere la aplicación de una lámina de agua considerablemente grande para su cultivo, y cuya procedencia es en un cien por ciento de los acuíferos.

Entonces, por su propia naturaleza, la susceptibilidad del medio físico es alta, y si se le suman los ritmos intensos de extracción del recurso agua es razón suficiente para que las modificaciones al ecosistema sean más drásticas. Por lo tanto, en Aguascalientes, las estructuras del ecosistema cambian en función de la dinámica social. Es de llamar la atención que el 92% del producto interno bruto sea aportado por los sectores de la industria, de comercio y de servicios, y que el sector agrícola sea el causante del fenómeno de la subsidencia. Se observa el impacto ambiental del estado y de la ciudad con mayor claridad en la fórmula modificada de Chiras:

$$\text{IMPACTO AMBIENTAL} = \frac{\text{NÚMERO DE HABITANTES} + \text{CONSUMO Y USO DE LOS RECURSOS NATURALES} + \text{CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS}}{\text{RECURSOS NATURALES CON LOS QUE CUENTA LA REGIÓN}}$$

El signo negativo que representa el fenómeno de subsidencia es evidente, pero lo que se desconoce es que si este desequilibrio indica si hay escasez de agua por sobreexplotación, o el acuífero está mal explotado.

Cabe aclarar en lo referente a la terminología, que el fenómeno de la subsidencia por extracción de agua es considerado, tomando en cuenta el proceso en general, como un peligro geológico de origen antrópico (anthropogenic environmental hazards), a diferencia de la consolidación del suelo (soil consolidation) que forma parte de éste proceso; se considera que la consolidación se encuentra dentro del campo de estudio de la geotécnica, específicamente en el de las cimentaciones (foundation engineering).

En este trabajo se trata de reconocer un patrón estructural a partir de los lineamientos, sabiendo que influye en el comportamiento de los flujos de agua subterránea, ya que las zonas de fallas son de alta permeabilidad y que la recarga puede incorporarse a un flujo local o a otro más profundo. También porque un sistema preexistente de fallas puede controlar la aparición de las grietas, por reactivación o por extrapolación de las antiguas; al igual que las fallas pueden actuar como barrera al flujo subterráneo, induciendo la formación de escalones piezométricos que favorecen la aparición de hundimientos diferenciales bruscos en la superficie.

Es de especial interés considerar los límites de facies en el relleno aluvial, y las intersecciones entre los conos de abatimientos, ya que a parte de que estos últimos

forman anomalías al flujo del agua subterránea, son zonas que pueden influir en las apariciones de discontinuidades.

Varias preguntas surgen, que marcan la pauta para la investigación del fenómeno: ¿En que etapa del proceso se está?, ¿cuánto tiempo y que consecuencias faltan por ver en la ciudad y en el Valle de Aguascalientes?, ¿hasta que punto se puede compactar los estratos permeables?, ¿hasta dónde se detiene el movimiento de las fallas?, ¿de qué depende la profundidad de las fallas?, ¿qué relación guardan las grietas con el hundimiento del terreno?

Las soluciones al problema de la subsidencia, o la prevención en las zonas propensas a sufrir este fenómeno inducido, dependerá de un entendimiento correcto del proceso, por lo cual la investigación debe fundamentarse en la información existente y generada con base en monitoreos; en catalogar la información; y en el análisis e integración de la información, con su respectiva representación cartográfica.

Lo anterior nos lleva a la necesidad de tener una estrategia de conceptualización sistemática del fenómeno de la subsidencia:

- conocer las causas del fenómeno;
- conocer los efectos del fenómeno;
- conocer los factores que controlan el fenómeno peligroso (subsidencia);
- conocer los factores que influyen en la vulnerabilidad del territorio ;

El estudio comprende una secuencia de actividades: la primera corresponde a la descripción del fenómeno, la segunda se refiere a la recopilación y generación de la información geológica, geohidrológica, geotécnica (mecánica de suelos y de rocas), y por último corresponde a la integración de la información:

• **Descripción del fenómeno:**

- su **ubicación y distribución**;
- su **potencial destructivo en cada zona**:
 - **desplazamiento vertical (m)**;
 - **área afectada (m²)**;
 - **fecha de inicio**;
 - **cómo ha evolucionado**;
 - **influencia de las construcciones y del desagüe**;
 - **qué construcciones se están afectando**;
 - **lugares de mayor riesgo**;
 - **número de personas afectadas**.

• **Aspectos geológicos:**

- **corte estratigráfico del área afectada**;
- **características de cada unidad litoestratigráfica: composición, clasificación, porosidad, cementación y permeabilidad**.
- **estructuras geológicas y elementos del relieve**;
- **relaciones geométricas que guardan las diferentes unidades litoestratigráficas (especialmente del basamento); la forma del relleno aluvial; los límites de facies**;
- **espesores de las unidades permeables**;
- **localización de estratos arcillosos**;

• **Aspectos geohidrológicos:**

- **registro histórico de los pozos**;
- **control periódico de los aprovechamientos: mediciones de los niveles estáticos, dinámicos y gastos**;
- **mediciones piezométricas: cómo se abaten los niveles piezométricos y su evolución**;
- **conocimiento de los sistemas de flujo: local, intermedio y regional**;

- **Aspectos geotécnicos:**

- propiedades mecánicas (valores relativos);
- conocimiento de la evolución de los asentamientos relativos en el tiempo;
- nivelaciones de la superficie con respecto a un banco de referencia;
- determinación de los coeficientes de compresibilidad y de consolidación del relleno aluvial, teniendo en cuenta los contenidos de agua y la probable variación de dichas propiedades en el tiempo;
- consolidación de los depósitos inferiores permeables;
- rango de profundidad de las capas compactables;

- **Integración de información:**

- variaciones entre la porosidad y la permeabilidad con respecto a la profundidad;
- conocimiento de la relación entre el tiempo con respecto al espesor de las unidades permeables;
- relación entre la extracción los pozos (Q) y la ubicación de las grietas y fallas;
- predicción de la magnitud del asentamiento total, regional y local, suponiendo el abatimiento total del acuífero;

El reordenamiento del territorio consistirá en orientar el crecimiento de la ciudad, condicionando las dimensiones de ésta y modificando las formas de ocupación del espacio urbano. Un territorio debe de ser tratado sobre aspectos multidisciplinarios y lo que es más importante, en sentido tridimensional y hasta cierta profundidad. En consecuencia, el conocimiento del medio geológico servirá como orientación en la planeación urbana para:

- adaptar las demandas humanas a los límites de los recursos vitales;
- hacer compatible el uso de suelo con la vocación del medio físico;
- señalar el riesgo del territorio a un fenómeno geológico peligroso;
- controlar la contaminación en el subsuelo;

La visión que se tenga de la ciudad de Aguascalientes para los próximos 10, 20 y 50 años tendrá que depender de cómo se va afrontar el fenómeno de la subsidencia, teniendo claro con que se cuenta y que necesidades se tienen. Por lo que la concepción territorial de la ciudad de Aguascalientes, debe de involucrar las características del medio natural y a partir de éstas planificar el desarrollo económico y las políticas sectoriales: industriales, energéticas, agrícolas y comerciales.

En el ámbito de los asuntos ambientales, es indispensable que los estudios geológicos rebasen los límites de su campo de estudio, para llegar a contribuir en forma efectiva a las soluciones de los problemas. Ésta investigación tuvo el propósito de integrar la información dispersa, disponible y de otra índole a la geológica, con la intención de relacionar los factores que influyen en la aparición del fenómeno de la subsidencia. Esto implicó tener limitaciones al abordar el tema, ya que cada disciplina exige profundizar, además se añade la carencia de datos, por lo cual una meta no alcanzada fue la de zonificar a la ciudad de Aguascalientes.

CONCLUSIONES

*"... y pondría el planeta en la secadora
y lo dejaría allí por unos 20 minutos
o por un Eón hasta que quedara limpio."
Allen Ginsberg*

La subsidencia por extracción de agua que afecta a la ciudad de Aguascalientes es sólo una muestra del alto riesgo que presentan gran parte de las ciudades del país. Además, éste fenómeno refleja el deterioro del medio físico de la entidad, y también deja entrever la relación inadecuada entre la población aguascalentense y su entorno natural.

La concentración y el descontrolado aumento de la población, la urbanización e industrialización acelerada, la infraestructura urbana incompatible y transformadora del uso del suelo, en síntesis, la falta de planeación en la expansión de los asentamientos humanos han aumentado la vulnerabilidad de la ciudad de Aguascalientes, lo cual ha implicado que el fenómeno de la subsidencia adquiera mayor potencialidad destructora.

La degradación de los recursos naturales del estado de Aguascalientes y de su capital, se recrudece no solamente por la demanda creciente, sino por los límites que éstos comienzan a marcar. Es el caso de la explotación intensiva del agua subterránea, cuya cantidad y calidad se ha modificado, así como su propio funcionamiento en el medio geológico. A nivel local, nacional y mundial, el consumo de agua empieza a perfilarse como uno de los problemas críticos del siglo XXI.

El cambio climático y por lo tanto ecológico, como resultado de la evolución geológica, ha provocado que esta región árida del país sea más susceptible a la interrelación con el ser humano.

El fenómeno de la subsidencia en la Ciudad de Aguascalientes se caracteriza por ser progresivo, imperceptible, irreversible y de magnitud regional. El alto riesgo que significa este fenómeno se magnifica cuando se relaciona a las redes de ductos de agua potable, drenaje y de sustancias explosivas que atraviesan a la ciudad.

Los cambios litológicos, la variación natural de las propiedades mecánicas del subsuelo, las condiciones complejas creadas por la extracción de agua, la historia distinta del bombeo de un punto a otro en la ciudad, y la carencia de información son condicionantes que hacen difícil un análisis completo del fenómeno.

Existen preguntas sin contestar para el fenómeno: ¿en que etapa del proceso se ésta, cuánto tiempo y que consecuencias faltan por ver en la ciudad y en el Valle de Aguascalientes? ¿Cuál es el futuro que depara a la ciudad-estado si se sigue el mismo patrón de extracción? y ¿que daños persistirán aunque se haya modificado la extracción de agua?

La amenaza latente que sufre la Ciudad de Aguascalientes por la subsidencia y sus implicaciones, no obedece solamente al fenómeno mismo en sí, sino principalmente a factores estructurales socioeconómicos que determinan su existencia. Si no se entiende lo anterior, muy pocas expectativas tendrán las soluciones técnicas, llegando a ser sólo paliativos del problema.

Éste fenómeno revela el desconocimiento de la interacción entre sociedad-economía-naturaleza, convirtiéndose en un requisito que los estudios sean interdisciplinarios y que el enfoque relacione a los factores del medio físico con los socioeconómicos, reconociendo la importancia de la Geología Ambiental como un elemento indispensable en este análisis.

Para el planteamiento de estrategias es necesario considerar que las causas del fenómeno son múltiples y sus interrelaciones complejas y no lineales, que no se podrá restituir las condiciones originales del recurso agua (en cantidad y calidad) y

que la solución será de mediano a largo plazo. Se propone considerar puntos tales como:

- conocimiento de los elementos del medio físico de la región, y sus interrelaciones;
- conocimiento del registro estratigráfico, en especial del Cuaternario, con sus respectivos estudios en mecánicas de rocas y suelos;
- conocimiento del funcionamiento, regional y local, del agua subterránea;
- conocimiento de la forma en que se está aprovechando éste recurso.

La carencia de información es un factor decisivo para la solución por lo que se hace necesario generarla, hacerla disponible, sistematizarla y divulgarla.

La planificación y diseño en los programas de desarrollo urbano en México demuestran que no se toma en cuenta las condiciones naturales que marca el territorio, haciéndose necesario que se incorporen como ejes de éstos el inventario de los recursos naturales de la región, así como lo concerniente a la temática de los riesgos naturales y antrópicos.

Asimismo se debe trabajar en la concientización del riesgo en los habitantes, contrario a las actitudes de ocultamiento del problema, socializando la información, es decir, explicando las causas del fenómeno y dando alternativas a los afectados como a los tomadores de decisiones por parte de los especialistas.

Por lo tanto, se hace hincapié de la necesidad de vincular el conocimiento científico -en este caso el conocimiento geológico- con el contexto social, para la solución de los problemas ambientales derivados del desarrollo económico, social e industrial, ya que la situación de deterioro ambiental del país lo requiere urgentemente.

Por último, es prioritario hacer conciencia en la población que el desarrollo continuará dependiendo en buena medida de los recursos naturales con que contemos y de la forma que sean aprovechados. Por lo que la dinámica socioeconómica de Aguascalientes no deberá agravar el deterioro ambiental, sino deberá de ser compatible al funcionamiento del geosistema Aguascalientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara Ayala, I., 1993, **Estudio Geomorfológico de Aguascalientes**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 95 p.
- Aguilar, A. G., 1990, **La Desconcentración del Crecimiento Urbano en México**, Geounam, Boletín Informativo del Área de Ciencias de la Tierra, p. 2-4.
- American Geological Institute (AGI), 1987, **Glossary of Geology**, 3ª ed., USA, p. 708.
- Aranda Gómez, J. J., Aranda Gómez, J. M. y Nieto Samaniego, A. F., 1989, **Consideraciones Acerca de la Evolución Tectónica Durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la Parte Meridional de la Mesa Central**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, Inst. Geología Revista, Vol. 8, Núm. 1, p. 33-46.
- Aranda Gómez, J. J., 1989, **Geología Preliminar del Graben de Aguascalientes**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, Inst. Geología Revista, Vol. 8, Núm.1, p. 22-32.
- Aranda Gómez, J.M., y Aranda Gómez, J.J., 1986, **Análisis del Agrietamiento en la Ciudad de Aguascalientes**, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Reporte Anual, 104 p.
- Balderas Ramírez, Y. A., y González Rodríguez, E., 1992, **Prospección Hidrogeológica en la Secuencia Volcánica al Este de la Ciudad de Aguascalientes**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Barajas V., Carrillo H, Chávez O., Espinoza J. M, Kushida M., Lacy R., Lara A., Méndez N., y Miranda E., 1986, **Regionalización Ecológica del Territorio**, Serie: Ordenamiento Ambiental Núm. 4, México, D. F., Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
- Bocco, G., 1994, **La Geomorfología en la Evaluación del Impacto de las Inundaciones en Tijuana, B. C.**, Resúmenes, Tercera Reunión Nacional de Geomorfología, Guadalajara, México, p. 28-29.
- Bolós i Capdevilla, M., 1992, **Manual de Ciencia del Paisaje**, Masson, Barcelona.
- Cardona, A. y Carrillo Rivera J.J., 1996, **Mecanismos Naturales de Control de Fluoruro en Sistemas Regionales de Flujo: Sierra Madre Occidental**,

- México**, Tercer Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Memorias, San Luis Potosí, México, p. 1(67-78).
- Chávez Guillén, R. 1991, **Prevención y Control de la Contaminación Biológica de Aguas Subterráneas**, Simposio Geotecnia y Medio Ambiente, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A. C., p. 29-37.
- Chávez Hernández A., 1994, **El Método de Paisaje Integrado: Opción Geográfica para el Estudio del Espacio Natural**, Resúmenes, Tercera Reunión Nacional de Geomorfología, Guadalajara, México, p. 42-44.
- Chiras, D. D., 1994, **Environmental Science Action for a Sustainable Future**, The Benjamin-Cummings Publishing Company, Inc., 4ª ed., USA, 611 p.
- Coates, D. R., 1981, **Environmental Geology**, Wiley & Sons. Inc., USA, 701 p.
- Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, 1991, **Nuestra Propia Agenda Sobre Desarrollo y Medio Ambiente**, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PND), Fondo de Cultura Económica (FCE), Sección de Obras de Ciencia y Tecnología, 2ª ed., México, 102 p.
- Comisión Nacional de Ecología (CNE), 1988, **Informe General de Ecología**, México, 195 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), (SARH) 1978, **Características de los Distritos de Riego, Año Agrícola 1978**, Región Centro, T. III.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 1990, **Características de los Distritos de Riego, Año Agrícola 1990**, Región Centro, Vol. I, T. I.
- Costa, J. E. and Baker V. R., 1981, **Surficial Geology, Building With The Earth; Exogenetic Geologic Hazards: Subsidence**, Wiley & Sons. Inc., USA, p. 284-307.
- Curry Lindahl, K., 1974, **Conservar para Vivir. Una Estrategia Ecológica**, Cap. 8, 1ª ed., Diana, México, p. 323-353.
- Díaz de León, J., 1894, **Estudio Sobre la Constitución Geológica de una Parte del Suelo en que Descansa la Ciudad de Aguascalientes**, Soc. Mex. Geog. Estad., Bol. 25. Ep. 1, p. 74-94.
- Ducci, M. E., 1989, **Introducción al Urbanismo: Conceptos Básicos**, 1ª. Ed., Trillas, México, 94 p.
- Figueroa Vega, G. E., 1991, **Grietas por Explotación de Acuíferos, Agrietamientos de Suelos**, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C., México.

- Flawn, P. T., 1970, **Environmental Geology: Conservation, Land-Use Planning, and Resource Management**, 1ª ed., Harper & Row, Publishers, USA, 313 p.
- Fuentes López, J. A., 1985, **Estudio Geoelectrico de la Zona Urbana de la Ciudad de Aguascalientes**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Galeano, E., 1994, **"Uselo y Tirelo"**, México, D. F., Periódico: La Jornada, 12 de marzo, p. 1-5.
- García, E., 1973, **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Kopen (para adaptarlo a las condiciones de la Rep. Mex.)**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía, 246 p.
- García Amaral, M. L. y Sánchez-Crispín, A., 1993, **Ciudades Medias y Privatización: El caso del Estado de Chihuahua**, Revista de Geografía, INEGI, Núm. 6, Vol. V, México, p. 32-39.
- Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1992 (a), **Atlas Estatal de Riesgos del Estado de Aguascalientes**, Consejo Estatal de Protección Civil.
- Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1992 (b), **Plan Estatal de Desarrollo 1992-1998**, Poder Ejecutivo del Estado, p. 13-15.
- Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1993, **Primer Informe de Gobierno de Otto Granados Roldán**, Anexo Estadístico, p. 42-73.
- Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1994, **Programa de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Aguascalientes 1994-2010**, Periódico Oficial, 14 de Agosto, Suplemento al Núm. 33, Tomo LVII, 14 de Agosto.
- Gobierno de la República Mexicana, 1995, **Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000**, Poder Ejecutivo Federal.
- Gómez Serrano, J., 1994, **Aguascalientes: de Villa Colonial a Urbe Porfiriana**, El Crecimiento de las Ciudades Noroccidentales, Colegio de Jalisco, INAH, 1ª ed., México, p. 233-261.
- Gortari, Eli de, 1987, **El Hombre y la Naturaleza**, Coordinación de Humanidades, Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, Colección: Cuadernos Núm. 13, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 2ª ed, p. 27-42.
- Hernández Láscares, D., 1979, **Geología de la Región Central de Aguascalientes, Ags. México**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.

- Hernández Láscares, D., 1981, **Estratigrafía de la Región Central de Aguascalientes, Ags. México**, Soc. Geol. Mexicana, Gac. Geol., Vol. 6, Núm. 31, p. 17-33.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1985, **Sistema de Cuentas Nacionales de México**, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI.), 1990, **Censo de Población y Vivienda**.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1993, **Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes**, México, 164 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1994, **Sistema de Cuentas Nacionales de México**, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1994, **Anuario Estadístico del Estado de Aguascalientes**, México, 288 p.
- Legget, R.F. y Karrow, P.F., 1986, **Geología Aplicada a la Ingeniería Civil**, Mc. Grall-Hill, México.
- Lofgren, B. E., 1968, **Analysis of Stresses Causing Land Subsidence**, U. S. Geological Survey Reseach, Prof. Paper 600-B, p. B219-B225.
- López Blanco, J., 1993, **Los Sistemas de Información Geográfica**, La Geografía Hoy, Memoria del Coloquio, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 1ª ed., p. 139-159.
- López Ramos, E., 1995, **Carta Geológica de los Estados de Jalisco y Aguascalientes**, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Lugo Hubp, J. I., 1991, **Elementos de Geomorfología Aplicada. Métodos Cartográficos**, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 1ª reimpresión, 109 p.
- Lugo Hubp, J. I., 1992, **La Superficie de la Tierra, II. Procesos Catastróficos, Mapas, El relieve Mexicano**, Fondo de Cultura Económica, México, Serie: La Ciencia desde México, Núm. 101, 143 p.
- Mcdowell, F. W and Clabaugh, S. E., 1979, **Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their Relation to the Tectonic History of Western México**, Geological Society of America Special Paper 180, p. 113-124.

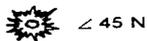
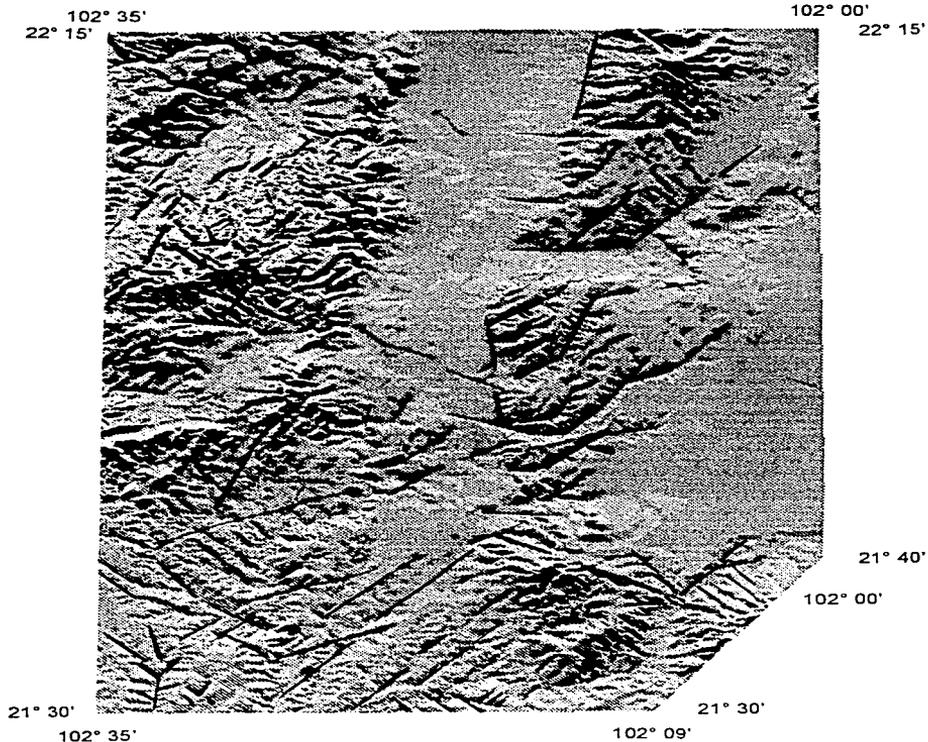
- Martínez Ruiz, V. J., 1984, **Control Geológico Estructural del Agua Subterránea entre San Luis Potosí, Aguascalientes y Zacatecas**, Instituto de Geología y Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, Folleto Técnico 97, 12 p.
- Miracle, M. R., 1986, **Ecología**, Colección: Aula Abierta, Salvat Editores, Barcelona, Núm. 65, 64 p.
- Mitre Salazar, L. M., 1981, **Las Imágenes LANDSAT -Una Herramienta Útil en la Interpretación Geológico-Estructural-; Un Ejemplo en el Noreste de México**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, Inst. Geología Revista, Vol. 5, Núm. 1, p. 37-46.
- Mitre Salazar, L. M., Dávila Alcocer, V. M. y Martínez Reyes J., 1987, **Una Discontinuidad Mayor en los Estados de Aguascalientes y Guanajuato**, Resúmenes, Segundo Simposio de Geología Regional de México, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, p. 12-13.
- Mitre Salazar, L. M., 1992, **La Geología y el Cambio Global**, Ciencia, México, Núm. 43 Esp., p. 73-75.
- Molina Maldonado, A., Cardona, A. y Carrillo Rivera, J. J., 1996, **Diferenciación Hidrogeoquímica de Sistemas de Flujo de Agua Subterránea en la Zona de Aguascalientes, México**, Tercer Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Memorias, San Luis Potosí, México, p. 1(79-93).
- Montellano Ballester, M., 1992, **Una Edad del Irvingtoniano al Rancho Labreano para la Fauna Cedazo del Estado de Aguascalientes**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, Instituto de Geología, Revista, Vol. 9, Núm. 2., p. 195-203.
- Nieto Obregón, J., Lermo, J. y Zermeño, M., 1996, **Faults and Fractures in the Valley of Aguascalientes. Preliminary Microzonification**, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, México, June 23-28, Cd Rom.
- Nieto Samaniego, A. F., 1990 (1992), **Fallamiento y Estratigrafía Cenozoicos en la Parte Sudoriental de la Sierra de Guanajuato**, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, Vol. 9, Núm. 2, p. 146-155.
- Novikov, R., 1978, **El Medio Ambiente: Cooperación Internacional**, Ciencias Sociales, Academia de Ciencias de la URSS, Editorial Centro de Estudios e Investigaciones Sociales (CEIS), Colombia, Núm. 3(33), p. 225-237.

- Olivares Martell, J., 1985, **Lineamientos y Tectolineamientos Obtenidos con Base en Imágenes de Satélite**, Revista de Geografía, INEGI, Vol. 1, Núm. 1, México, p. 61-69.
- Olvera, A., 1984, **La Ecología Urbana**, Semanario de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Oropeza Orozco, O., 1990, **Síntesis del Medio Ambiente**, Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, Vol.II, V.5.1.
- Orozco, J. M. y Figueroa Vega, G., 1991, **Descripción Cronológica del Desarrollo de los Conocimientos Sobre el Agrietamiento de Terrenos**, en Agrietamientos de Suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C., p. 1-11.
- Ortega Gutiérrez, F., Mitre Salazar, L. M., Roldán Quintana, J., Aranda Gómez, J. J., Morán Zenteno, D., Alaniz Álvarez, S. y Nieto Samaniego, A. F., 1992, **Carta Geológica de la República Mexicana**, 5ª ed., Escala 1:2,000,000, con Texto Explicativo, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geología, y Consejo de Recursos Minerales, SEMIP, México, 74 p.
- Panniza, M., 1987, **La Cartografía Tematica delle Scienze della Terra nella Pianificazione Territoriale**, Mem. Soc. Geol. It., 37, p. 503-509.
- Pedroza, José, 1913, **Iniciativa del Sr. Presidente del Ayuntamiento y Dr. López Referente al Agua del Manantial del Ojocaliente**, Expediente No. 105, Inédito.
- Poland, J. F., 1984, **Guidebook to Studies of Land Subsidence Due to Ground-Water Withdrawal**, UNESCO.
- Quiñonez, G. H., 1984, **El Sistema Fisiográfico de la Dirección General de Geografía**, Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Rivero Serrano, O., 1994, **Programa Universitario del Medio Ambiente**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 23 p.
- Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología, 1994, **Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994**.
- Secretaría de Gobernación, 1991, **Atlas Nacional de Riesgos**, Dirección General de Protección Civil, México, 121 p.

- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), 1981, **Síntesis Geográfica De Aguascalientes**, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F. 98 p.
- Sherbon Hills, E. 1977, **Elementos de Geología Estructural**, Editorial Ariel, Barcelona, 577 p.
- Sosa, N. M., 1990, **Ética Ecológica**, Libertarias, España, 1ª ed., 153 p.
- Suplemento de Industria y Comercio (SIC), 1927, **Estado de Aguascalientes**, p. 1-5.
- Torres Rodríguez, V., (coordinador) ,1993, **Geotermia en México**, Programa Universitario de Energía, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 1ª ed.
- Trejo Moedano, A. y Martínez Bains A., 1991, **Agrietamientos de Suelos Zona de Querétaro**, Agrietamiento de Suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, p. 67-73.
- Valverde V., C. y Kunz Bolaños, I., 1994, **Determinación y Análisis de la Importancia Económica de las Ciudades Mexicanas**, Geografía y Desarrollo, Revista del Colegio Mexicano de Geografía A.C., Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI.), Año 6, Vol. 1, Núm. 10, p. 11-28.
- Vásquez González, A. B. y Valdez E:C., 1994, **Impacto Ambiental**, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ingeniería, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1ª ed., 258 p.
- Velasco Hernández, M., 1989, **Relaciones Litoestratigráficas del Área de Jesús María, Estado de Aguascalientes**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 95 p.
- Wilches Chau, G., 1993, **La Vulnerabilidad Global**, Los Desastres No Son Naturales, La RED: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Colombia, p. 9-50.

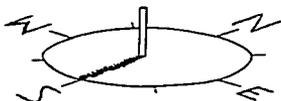
ANEXO

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES



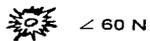
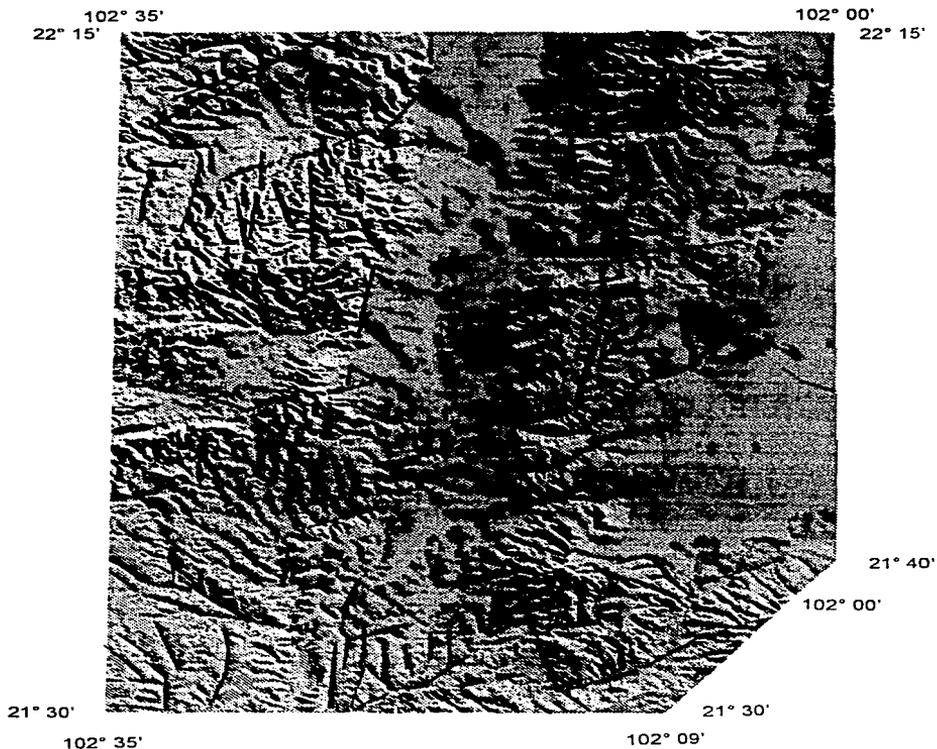
∠ 45 N

Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al N y
localizada a 45° sobre el horizonte.

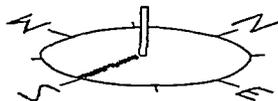


ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

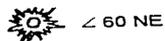
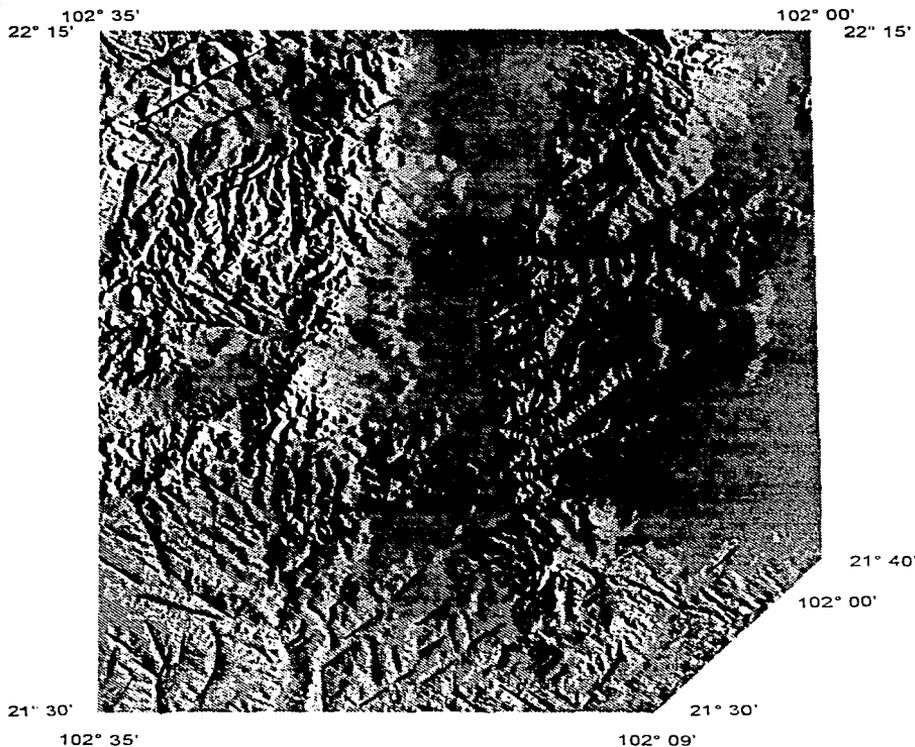


Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al N y
localizada a 60° sobre el horizonte.

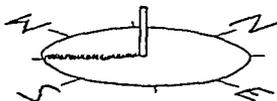


ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

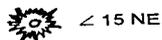
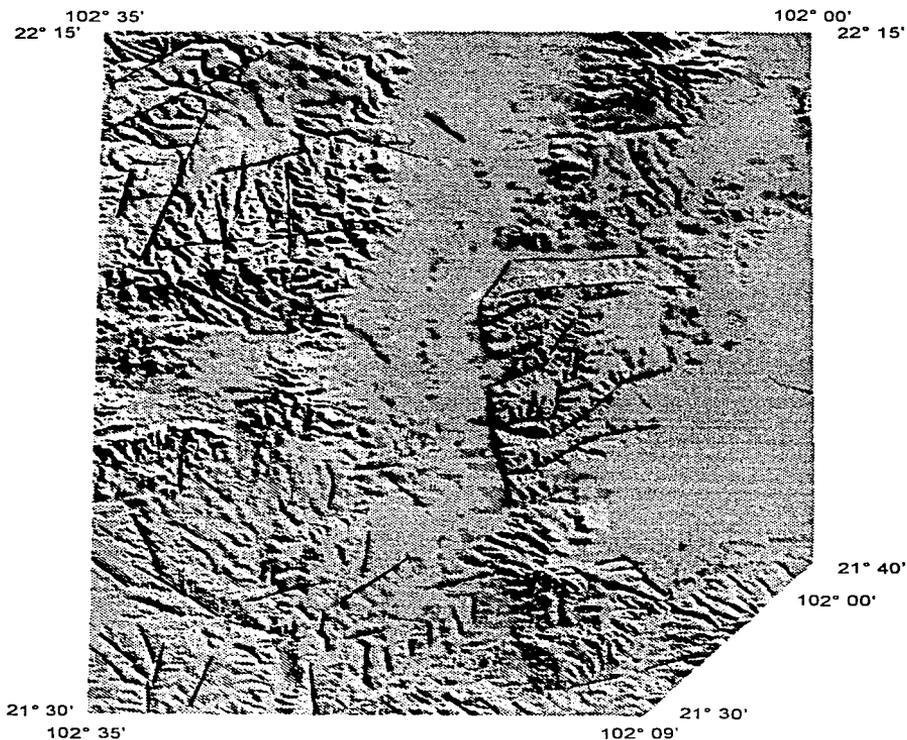


Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al NE y
localizada a 60° sobre el horizonte.

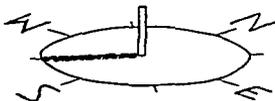


ELABORADO POR FELIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

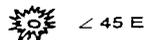
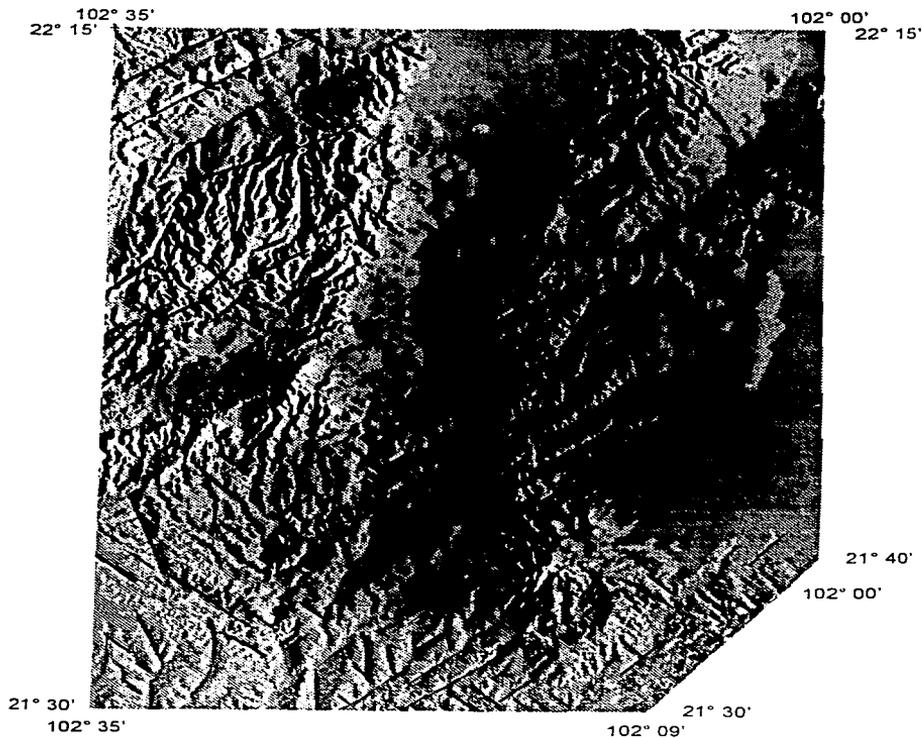


Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al NE y
localizada a 15° sobre el horizonte.



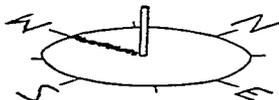
ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES



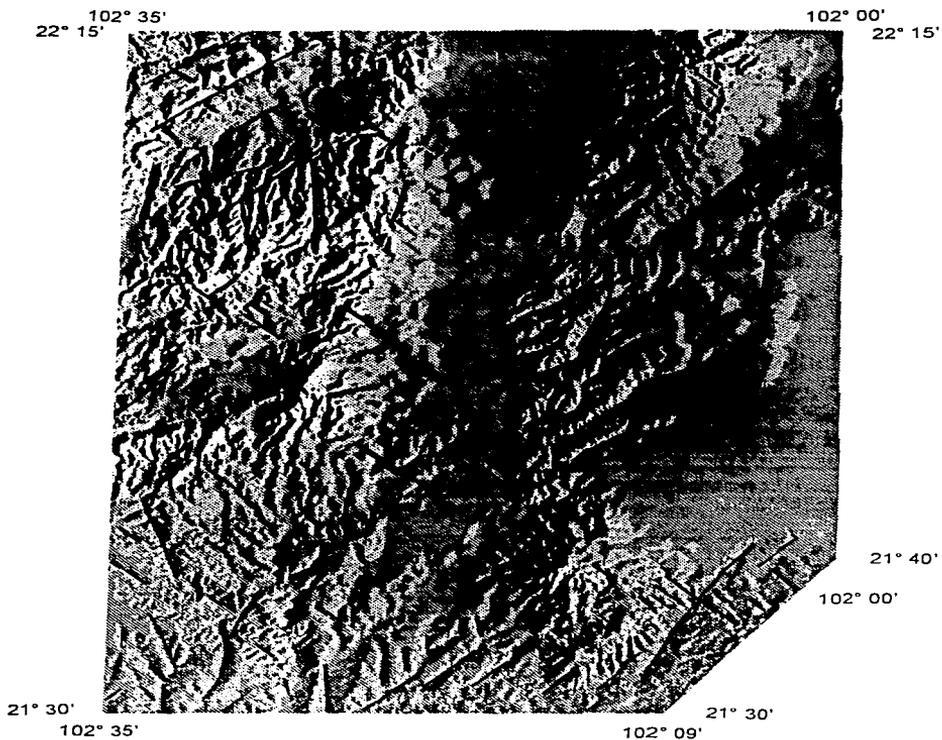
∠ 45° E

Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al E y
localizada a 45° sobre el horizonte.



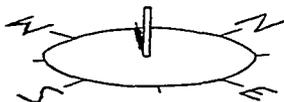
ELABORADO POR FELIX I. MALPICA SANCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA "ILWIS"

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES



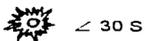
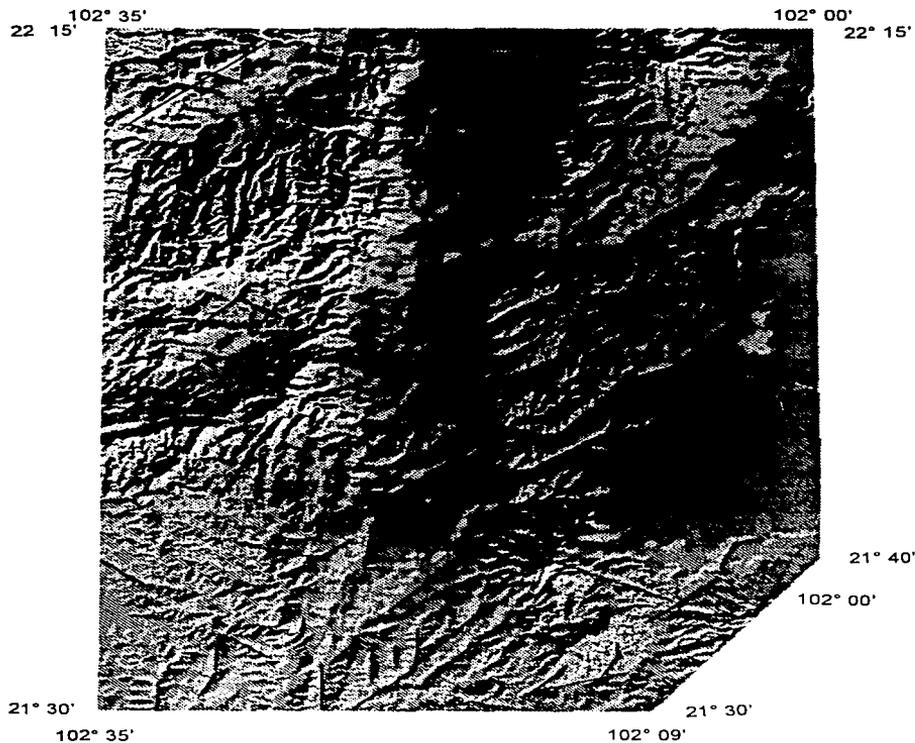
∠ 30 SE

Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al SE y
localizada a 30° sobre el horizonte.

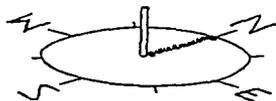


ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

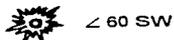
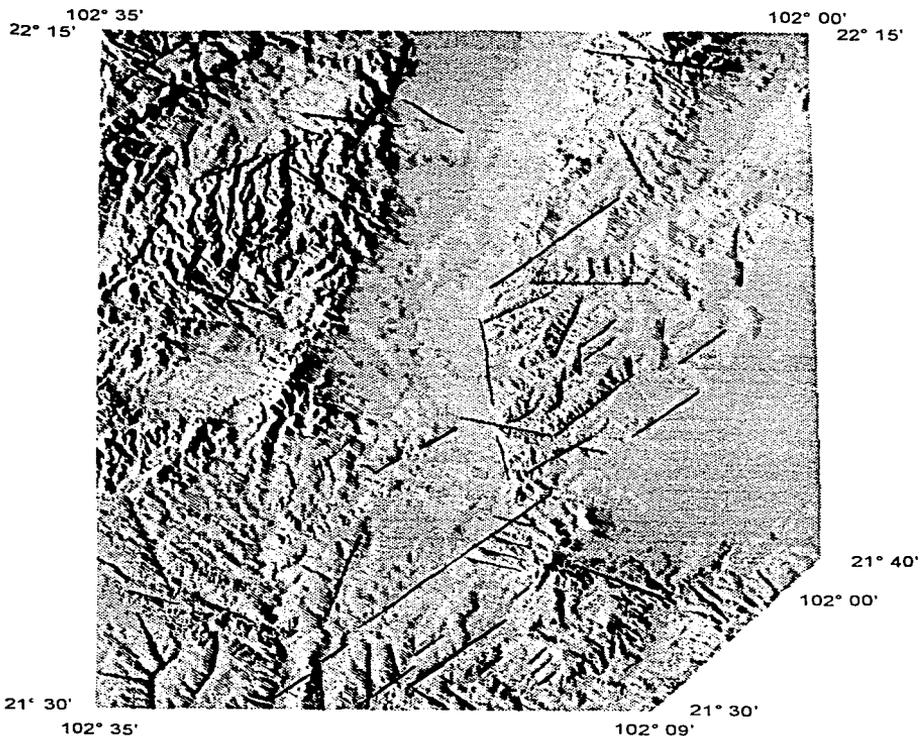


Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al S y
localizada a 30° sobre el horizonte.

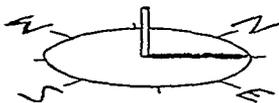


ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES

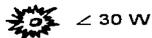
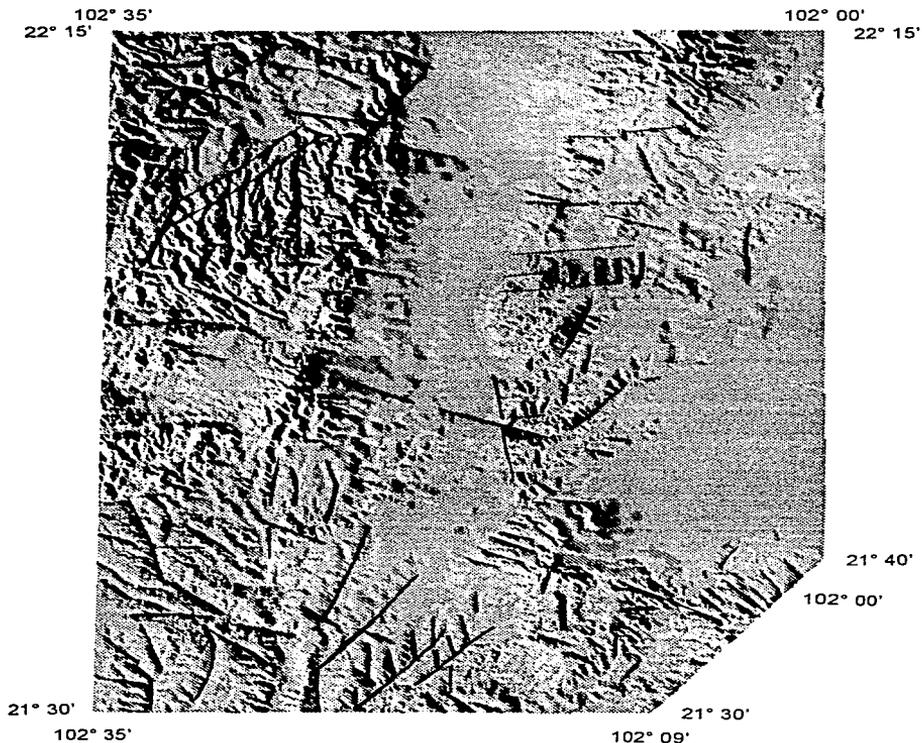


Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al SW
y localizada a 60° sobre el horizonte.

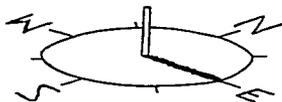


ELABORADO POR FÉLIX I. MALPICA SÁNCHEZ
CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA "ILWIS".

MODELO DIGITAL DEL GRABEN DE AGUASCALIENTES



Modelo digital de terreno sombreado,
por una fuente de luz orientada al W y
localizada a 30° sobre el horizonte.



**Iniciativa del Sr. Presidente del Ayuntamiento y Dr. López
Referente al Agua del Manantial del Ojocaliente, 1913.**



PRESIDENCIA.

NÚMERO _____

I.H. 4/13 1913



Expediente N° 105

CONTIENE

Iniciativa del Sr. Presidente del Ayuntamiento y Dr. López referente a la agua del manantial del Ojocaliente

Exp. 12. Carta - Aguascalientes

La Corporación Municipal que se tiene en ; residir en sección ordinaria de ayer. tuvo á bien aprobar la siguiente.

Iniciativa:

" Señores Municipales: - Convenidos como están los suscritos de la necesidad irrogica que hay de evitar á todo trance que disminuya el caudal de agua de que dispone la ciudad ; para sus necesidades más apremiantes, con tanta mayor razón cuanto que el número de habitantes que hoy pueblan la Capital del Estado se con el doble del de hace veinte años ; Aguascalientes, es de esperarse que se poblara más cada día, es de temerse que en época no se crea el agua no sea suficiente para satisfacer sus necesidades, los suscritos creen por lo mismo que el H. Congreso del Estado expida un Decreto prohibiendo que en un radio de 200 metros de los manantiales del Ojocaliente, se abran pozos que aprovechando los venenos del mismo Manantial, hagan disminuir el caudal de sus aguas ; en tal virtud, los suscritos acuden á vuestro debate la siguiente proposición. - ÚTICA. - Elévese atento oficio á la H. Legislatura del Estado, suplicándole que á la mayor brevedad posible y declarando el asunto de utilidad pública, expida el correspondiente Decreto suplicando se abran nuevos pozos en un radio de 200 metros de distancia de los manantiales del Ojocaliente. - Aguascalientes, Octubre 6 de 1913. - Firmados. - José C. Pedraza. - A. N. López."

Lo que se honro en transcribir á vda á fin de que con la Iniciativa trascrita se sirvan dar cuenta á la H. Legislatura de que son dignos Secretarios.

Protesto á vda con este motivo, los respetos de mi más sincera consideración y respeto.
Liberio Y. Constitución. Aguascalientes, 10 octubre 7 de 1913.

Another shell of *Vaccinites cornuivaccinum* from which a sclerochronological record was analysed (Figure 5) has been collected near Pavlos, to the north of the Kopais (Figure 1). There, hippuritids are not preserved in life position but were redeposited in marly coquinalimestones. However, reworking must have been moderate, as longitudinal costae and growth lamellae are well preserved (Plate 1, figure d). The straight right valve with tabulae perpendicular to the shell axis indicates an elevator mode of life. It was sampled along the anterior side of an anterior-posterior longitudinal section (Figure 5).

The $\delta^{18}\text{O}$ curve shows seven cycles ranging from -5.6 to -3.6‰ which most probably correspond to annual temperature variations during seven years of shell accretion (Figure 5). Although the average $\delta^{18}\text{O}$ composition is lower, the range of $\delta^{18}\text{O}$ is similar to that of the small *Vaccinites cornuivaccinum* from Keratevouno hill and indicative of seasonal temperature fluctuations of 8°C. $\delta^{13}\text{C}$ varies between 0.0 and +2.2‰ and is not correlated with $\delta^{18}\text{O}$. Annual vertical growth increments amount to 23 mm in the first recorded year and decrease to less than 10 mm in the adult phase.

In order to substantiate these results, the ontogenetically oldest part of the shell was additionally sampled along a posterodorsal longitudinal section. The curve of oxygen isotopic compositions of these more closely spaced samples fits well with that of the anterior transect (Figure 6). Similarities in $\delta^{13}\text{C}$ are not evident which might be due to differing vital effects along the mantle margin of the nudist.

Figure 6. Comparison of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ variations in the last recorded year of growth in the anterior (—) and posterodorsal (-----) shell shown in Figure 5.

The $\delta^{18}\text{O}$ curve is more or less sinusoidal in the first year of recorded growth but negative shifts are more abrupt in the following years, when the shell reached a certain diameter and the upwardly directed growth component predominated. Once this adult phase of shell growth was established, lamellae dominate the shell sculpture (Plate 1, figure d). They correspond to the negative peaks of the $\delta^{18}\text{O}$ curve. Obviously, shell growth rates were reduced during the warm season in this adult phase. Such a pattern of seasonal growth deceleration is probably related to periods of reproduction when physiological

energy was not available for shell growth. Similar growth patterns are known from recent molluscs (Pannella and MacClintock, 1968; Rye and Sommer, 1980). Other reasons for reduced shell growth could be too high ambient water temperatures or bad nutrition during summer. Both are considered to be unlikely because juvenile shells apparently recorded annual temperature changes more completely.

Decelerated growth during the warm season is further indicated by dark growth lines (Plate 1, figure c). They mark narrow zones with particularly short prisms and small dissolution pits along the former growth surfaces (Plate 1, figure c). Therefore, it cannot be ruled out that the isotopic composition of these 50–100 μm thick parts of the shells might be diagenetically altered. However, alteration was obviously restricted to partial dissolution and not to a considerable precipitation of diagenetic calcite. As only one sample within each annual cycle touched these zones, the overall trend in $\delta^{18}\text{O}$ distribution would not change significantly if the original isotopic composition was lost in these particular parts of the shell. On the other hand, $\delta^{18}\text{O}$ minima of each cycle do not always correspond exactly to these zones but were recorded in structurally unaltered parts above or below dark growth bands within most cycles (Figure 5).

DISCUSSION

Variations in the oxygen isotopic composition of the two analysed shells of *Vaccinites cornuivaccinum* indicate that nudists stored valuable informations about their growth patterns, changes in ambient water temperatures, and perhaps tolerance against salinity fluctuations in their shells. Although annual temperature ranges of 7–8°C which are recorded within the shells appear to be reasonable, the calculation of absolute palaeotemperatures is problematic. The oxygen isotopic composition of Cretaceous seawater can only be estimated and was probably as variable as in today's oceans (Veizer, 1983). Another problem is posed by possible disequilibrium precipitation of low-Mg calcite by the nudists' mantle. Although recent molluscs are among the most faithful recorders of ambient water temperatures when compared to other organisms with calcareous skeletons (Wefer and Berger, 1991), deviations from the inorganic isotope equilibrium cannot be ruled out. This problem was discussed by Woo and coworkers (1993). In their study, well preserved calcitic shell layers of other bivalves were found to contain more ^{18}O than those of several nudist families. The isotopic compositions of nudist shells presented in their study are similar to those of *Vaccinites cornuivaccinum* from Beotia. They argued that lower ^{13}C and ^{18}O concentrations in the outer shell layer, when compared to the less well preserved inner layers, reflect disequilibrium precipitation of low-Mg calcite. They, however, did not consider different fractionations in the systems water-calcite and water-aragonite as discussed above.