

16



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLOGIA DEL YACIMIENTO DE OPALO DE LA  
MINA IRIS, DISTRITO DE COLON, QRO.

T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO  
PRESENTA

MARIA DEL PILAR GUERRERO HERNANDEZ



DIRIGIDA POR: ING. ALFREDO VICTORIA MORALES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

2002



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-016

**SRITA. MARIA DEL PILAR GUERRERO HERNANDEZ**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Alfredo Victoria Morales y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

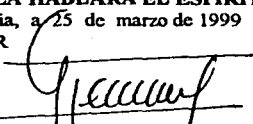
**GEOLOGIA DEL YACIMIENTO DE ÓPALO DE LA MINA IRIS, DISTRITO DE COLÓN, QRO.**

- I OBJETIVO DE ESTUDIO**
- II GENERALIDADES**
- III GEOLOGIA REGIONAL**
- IV GEOLOGIA LOCAL**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**
- APÉNDICES**

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.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 25 de marzo de 1999  
EL DIRECTOR

  
\_\_\_\_\_  
**ING. GERARDO FERRANDO BRAVO**

GFB\*RIFF\*gtg

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A mis padres:***

Por su cariño y apoyo, y porque gracias a ellos he llegado hasta donde estoy.

### ***A mis hermanos y hermanas:***

Por ser un ejemplo a seguir

### ***A mis sobrinos y sobrinas:***

Por todo su amor.

### ***Al Ing. Alfredo Victoria:***

Por su confianza, apoyo y paciencia para terminar esta tesis y por su amistad sincera.

### ***A mis amigos de la Facultad:***

Angélica, Pilar, Gloria, Claudia, Juan Carlos, Alejandra, Yamil, Edgar, Guillermo, Primitivo, Cereza y a todos los que estuvieron presentes en la Cuenca.

***Sobre todo gracias a Dios por estar siempre presente.***

**Pilar Guerrero**



---

**ÍNDICE****OBJETIVO DE ESTUDIO****TEMA I.- GENERALIDADES**

3

## I.1 Características generales del ópalo

3

## I.1.1.- Arreglo Mineralógico

3

## I.1.2.- Propiedades Físicas

5

## I.1.3.- Propiedades Químicas

10

## I.1.4.- Propiedades Ópticas

10

## I.1.5.- Evaluación Gemológica

11

## I.2 Historia del Opalo

12

## I.3 Mina Iris

16

## I.3.1.- Ubicación

17

## I.3.2.- Vías de acceso

19

## I.3.3.- Situación Legal

20

## I.4 Fisiografía

23

## I.4.1.- Provincia Fisiográfica

24

**TEMA II.- GEOLOGÍA REGIONAL**

26

## II.1 Estratigrafía

27

## II.2 Geología Histórica

36



---

<b>TEMA III.- GEOLOGÍA LOCAL</b>	<b>39</b>
III.1 Descripción del yacimiento	39
III.1.1 Estructuras mineralizadas	51
III.1.2 Forma de explotación/extracción del yacimiento	52
III.2 Geoquímica de la roca encajonante	53
III.3 Origen del yacimiento	66
<b>TEMA IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS HEMEROGRAFICAS</b>	<b>71</b>
<b>APENDICE</b>	

## **OBJETIVOS**

Realizar el levantamiento geológico de la Mina Iris, con la finalidad de obtener los siguientes datos: unidades litológicas, estructuras presentes, tipo de alteración y muestras de los diferentes tipos de ópalo para:

- a) Definir el tipo de roca encajonante.
- b) Proponer un modelo del yacimiento de ópalo.
- c) Caracterizar las propiedades gemológicas del ópalo de esta mina.



**ÓPALO, PIEDRA MUY PRECIADA POR SU MAGNÍFICO BRILLO Y MANEJO DE LUZ, COLORES MUY VARIADOS. INTENSIFICA LAS EMOCIONES Y LOS ESTADOS DE ÁNIMO. SE RECOMIENDA ESTA PIEDRA PARA GENTE MUY SERIA Y CENTRADA. SI EN ALGÚN MOMENTO SE SIENTE INCÓMODO CON ESTA PIEDRA, HAY QUE QUITÁRSELA DE INMEDIATO. AUMENTA LA INTUICIÓN. SI TIENE PENSAMIENTOS NEGATIVOS, SUSPENDA SU USO, PUES AL TRAER CONSIGO UN ÓPALO, TODOS LOS DESEOS BUENOS Y MALOS QUE EXISTEN EN USTED SE LE REGRESAN DE INMEDIATO.**

**EN LA EDAD MEDIA SE LE ATRIBUÍA PODER PARA CURAR ENFERMEDADES DE LOS OJOS. AUNQUE MUCHA GENTE CONSIDERA QUE ESTA PIEDRA ATRAÉ LA MALA SUERTE, EL ÓPALO NEGRO ES ACEPTADO MUNDIALMENTE COMO UNO DE LOS AMULETOS MÁS PODEROSOS. SI SUEÑA CON ÓPALOS RECIBIRÁ GRAN RIQUEZA. TIENE AFINIDAD ZODIACAL CON EL SIGNO DE LIBRA.**



## **TEMA I.- GENERALIDADES**

### **I.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÓPALO**

El ópalo es de las gemas más bellas que existen y su efecto óptico no existente en ninguna otra, puede proporcionar una diversidad de colores muy vistosos.

El nombre ópalo se deriva del Sánscrito "úpala" y del Latín "opalus," cuyo significado es piedra preciosa. En general el ópalo es una sustancia no cristalina coloidal que pertenece al grupo de los geles minerales.

Se encuentra llenando grietas y fisuras de rocas ígneas, en donde ha sido depositado durante las últimas etapas del enfriamiento de la roca. Ocurre en algunas vetas minerales y se deposita de muchos manantiales termales.

Se forma además durante el intemperismo y alteración de muchas rocas. Su formación frecuentemente acompaña a los procesos de serpentización. Forma los esqueletos silícicos de varios organismos marítimos, como diatomeas marinas, esponjas, etc.

#### **I.1.1.- Arreglo Mineralógico**

En algún tiempo, el ópalo fue pensado como un tipo de vidrio, por carecer de una estructura atómica regular como la que tiene presente el cuarzo. El ópalo es generalmente amorfo, es decir carece de estructura cristalina.

Aunque los estudios por difracción de rayos X indican que el ópalo es esencialmente amorfo, el ópalo precioso contiene esferas de sílice en un empaquetamiento ordenado. El ópalo precioso exhibe un delicado juego de colores; colores puros que pueden ser vistos en una sucesión rápida cuando esta gema es movida en diferentes direcciones.

Los estudios realizados en el ópalo precioso por medio del microscopio electrónico han demostrado que la razón del juego de colores es la presencia de un arreglo tridimensional regular de esferas de igual tamaño, con un diámetro aproximadamente de  $3000 \text{ \AA}$ , densamente empaquetadas.

Estas esferas consisten de capas sucesivas de cristobalita y tridimita de igual tamaño dispuestas en forma de estructuras empaquetadas.

Cuando la luz atraviesa el material prácticamente incoloro ciertas longitudes de onda son difractadas en los planos de las esferas ordenadas y salen como colores casi puros. Este fenómeno es análogo al de la difracción de rayos x por los cristales, donde el espacio entre los planos atómicos es del mismo orden de magnitud que las longitudes de onda de los rayos x. El espaciamiento en el ópalo es determinado por los diámetros de las esferas de sílice amorfa y es mucho mayor pero del orden de las longitudes de onda de la luz visible. A medida que cambia el ángulo de la luz incidente ciertas longitudes de onda satisfacen la ley de Bragg y se difractan, dando lugar a los destellos de colores brillantes que caracterizan al ópalo precioso (Charles, 1985).

El ópalo común es relativamente abundante y no tiene valor de gema porque no presenta un juego de colores debido a que existe un empaquetamiento al azar de esferas de distintos tamaños lo que da lugar a un material de diversos colores.

Sin embargo, estudio más recientes elaborados con espectrometría raman, muestran como el ópalo es una mezcla de sílice cristalina y amorfa, donde el grado de cristalinidad varía de acuerdo al yacimiento, es decir, se demostró que existe un diverso arreglo mineralógico entre ópalos de yacimientos sedimentarios (Australia) y los ópalos de yacimientos ígneos (México), lo cual se mencionará más adelante.

En resumen, el ópalo no es propiamente amorfo sino semicristalino. El ópalo de calidad gema se denomina ópalo C-T (cristobalita-tridimita)

### **I.1.2.- Propiedades Físicas**

Las propiedades físicas del ópalo son las siguientes:

- **Hábito:** Masivo, comúnmente en formas redondeadas y botroidales; estalactítico, y pisolítico.
- **Fractura:** Concooidal a irregular.
- **Dureza:** Es baja 5-6.5 en la escala de Mohs, presentando además una notoria fragilidad, cualquier golpe o cambio de temperatura puede fisurarlo.
- **Peso específico:** 1.9 – 2.3; cuando está puro 2.1 – 2.2.

- **Color:** incoloro, blanco, matices pálidas de amarillo, rojo, café, verde, gris y azul. Los colores más oscuros resultan de las impurezas. En sí el color del ópalo es muy variado y recibe diferentes denominaciones según esta propiedad.

Existen dos variedades fundamentales desde el punto de vista mineralógico: ópalo común y ópalo noble. El primero no presenta juego de colores y cuando es translúcido no tiene belleza. Por el contrario, el noble puede ser transparente, translúcido e incluso opaco, y aunque alguna variedad carece de juego de colores, lo normal es que luzcan este efecto óptico especial en mayor o menor intensidad y belleza.

Este efecto, denominado juego de colores, que no debe confundirse con la opalescencia, se produce en el ópalo noble al actuar los paquetes de lepisferas como rejillas de difracción, y que según su orientación, el ángulo de incidencia de la luz y el tamaño de las esferas, hace que aparezcan placas que cambian de color: violeta a rojo, violeta a verde o azul.

El color del ópalo (independiente del juego de colores) puede ser negro, gris, blanco, marrón, púrpura, amarillo, naranja, verde, azul-verdoso o incoloro. Por su transparencia pueden ser desde casi transparentes y ligeramente opalescentes hasta opacos.

Gemológicamente destacaremos las siguientes variedades:

- **Ópalo blanco.** Con juego de colores, translúcido o semitranslúcido. Color blanco, grisáceo o amarillento, a veces lechoso y turbio.
- **Ópalo negro.** Con juego de colores, opaco, de color oscuro; azul, negro pardo o verdoso. Es el más raro, bello y cotizado. Los buenos ejemplares alcanzan precios muy elevados, muy por encima del resto.
- **Ópalo de agua.** Con juego de colores pobre. Transparente o semitransparente. Incoloro o amarillo pálido.
- **Ópalo de fuego.** Con o sin juego de colores. Transparente y semitransparente. De color amarillo, anaranjado, rojizo o rojo.
- **Opalo gelatina o de agua:** transparente a semitransparente, base incolora con poco juego de colores o sin él
- **Hidrofano.** Traslúcido, lechoso y muy poroso. Cuando se mete en agua se vuelve más trasparente. Algunos ejemplares muestran un ligero juego de colores.

- *Ópalo matrix*. Ópalo que conserva parte de la roca madre, generalmente en la base o en forma de venillas de color marrón rojizo. Para muchos no es una auténtica variedad, sino una forma de presentación.
- *Opalo contraluz*: ópalo transparente con un intenso juego de colores, tanto en luz reflejada como transmitida
- *Opalo guijarro*: una delgada veta de ópalo con juego de colores en una matriz de mineral de hierro (Hurlburt, 1993).
- *Opalo gelatina o de agua*: transparente a semitransparente, base incolora con poco juego de colores o sin él
- *Ópalo boulder* (en roca). Ópalo con juego de colores, demasiado fino para tallarlo que se deja adherido a la roca madre.
- *Ópalos de colores*. Traslúcidos y sin juego de colores, de colores diversos: verde, amarillo, cereza, azulado, etc.
- *Hialita*. Incoloro, transparente y sin juego de colores.

No obstante, existe una amplia relación de nombres comerciales relacionados con el dibujo que forma el efecto del juego de colores, incorporándose muchas veces estas denominaciones al grupo de variedades como si verdaderamente lo fueran. Entre estos nombres podemos destacar:

- *Ópalo arlequín* (efectos en rombos)
  - *Opalo floral* (efecto en forma de hojas)
  - *Opalo estrellado* (efecto de cielo estrellado)
  - *Opalo ondulante*
- 
- *Raya*: Blanca
  - *Lustre*: vítreo, frecuentemente subvítreo; con frecuencia tirando a resinoso y algunas veces perlino.
  - *Transmisión de la luz*: Transparente a translúcido.
  - *Índice de refracción*: 1.43 – 1.47 (bajo)
  - *Simetría cristalina*: Amorfa

*Información extraída del libro "Tratado de Mineralogía" Dana, 1962.*

### **I.1.3.- Propiedades Químicas**

El ópalo está constituido por un gel de sílice solidificado, cuya composición química es dióxido de silicio con agua, ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

En las fórmulas, n indica una cantidad indeterminada de agua que difiere de un especimen a otro espécimen, pero esta cantidad de agua generalmente oscila entre 3 y 10% en peso, pero puede llegar a ser tan alto como un 20%.

Pequeñas cantidades de óxido férrico, alúmina, cal, magnesia y álcalis se encuentran generalmente como impurezas. El índice de refracción y el peso específico disminuyen al aumentar la cantidad de agua.

### **I.1.4.- Propiedades Ópticas**

Una de estas propiedades ópticas es el brillo de vítreo a resinoso. Transparente a casi denso.

El ópalo es isótropo; suele mostrar doble refracción anómala debido a las tensiones. El índice de refracción varía de 1,450, +0.020 a -0.030. El ópalo de fuego característico de la Región de Querétaro en México, tiene un índice de refracción menor que normalmente varía de 1,420-1,430.

El ópalo presenta fluorescencia blanca o verde y fosforescencia, y el ópalo de fuego da fluorescencia rojiza fuerte o verde. El ópalo de agua es inerte.



- *Luminiscencia frente a la luz UV larga.* El ópalo presenta fluorescencia blanca, y algunos ejemplares dan fluorescencia verde por llevar uranio, y tiene fosforescencia. El ópalo de fuego da a veces fluorescencia roja o verde. El ópalo negro y el de agua son inertes.
- *Luminiscencia frente a la luz UV corta.* En general, las respuestas son más intensas a la luz UV corta que a la larga.

El ópalo carece de espectro de absorción característico.

#### **1.1.5.- Evaluación Gemológica**

El hablar de evaluación gemológica está referido a la demanda que se tiene de este mineral. Es bien sabido que la compra del ópalo es como gema, o como un objeto esotérico, debido a como se mencionó anteriormente, se toma como un amuleto muy poderoso, principalmente en países como Japón, donde se piensa que el traer consigo un ópalo traerá muchos años de buena suerte.

En los años sesentas el ópalo tuvo gran demanda en los países europeos y Japón, se desconoce la producción de aquellos años; actualmente en México se explotan las minas en baja escala, además de buscar ópalos en los antiguos terrenos; los únicos datos en producción para Querétaro, se asientan en la siguiente tabla:

MUNICIPIO (quilates)	1993	2000
Colón	928	1250
Esqueleto	1128	1300

Estadísticas tomadas de Internet, Octubre 2001

En la actualidad el ópalo de Querétaro es exportado a Estados Unidos, Canadá, Alemania, España ; aunque los ópalos de mejor calidad son vendidos a Japón y Hong Kong (Ward,C., 1997)

## 1.2 HISTORIA DEL ÓPALO

La historia del ópalo se ve envuelta en un sentido místico, en ocasiones y por determinados pueblos, es visto como un instrumento de buena suerte, mientras que por otros como un maleficio que es mejor alejar de las personas.

La fecha de que se empezó a tener conocimiento de artefactos elaborados de ópalo data del año 4000 AC, en una cueva en Kenya, descubiertos por el antropólogo Louis Leakey, sin tener conocimiento de el motivo de su elaboración (Ward,1997).

Los romanos son los primeros en poner al mercado el ópalo, aproximadamente en el año 100 AC, lo consideraban la piedra del amor y la esperanza. El escritor romano Plinio, considerado como el primer gemólogo del mundo describió al ópalo como la segunda gema en valor, después de la esmeralda, ya que tiene las características de color de un rubí o un granate, tiene el color morado de la amatista, el verde mar de la esmeralda, y todos los increíbles colores juntos en manera perfecta (Ward, 1997).

También se sabe de las minas de ópalo de Hungría, las cuales estuvieron operando por mas de 2000 años hasta 1922 donde creció una demanda por los diamantes de la India y por la esmeralda de Egipto extraída de las minas de Cleopatra. En todo ese tiempo estas minas dotaban de ópalo a toda Europa, las supersticiones se empezaron a ver envueltas en torno al ópalo, asociándole poderes del demonio, lo cual iba originando un consumo menor de esta gema.

La combinación de descubrir grandes minas de ópalo en Australia junto con el gran entusiasmo de la Reina Victoria por las gemas, transformaron el mercado de ópalo.

A finales de 1800 Europa empezó a consumir la gema Australiana, aunque únicamente se presentaba en ópalo blanco con poco juego de colores. La Reina Victoria dio esta nueva gema a su hija.

No fue sino hasta 1863 que se encontró un ópalo con juego de colores, lo que favoreció el consumo de dicha gema.

Para finales de 1890 el ópalo dejo de ser una piedra de mala suerte.

Ya para 1903 Australia era el mayor productor mundial de ópalo de excelente calidad (Ward, 1997).

## OPALO MEXICANO



Muestra de ópalo mexicano

La historia del ópalo en México, se remonta a la época prehispánica, el ópalo de fuego fue usado extensivamente por el pueblo azteca, y era utilizado como objeto ceremonial y ornamental entre los años 1200 y 1519 (Koivula, 1983).

El ópalo era conocido por los aztecas como huitzitziltecpatl o piedra de colibrí, en alusión a la similitud de la iridiscencia del ópalo con las plumas coloreadas del colibrí (Barcena, 1873).

Los primeros usos que le dieron los aztecas al ópalo fueron ornamentales, como ejemplo está el más famoso ópalo mexicano: "El ópalo del Dios del Sol Azteca", dicha escultura fue hallada en un templo en el siglo XVI, después formó parte de la colección de gemas Hope. En 1886 formó parte de la colección gemológica "Tiffany", en el Museo de Historia Natural de Chicago, Illinois, y que actualmente se encuentra ahí

La actividad del ópalo por los aztecas fue suspendida con la llegada de los españoles, y por lo tanto los depósitos de ópalo de Querétaro, quedaron olvidados por cientos de años, sin que nadie supiera el menor dato de estos. No fue sino hasta 1840, Don José María Siurub quién redescubrió los depósitos y comenzó a trabajar la Mina Santa María Iris, en

la Hacienda Esmeralda. En 1855 se descubrió otros depósitos importantes en la Hacienda La Esperanza, la Mina La Carbonera, entre otras.

La gema era tan común en el área que con frecuencia se le veía en las piedras de construcción de viviendas.

El criadero más importante se encuentra en la Hacienda la Esperanza en el municipio de Colón al NW de San Juan del Río Querétaro. Los ópalos fueron descubiertos en 1855 por un sirviente de la misma hacienda, llamado Ignacio Lozano, aunque no se hicieron denuncias hasta el año de 1870, en que Don José María Siurub abrió el primer pozo en el cerro de "Ceja de León" que en la cual llamó Mina de Santa María Iris, que actualmente se le conoce como mina "Iris".

A principios de siglo las minas fueron trabajadas por extranjeros. El distrito alcanzó su apogeo en 1969 debido a la gran demanda de ópalos por parte de países europeos y de Japón.

Cabe mencionar que esta mina " Iris "sigue siendo la más importante y productiva de Querétaro, en lo referido a la extracción de ópalo aunque actualmente se explota en mínima proporción. Los trabajos mineros en Querétaro son a tajo abierto, y los métodos de beneficio no han tenido cambios significativos en los últimos 100 años.

### I.3 MINA IRIS

Hasta el momento existen alrededor de 100 minas de ópalo en la región de Querétaro, pero la mayoría están cerradas, las minas que están funcionando son en orden de importancia:

1. -SANTA MARIA DEL IRIS
2. -CARBONERA
3. -TRINIDAD
4. -PERDON
5. -JURADA

La mejor calidad de ópalos se encuentran en la **MINA IRIS**, seguido de La Carbonera, y en tercer lugar la mina La Trinidad.

La **Mina "Iris"**, es de gran importancia debido a dos factores principales:

- Tiene un gran valor histórico, ya que sus inicios de explotación se remontan a la época de los aztecas, los cuales usaban el ópalo de esta mina con objetivos ceremoniales y ornamentales. Además de ser una mina actualmente activa y con un gran potencial económico.
- El ópalo de fuego que se extrae de esta mina es de gran valor gemológico, debido a su calidad gema. En esta mina se encuentra un ópalo de gran valor comercial denominado "Opalo Arlequín".

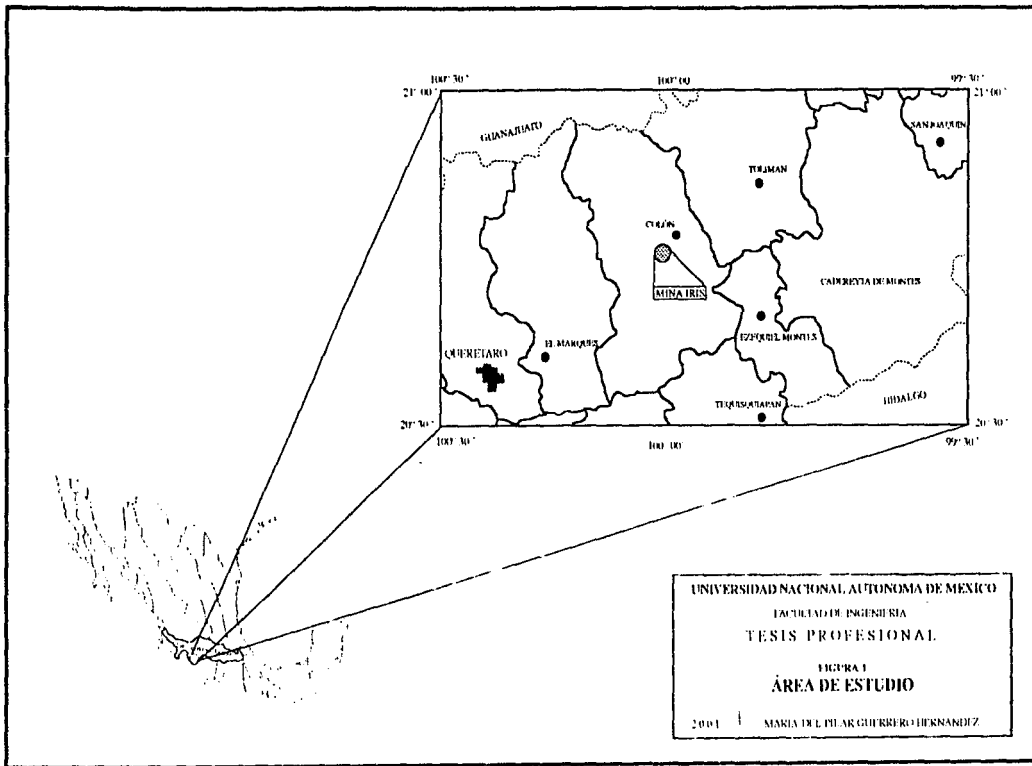
### **I.3.1.- Ubicación**

La Mina "Iris" se localiza en el distrito de Colón, estado de Querétaro, México; a 40km al N E de la capital del estado, y a 200km al NW en línea recta de la Ciudad de México (Figura 1). Sus coordenadas puntuales son:

Geográficas: 20°39'25"      latitud norte  
                  100°05'53"      longitud oeste

Mercator:      X: 385.7m  
                  Y: 2,284.45m

La mina Iris se ubica en la carta 1:50,000 de Villa del Marquez F14-C66.



TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN



### 1.3.2.- Vías de acceso

El acceso desde la Ciudad de México, es por la Autopista México-Querétaro No. 57, habiendo recorrido 128 km, se llega a la desviación a Tequisquiapan, se toma dicha desviación, para tomar la carretera federal No. 120, sobre esa carretera se recorren 36 km, pasando los poblados de San Nicolás, Bordo Blanco, Tequisquiapan y Ezequiel Montes; se toma la desviación que conduce al poblado de Bernal, sobre esta carretera estatal se recorren 10 km hasta llegar al cruce Querétaro-Bernal, se toma la desviación a Querétaro, sobre esta carretera se avanzan 14 km, cruzando el poblado de El Gallo, y a mano izquierda se podrá observar la mina a tajo abierto, la cual es el objetivo de nuestro estudio (Figura 2).

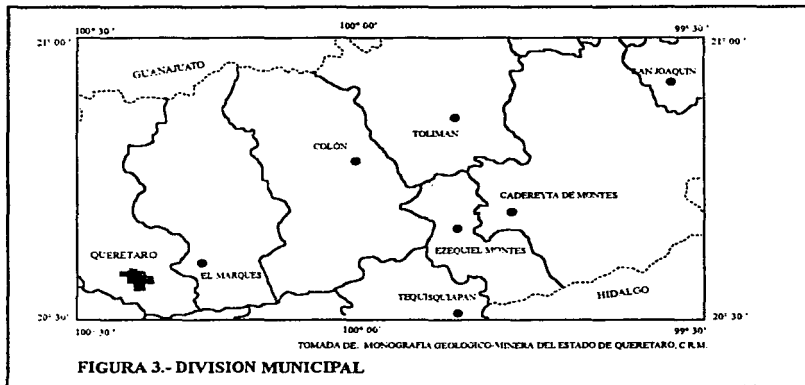


**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### **I.3.3.- Situación legal**

La minería en nuestro país cubre grandes regiones, para poder controlar lo que se extrae y lo que se produce es necesario llevar un orden sobre los terrenos a explorar y/o explotar, sus dimensiones y las sustancias que está permitido explorar/explotar, así como otras características de definición. El trabajo de documentar toda esta información se realiza en la "Dirección General de Minas", la cual se encarga de dar los permisos para explorar/explotar, y es ella misma quien se encarga de proporcionar información sobre lotes mineros.

La Dirección General de Minas está distribuida en diversas cedes en cada estado del país, la cede de nuestro objeto de estudio es la Dirección de Minas del Estado de Querétaro. El Estado de Querétaro está dividido en Municipios, siendo el municipio de Colón el de importancia para nuestro estudio (Figura 3).



El municipio de Colón consta de 20 concesiones mineras, y todas son por ópalo:

**NOMBRE DEL LOTE MINERO      TÍTULO      SUSTANCIA  
CONCESIÓN**

El Iris	117374	Ópalo	Explotación
La Guacamaya	196560	Ópalo	Explotación
Santa Lucía	158377	Ópalo	Exploración
La Reina	184974	Ópalo	Explotación
Ma. Cristina	172228	Ópalo, caolín	Explotación
La Sorteada	195572	Ópalo	Exploración
Guadalupe	188671	Ópalo	Explotación
Pavo Real	177150	Ópalo	Exploración
Beatriz	179437	Ópalo	Explotación
Kiki	180934	Ópalo	Explotación
José	184638	Ópalo	Exploración
La Luz	188383	Ópalo	Exploración
Iris	188447	Ópalo	Explotación

Laguna Seca	188939	Ópalo	Exploración
Angeles	189585	Ópalo	Exploración
El Milagro	189881	Ópalo	Explotación
El buey	192304	Ópalo	Explotación
Arroyo Colorado	193197	Ópalo	Exploración
Santa Lucila	193478	Ópalo	Exploración
Bety	194489	Ópalo	Exploración

*Información extraída de la Dirección General de Minas de Querétaro.*

La mina "Iris" se ubica en el lote minero "El Iris", (Figura 4) y cumple con las siguientes características :

Título: 117374

Expediente: 65/14797

Hectáreas: 20

Concesionario: José Ramírez Loredo e Ismael Ramírez Loredo

Ubicación: En el cerro llamado Cinta del León, en terrenos de la ex-hacienda de la Esperanza.

Descripción del lote minero.- Punto de partida: 20°39'27.24", 100°05'15.63"

<u>Lados</u>	<u>Rumbos</u>	<u>Longitudes</u>	<u>(m)</u>
<b>Colindancias</b>			
1 - 2	Este	200	Terreno libre
2 - 3	Sur	500	Terreno libre
3 - 4	Oeste	400	Terreno libre
4 - 5	Norte	500	Terreno libre
5 - 1	Este	200	Terreno libre

Concesión: Explotación a 60 años

Vigencia: Del 27- Nov.-1951 al 26- Nov. -2011

Información extraída de la Dirección General de Minas del Distrito Federal



#### I.4 FISIOGRAFÍA

En el Estado de Querétaro se conocen tres provincias fisiográficas que son el Eje Neovolcánico, la Mesa Central y la Sierra Madre Oriental.

El Eje Neovolcánico se ubica en el centro y sur del Estado de Querétaro, formando lomeríos, mesetas y pequeños estratovolcanes, constituidos por derrames y lavas de composición ácida a básica.

La provincia de la Mesa central, llamada también Altiplano Mexicano se ubica en la porción centro-occidental del Estado de Querétaro, y está formada por sierras, llanuras y mesetas, constituidas por rocas sedimentarias de origen marino de edad Jurásica y Cretácica, cubiertas por rocas volcánicas del Terciario

La provincia de la Sierra Madre Oriental se encuentra en la porción centro-norte del Estado de Querétaro, formando grandes sierras alargadas, constituidas por rocas sedimentarias de edad Jurásica y Cretácica que están intrusionadas por rocas ígneas de composición granodiorítica del Terciario inferior.

#### **1.4.1.- Provincia Fisiográfica**

La Mina Iris pertenece a la provincia fisiográfica Mesa Central o Altiplano Mexicano, la cual se encuentra situada en la parte centro-occidental del Estado de Querétaro y está formada por Sierras, llanuras y mesetas constituidas por rocas sedimentarias de origen marino de edad Jurásica y Cretácica cubiertas por rocas volcánicas del Terciario que corresponden a riolitas e ignimbritas las cuales contienen ópalos y estaño.

La provincia de la Mesa Central es una extensa altiplanicie rodeada por sistemas montañosos, esta cubierta por acumulaciones volcánicas que se producen desde el Oligoceno. Ocupa una posición compleja, delimitada por cuatro provincias. En su superficie se conjugan las elevaciones plegadas y las riolíticas, características de las sierras madre, dispuestas al norte, oriente y occidente. Por el sur se sobreponen los volcanes, lavas y piroclastos cuaternarios del Sistema Neovolcánico.

Esta provincia tiene un origen complejo, influenciado por procesos neogénico-cuaternarios que incluyen plegamiento, tectónica de bloques, derrames volcánicos fisurales, volcanismo central, erosión en las montañas y acumulación en las depresiones. La neotectónica y las condiciones climáticas de fines del Pleistoceno a la actualidad, favorecen el desarrollo de cuencas endorreicas con planicies aluviales y lacustres.

## TEMA II.- GEOLOGÍA REGIONAL

En general, en la geología del Valle de Querétaro se presentan rocas sedimentarias depositadas en el cretácico superior en un ambiente marino (Formación Soyatal). A fines de cretácico superior y principios del terciario se inicia una etapa de tectonismo activo en el que se retiran los mares y se generan esfuerzos compresionales que pliegan y deforman a las rocas calcáreas. Estas fueron alteradas por rocas intrusivas que la empujaron hacia la superficie, quedando ambas rocas como testigos de los eventos tectónicos desde principios de terciario.

La unidad más antigua que se conoce en la región de Querétaro corresponde a la Formación Chilar de edad permica, constituida por una secuencia metasedimentaria de bajo grado formada por filitas, argilitas, pizarras y grauvacas.

El mesozoico lo constituyen rocas continentales y marinas de la Formación Huizachal del Triásico superior y base del jurásico inferior, constituida de lutitas filíticas y limonitas; y la Formación Trancas del Kimmeridgiano-Barremiano, constituida por conglomerados, grauvacas con intercalaciones de lutitas, seguidas por margas, lutitas filíticas, calizas arcillosas y en parte calizas piritíferas. Sobreyaciendo a la Formación Trancas, existen calizas del Aptiano-Cenomaniano, las cuales subyacen a las Formaciones Soyatal-Mezcala del cretácico Superior.



---

El cenozoico se encuentra constituido por rocas continentales e ígneas intrusivas y extrusivas. La parte continental la constituyen el Fanglomerado El Morro, constituido por fanglomerados, guijas redondeadas de caliza, pedernal y lutitas, en una matriz calco-arenosa, su edad es del Eoceno tardio-Oligoceno temprano y se encuentra interdigitizado lateralmente con la secuencia volcánica terciaria. Las rocas volcánicas extrusivas están formadas por riolitas e ignimbritas principalmente, así como andesitas, dacitas, tobas, brechas y andesitas basálticas, son de edad eoceno-oligoceno y tienen su máxima actividad en el mioceno-plioceno, en esta secuencia se ubica el ópalo de nuestro estudio. Las rocas ígneas intrusivas esta formada por rocas de composición diorítica a granodiorítica.

Los depósitos recientes están constituidos por aluvión, suelo residual, conglomerado fluvial y caliche los cuales están cubriendo los derrames basálticos cuaternarios y la secuencia ígnea extrusiva y continental terciaria.

## II.1 ESTRATIGRAFÍA

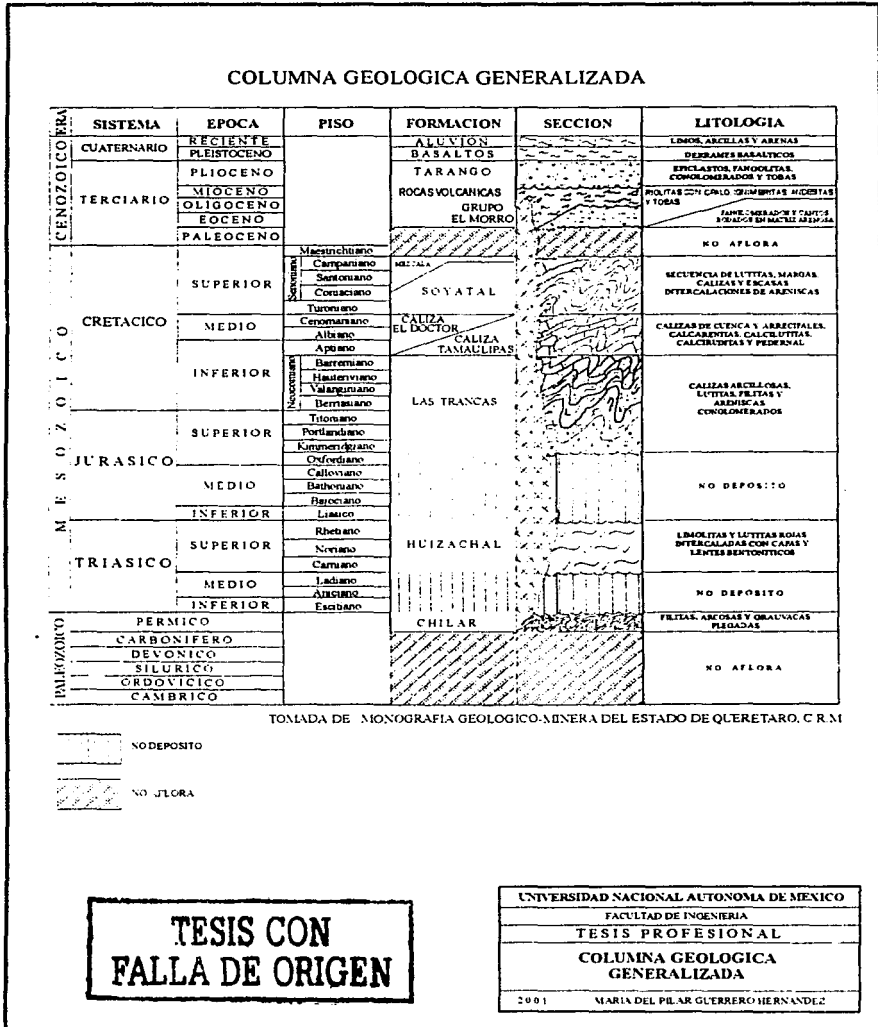
Tomando como base los estudios regionales y en ausencia de una nomenclatura formal que relacione la litología con el tiempo geológico, se realizó para las rocas volcánicas del área una columna litológica que se basa exclusivamente en la posición relativa de los depósitos, ya que no han sido definidas formalmente como formaciones. Por ello se identificaron en este documento como unidades rocosas (Rangel, 1953).

En este capítulo se describen las unidades geológicas con sus respectivos nombres, algunas de las cuales presentan nombres informales, (unidades continentales, volcánicas y lacustres) y solo se presenta una unidad de rocas

carbonatadas y lutíticas de un ambiente sedimentario marino que se encuentra definida formalmente como la Formación Soyatal (Figura 5 ).

A continuación se describe cada una de ellas desde la más antigua a la más joven y en la columna estratigráfica se puede observar su distribución.

Figura 5: Columna Geológica Generalizada



---

## CRETACICO

### *Calizas y lutitas Formación Soyatal*

Descripción: Serie de lutitas calcáreas café grisáceas que imtempizan en café amarillento, con interestratificaciones de capas de caliza gris en estratos de espesor medio a delgado (0.30 a 0.05 m); presenta bandas de calcita café claro y blanquecina. Las lutitas se encuentran sumamente plegadas presentando gran fisilidad y crucero; en otros afloramientos de la misma zona se aprecia una inclinación de las capas de entre 45° y 60° en contacto con Dacita porfídica a manera de intrusión dentro de las capas de caliza y lutita.

Edad: Cretácico Superior (Turoniano).

## TERCIARIO

### *Andesita*

Descripción: La unidad va desde una andesita pura hasta una andesita con cuarzo (dacita) y una tranquiandesita.

Tiene texturas desde muy porfídicas a porfídicas de matriz microcristalina, las coloraciones van de gris rojizo a gris rosado, la unidad presenta fracturamiento en todas direcciones, densa y masiva, con fuertes alteraciones de tipo supergénico, y muy fuertes alteraciones por procesos hidrotermales.

Su textura es afanítica poco porfídica, microlítica, holocristalina, intergranular, con coloración café gris verdosa..

Edad: Oligoceno-Mioceno.

### ***Ignimbritas y riolitas***

Descripción: Las ignimbritas están formadas por corrientes piroclásticas, tobas soldadas con abundantes fragmentos de cuarzo en una matriz criptocristalina o vítrea. Los derrames vítreos están estratificados y presentan líneas de fluidez bien definidas, las coloraciones son muy variables en tonos rosados a rojo púrpura, así como grises en afloramientos de pómez.

Por su parte, las riolitas presentan una coloración rosada a un rojo ladrillo, poseen un alto fracturamiento el cual se encuentra relleno de material silíceo como ópalo, cristobalita, lechatelerita, en algunas zonas presenta un alto grado de alteración a arcillas, principalmente cerca de la falla NW-SE que se localiza en la entrada de la mina Iris.

Es posible encontrar a esta unidad subyaciendo discordantemente tanto a unidades basálticas, tobas líticas así como a sedimentos vulcanolacustres.

Edad: Oligoceno- Mioceno.

## TERCIARIO-CUATERNARIO

### ***Basalto lajeado***

Descripción: Petrográficamente se clasifica como un basalto andesítico, raramente como basalto de olivino, es denso y presenta color negro, textura afanítica y porfídica, pilotaxítica, microlítica, con planos de fracturamiento horizontales y verticales, limpios y abiertos. Presenta peculiarmente un fracturamiento secundario por efectos de descompresión tensional produciendo un lajeamiento en diferentes direcciones hasta llegar a ser curvo.

Sobreyace en forma discordante a las andesitas y es posible encontrarlo subyaciendo tanto a tobas líticas como a sedimentos vulcanolacustres; pero también es posible encontrar contactos laterales interdigitados con estos.

Edad: Terciario (Plioceno)

### ***Tobas Líticas***

Descripción: Se trata de tobas vitrocrystalinas de coloración variable de rojiza a violácea con tonos anaranjados y grises. Presenta una textura tobácea con abundantes fenocristales de cuarzo y vidrio en matriz microcrystalina y en ocasiones criptocrystalina, con líneas de fluidez y fragmentos de roca.

Es bastante clara su distinción de otros grupos de rocas por las direcciones de flujo que forman mesetas arqueadas y por los cantiles casi verticales, así como por la superficie casi plana, formando planchas o lajas con fracturas

Es ligera y forma suelo rocosos que se utilizan para trabajos ornamentales.

Se localiza sobreyaciendo a las andesitas, riolitas y/o ignimbritas en contacto discordante, y lateralmente interdigitada con basaltos lajeados y sedimentos vulcanolacustres.

Edad: Plioceno

### ***Sedimentos vulcanolacustres***

Descripción: Es un depósito vulcanosedimentario complejo con una serie de materiales no consolidados de textura piroclástica-epiclástica que varían ampliamente en su granulometría, desde detritos poco transportados semiangulosos a redondeados, muy gruesos, hasta limos y arcillas con coloraciones color crema, rojizas y verdesas.

Las arenas son de color blanco pardo, pumíticas y van desde muy finas, a muy gruesas; algunas parcialmente consolidadas.

Las más gruesas son gravillas color café, bien redondeadas con granulometría uniforme prácticamente limpias de materiales finos; la estructura es en general horizontal o con una leve pendiente en algunos casos; presenta estratificación cruzada con estratos gruesos a laminares e interdigitados entre sí; algunos son poco consolidados y otros son deleznales.

Dentro de estos depósitos se encuentran intercaladas coladas de lavas andesíticas y/o basálticas de espesor variable, que van desde unos pocos hasta algunas decenas de metros.

Estos depósitos representan el proceso exógeno más extenso ya que rellenó el graben de Querétaro hasta formar la planicie.

Los materiales son ampliamente utilizados como bancos para la fabricación de tabique ligero y rellenos de carreteras y otro tipo de construcciones, existiendo innumerables excavaciones profundas.

Estos sedimentos se encuentran interdigitados con diferentes eventos volcánicos; se encuentran debajo de las coladas basálticas de gran extensión superficial en la zona central; debajo de horizontes bien definidos de tobas líticas y brechoides principalmente hacia la parte sur, también de gran extensión horizontal y sobre las rocas que se consideraron como el basamento de vulcanismo calcoalcalino (andesitas y dacitas).

Edad: Plioceno al Reciente.

## CUATERNARIO

### ***Basalto***

Descripción: Basalto de olivino, con texturas afanítica, holocristalina, microlítica, glomero-porfídica e intergranular muy denso y pesado.



También se interdigita y confunde con las series volcánicas calcoalcalinas anteriores como la andesítica alterada.

Forma extensas mesetas coronadas por coladas lávicas, terminadas en pequeños cantiles de 1 a 5 m. de espesor con una fisonomía característica de grandes bloques cúbicos.

Se encuentran superyaciendo discordantemente a muchas de las unidades litológicas descritas anteriormente.

Edad: Se considera como el último de los eventos de vulcanismo de naturaleza básico alcalino surgido entre el Pleistoceno y Holoceno.

### ***Brecha volcánica***

Descripción: De coloraciones gris negro a rojiza, textura brechoide causada por alteración en los minerales féreos de la matriz, también se aprecian bastantes oquedades dentro de la brecha volcánica algunas de dimensiones considerables, lo que presenta un aspecto de topografía muy abrupta.

Es particularmente peculiar, una oxidación limonítica y hematítica.

Dentro de éstas brechas se ha detectado la acumulación, de sílice cristalino y lechoso, con superficies botroidales y rellenas de carbonatos que han relleno cavidades y planos de fractura, imprimiéndole a la roca una menor permeabilidad.

Se encuentra generalmente formando los edificios volcánicos de los que son prototipos El Cerro del Nabo y la porción central del Cerro del Cimatario.

Edad: Pleistoceno-Holoceno.

### ***Aluvión y/o suelo residual***

Descripción: Su litología está constituida por gravas, matriz arcillosa, limosa y arenosa, con espesores de unos cm hasta unos 70 u 80 m

El suelo residual se encuentra generalmente sobre casi todo tipo de rocas, con mayor abundancia sobre terreno basáltico, por ello se utilizan para tierra de cultivo ya que permite la infiltración del agua de lluvia a estratos inferiores.

## **II.2. GEOLOGÍA HISTÓRICA**

El evento geológico más antiguo que se conoce en la entidad es el relacionado con las últimas fases de la orogenia Apalachiana en el Permo-Triásico, que originó el plegamiento y fallamiento correlativo de los estratos flyschoides de la Formación Chilar. Se cree que a finales del Triásico y principios del Jurásico, por movimientos tensionales de las placas norteamericana y sudamericana, se originaron grabens, que fueron rellenados por capas rojas de la Formación Huizachal del Triásico. En el Jurásico Superior se inició una regresión marina, depositándose en aguas someras, sedimentos calcáreos y clásticos de la Formación Las Trancas (López Ramos, 1983).

---

Durante el Cretácico Inferior, la invasión de los mares alcanzó su máximo desarrollo, acompañado de actividad volcánica en el Neocomiano, con depositación de rocas carbonatadas en zonas de plataforma, formando en algunos casos verdaderas masas arrecifales como es el caso de la Caliza El Doctor.

En el Cretácico Superior persiste en nuestro país la gran cuenca cretácica, propicia para el depósito de sedimentos en secuencia de lutitas y areniscas, que corresponden a las formaciones Soyatal y Mezcala. Iniciándose también las perturbaciones ocasionadas por la orogenia Laramide que plegó la secuencia marina mesozoica, donde posteriormente (Paleoceno-Eoceno) se producen intrusiones dioríticas y granodioríticas, acompañadas de vulcanismo incipiente. Durante este período existe la regresión de los mares provocando la formación de grandes porciones continentales cerradas (bolsones), propicias para el desarrollo de sedimentos clásticos continentales como los del Grupo El Morro del Eoceno Tardío al Oligoceno, que son seguidos por una intensa actividad ígnea (Eje Neovolcánico), donde se forman rocas de composición riolítica, dacítica y andesítica principalmente, que persisten hasta el Plioceno Temprano. Poco antes de finalizar este evento volcánico y como producto del levantamiento del continente y retiro de los mares, se depositaron materiales terrígenos, principalmente arcillas y arenas que constituyen la Formación Tarango del Plioceno. Ya en el Cuaternario se presenta la última emisión volcánica constituida por derrames basálticos del Pleistoceno, que es asociada a la tectónica distensiva de la provincia Sierras y Valles (López ,1990).

Finalmente el Reciente es representado por relleno de valles, superficies de erosión, suelos, cuencas interiores piamonte.

Para mayor referencia visualizar el plano geológico (Figura 6).

## TEMA III.- GEOLOGÍA LOCAL

### III.1 DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

Los yacimientos de ópalo del Estado de Querétaro en México, son de gran importancia a nivel mundial, debido a que en ellos se genera un tipo de ópalo de gran valor económico y gemológico, el llamado "Opalo de Fuego", un ópalo que se presenta con una variedad de color que va del naranja al rojo, y es considerado gema aunque no presente un juego de color que es característico del ópalo, que cuando presenta juego de colores alcanza un valor muy alto.

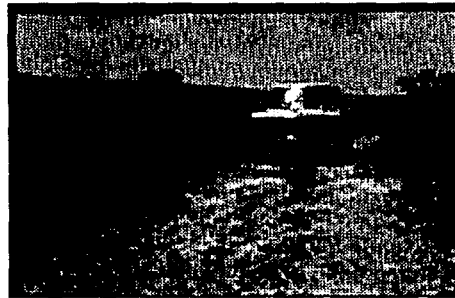
La primera mina de ópalo abierta fue la de Santa María Iris, en 1870 y en la cual se realizó el estudio del presente trabajo.

Los métodos de minado han cambiado muy poco en los últimos años. Los trabajadores continúan trabajando a mano, con cincel y martillo buscan el preciado material. Ellos buscan el ópalo que se forma en flujos de lava riolítica de color más fuerte, es decir, aquellos que van de un rosa fuerte a un rojo, o sea que siguen la oxidación como un patrón de mineralización.

Para realizar este trabajo se realizaron varias visitas a la Mina Iris, a continuacion de describiran las principales zonas que se observaron en el recorrido.



Foto 1: Vista panoramica de la Mina Iris. Aqui se puede observar el macizo rocoso formado de riolitas terciarias en el cual se deposita el Opalo de Fuego.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Foto 2: El acceso a la mina Iris se puede realizar ya sea en vehiculo o a pie, ya que se encuentra un camino de terraceria para llegar a ella.



Foto 3: Entrada a la Mina Iris



Foto 4: Ya dentro de la Mina Iris, podemos observar algunos tajos abiertos de donde se extrae el Opalo de fuego , en ocasiones se utiliza dinamita para realizar dichos tajos.



Foto 5: Aquí se pueden observar las paredes de roca riolitica que definen a la Mina Iris, esta parte de la mina en su gran parte es roca sana y muy competente., Existe un poco de oxidacion como podemos ver en la parte derecha superior de la foto. Esta paredes llegan a tener una altura de 70m.





Foto 6: Parte interna de la Mina Iris, la cual se presenta con oxidacion y es la parte de donde se extrae el opalo de mayor calidad.

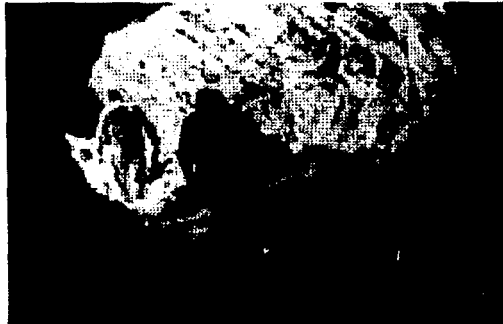


Foto 7: Aqui se muestra la mayor oxidacion presente en la Mina.



Foto 8: Zona de falla en la que se encuentra material arcilloso. Se realizo muestreo en esta parte de la mina.

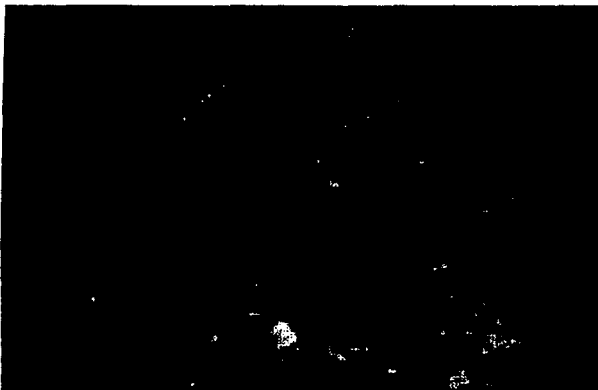


Foto9: Aqui podemos observar el metodo de extraccion del opalo, el trabajador cuenta solo con un cincel y martillo y ya encontrado un material de buena calidad, lo parte hasta lograr piezas de 5 cm. aproximadamente.



Foto 10: Fotografía donde se observa crecimientos de cristobalita que rellenan fracturas en la roca. El ópalo también ocurre como relleno secundario de cavidades.

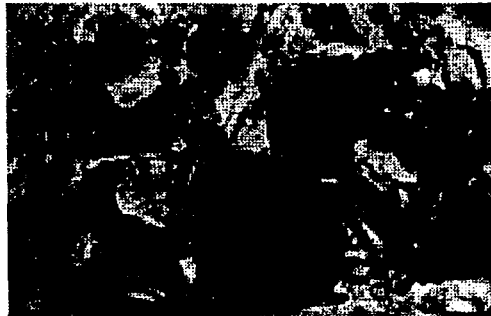


Foto11: En esta parte de la mina se encuentra lo que los trabajadores llaman "Oreja de Elefante" la cual es cristobalita y lechatelerita presentes en el deposito de Opalo. Tambien

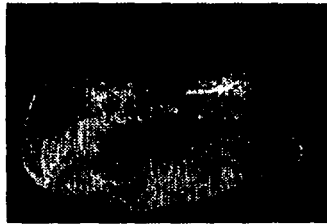
podemos observar que se encuentra el material con mucha oxidacion, lo cual denota que se encuentra el material de mayor calidad gema.

Habiendo descrito el recorrido en la mina, ahora definiremos el opalo que se encuentra en esta Mina.

Existen 4 tipos diferentes de Opalo Mexicano, de acuerdo a su color y forma en que se presenta:

1. Opalo "Jelly"

Opalo con dureza 5.5-6.5 , va de incoloro a color amarillo naranja, pudiendo llegar hasta el color rojo, parecido al ópalo matriz, a diferencia que este no se encuentra en la roca matriz



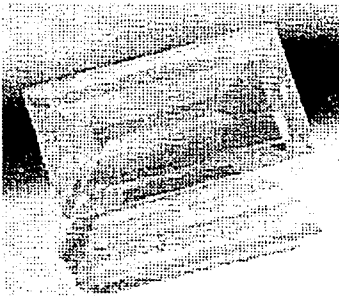
2. Opalo negro

Opalo con dureza 5.5-6.5 de verde oscuro a negro con juego de colores,



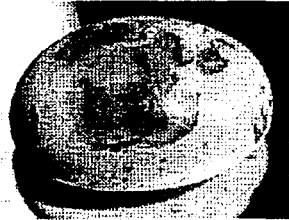
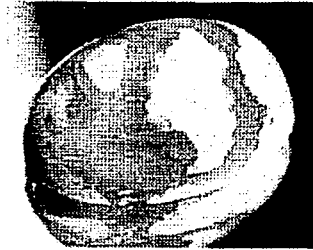
3. Opalo de fuego,

Opalo con dureza 5.5-6.5, color amarillo a naranja, llegando a rojo oscuro, también es llamado "ópalo cereza", su precio puede llegar hasta los \$400 dólares por kilate.



#### 4. Opalo matriz

Opalo con dureza 5.5-6.5, color amarillo anaranjado hasta rojo oscuro, con juego de colores, es cortado con la roca original en que fue encontrado (matriz).



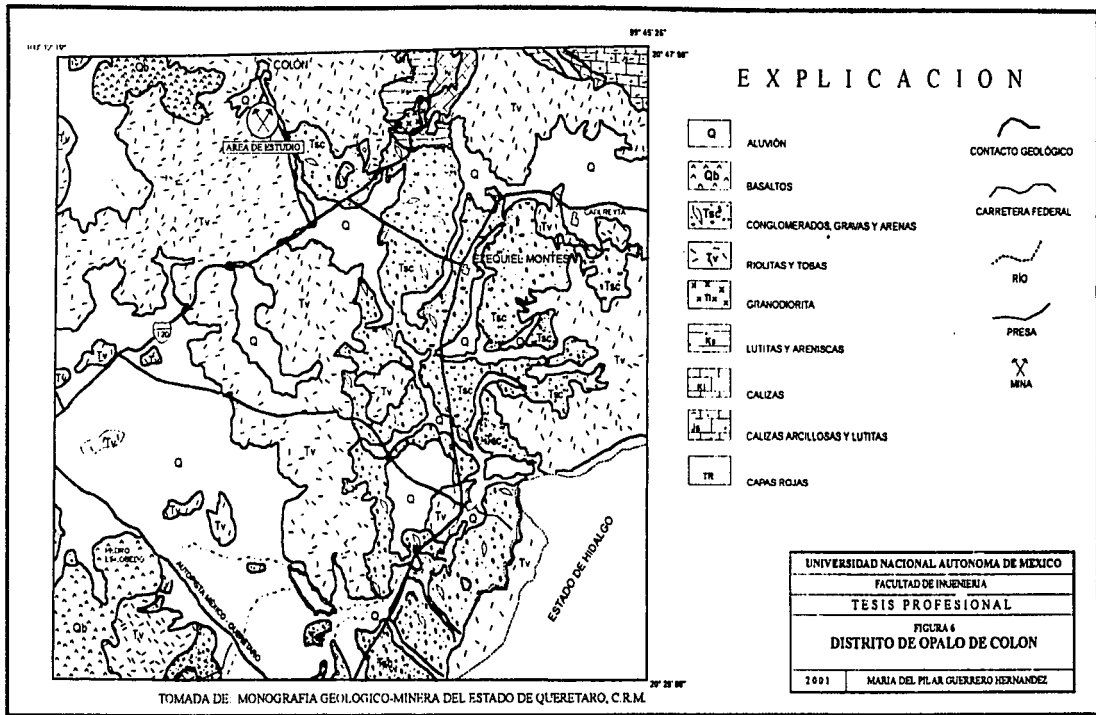
El ópalo matriz de esta mina se encuentra relleno dentro de los flujos riolíticos terciarios. Así como el ópalo Australiano es cortado conservando la matriz de fierro en que es formada, el ópalo mexicano también es cortado con porciones de la matriz, es por ello que algunos especímenes de ópalo vienen con pequeños remanentes de riolita roja, crema, rosada o obscura. Así el mineral que se obtiene no se rompe y puede representar mayor belleza.

Los trabajadores de esta mina conservan este mineral por algunos meses antes de venderlo, para secarlo y venderlo como un ópalo estable. Ellos mantienen el ópalo dentro de botes o tubos con agua. Sin embargo, aunque el humedecer el ópalo hace sus colores más intensos no lo hace más seguro. Algunos ópalos se rompen sumergidos en agua, algunos otros nunca lo hacen. Muchos ópalos de esta mina se han mantenido intactos a lo largo de cientos de años de uso.

La estabilidad del ópalo depende de las condiciones en que fue formado, es decir, de cuanta cantidad de agua posee. Un ópalo que contiene menos agua, por consecuencia tiene menos peso y menor gravedad específica y tiene menor capacidad de romperse que otro que contiene más agua. Es muy difícil escoger que ópalo es más frágil que otro, lo que se podría considerar es mantenerlo alejado de las altas temperaturas y de la alta humedad.

El ópalo es de origen hidrotermal de baja temperatura, confinado a depósitos superficiales. Se encuentra en varios tipos de rocas como relleno de fracturas, vetas, nódulos, impregnando a rocas porosas o como costra botroidal en los orificios de las rocas.

Un sistema hidrotermal trae disuelto sílice e impurezas como óxido férrico, alúmina, magnesio, etc., que vienen formando una sustancia coloidal o gel mineral que a medida que se enfría va penetrando por grietas, fracturas rocosas que van depositando esta sustancia, que una vez solidificada se conoce como ópalo, dependiendo de las impurezas es el color y la calidad de este (Shaub, 1987).



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### **III.1.1 Estructuras mineralizadas**

La mina corresponde a un tajo abierto con un rumbo preferencial NE-SW la cual ha sido labrada siguiendo una zona de brecha hasta interceptar una falla con rumbo S60°E (Corona y Benavides, 1989). La roca presenta una gran cantidad de fracturas de orientación NE28-72°SW preferentemente, llegando a fracturas de orientación mayor (NE72SW) cerca de la entrada a la mina.

El ópalo se encuentra como relleno de fracturas y matriz de brecha de falla; con menor frecuencia forma lentes paralelos siguiendo el sentido de flujo de la riolita.

Se presentan también algunas intercalaciones de lechatelierita, cristobalita como lo demostraron los estudios de difracción de rayos X. En la mina Iris, la lechatelierita se presenta formando estructuras masivas, por su parte la cristobalita, se presenta en las zonas de mayor alteración y los trabajadores de la mina le dieron el nombre de "Oreja de Elefante" debido a la forma que presenta.

El ópalo se encuentra asociado a riolitas con mayor contenido de fierro, entonces una buena guía para la búsqueda de ópalo es buscar las rocas con mayor índice de oxidación.

Las alteraciones presentes en la mina son: caolinización, oxidación y silicificación muy intensa, dichas alteraciones se observaron en todo el afloramiento, a excepción de las arcillas que únicamente se observaron en la zona de falla ubicada en la entrada a la mina.

El ópalo de fuego de esta mina es muy semejante al ópalo que se encuentra en las minas que se ubican al noreste de Oregon en Estados Unidos de Norteamérica. Dichas minas presentan un ópalo similar al mexicano, cuyo origen se debe a flujos riolíticos del terciario, el ópalo se presenta en geodas riolíticas; pero desafortunadamente el ópalo de estas minas es inestable, ya que se rompe a los pocos minutos de estar expuesto al aire, por lo cual no presenta ningún valor comercial (Holmes, 1956).

Existe mucha diferencia con el origen del ópalo de las minas de Andamooka en Australia, el cual ocurre en rocas sedimentarias, y es depositado en cavidades por la concentración de solución acuosa silicica, la cual forma primeramente un gel para finalizar con la creación de partículas de sílice, generalmente con un diámetro de 0.1-0.5 micromilímetros (Spencer, 1992).



*Opalo de Andamooka, Australia*

### ***III.1.2 Forma de explotación/extracción del yacimiento***

Como ya se mencionó, esta es una mina a tajo abierto y debido a la fragilidad del ópalo el uso del cincel y martillo continua siendo un método de extracción del material. Este método de extracción ha permanecido a lo largo de toda la vida de la mina.

Inicialmente se dinamita la pared del tajo, luego los fragmentos de roca resultados de la explosión se rompen manualmente con un marro o martillo, después el material es colocado en botes transparentes con agua.

Existe una asociación directa de Fierro-Aluminio con el sílice como lo muestran los resultados de elementos mayores (Tabla 1) pues en rocas con altos contenidos de sílice, son grandes las cantidades de Fierro-Aluminio, por lo que los trabajadores de la mina siguen este patrón para saber en donde se dinamitara después, ellos buscan las rocas que presenten una coloración mas rojiza, de mayor intensidad, y es donde abren nuevos tajos y empieza la búsqueda de horizontes de ópalo.

### **III.2 GEOQUÍMICA DE LA ROCA ENCAJONANTE**

#### ***III.2.1 Estudios realizados***

El estudio geoquímico de una región determinada consiste en un método sistemático de investigaciones que además de requerir de un muestreo bien planeado, requiere de mucha investigación bibliográfica y de campo.

El estudio que se realizó en esta mina, se llevó a cabo a lo largo de 4 meses, los cuales fueron definidos de la siguiente forma:

- a) Muestreo en la zona de estudio.
- b) Preparación del material (Departamento de Molienda)
- c) Tratamiento del material y elaboración de estudios. (Departamento de Rayos X)
- d) Interpretación de resultados

a) **Muestreo**

El muestreo que se realizó en esta mina tomo como parámetros las zonas que presentaban alguna alteración o alguna diferencia con la roca predominante.

Se extrajeron un total de 10 muestras para el estudio de geoquímica, mencionadas en la siguiente tabla:

Muestra	Descripción	Latitud	Longitud
GP-1	Lechaterilita	20°39'29.6"	100°05'29.6"
GP-2	Cristobalita dentro de una fractura con orientación S75°W, 90.	20°39'24.2"	100°05'31.1"
GP-4	Roca encajonante (riolita) con presencia de ópalo de fuego.	20°39'22.9"	100°05'52.2"
GP-5	Roca sana (riolita sin impurezas)	20°39'23.1"	100°05'51.7"
GP-6	Roca encajonante alterada.	20°39'24.4"	100°05'44.0"
GP-6'	Alteración de la roca	20°39'24.4"	100°05'44.0"
GP-8	Calcedonia dentro de roca encajonante	20°39'26.4"	100°05'57.0"
GP-9	Roca encajonante con alteración arcillosa	20°39'30.0"	100°05'43"
GP-9'	Perlita	20°39'30.0"	100°05'43"
GP-10	Arcillas dentro de falla con orientación S05°E,55	20°39'21.1"	100°05'41.0"

Nota: El levantamiento se realizó con GPS para el mejor posicionamiento y se puede observar en la figura 6 la ubicación de dichas muestras.



## b) Preparación del material

Cuando se realiza un estudio de tipo geoquímico, al momento de preparar el material de estudio es necesario limpiar la roca de cualquier tipo de alteración para no obtener valores anómalos que conllevan a una mala interpretación de resultados. En este caso la mayor importancia se basaba en el estudio de las alteraciones, por lo que se dejaron junto con la roca encajonante. En la tabla anterior se ven muestras que llevan un consecutivo, por ejemplo la muestra GP-6 y GP-6', en el primer caso se estudio la roca junto con las alteraciones presentes, mientras que la segunda muestra sólo era la alteración, para así poder clasificar que otros minerales acompañan a la roca encajonante.

A continuación se dan los pasos que se siguieron para preparar el material de trabajo.

- Se lavó la muestra total de roca, primeramente con agua y con una esponja para quitar cualquier impureza.
- Se fragmentó la roca a pequeños pedazos de algunos 5 cm de diámetro.
- Se limpiaron dichos fragmentos con acetona y en algunos casos se separó la alteración de la roca (muestras GP-6 y GP-9).
- Se introdujeron los fragmentos de cada roca dentro de la máquina de molienda, hasta obtener fragmentos de tamaños milimétricos. (al momento de acabar con una muestra, era necesario limpiar muy bien la máquina de molienda para quitar cualquier rastro de la muestra anterior).
- Se coloca cada muestra en pequeñas bolsas de plástico, poniendo su respectiva información.

### **c) Tratamiento del material y elaboración de estudios**

Los estudios de Geoquímica que se realizaron para esta investigación, fueron en el Laboratorio de Rayos X LUGIS, en el Instituto de Geología de la U.N.A.M., dicho laboratorio está a cargo del Químico Rufino Lozano Santa Cruz, quien ayudó laboriosamente a la realización de los estudios de difracción de las muestras de la Mina Iris.

Los análisis realizados constaron de dos partes:

- 1) Estudio por elementos mayores
- 2) Estudio por elementos traza

**1) Estudio por elementos mayores:**

- Para este estudio se necesita un preparado especial de la muestra, primeramente se pesan 8 gramos de muestra.
- Después se le agregan 0.4 gr. de fundente.
- Se colocan 2 gotas de aglutinante (bromuro de litio)
- Se mezcla todo y se funde.

**2) Estudio por elementos traza:**

- Se pesan 4gr. de muestra.
- Se le agregan 0.4 gr. de aglutinante.
- Se revuelve todo en un mortero, hasta tener una mezcla homogénea.
- Se introduce la mezcla en la prensadora.
- Se le agrega presión a la muestra y se obtiene una pastilla.
- Se etiqueta la pastilla y se introduce al espectrómetro para su estudio.

**d) Interpretación de resultados**

Los resultados que se obtuvieron de dicho estudio, demuestran la gran cantidad de sílice en la zona de estudio, así como de aluminio y en menor cantidad fierro.

El estudio de elementos menores da un contenido alto de Rb, Zr, y Ga .

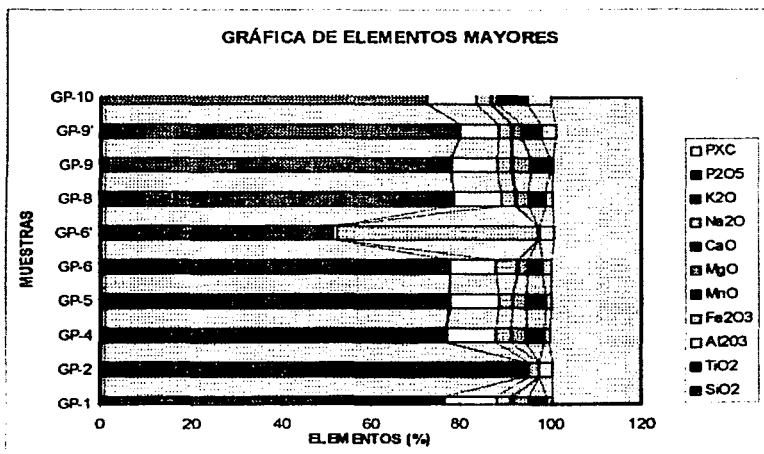
A continuación se muestran los resultados otorgados por el Laboratorio de Rayos X del Instituto de Geología de la U.N.A.M.

**ELEMENTOS MAYORES**

Muestra en %	GP-1	GP-2	GP-4	GP-5	GP-6	GP-6'	GP-8	GP-9	GP-9'	GP-10
SiO <sub>2</sub>	76.54	94.36	76.65	77.40	77.44	51.29	78.49	77.65	79.89	72.40
TiO <sub>2</sub>	0.142	0.009	0.138	0.134	0.134	0.013	0.134	0.131	0.106	0.139
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.38	0.787	11.06	10.82	10.21	0.915	10.63	10.36	8.477	10.95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.087	2.012	3.054	2.996	4.744	44.75	2.943	2.977	2.559	3.195
MnO	0.005	0.002	0.009	0.008	0.014	0.004	0.008	0.032	0.035	0.047
MgO	nd	0.011	nd	nd	nd	0.011	nd	0.005	0.014	0.031
CaO	0.58	0.037	0.080	0.045	0.051	0.041	0.043	0.15	0.165	0.212
Na <sub>2</sub> O	3.308	0.033	3.269	3.094	2.035	0.074	2.695	4.108	1.965	1.239
K <sub>2</sub> O	3.992	0.064	4.109	4.133	3.409	0.109	3.655	4.128	4.291	6.534
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006	0.007	0.008	0.006	0.011	0.013	0.006	0.004	0.007	0.008
PXC	1.13	2.83	1.29	1.14	1.91	3.3	1.58	0.68	3.47	5.26
Suma	99.65	100.1	99.66	99.76	99.96	100.4	100.1	100.2	100.9	100.0

**TABLA 1 : ELEMENTOS MAYORES**





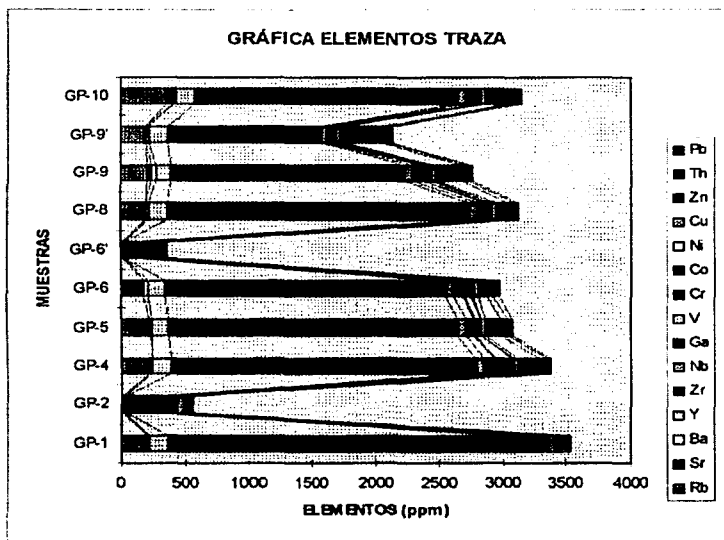
En esta gráfica se observa como de las diversas muestras recolectadas la cantidad de sílice es predominante, seguida por el Aluminio y el Hierro. No se encontró una preferencia de ubicación con la cantidad de sílice, es decir, la cantidad de sílice a la largo de toda la mina es homogénea, lo que si cambia es que a mayor Fe y Al contenga la riolita, mayor es su contenido de sílice, por ello podría ser un método de exploración para el ópalo.

También se observa que las riolitas que se estudiaron, tanto pura (GP-5) como las demás (GP-1, GP-4, GP-6, GP-8, GP-9) tienen cantidades equivalentes de sílice (entre 76-78%) así como alto contenido de hierro (del 2-4%), en cambio en las alteraciones las cantidades de sílice bajan considerablemente, llegando a decaer hasta un 50% (GP-6').

ELEMENTOS TRAZA

Muestra en ppm	GP-1	GP-2	GP-4	GP-5	GP-6	GP-6'	GP-8	GP-9	GP-9'	GP-10
Rb	216	13	225	225	178	8	202	215	192	369
Sr	nd	nd	3	nd	nd	nd	nd	36	2	53
Ba	8	14	18	20	34	13	19	26	24	16
Y	153	8	156	125	140	6	150	126	159	148
Zr	2712	271	2384	2270	2195	84	2362	1825	1198	2053
Nb	74	2	68	72	66	1	70	65	49	69
Ga	154	nd	86	58	80	1	68	83	26	105
V	7	10	9	9	11	19	1	4	6	5
Cr	47	108	126	48	45	75	36	55	29	2
Co	nd	1	1	nd	12	nd	2	nd	1	1
Ni	3	11	7	4	9	nd	6	4	6	4
Cu	38	50	39	39	33	nd	38	41	41	44
Zn	35	49	180	116	71	108	86	199	315	182
Th	53	11	51	53	47	3	52	46	42	47
Pb	30	12	24	39	46	43	36	40	44	47

TABLA 2 : ELEMENTOS TRAZA



En esta gráfica se observa la predominancia del Zr seguido por el Rb, Zn, se puede notar un descenso muy grande en la muestra GP-6' debido a lo alterada que se encontraba la muestra. Así que podemos deducir que el Zr se encuentra asociado directamente con el silice, específicamente con las rocas sanas que contienen alto contenido de ópalo.

En este caso la riolita sana (GP-5) comparada con la riolita que presenta ópalo (GP-4), notamos que los porcentajes son muy parecidos, las diferencias notables se notan en la presencia de Sr, Y, Ga, Cr, Zn que son mayores en la roca sana, en tanto la roca con ópalo tiene cantidades mayores de Pb, Th, Ba, pero son mínimas las diferencias.

Al hacer una comparación de las riolitas encontradas en el área de estudio y las riolitas que se toman como parámetro para definir a las rocas silíceas (tomadas del libro "Petrology" de Nockolds, 1978) notamos una diferencia muy leve. El porcentaje de composición química de las rocas volcánicas silíceas se menciona en la siguiente tabla (Nockolds, S.R.; Knox, R.W; 1978).

Se puede observar el alto contenido de Na<sub>2</sub>O así como el bajo contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la riolita peralcalina. La riolita, riodacita y dacita forman series en las que baja el SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O que coinciden con el incremento de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, fierro y CaO. La ferroriolita y ferrodacita difieren de la riodacita y dacita teniendo menor MgO y mayor fierro. Las mismas diferencias se notan entre la ferroriolita y riolita.

Tabla de porcentajes de rocas volcánicas silíceas

	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	72.18	74.57	71.10	66.27	62.68	68.40	64.73
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.17	0.37	0.66	0.57	0.85	0.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.59	12.58	14.15	15.39	17.07	13.18	15.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.77	1.30	1.56	2.14	2.31	2.59	2.13
FeO	2.80	1.02	1.33	2.23	3.01	3.44	4.37
MnO	0.15	0.05	0.05	0.07	0.12	0.11	0.16
MgO	0.15	0.11	0.55	1.57	2.44	0.77	1.91
CaO	0.59	0.61	1.87	3.68	6.14	3.17	5.63
Na <sub>2</sub> O	5.47	4.13	3.47	4.13	3.82	3.96	3.50
K <sub>2</sub> O	4.45	4.73	4.73	3.01	1.21	2.51	1.03
H <sub>2</sub> O+	0.41	0.66	0.71	0.68	0.46	0.78	0.46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.07	0.11	0.17	0.16	0.22	0.21

en donde:

1. Riolita peralcalina y riolita de obsidiana
2. Riolita alcalina y riolita de obsidiana (Bull. Geol. Soc. Am. 65, 1012, no. IV)
3. Riolita y riolita de obsidiana
4. Riodacita y riodacita de obsidiana (Ibid., p. 1014, no. IV)
5. Dacita y dacita de obsidiana
6. Ferroriodacita
7. Ferrodacita

Haciendo una comparación con la riolita encontrada en la zona de estudio, podemos observar que la riolita sana que se estudio (muestra GP-5) contiene los porcentajes similares a la muestra 3 arriba mencionada, con un incremento poco considerable de sílice y fierro en tanto que los otros elementos tienen un porcentaje muy parecido.

Por otra parte, la riolita con presencia de ópalo (muestra GP-4) posee mayor cantidad de sílice y de fierro, parecido a la muestra GP-5.

Esta comparación sirve en primer lugar para corroborar que los estudios de elementos mayores para nuestro material se realizaron de manera correcta, debido a que los porcentajes se parecen mucho, por otro lado podemos observar como la presencia de ópalo en las riolitas se denota en el incremento en la cantidad de sílice, además que el incremento de fierro se asocia a la presencia de ópalo, pues como ya lo mencionamos, las rocas que presentaban mayor oxidación eran las rocas con mayor contenido de ópalo, y eso se pudo observar al hacer estas comparaciones, ya que las rocas de este estudio presentan mayor cantidad de sílice y fierro que las riolitas que se tomaron como parámetro para estudiar las rocas silíceas.

---

### **III.2.2 Otros estudios**

Existe un trabajo elaborado por los investigadores Mikhail Ostroumov, Emmanuel Fritsch y Serge Lefrant , aplicando la espectrometria Raman y difracción de Rayos X a diversas muestras de ópalo provenientes de México, Brasil y Australia.

La espectrometria raman, esta es la medida de intensidad y longitud de onda de la disipación de luz en las moléculas. La disipación de luz raman ocurre en longitudes de onda que son desplazadas de la luz incidente por la energía de las vibraciones moleculares.

Por su parte, las longitudes de onda de rayos X son de la misma magnitud de la distancia entre átomos o iones en una molécula o cristal ( $\lambda$ , 10-10m) . Los resultados de difracción dependen de la longitud de onda de los rayos X, de la orientación y de la estructura del cristal. La difracción de rayos X se ve por la densidad del electrón y el análisis de los ángulos de difracción producidos en un mapa de densidad de electrón de un cristal en específico. El método consiste en la generación de rayos X por un bombardeo de electrones a una tarjeta de metal con alta energía (10-100 keV) que golpean al núcleo del electrón. El electrón en su parte externa rellena el orificio originado en la parte interna emitiendo un fotón de rayos X.

Tomando en base las definiciones anteriores, el estudio de espectrometria raman y difracción de rayos X se elaboro, como ya se menciona, con ejemplares provenientes de Brasil Australia y México, estos últimos de las minas Iris, Esperanza, Carbonera, Yerbabuena y Trinidad, todas en el estado de Querétaro y aledañas a la mina de estudio (Iris).

Los estudios de espectrometría Raman en los yacimientos volcánicos de México muestran espectros similares, a diferencia de los espectros obtenidos de los ejemplares de yacimientos sedimentarios de Australia y Brasil, los cuales muestran diferentes espectros.

Los ópalos mexicanos muestran una mezcla de 2 fases minerales: cristobalita y tridimita. Ninguna muestra mexicana presenta un difractograma del ópalo amorfo, lo cual habla de un ópalo bien cristalizado. Algunos estudios observaron la presencia de inclusiones fluidas mencionadas por Koivula en 1992, por lo tanto una parte del agua molecular de los ópalos puede encontrarse bajo la forma de inclusiones fluidas.

Por su parte los ópalos de Brasil muestran difractogramas muy desordenados, mientras que los ópalos de Australia un solo difractograma, ambos mostrando características típicas de materiales amorfos

Por conclusión los ópalos mexicanos (de origen ígneo) tienen las fases minerales más ordenadas que los ópalos de Brasil y Australia (de origen sedimentario) . Los primeros se caracterizan por una mezcla de las modificaciones de sílice bien cristalizadas (tridimita, cristobalita y cuarzo) . Los ópalos sedimentarios son esencialmente un material amorfo.

Los resultados mostraron que el estado estructural de las fases de sílice puede corresponder al origen geológico de los mismos

### III.3 ORIGEN DEL YACIMIENTO

Este yacimiento es de tipo hidrotermal de baja temperatura, lo cual es demostrado por la cantidad de sílice amorfo y ópalo presente, y las estructuras amigdaloides que se observan en el yacimiento.

Los estudios realizados por Levinson y Koivula en el año de 1992 con inclusiones fluidas en esta zona, demuestran que este es un yacimiento de tipo hidrotermal formado por encima de los 160°C, en un sistema hidrotermal separado de la atmósfera con la presencia de un gel silícico hidratado que se encuentra presente en muchas de las inclusiones fluidas. Los fluidos acuosos contienen mezclas de H<sub>2</sub>O, NaCl y CO<sub>2</sub> que fueron atrapados en algunas inclusiones fluidas. Esto hace ver que algunos fluidos estaban en fase de separación (boiling) durante la formación de los ópalos. Porque el dióxido de carbono es eliminado de algunos fluidos durante la fase de separación, lo que genera el entrampamiento de líquido acuoso, vapor de agua, dióxido de carbono y cloruro de sodio (Spencer, 1992). Las inclusiones que ellos encontraron y con las cuales trabajaron fueron: hornblenda, goetita, fluorita, kaolinita, hematita, cuarzo, pirita, cristobalita y rutilo.

Las muestras que se encontraron con horizontes intercalados de ópalo con riolita denotan que hubo varias etapas de depositación del ópalo.

De todo lo anterior se concluye que este yacimiento es hidrotermal de baja temperatura (epitermal), y el ópalo se presenta como relleno de fracturas y vesículas formadas por el escape de gases. La edad del yacimiento es se considera Terciario medio u Oligoceno que es la edad del flujo riolítico.



Definiendo el modelo geológico, la región de estudio está constituida por un paquete de rocas volcánicas extrusivas del Terciario Medio, formado por riolitas. Sobreyacen al derrame volcánico en forma discordante los conglomerados de la Formación Tarango (no observables en el afloramiento); cubriendo a la secuencia anterior, derrames basálticos

## TEMA IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- La roca encajonante consiste en una Riolita, a la que se le atribuye una edad del Oligoceno.
- Las alteraciones presentes son una intensa silicificación, argilización localizada en zonas de fractura y oxidación evidenciada por la presencia de goethita-limonita relleno de fracturas.
- El Yacimiento es de origen hidrotermal, de baja temperatura por estudios de inclusiones fluidas se obtuvo una temperatura de homogenización de 160 (Levinson-Koivula, 1992).
- La cantidad de Fe, Al y Zr aumentan con la cantidad de sílice. Las rocas que presentan mayor contenido de Fe-Al tienen un mayor contenido de ópalo.
- Existen varios tipos de calidad de ópalo en la Mina Iris, ópalo común de color blanco a rojo, ópalo lechoso de color blanco a azul claro que presenta un juego de colores y el Opalo de Fuego que varía de color amarillo hasta rojo con gran juego de colores.

### **Recomendaciones**

- Hacer un fechamiento tanto de la riolita como del ópalo para corroborar que se trata del mismo evento ígneo.
- Hacer un muestreo de las zonas aledañas a la Mina Iris, tomando como consideración el patrón geoquímico que asocia la presencia de oxidación con el ópalo.
- Hacer un estudio de inclusiones fluidas comparándolo con el realizado por Koikula y colaboradores para verificar su teoría del origen hidrotermal del yacimiento.

**ESTA TESIS NO SALIÉ  
DE LA BIBLIOTECA**

## BIBLIOGRAFIA

**Charles-Eyles, W.;** 1985; The Book of Opals; Charles E. Tuttle Company, Japan.

**Consejo de Recursos Minerales;** Monografía del estado de Querétaro.

**Dana, E.;** 1982; Tratado de Mineralogía; Ed. Continental, 4ª. edición.

**Hurlbut, C. Jr. y Kammerling, R. C.;** 1993; Gemología; Ed. Omega, 2ª. edición; Barcelona.

**Nockolds, S.R., Knox, R.W. y Chinner, G.A.;** 1978; Petrology; Ed. Cambridge University Press.

**Ward, F.;** 1997; Opals; Gem Book Publishers; U.S.A.

## REFERENCIAS HEMEROGRÁFICAS

**Barcena, M.;** 1873; Los ópalos de México; La naturaleza, p. 297-302; México

**Corona-Esquivel, R. y Benavides-Muñoz, M.E.;** 1989; Excursión de la Sociedad Mexicana de Mineralogía a las minas del Estado de Querétaro; Sociedad Mexicana de Mineralogía A.C., Boletín de Mineralogía, Vol. 4, No. 1, p. 80-85; México.

**Holmes-Ralph, J.;** 1956; Opal deposits near San Juan del Rio, Querétaro, Mexico; Economic Geology and The Bulletin of the Society of Economic Geologist, Vol. 51, No. 1, p. 116.

**Koivula, J. I., Fryer, Ch. and Keller, P. C.;** 1983; Opal from Querétaro, México, ocurrence and inclusions; Gemological Institute of America; Gems and Gemology, Vol. 19, No. 2, p. 87-96

**Lopez-Reyes, J.E. y Rivera-Carranza, E.;** 1990; Informe: Reconocimiento aéreo efectuado en la Sierra de Querétaro, comprende los municipios de Cadereyta, San Joaquín, Pinal de Amoles y Peñamiller, Qro.; Consejo de Recursos Minerales; México.

**Rangel Alexandri, R.;** 1953; Informe: Reconocimiento geológico de varias áreas comprendidas en la Hoja Cadereyta, Qro.; Consejo de Recursos Minerales; México.

**Shaub, B.M.;** 1987; The origin of fire opals; Rock & Gems; Vol. 17, No. 8, p. 36-39 U.S.A.

**Spencer, R. J., Levinson, A. and Koivula, J.;** 1992; Opal from Querétaro, México; fluid Inclusion Study; Gemological Institute of America; Gems and Gemology, Vol. 28, No.1, p. 28-34.

Instituto de Geología, UNAM  
 Departamento de Geoquímica  
 Octubre 6, 1997

M. en C. Alfredo Victoria Morales  
 Facultad de Ingeniería, UNAM  
 Presente.

A continuación me permito reportar el resultado del análisis por elementos mayores y traza practicado las muestras que recientemente nos envió y que corresponden a la tesis de Pilar Guerrero.

	GP-1	GP-2	GP-4	GP-5	GP-6	GP-6'	GP-8	GP-9	GP-9'	GP-10
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub>	76.542	94.361	76.654	77.408	77.445	51.295	78.491	77.657	79.899	72.401
TiO <sub>2</sub>	0.142	0.009	0.138	0.134	0.134	0.013	0.134	0.131	0.106	0.139
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.385	0.787	11.065	10.821	10.213	0.915	10.634	10.368	8.477	10.955
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.087	2.012	3.054	2.996	4.744	44.751	2.943	2.977	2.539	3.195
MnO	0.005	0.002	0.009	0.008	0.014	0.004	0.008	0.032	0.035	0.047
MgO	nd	0.011	nd	nd	nd	0.011	nd	0.005	0.014	0.031
CaO	0.058	0.037	0.080	0.045	0.051	0.041	0.043	0.15	0.165	0.212
Na <sub>2</sub> O	3.308	0.038	3.269	3.094	2.035	0.074	2.695	4.108	1.965	1.239
K <sub>2</sub> O	3.992	0.064	4.109	4.133	3.409	0.109	3.653	4.128	4.291	6.534
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006	0.007	0.008	0.006	0.011	0.013	0.006	0.004	0.007	0.008
Pb	1.13	2.83	1.29	1.14	1.91	3.3	1.58	0.68	3.47	5.26
RUMMA	99.65	100.16	99.66	99.76	99.96	100.49	100.19	100.24	100.99	100.02
Rb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Rb	216	13	225	225	178	8	202	215	192	369
Br	nd	nd	3	nd	nd	nd	nd	36	2	53
Ba	8	14	18	20	34	13	19	26	24	16
Y	153	8	156	123	140	6	150	126	159	148
Zr	2712	271	2384	2270	2195	84	2362	1825	1198	2053
Nb	74	2	68	72	66	1	70	85	49	69
Ge	154	nd	86	58	80	1	68	83	26	105
V	7	10	9	9	11	19	1	4	6	5
Cr	47	108	126	48	45	75	36	55	29	2
Co	nd	1	1	nd	12	nd	2	nd	1	1
Ni	3	11	7	4	9	nd	6	4	6	4
Cu	38	50	39	39	33	nd	38	41	41	44
Zn	35	49	180	116	71	108	86	199	315	182
Th	53	11	51	53	47	3	52	46	42	47
Pb	30	12	24	39	46	43	36	40	44	47

ATENTAMENTE

Químico Rubino Lozano Santa Cruz  
 Laboratorio de Rayos X LUGIS

ccp. Archivo del Departamento de Geoquímica

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

73