

ESTUDIO DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ÓPALOS Y MINERALES ASOCIADOS DEL ÁREA DE TINAQUILLO, ESTADO COJEDES.

Astrid del Valle, Colomine Lobo.

Caracas, agosto de 2001

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	50
1. INTRODUCCIÓN	51
1.1. Generalidades	51
1.2. Objetivos y alcances del trabajo	52
1.3. Área estudiada	52
2. MINERALES DE INTERÉS GEMOLÓGICO: ÓPALO Y JASPE	52
2.1. Estudios realizados	52
2.2. Definición	54
2.3. Origen	55
2.4. Composición química	56
2.5. Propiedades ópticas	57
2.6. Clasificaciones mineralógicas	59
2.7. Variedades	61
2.8. Áreas productoras a nivel mundial	63
2.9. Ocurrencia en Venezuela	64
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOGRÁFICOS	64
3.1. Trabajos previos del sistema montañoso del Caribe y de la región de Tinaquillo.	64
3.2. Geología regional	64
3.2.1. Cinturón de la Cordillera de la Costa	64
3.2.2. Cinturón Cauagua- El Tinaco	64
3.2.3. Cinturón de Paracotos	65
3.2.4. Cinturón de Villa de Cura	65
3.3. Aspectos locales	67
3.3.1. Fisiografía	67
3.3.2. Clima y vegetación	67
3.3.3. Hidrografía	67
3.3.4. Geología local	67
3.3.4.1. Peridotita de Tinaquillo	68
3.3.4.2. Complejo El Tinaco	69
3.3.4.3. Esquisto de Las Mercedes	69
3.4. Reconocimiento geológico de la zona de estudio	70
3.4.1. Hato Tamanaco	70
3.4.2. Casupo	73
3.4.2.1. Casupo Noreste	74
3.4.2.2. Casupo Noroeste	75
3.4.3. Tetas de Tinaquillo	75
4. MATERIALES Y MÉTODOS	80
4.1. Descripción de las muestras sometidas a análisis químicos	80
4.2. Determinación química de elementos traza	84
4.2.1. Análisis de activación neutrónica instrumental (INNA)	85
4.2.2. Espectroscopia por emisión de plasma (ICP)	85
4.3. Análisis de difracción de rayos X	85
4.4. Determinación del color	86

	Pág.
4.5. Análisis petrográfico de secciones finas	86
4.6. Análisis gemológico	86
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
5.1. Análisis químicos	86
5.2. Análisis de difracción de rayos x (DRX)	106
5.3. Color	106
5.4. Análisis petrográfico	106
5.5. Análisis gemológico	120
5.6. Relación del proceso de formación del ópalo con su roca caja	122
5.7. Posibilidades económicas en la extracción, comercialización y empleo del ópalo en Venezuela	122
5.8. Equipos y maquinarias necesarios para la talla de ópalos	123
6. CONCLUSIONES	126
7. AGRADECIMIENTO	128
8. GLOSARIO	128
9. LISTA DE FIGURAS	129
10. LISTA DE MAPAS	131
11. LISTA DE TABLAS	131
12. BIBLIOGRAFÍA	131

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio de los diferentes tipos de "ópalo" y minerales asociados, localizados en el área de Tinaquillo, estado Cojedes, con el fin de ubicarlos y delimitarlos, establecer sus características mineralógicas, químicas y gemológicas, su relación con la roca caja, así como sus posibilidades económicas y comerciales para su utilización en el mercado venezolano.

Las muestras colectadas se analizaron químicamente con los métodos de análisis de activación neutrónica instrumental (INAA) y espectroscopía por emersión de plasma (ICP); se analizaron mineralógicamente por difracción de rayos X (DRX); se determinó el color mediante escala europea (DIN) y se llevaron a cabo análisis petrográfico de secciones finas y análisis gemológico.

Se identificaron tres tipos de muestras que en orden decreciente de abundancia son: ópalos comunes unicolores del tipo tridimita (ópalo -T), cuarzos criptocristalinos y jaspes, de los cuales comercialmente hablando, sólo son adecuados para la talla, los ópalos de colores verdes, naranja, blancos dendríticos, blancos y crema, por su hermoso color, brillo y cohesión, aunado a su fácil y bajo costo de extracción y talla. En todos los tipos de muestras se destaca la presencia de ciertos elementos característicos que parecen estar relacionados con el color: el Mg. en los blanco opaco, el S en los blanco translúcido, el Fe en los crema a marrón, el Ni en los verdes, el Ca en los naranja, el Na en los blanco morado a blanco gris y el K en los grises. Pese a ello, no se puede adjudicar una relación directa entre la existencia de un determinado elemento y la generación de un color específico, ya que un mismo elemento puede estar ligado a más de un color diferente, por lo que se sugiere, que una posible explicación podría hallarse, en la cantidad en que se encuentre presente el elemento, su estado de oxidación y tipo de combinación con otros elementos.

Se presume que estos ópalos pudieron formarse a través de un doble proceso: algunos ópalos por acción hidrotermal, ubicados a cierta profundidad, los cuales presentaron una textura característica en forma de enrejado o "box-work" y otros, expuestos en superficie, localizados en zonas aledañas donde hay precipitación de hierro en forma de óxido, que aduce una acción conjunta con las aguas meteóricas. Este proceso combinado es más común de los que se cree, ya que el origen del agua de las soluciones hidrotermales es por lo general mixta, pudiendo combinarse fuentes de agua magmática, agua metamórficas y aguas meteóricas, expuestos en superficie, localizados en zonas aledañas donde hay precipitación de hierro en forma de óxidos, que aduce una acción conjunta con las aguas meteóricas.

Estos ópalos podrían emplearse en el campo de la joyería y orfebrería, al tallarlos en cabujón, fantasía, en forma de cuentas o engastándolos en bruto; como artículos ornamentales tales como esculturas, tapitas de pastilleros, relojes de pared, rosarios; como objetos utilitarios para escritorio, juegos de ajedrez, y como piezas para coleccionistas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Historia del ópalo

El nombre de ópalo deriva del sánscrito "upala" que significa piedra preciosa. Fue introducido en Grecia durante el siglo I A.C. y fue conocido como "opallios", resultado de la combinación de dos palabras: opaco y óptico, dicho literalmente, para ver un cambio de color. Fue tan apreciada en tiempos romanos que tuvo el apodo de "Cupido". En Indonesia, se llamó "kalimaya" derivado del sánscrito, es decir, ilusión, y en javanés "kali" o río de ilusión. El nombre azteca fue "vitzitziltecpalt" o pájaro cantor, que hacía alusión al brillo del plumaje de un pájaro por su cambio de color.

Todos los registros de descubrimientos iniciales de ópalo se han perdido en el tiempo y es complicado poder establecer la fecha de la primera vez que fue usado con fines ornamentales. Se cree que hubo una posible referencia dada por Omacritus (530-480 A.C.) de que el ópalo fue conocido por los antiguos griegos y romanos, pero se duda porque escritores posteriores como Aristóteles y Theophrastus quienes escribieron sobre los mineralogistas griegos y de sus pocas piedras preciosas, no lo mencionan (SMITH & THROWER 1978).

Las referencias más tempranas del ópalo como gema aparecen entonces en las escrituras romanas, 250 años A.C. por Plinio en su Historia Natural. Se dice que Alberto Magno, el historiador romano describió un famoso ópalo como el "Ophanus" el cual estaba incrustado en la corona imperial de Roma y fue llamado "El Ojo Mágico" (LONECK 1986).

Aunque se cree que La India fue la fuente de los ópalos, ya que los primeros se hallaron en las lavas Deccan, es factible que hayan venido hasta los romanos desde lo que es hoy Slovakia, entre 200 y 100 años A.C., importadas a través de las rutas de comercio orientales vía Estambul, haciendo probablemente su camino a su centro de comercio desde las cercanías de Dubnik en las Montañas Carpatos de Hungría del norte.

El ópalo fue apreciado por muchas civilizaciones. Los antiguos turcos creyeron firmemente que esta piedra de fuego cayó desde el paraíso en un destello de relámpago, bajando como una lluvia de ópalos granizados ardientes hasta la superficie de la tierra en el tiempo de las terribles tormentas cuando el mundo era joven.

Muchas cualidades le han sido atribuidas a través del tiempo. Se creía que si una mujer lo llevaba se hacía desea-

ble y que colocándolo en los cabellos rubios, preservaba el color. En el hombre, se suponía que le impartía fuerza, coraje y vitalidad. Representó una protección ante el suicidio, el envenenamiento o el asesinato por cuchillo. Era símbolo de salud y tenía la virtud de curar las afecciones de los ojos y otorgar buena memoria.

Parece ser que las ominosas cualidades asociadas al ópalo no se desarrollaron hasta el siglo XIX, con la novela "Ana de Geierstein" escrita por el Sr. Walter Scott en 1829. En esta obra se refirió a un ópalo que reflejaba la vida de su heroína: brillaba cuando ella estaba feliz y producía destellos rojos cuando estaba molesta. Ambas estaban encantadas y se les roció agua bendita, perdiendo la gema su brillo y muriendo su heroína dentro de un desmayo. Esta historia hizo creer que el ópalo estaba conectado con el diablo y se interpretó que se refería al de la reina Elizabeth y se llamó "Ojo del Diablo", ocasionando que disminuyera su valor a la mitad, al igual que su fascinación, un año después de su publicación.

Se sugiere que la mala suerte de los ópalos fue creada intencionalmente por los dueños de las minas en Hungría, único recurso existente para 1810 antes de la aparición de los australianos, con el fin de evitar tantos robos.

Los ópalos australianos fueron descubiertos en 1849 en el sur de Australia, por el explorador y mineralogista germano Johan Menge, cerca de Angaston, en el valle Barrrosa. En 1915 y 1930 respectivamente, se descubrieron los grandes depósitos de Coober Pedy y Andamooka (LONECK 1986).

Historia del jasper

El nombre de jasper proviene del griego, que significa "piedra manchada". Etimológicamente significa "piedra de decoración". En el pasado fue utilizado como precinto y amuleto contra los problemas visuales y para evitar las sequías en los campos.

El libro de gemas más antiguo, llamado Peri Lithon (THEOPHRASTUS 372 A.C.) describe un material que llamó jasper. El mismo nombre fue utilizado por los romanos y por escritores posteriores que lo emplearon en el lenguaje latino.

Theophrastus usó iaspis como término genérico para adjudicarlo a varias rocas transparentes o translúcidas, uso que difiere del actual, que está restringido a variedades opacas o casi opacas de cuarzo microgranular y/o cuarzo microcristalino fibroso (calcedonia) o mezcla de los dos.

La palabra es todavía más antigua y se deriva de los

hebreos, quienes la llamaban jaspeh, fashpeh o jashpeh, la cual a su vez se deriva de los asirios. Jaspe aparece en el viejo testamento como la onceava piedra incrustada en el peto del más alto sacerdote, constituyendo la representación de una de las doce tribus de Israel y la legendaria piedra de construcción del nuevo Jerusalén.

Dioscorides, famoso autor de un libro de medicina, describe en el siglo I A.C., cien minerales que incluyen al iaspidoslithon, literalmente, piedra de jaspe que se utilizaba como amuleto. Algunas veces la describió como verde esmeralda, otras como hielo, llama, o cielo azul. Otro escritor llamado Astrios, lo describió como blanco, con raya brillante, pero coincidía con Dioscorides en que todas esas variedades eran útiles como amuletos en la ayuda a la mujer en el momento del alumbramiento.

El trabajo más grande en cuanto a gemas, escrito en tiempos antiguos fue el Libro 37 de la Historia Natural de Plinio. Él mencionó entre diez y catorce variedades de iaspis o jaspes. Pero entre estos tipos se incluyeron posibles calcedonias, lapislázulis y jaspes y la mayoría de las descripciones se limitan al color. Le confiere el poder de la buena suerte cuando se desea hablar u orar en público. Como puede apreciarse, este término ha sido muy confuso desde el pasado y el propio Plinio admite su confusión sobre el jaspe, pudiendo no aplicarse a los jaspes actuales, ya que incluyó como jaspe a la esmeralda, jade y otras gemas. El problema es que dicha confusión persiste hasta ahora.

En 1820, Jamerson, uno de los mejores mineralólogos sistemáticos del siglo XIX separa al plasma, heliotropo, ágata jaspe y jaspe como cuatro de las catorce subespecies del cuarzo. Al jaspe lo dividió en cinco clases: jaspe egipcio, jaspe bandeado, jaspe porcelana, jaspe común y jaspe ágata.

Más tarde, para el año 1837, DANA generó un sistema mineralógico que muchos adoptaron. Definió al jaspe como "subtranslúcido u opaco, que puede ser marrón, amarillo o rojo y algunas veces bandeado. Con algún contenido de óxido de hierro y poca alúmina (FRAZIER 1989).

Concatenando todo esto se tiene que una gran variedad de material ha sido llamado jaspe aún en el mundo moderno. Su papel como gema a diferencia del ópalo es muy modesta, pero destaca notablemente como piedra ornamental. Se utilizó desde tiempos atrás en la vieja Rusia zarista para darle mayor lustre a los palacios en forma de magníficos mosaicos, así como hermosos objetos de grandes dimensiones como copas, vasos y esculturas. Entre los restos de antiguas civilizaciones se han encontrado sellos cilíndricos y amuletos de jaspe (TORCAL 1983).

1.2. Objetivos y alcances del trabajo

El presente trabajo tiene como objetivo, realizar un estudio de los diversos tipos de ópalos en la zona de Tinaquillo, estado Cojedes, con el fin de ubicarlos, delimitarlos, determinar sus características mineralógicas, químicas y gemológicas así como establecer las relaciones geológicas entre ellos y su roca caja. Con esto se persigue poder determinar las posibilidades económicas y comerciales de sus depósitos, tratar de caracterizar su mercado en Venezuela así como la factibilidad de emplear tanto muestras en bruto como talladas, y el tipo de maquinaria a emplear.

1.3. Área estudiada

El área reconocida es de aproximadamente 48 km² y está ubicada aproximadamente a 3 Km. al noroeste de la ciudad de Tinaquillo, estado Cojedes, con coordenadas UTM (Zona 19): N 1.094.000 y N 1.103.000, E 564.000 y E 575.000.

Se extiende desde la Fila El Volcán y La Montañita al oeste, hasta Tinaquillo al este, y de norte a sur, desde Cerrito Blanco hasta las Tetras de Tinaquillo - Hato Tamanaco, respectivamente (Fig. 1).

2. MINERALES DE INTERÉS GEMOLÓGICO: ÓPALO Y JASPE

2.1 Estudios realizados

Ópalos

Hasta 1964, la naturaleza del ópalo fue poco comprendida a pesar de que el mecanismo de difracción de la luz que explicaba el juego de colores tan preciado en estos minerales, fue propuesto por Brester en 1845.

Se usaron técnicas de replicación y de transmisión de microscopía electrónica (TEM) para poder interpretar el arreglo ordenado de esferas de partículas coloidales de SiO₂ hidratado la cual fue confirmada posteriormente. Se dispuso de más detalles con el microscopio electrónico de barrido (SEM), y se supo que las partículas coloidales individuales con tamaño de 30 a 40 nm, se agrupaban para formar esferas mayores, de aproximadamente 150 a 450 nm de diámetro. Las más grandes se ordenan en una estructura de capas concéntricas debido a agrupaciones de unidades coloidales. En ópalos preciosos, las esferas eran más uniformes en tamaño, el empaquetamiento más perfecto que en otras variedades y el arreglo esencialmente cúbico. En la mayoría de las muestras existían espacios vacíos o cemento claramente diferenciable, posiblemente de sílice entre las esferas. Debido a esto, el contraste de densidad crea una difracción irregular con una periodicidad cuya magnitud admitía la difracción de la luz incidente.

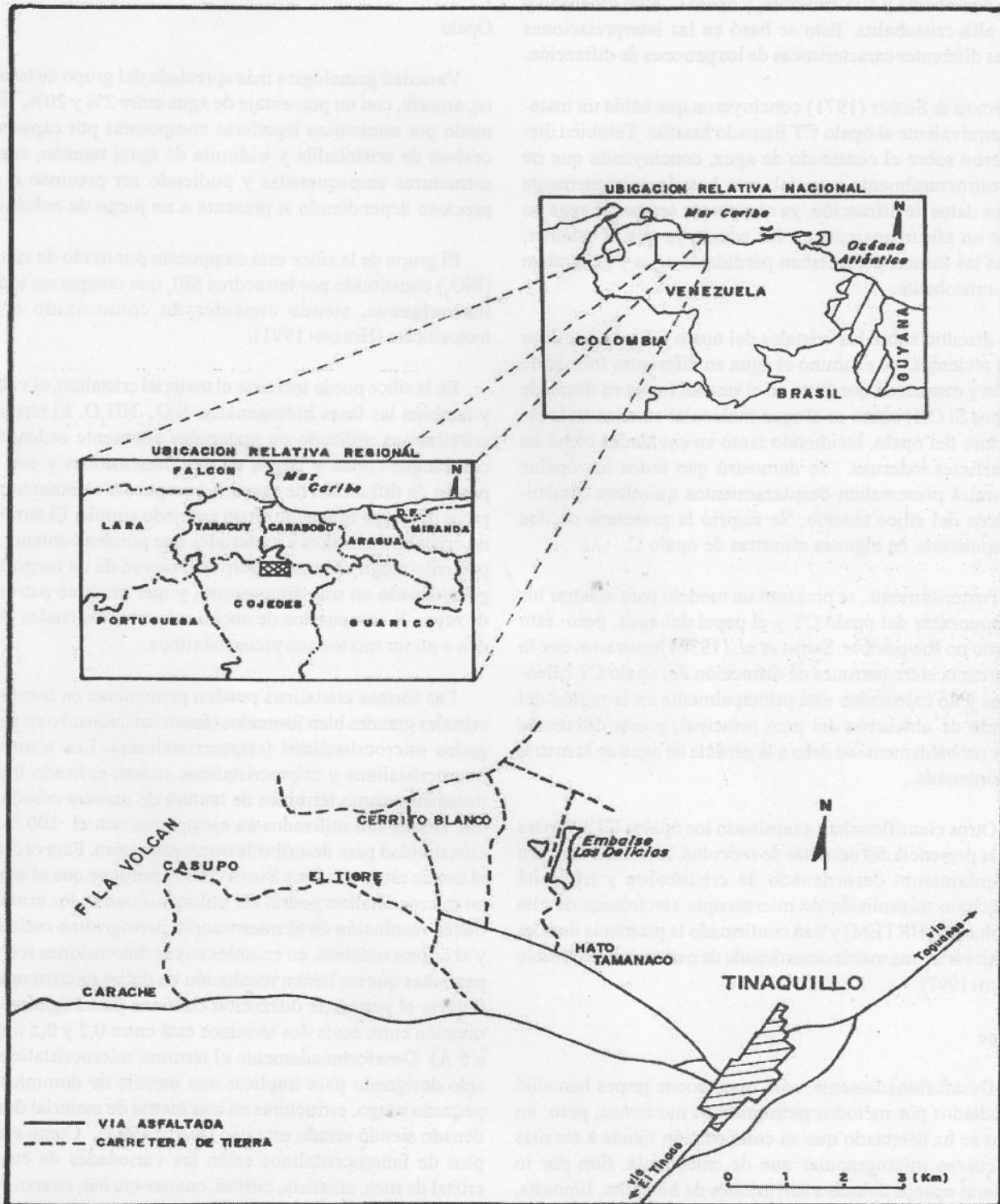


Fig. 1
Ubicación de la zona de estudio

JONES & SEGNET (1971) ampliaron los estudios de rayos X, presentados por primera vez para el año 1933 por LEVIN & OTT. Estos ópalos fueron divididos en tres tipos: ópalo A, ópalo CT y ópalo C. El ópalo A fue descrito como altamente desordenado, casi amorfo; el ópalo CT, desordenado, con alfa-cristobalita y alfa-tridimita; y ópalo C, bien ordenado y con alfa-cristobalita. Esto se basó en las interpretaciones de las diferentes características de los patrones de difracción.

JONES & SEGNET (1971) concluyeron que había un material equivalente al ópalo CT llamado lusatita. También discutieron sobre el contenido de agua, concluyendo que no era estructuralmente esencial, esto basado aparentemente en los datos de difracción, ya que parece ser que el agua no tiene un efecto aparente en sus trazos, ya que al calentar, todas las formas presentaban pérdida de agua y generaban alfa-cristobalita.

Se discutió sobre los cristales del ópalo CT y en estudios más recientes, se examinó el agua en diferentes formas de ópalo y mostraron que tanto en el sinanol (agua en forma de grupos Si OH) como en el agua molecular existían en la estructura del ópalo, residiendo tanto en cavidades como en superficies externas. Se demostró que todos los ópalos naturales presentaban desplazamientos químicos característicos del sílice amorfo. Se sugirió la presencia de dos componentes en algunas muestras de ópalo C.

Posteriormente, se presentó un modelo para mostrar los componentes del ópalo CT y el papel del agua, pero esto último no fue posible. SMITH *et al.* (1978) mostraron que la diferencia entre patrones de difracción del ópalo CT calentados y no calentados está principalmente en la región del ángulo de ubicación del pico principal, y esta diferencia muy probablemente se deba a la pérdida de agua de la matriz desordenada.

Otros científicos han examinado los ópalos CT y C para ver la presencia del dominio de retículos, los cuales simulan el apilamiento desordenado de cristobalita y tridimita utilizando transmisión de microscopía electrónica de alta resolución (HRTEM) y han confirmado la presencia de tales dominios en una matriz desordenada de material inimaginable (SMITH 1997).

Jaspe

Desafortunadamente, sólo unos pocos jaspes han sido estudiados por métodos petrográficos modernos, pero en ellos se ha detectado que su composición tiende a ser más de cuarzo microgranular que de calcedonia. Son por lo general opacos debido a inclusiones de hematita, limonita, minerales de arcilla o de minerales silicatados de hierro de grano fino.

Los conformados por cuarzo de gran pureza, gradan directamente de ágatas jasperizadas a calcedonias y ágatas y los menos puros, se introducen en las rocas (FRAZIER 1989)

2.2. Definición

Ópalo

Variedad gemológica más apreciada del grupo de la sílice, amorfa, con un porcentaje de agua entre 2% y 20%, formado por numerosas lepisferas compuestas por capas sucesivas de cristobalita y tridimita de igual tamaño, como estructuras empaquetadas y pudiendo ser precioso o no precioso dependiendo si presenta o no juego de colores.

El grupo de la sílice está compuesto por óxido de silicio (SiO_2) constituido por tetraedros SiO_4 que comparten todos los oxígenos, siendo considerado como óxido o un tectosilicato (HOLDEN 1991).

En la sílice puede incluirse el material cristalino, el vidrio y también las fases hidrogenadas $\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$. El término cristalino es utilizado en materiales altamente ordenados con rangos cortos y largos en tres dimensiones y con un patrón de difracción de rayos X compuesto solamente por picos de Bragg ordenado en un enrejado simple. El término no cristalino se aplica a materiales que pueden contener un pequeño rango ordenado, pero que carece de un rango largo ordenado en tres dimensiones y que produce patrones de rayos X compuestos de ancho máximo, los cuales pueden o no ser mixtos con picos máximos.

Las formas cristalinas pueden presentarse en forma de cristales grandes bien formados (fanerocristalinas) o en agregados microcristalinos (criptocristalinas). Los términos microcristalinos y criptocristalinos se han aplicado indistintamente como términos de textura de manera común ya que ambos son utilizados en ejemplares con el 100 % de cristalinidad para describir la microestructura. Para ordenar el uso de estos términos SMITH (1997) propone que el término microcristalino podría ser utilizado cuando los cristales tienen resolución en el microscopio petrográfico estándar, y el criptocristalino, en cristales cuyas dimensiones son tan pequeñas que no tienen resolución en dicho microscopio y todavía el patrón de difracción contiene picos agudos. La división entre estos dos términos está entre 0,2 y 0,5 nm (2 a 5 Å). Desafortunadamente el término microcristalino ha sido designado para implicar una mezcla de dominios de pequeño rango, estructuras en una matriz de material desordenado siendo errado este uso (SMITH 1997). Como ejemplos de fanerocristalinos están las variedades de cuarzo cristal de roca, amatista, citrino, cuarzo-citrino, cuarzo ahumado, y entre las criptocristalinas están las de jaspe, ágata, calcedonia, cornalina, onix, etc.

Las variedades amorfas de sílice hidratada carece de cristalinidad y entre ellas se encuentra el ópalo que es considerado como gema pero también existen las no hidratadas, que son los vidrios naturales (lechatelieritas) y los botones de vidrio de los cuales se creen que tienen un origen meteórico como las tectitas llamadas comúnmente, moldavitas.

Jaspe

Variedad ornamental de sílice criptocristalino constituido por una masa heterogénea de cuarzo opaco muy pigmentado con minerales coloreados por materiales extraños, generalmente óxido de hierro o materia orgánica, pudiendo ser también, aunque más raramente, unicolores. Generalmente se incluyen dentro de las calcedonias pero constituyen un grupo independiente dentro de la familia de los cuarzos.

Son minerales opacos o muy cercanos a ello en muestras de mano, compuestos por granos muy finos de cuarzo, algunas veces de calcedonia, o una mezcla de ambas (Frazier 1989).

Hay una gran confusión con el jaspe, que se relaciona indistintamente con el chert, pedernal y ágata. Se dice que el cuarzo criptocristalino es jaspe y si es de cualquier otro color es chert. Dana, el padre de los mineralogistas lo define como un "cuarzo granular criptocristalino usualmente coloreado de rojo por inclusiones de hematita".

Los gemólogos y lapidaristas definen al jaspe como una calcedonia opaca impura y les gusta muy poco definir su color. Parson y Soukup señalan que la única diferencia entre el ágata y el jaspe es que el jaspe es opaco y el ágata translúcida. Sinkankas declara que el "jaspe es usado para designar a las clases impuras de calcedonias en las cuales el bandeamiento concéntrico está ausente y hay impedimento en lo translúcido". Si se toma la definición del lapidarista, donde el jaspe es un cuarzo criptocristalino de grano fino, impuro, opaco asociado a la calcedonia, podría ser confuso. Simpley define al chert como un cuarzo criptocristalino de grano muy fino pero que no constituye un material gemológico. Dana utiliza el color como distintivo, llamando pedernal a un cuarzo criptocristalino granular de color oscuro y chert, muy similar al anterior pero usualmente de color claro. Sinkankas hizo la distinción en cuanto a que el chert aparece en lentes o capas de rocas sedimentarias mientras el jaspe por lo general está asociado al basalto y a otros depósitos ígneos. En los sitios donde se tallan gemas de la familia de los cuarzos, todos los cuarzos opacos criptocristalinos son considerados jaspes, mientras que la calcedonia siempre es translúcida o semitranslúcida. El chert no se considera como gema.

Gran parte de esta confusión se debe a que el jaspe, el chert y el pedernal tienen propiedades físicas muy semejantes: dureza de aproximadamente 7, brillo sub-vítreo a céreo, fractura concoidea y gravedad específica 2,6. En su mayoría quebradizas y algunas muy impuras, que pueden ser fibrosas. Además, poseen la misma fórmula química de dióxido de silicio o SiO_2 (ZEITNER 1964).

2.3. Origen

Ópalo

El ópalo se cree que puede tener varios orígenes: volcánico, autigénico, hidrotermal, plutónico y orgánico.

El ópalo se puede formar en una etapa tardía en rocas volcánicas, usualmente llenando vesículas y fracturas, y también, en rocas sedimentarias, generalmente areniscas llenando cavidades o en grietas de desecación. En ambos casos el sílice probablemente derive localmente de vidrios volcánicos depositado a partir de aguas subterráneas como un gel en aberturas disponibles en la roca. El tiempo permite que el gel se desique y se endurezca produciendo el ópalo. Con tiempo suficiente toda el agua debe perderse y el sílice cristalizará completamente a cristobalita y finalmente, a cuarzo. Los ópalos son geológicamente jóvenes, raramente más antiguos que el Mioceno (SMITH & THROWER, 1978). Los ópalos depositados directamente en las cavidades de las rocas volcánicas son usualmente ópalos C-T. Un bajo grado de metamorfismo, temperaturas menores a 100 °C y presión litostática, inducen a la formación de ópalo C-T y ópalo C (el más ordenado) a partir del ópalo A (SMITH 1997).

En otros depósitos, la fase del ópalo puede formarse autigénicamente en lugar del material preexistente. Se presenta como una etapa accesoria en depósitos de bentonita y otras rocas que se forman de la alteración de ceniza volcánica por aguas superficiales y subterráneas pudiendo ser una fase mayor donde los materiales originales fuesen altamente silíceos. Muchos ópalos preciosos se forman en ambientes áridos cuando el agua subterránea filtra sílice a partir de la ceniza volcánica cercana a la superficie y es redepositada en sus cavidades y fisuras en el subsuelo (SMITH 1997). La mayoría de los depósitos de ópalos son masivos, incluyendo las variedades de gemas depositadas en cavidades y fisuras, así como las variedades porosas de origen prácticamente inorgánico como la geysierita. También, pueden derivarse por precipitados químicos o acumulaciones mecánicas, englobándose como yacimientos singenéticos. Los materiales de mena que son suministrados a las cuencas de depositación conjuntamente con cuarzo, arcillas y sólidos disueltos, productos de la meteorización mecánica y química, son los que dan origen a los sedimentos clásticos y no clásticos. Las principales

menas formadas por precipitados químicos incluyen a los óxidos, silicatos, carbonatos de hierro y manganeso. La precipitación química de estos sedimentos dependen de muchos factores, como por ejemplo, la existencia de los iones propiamente dichos y el pH y Eh del medio. Los potenciales de oxidación-reducción dependen de la cantidad de oxígeno del agua, la cual está a su vez, en función de la profundidad y probablemente de la proximidad a la línea de costa, siendo las corrientes quienes aportan la mayoría de los sólidos disueltos a las cuencas depositacionales.

Las menas sedimentarias generadas por precipitación química y las originadas por procesos hidrotermales, son casi imposibles de diferenciar (PARK & MACDIARMID 1981). El concepto de formación de yacimiento mineral a partir de soluciones acuosas ha evolucionado lentamente. Puede ser que los manantiales calientes demuestren, que los constituyentes de origen hidrotermal de yacimientos minerales son captados en solución, transportados y depositados en estas aguas de alta temperatura. En algunos casos, la sílice es depositada por evaporación y las algas de las fuentes termales en forma de gel coloidal cristaliza después para formar ópalo, calcedonia, ágata, cuarzo microcristalino y cuarzo. Los ópalos se originan en yacimientos epitermales como producto hidrotermal formados a temperaturas, entre los 50 y 200 °C y a profundidad menor a 900 m de la superficie. Son comunes los rellenos en espacios abiertos y las fisuras tienen conexión directa con la superficie, facilitando así el flujo de las soluciones mineralizantes (PARK & MACDIARMID 1981).

Los ópalos pueden estar directamente relacionados con cuerpos intrusivos de asentamiento profundo, evidenciado únicamente bajo condiciones especiales de erosión o por el contrario, con áreas de vulcanismo terciario o cerca de ellas en donde se localizan mayoritariamente (BATEMAN 1982).

Puede poseer también un origen orgánico. Las rocas que contienen los ópalos pueden estar compuestas de material que fueron originalmente partes de esqueletos de microorganismos remanentes, depósitos de diatomeas, radiolarios y otras células sencillas silíceas de organismos de depósitos masivos en sedimentos pelágicos. Las rocas compuestas de microorganismos como diatomeas y radiolarios, son abundantes en ciertas secuencias de rocas y siguen formándose en profundos lodos oceánicos. Estos tipos orgánicos pueden ser ópalos An, el cual es una variedad del ópalo A (muy desordenado y casi en su totalidad, sin juego de colores), pero muchos son ópalos del tipo C-T (medianamente ordenados, compuestos de cristobalita y tridimita). El ópalo, principalmente la variedad CT se encuentra también como nódulos microscópicos en muchas plantas como gramíneas y bambúes (SMITH 1997).

Jaspe

La teoría más aceptada sobre el origen del jaspe se explica en función de la actividad ígnea que genera un aumento en la capacidad de transporte de sílice a través de las aguas subterráneas, siempre y cuando existan condiciones favorables como un descenso de la temperatura, donde la sílice disuelta se va depositando junto a las impurezas locales pudiendo llegar al 20% (WEBSTER 1987).

La silicificación es un ejemplo de lo que se llama preparación de rocas, entendiéndose como tal, los cambios que ocurren en ellas debido a procesos que aumentan la permeabilidad, originando un cambio químico favorable o produciendo una fragilidad en las rocas que puede ubicar la depositación a partir de los fluidos mineralizantes. De aquí que la clase de preparación del terreno dependa por igual de la roca regional como del agente preparador: calor, fluidos, tectónica o combinación de éstos. La mayor parte de esta preparación es química, siendo la más común, la adición y reajuste de sílice, ya sea como SiO_2 o como silicato, siendo una de las formas ordinarias del sílice el jasperoide, sílice criptocristalino, que transportado por fluidos hidrotermales reemplaza la roca regional. Parte del jasperoide endurecido por el sílice de grano fino añadido, ha sido fracturado y desmenuzado, careciendo esta brecha casi por completo, de arcilla o polvo fino, formándose así, zonas propicias para la circulación de fluidos debido al aumento de la permeabilidad a lo largo de regiones casi continuas, aunque no todas las rocas huésped jasperoides han sido brechificadas, pues la roca silicificada puede haber sido químicamente favorable a la depositación mineral.

Probablemente se formaron como la calcedonia. Constituye un gel formado bajo la corteza terrestre y es de origen secundario. Tienen la propiedad de absorber otras sustancias desde una extensión considerable. Los colores quizás se deban a inclusiones de minerales traza de sustancias orgánicas o a pequeñas fuerzas provenientes de la luz y de la radiación, presentándose en forma masiva, al contrario que la mayoría de las gemas.

2.4. Composición química

Ópalo

La fórmula química del ópalo es $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Es un gel endurecido compuesto básicamente de sílice amorfo, entre el 85 y 99 %, y de cantidades minoritarias y variables de agua (1 al 21 %), que en preciosos es del 6 al 10 %. Su promedio está entre el 7 y 8 %, pudiendo contener como máximo, un 30% de agua, además de poseer alúmina, óxidos de hierro, magnesio, sodio, potasio y materia orgánica.

Jaspe

El jaspe tiene como fórmula química SiO_2 . Es una masa heterogénea de sílice criptocristalino que toma diversas coloraciones debido a la presencia de otros elementos químicos que colorean tales como el hierro, que actúan como impurezas, dándole a algunos, un aspecto pigmentado por la presencia de orbículas. Viene asociado comúnmente con el hematita, que es un óxido de hierro, por lo que suele presentar un color de rojo a marrón rojizo. Puede contener materia orgánica y presentarse frecuentemente como xilópalo, que es sílice en forma de madera (Schumann 1983).

2.5. Propiedades ópticas

Ópalo

La opalescencia y el juego de colores son las propiedades ópticas más resaltantes en el ópalo. Se entiende como opalescencia, el aspecto azulado lechoso o turbidez que aparece en ciertos ópalos con partículas dispersas. Este efecto denominado Tyndall se debe a la reflexión interna, producto de la dispersión de la luz por partículas de materia colocadas en su trayectoria, formando un "haz" o "nube" visible similar a la observada cuando un rayo de luz ilumina las partículas de polvo que se encuentran en la atmósfera de una habitación (WEBSTER 1987). Este término por lo general, se confunde con "juego de colores" que sólo se da en el ópalo noble y que es la aparición de diferentes colores producto de la interferencia de la luz reflejada de la superficie o del interior del mineral, a medida que va cambiando el ángulo de la luz incidente, como una especie de iridiscencia superficial parecida a la producida por las burbujas de jabón y la de los charcos de agua con una fina capa de aceite (HURLBUTH & SWITZER 1980). Este fenómeno se considera pseudocromático, ya que no es el color del ópalo propiamente dicho y es allí donde radica su belleza y fascinación (SMITH & THROWER 1978).

DARRAGH *et al.* (1996) indican que la diferencia entre un ópalo común y uno precioso es causado por las diferencias fundamentales en la forma estructural del material intrínseco del ópalo en cuanto a arreglo y tamaño de las esferas de sílice.

El microscopio electrónico muestra que el ópalo está conformado de esferas muy pequeñas de sílice amorfo de 50 a 400 nm (500 a 4.000 Å) de diámetro, las cuales han crecido alrededor de un núcleo central.

La microestructura del ópalo precioso consiste en millones de delgadas esferas de sílice de 100 nm (1.000 Å) de diámetro. Su tamaño es uniforme y están empaquetadas de una manera regular con espacios usualmente rellenos de

aire. Este enrejado tiene la propiedad de reflejar y difractar longitudes de ondas específicas de radiación acordes al ángulo de incidencia de la radiación y de las dimensiones del enrejado.

Algunos colores pueden perderse hacia una reflexión interna total o por interferencia, y debido a esto, algunos colores son aumentados y otros eliminados y van a depender de la dirección en la cual es vista la piedra.

La habilidad de concentración de la luz incidente en el enrejado de difracción parece estar manifiesta en ciertos ópalos, la cual se expresa en rayos coloreados. Las esferas más grandes, alrededor de 300 a 350 nm en diámetro (3.000 a 3.500 Å) pueden producir destellos rojos, siendo éste el color menos común, ya que la mayoría de los ópalos están constituidos por esferas menores a 250 nm (2.500 Å) en diámetro. Las esferas medianas generan verde, las pequeñas el azul y las muy pequeñas, las de 150 nm (1.500 Å), el violeta.

En condiciones óptimas, con esferas cercanas a los 350 nm (3.500 Å) de diámetro, es posible obtener un destello de colores que refleje el espectro completo de luz visible si el ópalo es rotado correctamente. Este fenómeno combinado con la presencia de variados tamaños de enrejados causados por los diferentes tamaños de esferas, produce un altorrelieve de la estructura en mosaico y su rico juego de colores.

Algunos ópalos preciosos son transparentes y a menudo tienen un arreglo regular de esferas que carecen de juego de colores. Esta forma de ópalos se genera en rocas volcánicas. En algunos casos, la microscopía electrónica ha mostrado que las esferas originales han sido disueltas preferencialmente, transformándose en una estructura de panal en donde el sílice ha llenado por completo los espacios entre las esferas.

En los ópalos de fuego sólo actúa un filtro de color, que elimina los restantes exceptuando el rojo y el naranja. Si una fuente de luz blanca es dirigida a uno de estos ópalos, los rayos de luz emergentes contrarios son rojos o naranjas. Esto se conoce como fenómeno de la luz roja y su riqueza es la señal de la calidad del ópalo. En piedras excepcionales, algunos colores tienden a negro, siendo los más oscuros los volcánicos debido a la presencia de óxidos de hierro dispersos en suficientes cantidades.

Los ópalos preciosos consisten, por tanto, en un empaquetamiento bien ordenado de esferas de sílice con el mismo diámetro (JONES *et al.* 1971) que refractan la luz y producen el juego de colores. A la par de este ópalo precioso monodisperso, se ubica el ópalo común o "potch", que

consiste en esferas desordenadas de sílice de varios diámetros, que se localizan muy a menudo sin periodicidad y sin ningún juego de colores.

En estos ópalos comunes, las esferas son pequeñas y de variados tamaños, con un empaquetamiento desigual. Este amontonamiento irregular no puede actuar como un gran difractor en el enrejado para producir los rayos difractados de luz. Algunos tienen esferas de sílice con un diámetro tan pequeño como 40 nm que no son capaces de causar los efectos de difracción en luz visible, independientemente que tengan un arreglo regular o no. Su color responde a la presencia de pequeñas cantidades de óxidos metálicos como los de hierro, manganeso, níquel y cromo y a la presencia de inclusiones de otros minerales (GUBELIN 1972). Reseñas como las de DARRAGH (1996) en donde dice que los defectos acentuados existen en los mejores ópalos, tales como imperfecciones en el arreglo de las esferas de sílice y las fracturas no visibles. Estas son características intrínsecas de la estructura del ópalo y se producen cuando el denso empaquetamiento de las esferas es incapaz de decidir su preferencia por una secuencia de apilamiento cúbica o hexagonal. Los mejores ópalos preciosos podrían tener varios millones de imperfecciones en cada cm^3 .

Raramente han sido observadas formas bidispersas con dos tamaños de esferas de sílice regularmente empaquetadas (GAUTHIER *et al.* 1995) que exhiban iridiscencia. Esto se descubrió por microscopía electrónica en ópalos brasileños. La matriz lucía como una esponja, con cavidades que una vez se comunicaron, llenas ahora con esferas de sílice en series monodispersas, bidispersas o polidispersas, predominando el arreglo bidisperso, el cual no había sido descrito antes. Muestra un enrejado bien organizado con esferas mixtas de dos tamaños diferentes y con varios planos. El empaquetamiento puede ser considerado como un arreglo cúbico de cara centrada (GAUTHIER *et al.* 1995).

Dos tamaños de esferas mezcladas en una estructura ordenada aumentan el rango de colores más que si fuera un solo tamaño empaquetado separadamente, pero sin embargo, en muestras de ópalo de agua (variedad incolora y transparente) examinados, en donde ocasionalmente se localizaban esferas 24% más grandes que las demás y con distribución irregular, carecían del cúmulo de colores y los colores vívidos sólo podían dar destellos como un color siempre y cuando se rotara el ópalo (LONECK 1986).

Los ópalos de ambientes sedimentarios y volcánicos representan dos tipos diferentes de ópalos que tienen propiedades ópticas también diferentes. Los ópalos volcánicos poseen espacios pequeños entre las esferas, las cuales son agregados de partículas primarias aproximadamente de 10 nm de diámetro (100 Å). Esto le proporciona mayor trans-

parencia y mejor orientación en cuanto a uniformidad, produciendo más bandas de colores pero con intensidad menor.

En los ambientes volcánicos, los ópalos ricos en hierro son comunes, a partir de un pH bajo al precipitar, y que visto al microscopio petrográfico sugiere un gel en proceso de formación en donde el sílice y el óxido de hierro hidrogenado precipitan simultáneamente pero no homogéneamente. Presentan una estructura porosa al igual que microdefectos.

En ópalos sedimentarios, hay una estructura bien definida revelada a través de las esferas. Una esfera primaria, de 10 a 50 nm (100 a 500 Å) de diámetro, actúa a menudo como un núcleo rodeado de otras partículas con tamaños similares, dando lugar a una gran corteza esférica, con un arreglo regular de esferas entre los 170 y 380 nm (1.700 a 3.800 Å) de diámetro para que sea posible la difracción de la luz blanca (LONECK 1986).

La intensidad de la difracción depende de dos factores: diferencia de densidad entre los centros de luz diseminada y la matriz, y de la transparencia o falta de absorción en el volumen difractado (SMITH & TROWER 1978).

Se han realizado pocos estudios previos en cuanto a la influencia de ciertos elementos traza sobre el color en ópalos. En Australia, el color base en ópalos preciosos es predominantemente blanco, negro o gris, pero también se han localizado ópalos coloreados: naranja, amarillos, verdes, azules y rosados. En México, naranja, amarillo y rojo; en USA, amarillo; en Perú, azul-verdoso y rosado; en Tanzania, verde e Indonesia, marrón, pero existen para estos colores, una limitada cantidad de datos con respecto a elementos traza.

McORIST *et al.* (1995), analizaron 50 ópalos coloreados (naranja, amarillo, verde, azul y rosado) y 18 incoloros con el fin de caracterizar el contenido de elementos traza y determinar la relación existente entre los elementos traza y su color a través de INAA.

Para los ópalos naranja encontró una concentración media de elementos muy similar a los amarillos e incoloros, independientemente de la localización geográfica en donde fueron tomados. La excepción en cuanto a similitud de concentración se presentó para los elementos Sc, Ti, Y Fe, Co y Th. Agregó además, que el color en ópalos naranja y amarillo no se debe a la presencia de uno o más elementos traza específicos, ya que ambos son muy similares a los ópalos incoloros en lo que a perfil de elementos traza se refiere. Encontró un alto porcentaje de metales alcalinos (Na, K, Rb, Cs) y As en ópalos verde; en los azules, una alta

concentración de Mg, Zn y U; y para los rosados, Al, Y y Mn, y la misma concentración del As que para los ópalos verdes.

McORIST *et al.* (1997) realizó otro estudio de NAA en 44 ópalos preciosos y en 52 comunes: blanco, gris, negro y translúcido. Aquí detectó que para los ópalos blancos comunes había una mayor concentración de Na, K, Ba, tierras raras y Th que en los preciosos con base blanca; en los negros y grises, tanto para ópalos preciosos como para comunes, se presentó una alta proporción en tierras raras, Sc, Ti, Cr, V, Th, con la única excepción del V ausente en el ópalo gris. Para los translúcidos se detectaron muy pocos elementos traza.

El brillo en el ópalo es vítreo a resinoso y depende de cinco elementos, los cuales no siempre son fáciles de poseer: a) Intensidad que incluya varios rayos de luz o colores desde adentro del enrejado de difracción. b) Presencia de colores comunes c) Tipo de colores comunes presentes d) Porciones de colores comunes para el espectro de color al rotar la piedra y verla desde diferentes ángulos. e) Cantidad de lechosidad de la piedra.

El ópalo es ópticamente isótropo, con un índice de refracción entre 1,44 y 1,46 y su transparencia va desde muy transparente a opaco. Algunos con fluorescencia blanca o verde y con fosforescencia.

Jaspe

El jaspe a diferencia del ópalo, no posee esos efectos ópticos especiales como la opalescencia o juego de colores. Son siempre opacos, con índice de refracción aproximadamente de 1,54. No poseen fluorescencia ni fosforescencia, tampoco muestra un espectro de absorción característico.

2.6. Clasificaciones mineralógicas

Ópalo

Según términos básicos

El ópalo puede ser clasificado bajo dos términos básicos: el precioso y el común, de los cuales este último, conforma el 95 % del material que recubre un campo de ópalos. Del 5 % remanente, el 95 % es mediocre, y sólo el 5 % es valioso.

"Potch" es el término para designar ópalos comunes. Estructuralmente hablando, podría ser usado para describir ópalos no preciosos que pueden estar íntimamente asociados o no, con los preciosos. Abarca todas las formas de ópalos donde no hay juego de colores. Usualmente son

opacos o translúcidos, aunque pueden ser transparentes, incoloros o con sombras de otros colores. Raramente son rojos, verdes o naranjas.

Los ópalos preciosos u ópalos nobles, son translúcidos o transparentes y muestran un delicado juego de colores espectrales brillantes que, dependiendo del ángulo en que es examinado, cambia usualmente cuando la piedra es rotada, siendo su única excepción, el ópalo de fuego, un tipo particular de ópalo precioso valorado por el magnífico color de su flama roja (LONECK 1986).

Según estructura del silicato

Los ópalos, según JONES & SEGNET (1971), pueden ser clasificados dentro de tres tipos de acuerdo a la estructura del silicato:

1. Cercanamente amorfo: donde se ubican la mayoría de los ópalos preciosos y ópalos comunes asociados (ópalo A).
2. Estructura basada en un arreglo desordenado de intercapas de unidades de sílice compuestas de cristobalita y tridimita. Esta categoría incluye ópalos preciosos asociados con ambientes volcánicos y la mayoría de todos los ópalos comunes tanto de ambientes sedimentarios como volcánicos (ópalo C-T).
3. Estructura de cristobalita, la cual es rara y se encuentra usualmente en ópalos de ambientes volcánicos (ópalo C).

Las esferas de los tipo ópalo A y ópalo C-T, han sido depositadas por precipitación coloidal. El sílice más resistente que llena algunos espacios, sugiere dos generaciones diferentes de esferas de sílice.

La formación del ópalo común en la variedad del ópalo C-T es menos claro. Se ha observado que el ópalo cristalino desordenado tiene un crecimiento rápido a partir de soluciones acuosas o por rápida cristalización de un gel. La morfología final depende grandemente del ambiente de depositación y puede dar como resultado formas cristalinas, agregados de pequeños cristallitos o pseudomorfo (LONECK 1986).

La cristobalita y la tridimita son diferentes formas de silicatos cristalinos, considerándose también como sílice, el silicato hidratado, y el ópalo es una de estas formas.

Hay muchas formas de sílice, que se organizan como fases cristalinas del cuarzo, de la cristobalita y de la tridimita. Los hidratados son un enigma, ya que sólo unas pocas formas muestran suficientes rangos tanto cortos como largos para ser considerados cristalinos, siendo la silhidrita un raro ejemplo de ello, producto de una reacción de

hidratación frente a la envoltura de los nódulos de calcedonia. Al ópalo en todas sus formas le falta suficiente orden para poder considerarlo cristalino. Sin embargo, el ópalo C, produce un patrón de difracción similar al de la cristobalita, pero aún así, le falta orden para ser considerado cristalino, además del hecho de contener agua en su estructura. El ópalo A es altamente desordenado, pero el C-T y el C contienen un campo ordenado que imitan montones de secuencias de hojas de cristobalita y tridimita evidenciado por los patrones de rayos X, muy similares a las de cristobalita y tridimita cristalinas (el ópalo CT se considera desordenado y el C, bien ordenado).

Se ha establecido un debate relacionado con las regiones ordenadas asociadas a la pérdida del agua propia de los ópalos, ya que efectivamente, según estudios de calentamiento, todos ellos presentan cambios en sus características al eliminarse agua en el proceso. La evidencia aportada por estudios de microscopía por transmisión electrónica (TEM) muestra un dominio en el rango de los 10 a 30 nm en una matriz de ópalo desordenado, lo cual sugiere que el término apropiado para esto sea paracristalino, lo cual implica un pequeño ordenamiento parcial en una matriz desordenada, con enlace continuado hacia alguna zona circundante. Dicho término es análogo al empleado en polímeros orgánicos e inorgánicos.

La cristobalita es un constituyente común de la sílice de rocas volcánicas, formado por calentamiento puro de gel de sílice y finos granos de cuarzo a temperaturas cercanas a los 1.470 °C, pudiendo también formarse a bajas temperaturas si están presente el flujo apropiado y los agentes estabilizantes como los alcalinos.

Los términos lusatita y lusatina han sido aplicados a cristobalita y a ópalo. Su uso presente es empleado para las variedades microcristalinas y criptocristalinas de cristobalita la cual exhibe diferentes texturas dependiendo de su hábito morfológico y características ópticas de los cristalitas en los agregados. En algunos estudios pasados, y en otros más actuales se tiende a igualar los términos ópalo C-T y ópalo C, pero las formas del ópalo son hidróxidos sin cristalitas distintivos a diferencia de la cristobalita, que es anhidra y tiene cristalitas distintivos. El término original de lusatita fue utilizado desde 1890 para materiales considerados inicialmente como cristobalita pero que resultó ser un ópalo C-T con birrefringencia anómala. Este término ha sido utilizado tanto para cristobalita como para ópalos ópticamente anómalos.

La tridimita es un enigma. Existe una fuerte discusión en torno a si de verdad está formada o no por sílice cristalino puro. La presencia de agua promueve su formación en síntesis y puede también ser requerida para formar una verdadera tridimita en la naturaleza. Ambos son raros, pero pue-

den ser localizados en ambientes volcánicos con alto contenido de sílice. Algunos reportes sugieren que la tridimita es tan abundante como la cristobalita en rocas volcánicas.

La Asociación Mineralógica Internacional (SMITH 1997) cataloga al ópalo como una sola especie mineral, pero la mayoría de los mineralogistas y otros científicos subdividen la especie en tres variedades ya mencionadas anteriormente: ópalo A, ópalo C-T y ópalo C. El ópalo A, ha sido dividido recientemente en ópalo A_G y ópalo A_N , dependiendo si el enlace del sílice es más como gel (finito) o como red (infinito) (Fig. 2 y 3). La composición del ópalo es generalmente señalada como $SiO_2 \cdot nH_2O$, donde n es usualmente de 0,5 a 2, involucrando al agua como componente esencial del mineral aunque su papel verdadero está todavía por es-

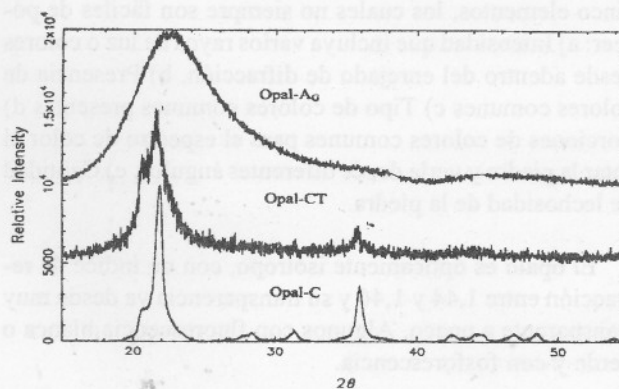


Figura 2
Patrón de difracción experimental obtenido de los ópalos A_G , CT y C (SMITH 1997)

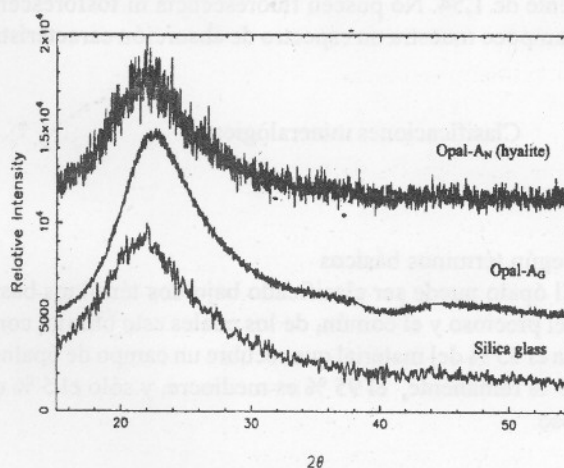


Figura 3
Patrón de difracción experimental en el ópalo A_G y A_N comparado con el patrón obtenido a partir de vidrio de sílice (SMITH 1977)

tablecerse. La mayoría de los ópalos A_G están caracterizados por la existencia de agrupaciones esféricas de "clathratelike" de sílice hidratado en arreglos homogéneos o heterogéneos. El agua en el ópalo puede existir como grupos sinanol internos y externos ($-Si-OH$) o atrapados como agua absorbida. El ópalo es considerado por algunos mineralogistas como un mineraloide análogo a la "limonita" ($Fe_2O_3 \cdot n H_2O$); la "wad" ($Mn_2O_3 \cdot n H_2O$), o bien, la "bauxita" ($Al_2O_3 \cdot n H_2O$).

En los ópalos C-T se comienzan a formar dominios de pequeños rangos ordenados, los cuales tienen arreglos de sílice basados en anillos de seis integrantes que simulan el arreglo de átomos en cristobalita y tridimita, produciéndose en una matriz de ópalo desordenado, siendo aún así, difícil de sugerir que el sistema es de dos fases. También se discute sobre si los dominios ordenados han perdido su agua y son anhidros, siendo éste un requerimiento de poder en la identificación de la cristobalita.

El ópalo C muestra un dominio más ordenado basado en TEM que en el C-T. El agua puede jugar un papel en la estructura y constituir el 5 % del peso del material contenido, determinado por análisis térmico diferencial (DTA) y análisis térmico gravimétrico (TGA). Esta fracción ordenada de material es mayor que en el ópalo C-T, pero todavía se considera menos que el 50 %. Términos como "cristobalita" y "tridimita" son comúnmente aplicados a ópalos C y a ópalos C-T. Sin embargo, tales términos podrían ser engañosos, debido a que son interpretados por los lectores como un verdadero sistema de dos fases cristalina - no cristalina, aunque no representa una descripción válida. Igualmente, el término microcristalino no debería ser empleado para este material, ya que el término apropiado debería ser paracrystalino.

Según estructura atómica

JONES *et al.* (1971) señalan tres tipos de ópalos categorizados por sus patrones de difracción de rayos X en:

Tipo 1. Ópalo detectado rápidamente como amorfo frente a los rayos X, mostrando por lo general, un amplio pico de difracción cercano a los 0,4 nm (4 Å). La mayoría de los ópalos preciosos y los "potch" u ópalos comunes asociados a éstos, pertenecen a este grupo.

Tipo 2. Ópalos con patrón de difracción propios de la cristobalita y de la tridimita, los cuales pueden coexistir en un arreglo altamente desordenado.

Tipo 3. Ópalos que tienen una estructura muy bien definida de a-cristobalita con origen volcánico pudiendo representar desvitrificación por calor de los ópalos del tipo 1 y 2.

El ópalo tipo 1, muestra las esferas características del

sílice, las cuales pueden ser extremadamente uniformes en tamaño, tener un cerrado y ordenado empaquetamiento regular, o por el contrario, con esferas de diversos tamaños y empaquetamiento absolutamente casual. Puede mostrar un patrón de juego de colores que va de fuerte a débil. Cuando las esferas están aplanadas por efectos de presión o de cohesión mientras están en estado de gel suave, el volumen de interesferas es menor al 26%. El aplanamiento reducirá el contraste de densidad el cual contribuye a la intensidad difractada por la reducción del espacio vacío, pero el área de contacto aumentará entre las esferas e incrementará la transparencia del material contribuyendo a la difracción. La variedad de ópalo llamado, ópalo hialino, representa el balance óptimo de estos dos efectos.

El ópalo tipo 2, todavía muestra agregados esféricos pero con una gran distribución de material plumoso o fibroso, rellenando el volumen entre las esferas. El juego de colores usualmente "flota" dentro, de una manera diferente dentro de la gema transparente. Aquí la densidad de las esferas y el relleno del material deben ser bastante parecidos. Muchas variedades de ópalo mexicano de tipo volcánico muestran esta gran transparencia sin juego de colores.

El ópalo tipo 3, no muestra ninguna estructura esférica, en cambio, en cualquiera de las estructuras tanto fibrosas como plumosas, es evidente que ha sido sustituido completamente en alguna estructura precursora, si es que existiese alguna. No muestra juego de colores.

No existe ninguna gema en el mundo con la cual poder compararla, en cuanto a color y aspecto, ya que es único y no hay dos ópalos que sean iguales. Esto le merece ser la gema más preciosa del mundo (SMITH & THROWER 1978).

Jaspe

No se encontró ninguna clasificación mineralógica para este material.

2.7. Variedades

Ópalo

Mineralógicamente se incluyen las siguientes variedades

Ópalo de colores: común, carente de juego de colores, unicolor, con colores intensos o tenues en blanco, gris, amarillo, azul, verde, rosado. Translúcido, raramente transparente, pudiendo tener inclusiones como dendritas o musgo y constituir un paliativo como sustituto del ópalo noble. Uno de los más atractivos es el verde, bastante similar a la crisoprasa, que debe su color al níquel.

Ópalo noble: precioso, con juego de colores y destellos en forma de arco iris que varía según el ángulo con que se mire independientemente de sus propios colores, contenidos todos en una misma gema, predominantemente blanca, con luz azul o verde en la mayoría, pudiendo ser también marrones, grises, amarillos, o incoloros, siendo más deseables los que poseen colores: rojo, naranja, violeta y especialmente los negros. Pueden ser desde casi transparentes y ligeramente opalescentes hasta opacos.

Gemológicamente, se destacan las siguientes variedades

Ópalo de fuego: con o sin juego de colores, con cuerpo amarillo, naranja, rojizo o rojo, pudiendo tener algunos destellos de fuego, pero usualmente se destaca por su color y transparencia. Va de transparente a semi-transparente.

Ópalo negro: con juego de colores, de cuerpo azul oscuro, negro, pardo, gris o verdoso siendo predominante el gris oscuro al negro azulado, con destellos muy fuertes de color que surgen del fondo oscuro. Opaco. Es el más raro y más deseable de los ópalos.

Ópalo blanco: con juego de colores muy delicado, base blanca, grisácea o amarillenta, a veces lechoso y turbio. Translúcido a semi-translúcido.

Ópalo de agua: con juego de colores pobre, base incolora o amarillo pálido. De transparente a semi transparente.

Ópalo matrix: con parte de su roca madre en la base o como venillas de color marrón rojizo. Es considerado por muchos una forma de presentación y no una variedad.

Ópalo boulder: adherido a su roca madre debido a que es demasiado fino para tallarlo y separarlo de ella. Presenta juego de colores.

Hidrofana: Algunos con ligero juego de colores, de color claro pero opaco, que se vuelve transparente e iridiscente al ser sumergido en agua. Lechoso y muy poroso.

Hialita: sin juego de colores, incoloro, transparente, parecida ligeramente al vidrio fundido, conocida también como "vidrio de Müller" (IGE 1993).

Xilópalo: El ópalo es un agente petrificante común y gran parte ha sufrido pseudomorfismo en madera, pudiendo transformarse en madera opalinizada muy atractiva. Reconocida por su fluorescencia verde, bajo la luz ultravioleta y activada por la presencia de trazas de uranio en el ópalo. Los pseudomorfismos más destacados son los de conchas marinas, belemnites y huesos prehistóricos hallados en Australia. También son frecuentes en yeso, glauberita, cal-

cita y otros minerales, siendo sus agregados cristalinos muy atractivos, en especial los de la glauberita, conocidos como "ópalo de piña" (WEBSTER 1987).

Existe a pesar de estas variedades gemológicas, una extensa lista de nombres comerciales relacionados con el dibujo que produce el efecto del juego de colores, incorporándose muchas veces estas denominaciones a las anteriores, como si en verdad lo fueran, tales como ópalo arlequín (efecto en rombos), ópalo floral (efecto en forma de hojas), etc.

La gema más preciada del grupo de la sílice es el ópalo, aunque no todas sus variedades presentan ese bellissimo juego de colores que se valora tanto en joyería y que si carece del mismo, se transforma en un mineral común y con poco valor ornamental.

En joyería se emplean principalmente el ópalo blanco, el negro, el de fuego y el de agua, aunque también los restantes ocasionalmente, pero es de hacer notar, que en los últimos tiempos, ha habido un auge sobre todo de ópalos de colores en artículos de escritorio, bases para adornos, en bisutería, mosaicos, así mismo se está empleando en la cristaloterapia.

Jaspe

Según nombres comerciales: dependiendo del color, tipo de dibujo, o composición se le han adjudicado muchos nombres inclusive a un mismo jaspe, por lo que se ha optado por colocar los términos más comunes asignados en el mercado (SCHUMMAN 1983).

Jaspe basanita: cuarzo criptocristalino de grano muy fino y de color negro, conocido antiguamente como piedra de toque, y usado por los joyeros para determinar la pureza del oro y de otros metales preciosos. Se encuentra en forma de gastados nódulos (guijarros) transportados por el agua o in situ.

Jaspe egipcio: orbicular, con círculos blancos y grises rodeado de rojo, y encontrado como cantos rodados en las playas. Llamado también, silicato del Nilo.

Jaspe ferruginoso: con impurezas de hierro.

Jaspe verde: de color verde que va desde el claro al oscuro.

Jaspe leopardo: con orbículas pardas con apariencia de puntos de piel de leopardo.

Jaspe kinradita: orbículas con anillos incoloros o de cuarzo blanco.

Jaspe morrisonita: marcadamente multicolor.

Jaspe ópalo: brechado con material cementante de ópalo..

Jaspe amapola: orbicular amarillo con anillos rojos.

Jaspe sanguíneo: de color rojo y llamado erróneamente heliotropo.

Jaspe paisaje: con dibujos semejantes a paisajes debido a inclusiones.

Jaspe de munkirchner: de grano muy fino, color gris parduzco teñido con azul de prusia para imitar al lapis-lázuli, bajo el nombre de lapis alemán o Swiss lapis.

Jaspe silex: con manchas pardas o rojas.

Otras variedades de jaspe son descritas (ZEITNER 1964)

Orbicular: Jaspe con un patrón semejante a ojos. Uno de los favoritos para los cortadores de gemas, es el patrón con pequeñas esferulitas irregulares en forma de flores, puntos, anillos, esferas bien esparcidas o como amebas.

Se encuentran en muchas localidades y sus características físicas varían según el lugar donde aparecen. Poseen una gran gama de colores que incluyen al rojo, amarillo, naranja, marrón, gris, negro, crema y verde. En muchas secciones hay calcedonia clara y finos cristales en diminutas cavidades, así como hierro, que por ser tan suave, causa socavamientos.

Jaspilita o Jaspillita: jaspe rojo intercalado con capas de hematita metálica, variedad especularita.

Dendrítico: jaspe con musgo o ramificaciones formados por inclusiones de manganeso o de otros minerales, como en el caso de las ágatas. El jaspe dendrítico difiere del ágata de su apariencia translúcida, ya que el jaspe puede ser más coloreado. Las dendritas son detalles delicados en las ágatas pero en los jaspes tienden a estar concentrados en grupos, dándole un aspecto abigarrado o con efectos escénicos.

Brechado: fragmentos irregulares de jaspe recementados por calcedonia opaca o semi-translúcida. Sin embargo, los fragmentos pueden ser de diferentes materiales y colores, pero son frecuentemente homogéneos. Da la sensación de haber sido partido indiscriminadamente y unidos dentro de un mismo cemento.

Conglomerado: muy parecido al anterior, sólo que las piezas cementadas conjuntamente por silicificación secundaria son redondeadas y bastante uniformes en cuanto a angularidad y agudeza. Generalmente se incluyen geodas delgadas.

Bandeado: jaspe con bandas onduladas, arremolinadas, rectas, curvadas o ensortijadas, delgadas o gruesas con una buena combinación de colores.

Jaspe ágata: jaspe bandado con algo de calcedonia clara o translúcida. Este nombre indefinido es otro ejemplo de

su mal uso, ya que se teme designarlo como jaspe o como ágata, especialmente si es una gema hermosa, y se cree que si se llama así, se está en lo correcto. A pesar de que el jaspe es opaco y la calcedonia transparente a translúcida, si la gema en cuestión es semi-translúcida o tiene la misma cantidad de bandas translúcidas y opacas, se podría llamar ágata, y si es predominantemente densa y opaca, jaspe.

Con el nombre del lugar: los que reciben el nombre local o del lugar donde son distintivos. A estos nombres de los lugares se les coloca erradamente la terminación ita, como por ejemplo, "morrisonita", pero han sido llamados así tanto tiempo, que cualquier coleccionista de gemas los conoce por estos nombres.

2.8. Áreas productoras a nivel mundial

Ópalo

En Australia, se encuentran los principales yacimientos de ópalos preciosos, fundamentalmente al sur y sureste del continente. Se destacan muy especialmente, los ópalos blancos y negros, siendo los segundos más importantes comercialmente hablando, los ópalos de fuego de destellos rojos, rojo-amarillo, naranja o rojo parduzco. Las localidades más importantes son Coober Pedy, Andamooka, Eulo, Quilpie, Tintinbar, White Cliffs y Lightning Ridge, ésta última, única localidad del mundo productora de ópalos negros de gran calidad.

México posee los mejores ópalos de fuego a nivel mundial y grandes yacimientos de ópalos blancos y de agua de buena calidad. Las localidades más importantes son Queretaro, Hidalgo, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Chihuahua y San Luis de Potosí.

En EEUU, sus yacimientos son de ópalos preciosos azules, muy pálido, pero con fuerte juego de colores en rojo, azul, verde y naranja, los blancos y rosados, amarillo, hialinos, dendríticos y comunes, y grandes piezas de troncos opalinizados que contienen ópalo precioso, pero su uso es restringido debido a su fisuramiento y craquelado, producto de la evaporación del agua que contiene. Las localidades más resaltantes son Arizona, Louisiana, Nevada y Oregon.

Hay otros yacimientos de menor importancia como Brasil (principalmente en el estado de Piauí), siendo sus mejores piedras similares a las australianas de calidad media; Honduras (pueblo de Gracias, parte occidental del país) sin calidad comercial.

Jaspe

Rusia produce jaspe bandado. Sus principales yaci-

mientos están en Okhost (Siberia oriental), cercanías de Troistsk y Verkhne Uralsk (sur de los Urales). En EEUU se extrae el jaspe orbicular, el jaspe ágata, jaspe basanita y madera jasperizada. Las localidades de mayor interés están en California (Morgan Hill, Santa Clara County), Carolina del Norte, Arizona, Idaho, Nevada, Oregon y Washington. En la India se obtiene jaspe rojo. Se extrae de Decan. En Brasil, jaspe rojo. En Australia, jaspe verde. Localidad importante en Queensland (Minas Marlborough). En Polonia, jaspe verde. En Silesia.

2.9. Ocurrencia en Venezuela

Ópalo (RODRÍGUEZ 1992)

El estado Cojedes posee ópalos comunes de colores blanco, translúcidos y opacos, con una amplia gama de matices: anaranjados, morados, grisáceos, verdes, cremas, así como dendríticos. La localidad más rica del país se ubica en Tinaquillo, zona de estudio de la presente tesis.

Existen también ópalos pero de muy mala calidad en los estados Portuguesa, Carabobo, Yaracuy, Aragua y Guárico, siendo sus yacimientos muy pequeños.

Jaspe (RODRÍGUEZ 1992)

El estado Bolívar contiene las mayores reservas de jaspe rojo intenso del país. Están conformados en estratos con espesor superior a los 10 m intercalados con areniscas pertenecientes al Grupo Roraima. No pueden ser explotados comercialmente pese a su gran belleza, ya que se encuentran ubicados en el Parque Nacional Canaima. Otros estudios señalan que no son más que horizontes de tobas volcánicas formadas por ceniza de grano muy fino.

El estado Falcón produce jaspes marrones en forma de bloques y cantos imbuídos en una cobertura gruesa de rocas meteorizadas y regolitizadas. Localidades: Tausabana, El Rodeo, Paraguaná.

El estado Cojedes es rico en jaspes marrones, cremas y negros. Se presentan en concentraciones significativas dentro de una extensa faja de alteración, regolitización y serpentinización de la Peridotita de Tinaquillo. Su localidad tipo está al oeste del pueblo de Tinaquillo, zona que también se incluye en esta tesis.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOGRÁFICOS

3.1. Trabajos previos del sistema montañoso del Caribe y de la región de Tinaquillo

AGUERREVERE *et al.* (1937).

BECK (1985).

BELL (1968).

BELLIZZIA (1967).

COMISIÓN VENEZOLANA DE ESTRATIGRAFÍA Y TERMINOLOGÍA (1970).

DENGO (1951).

GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980).

MAC DONALD *et al.* (1985).

MACKENZIE (1960).

MATTSON (1985).

MENÉNDEZ (1966).

MORGAN (1969).

OSTOS (1985).

OSTOS (1986).

OSTOS (1990).

RAMOS (1987).

RODRÍGUEZ *et al.* (1987).

RODRÍGUEZ (1992).

VARELA (1995).

ROJAS (1989).

URBANI (2000).

3.2. Geología regional

La Cordillera de la Costa fue dividida por MENÉNDEZ (1966) en cuatro cinturones tectónicos, que ubicados de norte a sur, son los siguientes:

Cinturón de la Cordillera de la Costa

Cinturón Cauagua-El Tinaco

Cinturón de Paracotos

Cinturón de Villa de Cura

Dichos cinturones poseen sus propias características estructurales, los cuales fueron ampliados a ocho por BELL (1968) (Fig. 4) y están separados por fallas regionales con orientación este-oeste (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

3.2.1. Cinturón de la Cordillera de la Costa

Se ubica en la sección septentrional de la Cordillera de la Costa, limitando al norte con el mar Caribe y al sur, casi en su totalidad, con la falla de La Victoria, la cual lo separa del Cinturón Cauagua-El Tinaco.

Su edad se establece en base a afloramientos de rocas metasedimentarias como Jurásico-Cretácico, las cuales pertenecen a la Asociación Metamórfica Caracas que suprayace a su vez, a un basamento ígneo-metamórfico llamado Gneis de Sebastopol (CVET 1970) de edad Precámbrica-Paleozoica, el cual se muestra en el núcleo de grandes pliegues abiertos.

3.2.2. Cinturón Cauagua-El Tinaco

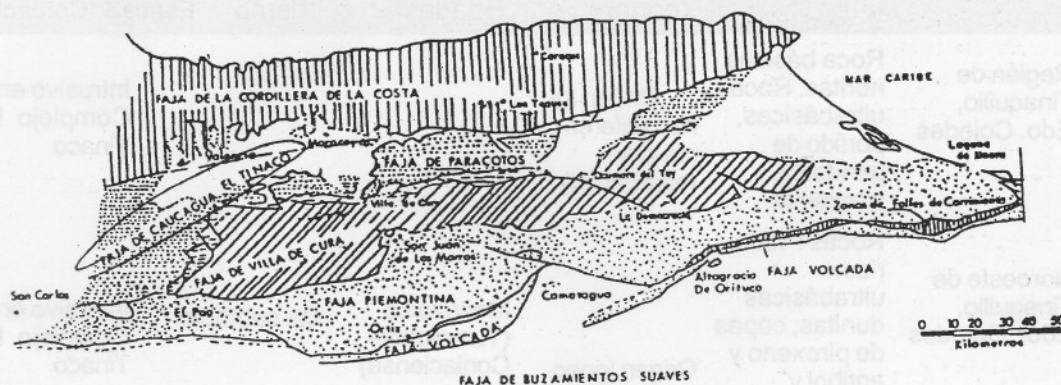


Figura 4
Cinturones tectónicos en el sistema montañoso del Caribe (Bell 1968)

Limita hacia el Sur con la falla normal de Santa Rosa. Está constituido por un basamento Paleozoico de composición granítica que infrayace a una secuencia volcánica sedimentaria de edad Cretácica, con asociaciones mineralógicas típicas de un metamorfismo de bajo grado en la facies de la anfibolita.

La cobertura Paleozoica y Mesozoica muestran una asociación de minerales característicos de los esquistos verdes (OSTOS 1990).

Sobre dicho cinturón aparece la parte superior de la Asociación Metamórfica Caracas, localmente corrido (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980, OSTOS 1985).

3.2.3. Cinturón de Paracotos

Se localiza entre los cinturones tectónicos, Caucaagua-El Tinaco y Villa de Cura, limitando por el norte por la falla de Santa Rosa y al sur por la falla de corrimiento de buzamiento sur, de Agua Fria (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980). Pertenece en su totalidad a la Formación Paracotos constituida por una mezcla de litologías diversas no relacionadas genéticamente de edad Paleoceno y con una foliación constante y paralela al corrimiento de Agua Fria (MENÉNDEZ 1966, GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980, OSTOS 1990).

Este cinturón consiste de sedimentos tipo flysh y wildflysh, megalentes de serpentinitas y ofiolitas desmembradas con edad de sedimentación interpretada de Campaniense a Maestrichtiense y localmente afectado por

un metamorfismo de muy bajo grado (OSTOS 1990).

3.2.4. Cinturón de Villa de Cura

Llamado por la mayoría de los autores "Bloque de Villa de Cura", limita al norte con la falla de Agua Fria y al sur con la serie de fallas de corrimientos (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Está constituido por rocas volcanoclásticas, metalavas, volcánicas del arco de islas y plutones máficos y ultramáficos. Las rocas de este cinturón fueron afectadas parcialmente por un metamorfismo de alta presión y baja temperatura, al cual de manera local, le fue sobrepuesto un metamorfismo de presión y temperatura intermedia (OSTOS 1990). Estas rocas fueron metamorfozadas hasta las facies de los esquistos azules, posiblemente durante el Cretácico Temprano. Algunos autores han interpretado el cinturón como alóctono (BELL 1968).

En 1983, esta faja fue dividida por NAVARRO en tres unidades litológicas: unidad de granofels (la más antigua), unidad de metalavas y unidad de metatobas, señalando que el metamorfismo de alta temperatura y presión que afectó a estas rocas hasta las facies de los esquistos azules, aumentando de norte a sur. Sus partes superiores está en contacto discordante con la secuencia de rocas volcánicas identificadas como Formación Tiara (MENÉNDEZ 1966), la cual a su vez está en contacto discordante con la secuencia Paleocena del flysh de la Formación Guárico (OSTOS 1985). Hacia el sur de dicho cinturón afloran depósitos de esta cuenca flysh con edad Paleoceno-Eoceno, cubierta a su vez por una se-

TABLA 1. CINTURÓN TECTÓNICO CAUCAGUA-EL TINACO PERIDOTITA DE TINAQUILLO

Autor	Localidad	Litología	Roca Protolito (origen)	Edades	Metamorfismo	Espesor	Contactos
AGUERREVERE & ZULOAGA (1937)	Región de Tinaquillo, Edo. Cojedes	Roca básicas, noritas. Rocas ultrabásicas, porfido de peridotita, piroxenita	Origen ígneo (diferenciación magmática)				Intrusivo en el Complejo El Tinaco
MACKENZIE (1960)	Noroeste de Tinaquillo, Edo. Cojedes	Rocas Primarias: ultrabásicas dunitas, capas de piroxeno y anfíbol y piroxenitas. Rocas Secundarias: serpentinitas y asbestos	Origen ígneo	Mesozoico (Turoniense-Coniaciense)	De contacto		Intrusivo en el Complejo El Tinaco
BELLIZZIA (1967) Sur-	Suroeste de Tinaquillo, Edo Cojedes	Dunita no serpentinizada, dunita serpentinizada, capas de piroxenita anfíbolitas y garbos hiperstenos			De contacto	1.700 m	Superior de falla (corrimiento) con el Esquisto Las Mercedes e inferior intrusivo en el Complejo El Tinaco
OSTOS (1985)	Oeste de Tinaquillo, Edo Cojedes	Harzburguitas, dunitas, serpentinitas y rocas gabroides		Paleozoico	El más antiguo: facies de la granulita y el más joven, facies de la anfíbolita		2.000 m Inferior concordante con el Complejo El Tinaco. Superior de falla (corrimiento) con filitas cretácicas
MATTSON (1985)	Suroeste de Valencia, Edo Carabobo	Núcleo de dunita serpentinizada, capas de rocas gabroides, piroxenitas y serpentinitas		Pre-Mesozoico		5.000 m	Inferior de falla con el Complejo El Tinaco. Superior de falla (corrimiento) con filitas Cretácicas

Tomado de ROJAS (1989).

cuencia no flysh de edad Mioceno-Plioceno (BECK 1978).

Por otra parte, BELL (1968) definió otros cuatro cinturones tectónicos que se incluyen como rocas sedimentarias del Cretácico Tardío a Terciario.

Las características de la unidad litológica de la Peridotita de Tinaquillo, según diversos autores se resume en la Tabla 1 (ROJAS 1989)

3.3. Aspectos locales

3.3.1. Fisiografía

La región septentrional del estado Cojedes se ubica sobre el flanco sur de la Cordillera de la Costa. Se denota una transición de llanos y zonas planas desde el sur hasta las montañas al norte como escarpado de falla con relieve de 500 a 1.000 m. La región puede dividirse en dos zonas: una, al noroeste de la falla de corrimiento de Manrique, con profundos valles en forma de V con variados rumbos separados por lomas con crestas agudas y densamente boscosas; otra al sureste de la misma falla en la cual se destaca una extensa superficie con buzamiento suave, de las cuales surgen las Tetras de Tinaquillo y las montañas de El Tinaco (RAMOS 1987).

El área de estudio se localiza dentro de la unidad fisiográfica de la Serranía de Tinaquillo, la cual tiene una extensión de 1.640 km². La región de Tinaquillo se encuentra en pleno pie de monte, con áreas comprendidas entre los 200 y 500 m.s.n.m. Su mayor elevación es el del Cerro Las Tetras, localizado al sur de la región, con 1.051 m.s.n.m. y al norte, el Esquisto de Las Mercedes (RODRÍGUEZ & VELAZCO 1987).

3.3.2. Clima y vegetación

El clima de la zona se define como tropical lluvioso de sabana con temperaturas medias anuales entre los 26 y los 28 °C y hay dos períodos bien demarcados: uno lluvioso, de mayo a noviembre, y otro seco y cálido, de diciembre a abril.

La vegetación es variable así, hacia el norte, hay una abundante vegetación tropical, al igual que hacia el sureste de la falla de corrimiento de Manrique, pero predomina la vegetación herbácea, arbustos y árboles de escasa altura, que permite su fácil penetración (RAMOS 1987).

3.3.3. Hidrografía

Se caracteriza por una red hidrográfica del tipo dendrítico, en donde se destacan el río Tamanaco y las quebradas Las

Astas, Las Peludas y La Montañita, haciéndose más densa la hidrografía hacia la zona de La Montañita, hacia el oeste.

3.3.4. Geología local

En la zona estudiada se reconocen tres unidades litológicas: en su centro, la Peridotita de Tinaquillo anteriormente llamada Complejo de Tinaquillo; y hacia el norte, en contacto con el corrimiento, filitas calcáreas y mármoles pertenecientes al Esquisto de Las Mercedes, anteriormente denominado Formación Las Mercedes (MACKENZIE 1960) y también, en contacto presumiblemente concordante y de manera muy puntual, se localizan las rocas de alto grado metamórfico, que por lo general, se incluyen en el Complejo El Tinaco (MACKENZIE 1960, 1966).

Estas tres unidades están constituidas o compuestas de acuerdo como sigue (OSTOS 1985, RAMOS 1987) Peridotita de Tinaquillo (roca ultramáfica y metagabro) casi en su totalidad hacia la parte central del área. Complejo El Tinaco (gneis anfibolítico y gneis cuarzo-feldespático) hacia el norte de área y de manera muy restringida. Esquisto de Las Mercedes (filita cuarzo micácea, esquisto cuarzo micáceo y mármol) hacia el norte del área. Su contacto sur es de falla con la Peridotita de Tinaquillo; y al sureste con el Complejo El Tinaco.

En dichas unidades RAMOS (1987) reconoce varios tipos litológicos, los cuales se presentan en la Tabla 2

TABLA 2. UNIDADES Y TIPOS LITOLÓGICOS

UNIDAD	SÍMBOLO	TIPOS LITOLÓGICOS
Peridotita de Tinaquillo (ultramáficas y metagabros)	Ptu Pig	1.-Dunita 2.-Harzburguita 3.-Lherzolita 4.-Piroxenita 5.-Metagabro 6.-Serpentinita
Complejo El Tinaco (gneis anfibolíticos y gneis cuarzo-feldespáticos)	CT	1.- Gneis hombléndico-actinolítico cuarzo plagioclásico ± epidótico ± muscovítico 2.-Gneis cuarzo-feldespático ± sericitico
Esquisto de Las Mercedes (filitas cuarzo-micáceas, esquistos cuarzo-micáceos y mármoles)	Fm	1.-Filita cuarzo-micácea-grafítica ± calcáreas 2.-Esquisto cuarzo-micáceo-calcáreo ± grafitoso 3.-Mármol cuarzoso 4.-Cuarzita muscovítica

Modificado de RAMOS (1987).

3.3.4.1 Peridotita de Tinaquillo

La presencia de este cuerpo fue señalado por AGUERREVERE *et al.* (1937) y posteriormente estudiada por MACKENZIE (1960) quien la designó Peridotita de Tinaquillo. Años más tarde, BELLIZZIA (1967) revisa esta información al igual que la de otros cuerpos de rocas ultramáficas de la Cordillera de La Costa y se generó una discusión acerca del origen magmático o metamórfico de las rocas gabroides por muchos años. La Peridotita de Tinaquillo fue comparada con otros cuerpos de peridotita perteneciente a otras localidades del mundo, (SOTOS 1984, 1985, 1990, ROJAS 1989) entre otros.

MENENDEZ (1966) ubica a la Peridotita de Tinaquillo en su faja Caucagua - El Tinaco, mientras que BECK (1985, 1986) la denomina "Napa de Caucagua - El Tinaco". Se acepta un origen magmático y a partir de los trabajos coincidentes y más actualizados de OSTOS (1985) y MATTSON (1985) en donde se reconoce que este tipo de rocas son parte del complejo ultramáfico y que no son enclaves de la roca caja como se venía interpretando, ya que la evidencia de esto fue encontrada por OSTOS (1990); al comprobar que la afinidad tectónica aportada por las rocas máficas de la llamada aureola de contacto de MACKENZIE (1960) no coincidía con el aportado por las máficas dentro de la Peridotita. Además, MATTSON (1985) y OSTOS (1990) presentan evidencias de tipo estructural que demuestran que la aureola de contacto no existe, y OSTOS (1985, 1990) añade que las rocas ultramáficas de la unidad son tectonitas metamórficas y reflejan en su textura el segundo evento metamórfico que influyó en estas rocas, representando así, el punto clave y fehaciente contra la interpretación previa de una intrusión como una masa caliente de cristales.

La Peridotita de Tinaquillo aflora en varias secciones de la presente área estudiada y constituye casi el 70 % de la misma.

Esta unidad está constituida según MACKENZIE (1960), indica que el cuerpo está constituido por varios tipos de rocas, tales como la peridotita serpentinizada y no serpentinizada, conformando el 95% del área de afloramiento y el 5% restante, conformado por capas delgadas de piroxenita, anfíbolita y metagabro, siendo muy escasas en las partes meridional y occidental pero destacándose en el extremo nor-oriental de la peridotita, que presenta hasta un 10 % de enstatita lamelar en granos equidimensionales y bastoncitos achatados en los planos de esquistosidad. La serpentinita es mayoritariamente antigorita y aflora significativamente en la región septentrional, en una ancha faja a lo largo del corrimiento de Manrique. El metagabro presenta textura gneisica granoblástica con granate piropoalmandino.

Por otra parte, OSTOS (1990) indica que la Peridotita de Tinaquillo está caracterizada por la presencia de rocas ultramáficas que mineralógicamente son harzburgita (75%), dunita (20%), serpentinita (5%), constituyendo el 90% del área estudiada, y el 10% restante, de metagabro. También hay algunas capas de piroxenita y anfíbolita voluméricamente insignificantes. La foliación es de tipo milonítico y con lineación mineral bien desarrollada. Dicho autor describe los tipos litológicos como sigue:

Harzburgita

De color verde oscuro en superficie fresca y anaranjado oscuro en superficie meteorizada. Constituye la litología predominante, mostrando una textura porfidoblástica muy bien desarrollada con enstatita y espinela formando los porfiroclastos más comunes. Presenta como minerales esenciales al olivino, enstatita y diópsido, y como accesorios, a la serpentinita, espinela y magnetita.

Dunita

Es de color verde oscuro en superficie fresca y naranja en superficie meteorizada. Está interestratificada con la harzburgita en capas hasta de 30 cm de espesor. La foliación es una estructura planar muy desarrollada en la mayoría de los afloramientos, haciéndose difícil observarla donde el clivaje de fractura es común y está bien desarrollado, así como donde la serpentinitización ha distribuido la textura original. Presenta como mineral esencial el olivino, y como accesorios a la enstatita, espinela y diópsido. Muestra las mismas características texturales de la harzburgita. La matriz representa el 75% del total de cada muestra y por lo general, milonitizada.

Serpentinita

La masiva de color verde oscuro, y la foliada, verde claro y posiblemente con talco, evidenciado por su untuosidad. Se localiza principalmente hacia la zona de contacto de corrimiento de la Peridotita de Tinaquillo con el Esquisto de Las Mercedes al norte, apareciendo algún grado de serpentinitización hacia el contacto meridional con el Gneis de La Aguadita.

Se denomina como serpentinita a las rocas constituidas con más de un 50% de minerales del grupo de la serpentinita. Está constituida por antigorita y magnetita, con venas y vetillas conformadas por crisotilo y agregados de antigorita.

Piroxenita

La piroxenita se presentan como venas paralelas o angulares a la foliación de la Peridotita de Tinaquillo. Es de

color negro y contienen principalmente ortopiroxeno y espinela. Sus minerales esenciales son la enstatita, diópsido y olivino y los accesorios, espinela, magnetita y minerales de serpentina. Localmente, estas venas se encuentran parcialmente transformadas en anfibolita.

Gabro

Color gris verdoso, y meteorizado, marrón oscuro. Aflora principalmente, en las partes inferiores de las secuencias del complejo ultramáfico, cercanos a los contactos concordantes de corrimiento con el Esquisto Las Mercedes y el Complejo El Tinaco. Aparece en forma de cuerpos lenticulares de 0,8 km de espesor y 1,8 km de longitud, siendo su geometría producto de la deformación y no de una relación magmática original con la Peridotita.

Presenta algunos extraños porfiroblastos de hornblenda y porfiroclastos de granate de 1,5 cm de longitud. OSTOS (1990) señala que estos evidencian dos eventos metamórficos: uno correspondiente a la facies de la granulita (más antiguo) y otra, a la facies de la anfibolita (más joven).

Tiene como minerales esenciales a la plagioclasa (andesina), hornblenda, piroxeno y como accesorios, a la magnetita y espinela principalmente con textura gneisica.

3.3.4.2. Complejo El Tinaco

Aflora al sur de la Peridotita de Tinaquillo, (MACKENZIE 1960, 1966) y esta unidad está localizada exclusivamente en una pequeña sección al noreste de la zona actualmente estudiada, representando el 5 % de la zona en cuestión. Hacia el norte, se encuentra en contacto concordante con la Peridotita de Tinaquillo. Está conformada por un 57 % de gneis anfibolítico y por un 43 % de gneis cuarzo-feldespático.

Gneis anfibolítico

Es de color gris claro con tonos verdosos y meteoriza a marrón. Poseen una gran similitud con las rocas gabroides de la Peridotita de Tinaquillo. Esta roca fue inicialmente descrita por MACKENZIE (1960) como la aureola de contacto del complejo ultramáfico. Más tarde, OSTOS (1985) y MATTSON (1985) presentan evidencias estructurales que catalogan a estas rocas ultramáficas como tectonitas metamórficas, que reflejan en su textura el segundo evento metamórfico que afectó a dichas rocas. Por tanto, se descarta la interpretación inicial dada, la cual considera la intrusión como una masa caliente de cristales.

Gneis cuarzo-feldespático

De color gris verdoso que meteoriza a marrón. Su litología predominante son el anfíbol y la plagioclasa, y como mineral accesorio, la magnetita. Con una textura gneisica bien desarrollada y se presentan como capas dentro de la anfibolita.

3.3.4.3. Esquisto de Las Mercedes

Esta unidad se ubica al norte del área estudiada en este trabajo, y representa un 25% de la zona aproximadamente. Su contacto sur es de falla, tanto con la Peridotita de Tinaquillo como con la del Complejo El Tinaco al sureste, pudiendo observarse solamente este contacto, ya que el norte sobrepasaba los límites de la zona. Está caracterizado por los siguientes tipos litológicos: un 53% de filita cuarzo micácea grafitosa más o menos calcárea, un 29% de esquisto cuarzo micáceo carbonático, un 12 % de mármol cuarzoso y un 6 % de cuarcita micácea.

Su litología es muy semejante a la descrita para la misma unidad en la región de Caracas, descrita por DENG (1950). En este trabajo se utiliza el nombre de Esquisto de Las Mercedes según la proposición de URBANI (2000).

Filita cuarzo-micácea

De color gris en superficie fresca y pardo rojizo en superficie meteorizada. Son la más abundantes y características de esta unidad. Presenta abundantes vetas de calcita sin un patrón definido. Presenta una marcada foliación con plegamiento suave. Son fisiles y muy quebradizas. Están conformadas esencialmente por minerales de cuarzo, mica y grafito, siendo sus minerales accesorios la magnetita y la hematita en bandas muy finas intercaladas con delgadas bandas de cuarzo.

Esquisto cuarzo micáceo carbonático más o menos grafitoso.

De color gris en superficie fresca que meteoriza a pardo rojizo, con intercalaciones o cruce de vetas de cuarzo, las cuales tienen espesor máximo de 3 cm. Sus minerales esenciales son cuarzo, muscovita y calcita, y los accesorios, magnetita, hematita y pirita, observándose una textura "mica flysh".

Mármol cuarzoso y cuarcita muscovítica

De color gris claro en superficie fresca meteorizando a pardo rojizo. Con intercalación de mármol y filita cuarzo micácea grafitosa más o menos carbonática. Conforman la menor proporción de esta unidad. Los minerales esenciales del mármol son calcita, cuarzo y muscovita y como accesorio, el grafito.

3.4. Reconocimiento geológico de la zona de estudio

El área estudiada comprende unos 48 km² de extensión y fue dividida en cuatro zonas: Hato Tamanaco, Casupo nor-este, Casupo noroeste y Tetás de Tinaquillo. (Mapa 1 y Mapa 2)

3.4.1. Hato Tamanaco

Esta zona coincide con la zona T-2 de jaspes marrón crema y rojizos de VARELA (1995). Dicha zona no está constituida únicamente de jaspe marrón y crema, como lo describe RODRÍGUEZ (1992) ni de jaspe rojizo como lo describe en el sitio T-2 (VARELA 1995), sino que hay además, una gran gama de ópalos de colores: blancos, verdes (muy escasos), translúcidos grisáceos algo dendríticos, translúcidos con leve tono morado azulado, y ópalos crema. Predominan los ópalos blancos y translúcidos, y en segundo lugar, los

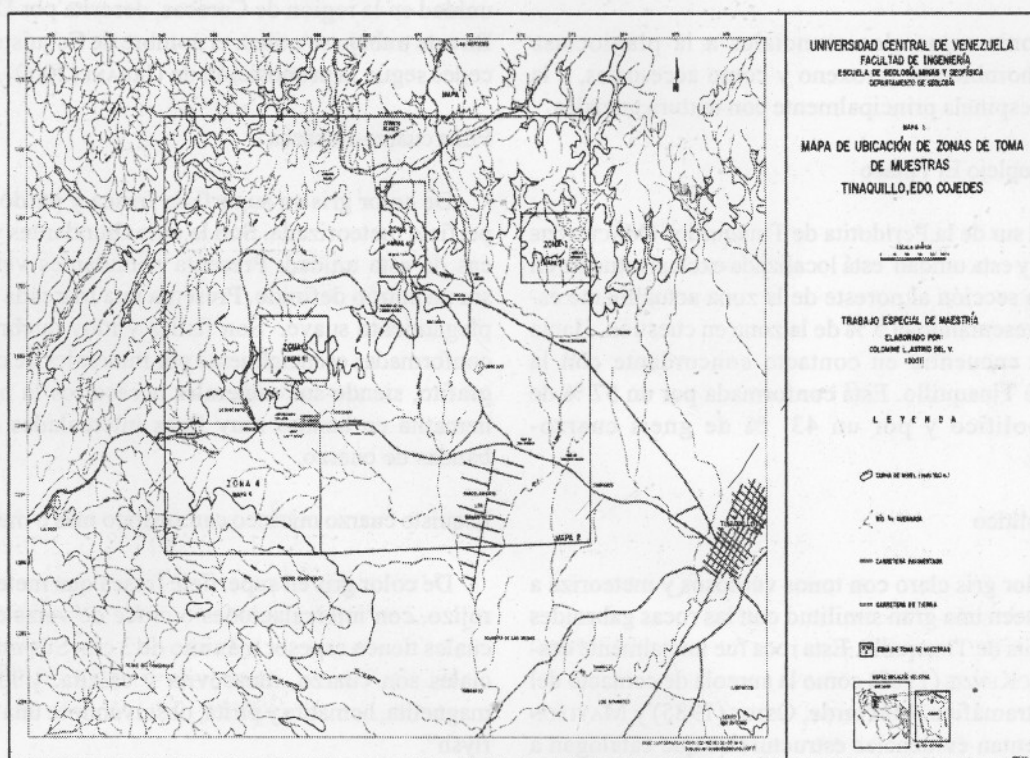
jaspes de color crema y rojizos.

El punto de referencia en la mayoría de los afloramientos de este sector será el punto inicial de partida o punto denominado 0, ubicado en el extremo sur del puente aledaño al Embalse Mendoza, entrando por Hato Tamanaco (Mapa 3). Afloramiento CO-1

Ubicación descriptiva: a partir del punto 0 a 675 m de éste, en dirección N68W.

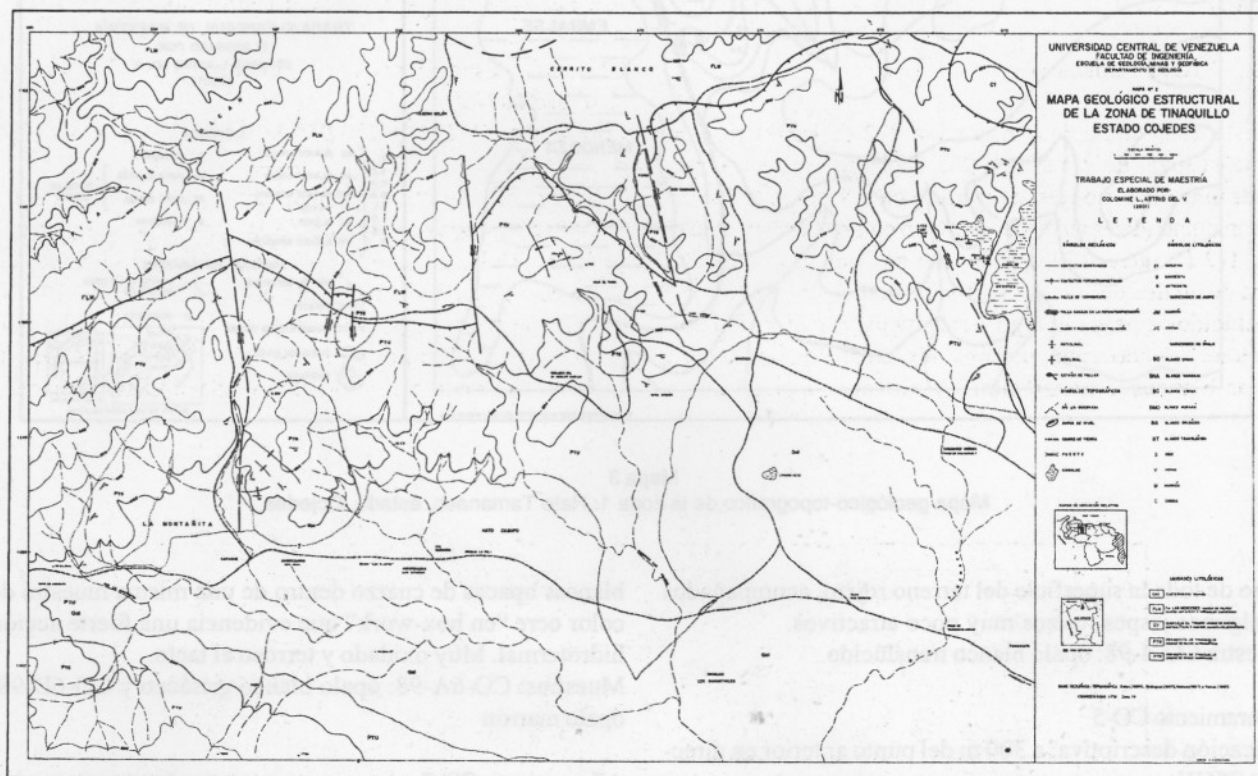
Coordenadas UTM: 1.100.950 N y 572.350 E. Cota: 526 m.s.n.m.

Descripción: Muestras aparentemente de magnesita, muy livianas y porosas en venas de 7 a 10 cm de espesor y un par de metros de longitud, que coexisten con ópalos blancos en pequeños bloques dispersos de aproximadamente 10 x 6 cm. Con apariencia granular en su superficie. Se ubican en un área de 3 x 3 m, tipo cárcava en donde se observa un suelo meteorizado con coloración verde oliva marronáceo.



Mapa 1

Mapa de ubicación de las zonas de toma de muestras en Tinaquillo, estado Cojedes.



Mapa 2
Mapa geológico estructural de la zona de Tinaquillo, estado Cojedes.

Muestra CO-1-98: ópalo verde (muy escaso) con magnesita.

Afloramiento CO-2

Ubicación descriptiva: a 15 m del punto anterior en dirección S25E.

Coordenadas UTM: 1.100.930 N y 572.350 E. Cota: 528 m.s.n.m.

Descripción: ópalo blanco translúcido, macizo, liso y muy compacto, mezclado con supuestos bloques de magnesita en suelo marrón rojizo muy intenso.

Muestra CO-2-98: ópalo blanco translúcido.

Afloramiento CO-3

Ubicación descriptiva: a 10 m del punto anterior en dirección S25E.

Coordenadas UTM: 1.100.920 N y 572.360 E. Cota: 530 m.s.n.m.

Descripción: escasos bloques de jaspe color crema llegando a marrón, opaco, macizo, compacto, con oquedades en su superficie, en bloques sueltos de 15 cm x 8 cm.

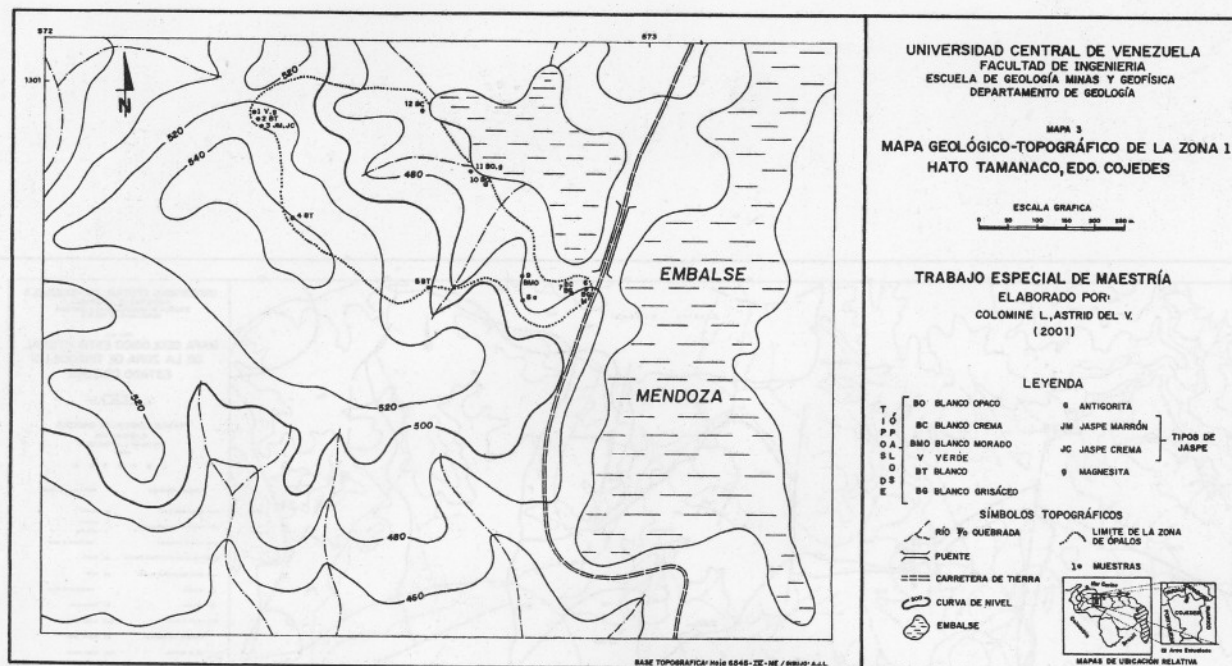
Muestra CO-3-98: jaspe marrón y crema.

Afloramiento CO-4

Ubicación descriptiva: a 175 m del punto anterior en dirección S23E.

Coordenadas UTM: 1.100.650 N y 572.675 E. Cota: 540 m.s.n.m.

Descripción: ópalos blancos translúcidos, muy oxidado en la cobertura, específicamente en sus bordes, ásperos al tacto, de aspecto uniforme, macizo, en bloques dispersos a lo



Mapa 3
Mapa geológico-topográfico de la zona 1: Hato Tamanaco, estado. Cojedes

largo de toda la superficie del terreno rojizo, acompañados de algunos jaspes rojizos muy poco atractivos.

Muestra CO-4-98: ópalo blanco translúcido

Afloramiento CO-5

Ubicación descriptiva: a 300 m del punto anterior en dirección S86W.

Coordenadas UTM: 1.100.650 N y 572.675 E. Cota: 500 m.s.n.m.

Descripción: ópalos blanquecinos translúcidos en suelos oxidados de coloración rojo oscuro en pequeños bloques de 12 cm x 7 cm.

Muestra CO-5-98: ópalo blanco translúcido.

Afloramiento CO-6

Ubicación descriptiva: a 40 m del punto 0 en dirección S64W, bajando hacia el puente del Embalse Mendoza. A 15 m del punto anterior, hay una curiosa red de vetillas de ópalo blanco muy finas de 45 cm de largo x 3 cm de espesor en forma de rombos con dirección N65W 47S (primera vetilla) y N33W 49N (segunda vetilla).

Coordenadas UTM: 1.100.655N y 572.910 E. Cota: 481 m.s.n.m.

Descripción: ópalos blanco grisáceos translúcidos hacia el centro, opaco y más blanquecino hacia los bordes, algo dendríticos en algunos con terminaciones radiales parecido a ramitas de posible pirolusita, en afloramientos en forma de lentes de tamaño aproximado de 25 x 3 cm en suelo color marrón y crema con aspecto de roca meteorizada. Se observa también una especie de enrejado o entramado de vetillas

blancas opacas de cuarzo dentro de una misma muestra de color ocre "en box-work" que evidencia una fuerte acción hidrotermal. Muy oxidado y terroso al tacto.

Muestras: CO-6A-98: ópalo blanco grisáceo y CO-6B-98: ópalo marrón

Afloramiento CO-7

Ubicación descriptiva: a unos 70 m del punto 0 en dirección S70W.

Coordenadas UTM: 1.100.645 N y 572.890 E. Cota: 480 m.s.n.m.

Descripción: patrón de vetillas translúcidas siguiendo el mismo diseño romboédrico. Se supone la presencia de una zona de transición debido a la existencia de ópalos blancos hacia los bordes y translúcidos hacia el centro. Dichas vetillas miden 70 cm de largo x 2 cm de espesor.

Muestras: CO-7A-98: ópalo blanco con leve tonalidad crema y CO-7B-98: vetillas de ópalo blanco grisáceo.

Afloramiento CO-8

Ubicación descriptiva: a 150 m del punto 0 en dirección S71W.

Coordenadas UTM: 1.100.625 N y 572.815 E. Cota: 480 m.s.n.m.

Descripción: veta en forma de "T" de aproximadamente 1,5 m de ancho x 3 m de largo, y constituida a su vez por pequeñas vetillas de cuarzo blanco, segmentadas en pequeños bloques, en donde su parte central está rellena de un material negro y bordeándolo externamente, se encuentra un material gris oscuro, presumiblemente serpentina.

Muestra CO-8-98: pequeña porción de posible antigorita en forma de material negro central.

Afloramiento CO-9

Ubicación descriptiva: a 140 m del punto 0 en dirección N88W.

Coordenadas UTM: 1.100.665 y 572.810 E. Cota: 479 m.s.n.m.

Descripción: ópalos blancos translúcidos con leve tono morado azulado en pequeños bloques de 13 cm de largo x 7 cm de ancho. Compactos. Muy escasos. Se observa un terreno intermedio con vetas de magnesita y cuarzo blanco.

Muestra CO-9-98: ópalo blanco morado.

Afloramiento CO-10

Ubicación descriptiva: a 275 m del punto 0 en dirección N53W.

Coordenadas UTM: 1.100.835 N y 572.740 E. Cota: 466 m.s.n.m.

Descripción: ópalo blanco algo cremoso presente en una veta de aproximadamente 3 cm de largo x 2 cm de espesor que se ubica paralelamente a un cuarzo botroidal muy horadado, localizado a su vez en una larga veta de 3 m de largo x 4 cm de espesor que sigue una orientación N80W 65S.

Muestra CO-10-98: ópalo blanco opaco.

Afloramiento CO-11

Ubicación descriptiva: a 35 m del punto anterior en dirección N45W.

Coordenadas UTM: 1.100.850 N y 572.720 E. Cota: 461 m.s.n.m.

Descripción: asociación de ópalos blancos opacos y mates, y magnesita en forma de rombos con tamaño de Dm. muy terroso y frágil.

Muestra CO-11-98: ópalo blanco opaco y magnesita.

Afloramiento CO-12

Ubicación descriptiva: a 135 m del punto anterior en dirección N43W.

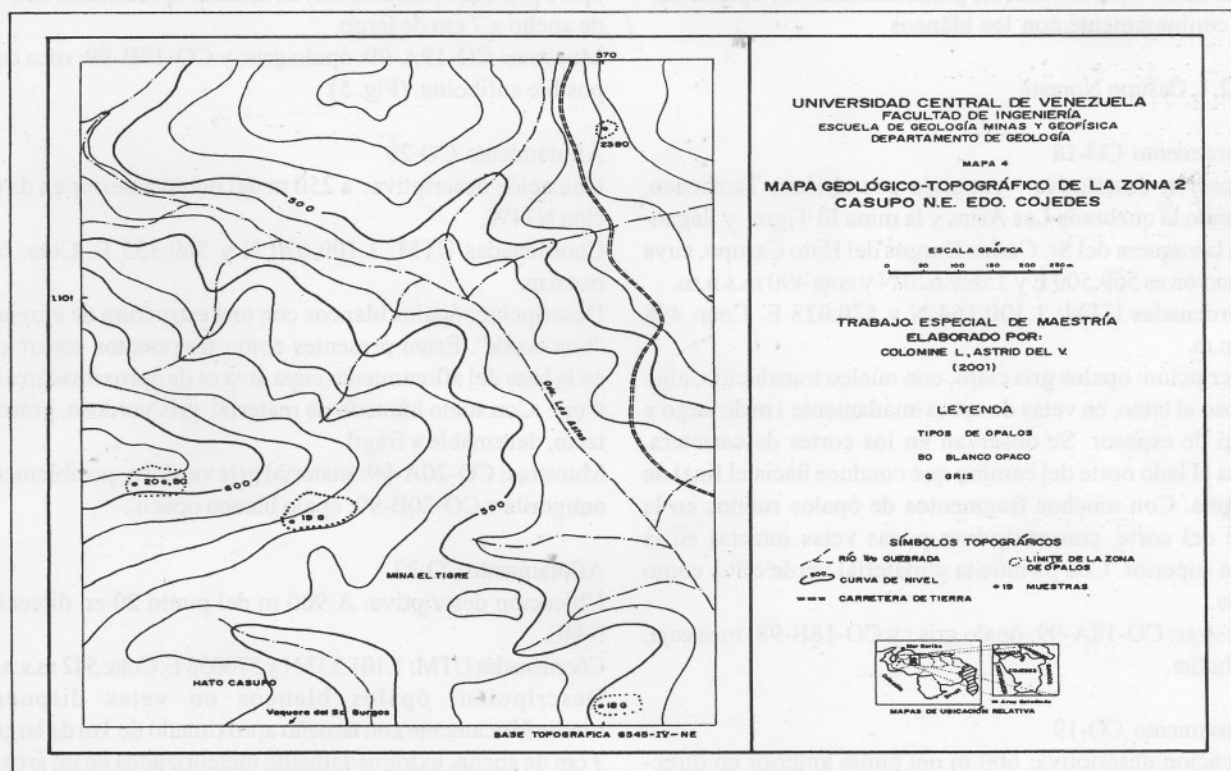
Coordenadas UTM: 1.100.960 N y 572.625 E. Cota: 468 m.s.n.m.

Descripción: ópalo en bloques muy prominentes algo disgregados pero siguiendo franjas de varios colores: blanco, crema oscuro y crema claro en una misma área de 1,5 m² de roca serpentinitica y suelo rojizo.

Muestra CO-12-98: ópalo blanco - crema

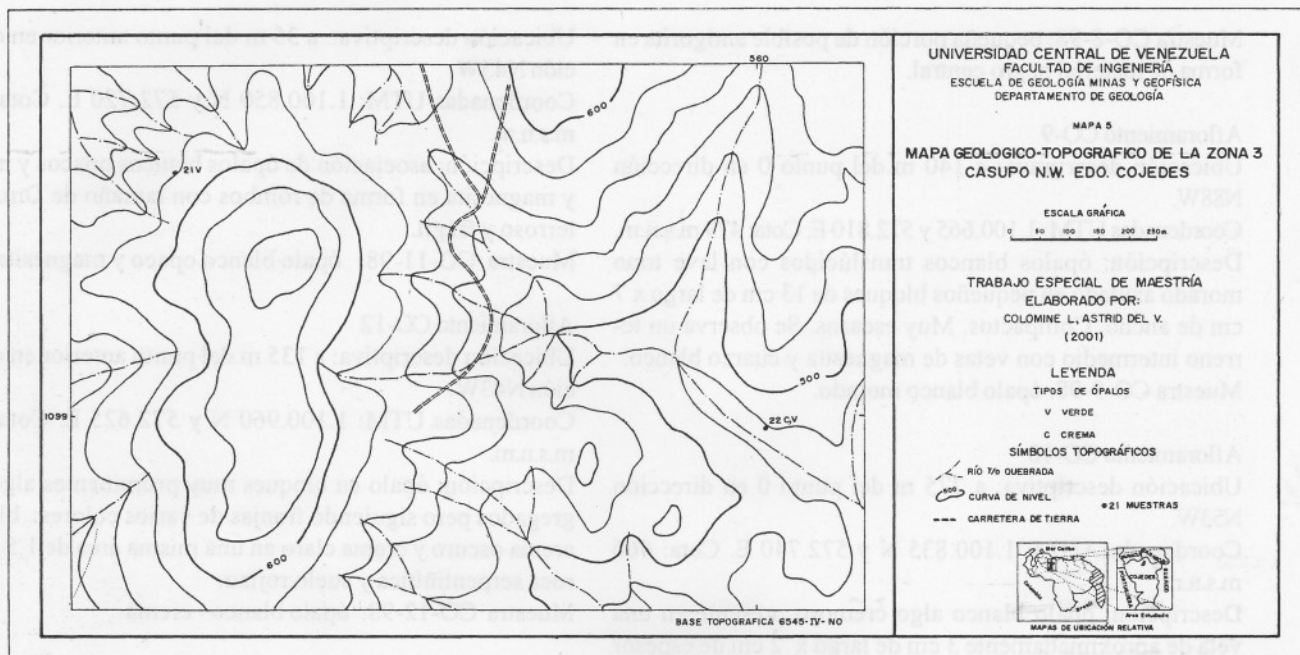
3.4.2 Casupo

La zona de Casupo norte, por su gran extensión, se dividió para su estudio en dos zonas: Casupo noreste (Mapa 4) y Casupo noroeste (Mapa 5). Ambas zonas en conjunto coinciden con la zona T-1 de VARELA (1995), quien indica



Mapa 4

Mapa geológico-topográfico de la zona 2: Casupo noreste, estado Cojedes.



Mapa 5

Mapa geológico-topográfico de la zona 3: Casupo noroeste, estado. Cojedes.

que predominan los ópalos verdes. Esta zona no es exclusivamente de ópalos verdes como señalan RODRÍGUEZ (1992) y VARELA (1995 en T-1), sino también de ópalos grises, ópalos crema y ópalos blancos, predominando los ópalos verdes conjuntamente con los blancos

3.4.2.1. Casupo Noreste

Afloramiento CO-18

Ubicación descriptiva: entrando por el Hato Tamanaco, pasando la quebrada Las Astas y la mina El Tigre, y llegando a la vaquera del Sr. Carlos Burgos del Hato Casupo, cuya ubicación es 569.500 E y 1.099.620 N y cota 490 m.s.n.m.

Coordenadas UTM: 1.100.164 N y 570.028 E. Cota: 498 m.s.n.m.

Descripción: ópalos gris claro, con núcleo translúcido, algo sedoso al tacto, en vetas de aproximadamente 1m de largo x 5 cm de espesor. Se observan en los cortes de carretera, hacia el lado oeste del camino que conduce hacia el final de la mina. Con muchos fragmentos de ópalos sueltos en la base del corte, conservándose pocas vetas intactas en la parte superior. Con pirolusita y material verde oliva como suelo.

Muestras: CO-18A-99: ópalo gris ; y CO-18B-98: roca caja, anfíbolita.

Afloramiento CO-19

Ubicación descriptiva: 600 m del punto anterior en dirección N50W.

Coordenadas UTM: 1.100.549 N y 569.572 E. Cota: 560

m.s.n.m.

Descripción: Afloramiento en la carretera de tres metros aproximadamente de extensión, con fragmentos sueltos de ópalo gris claro, translúcido, de tamaño aproximado de 5 cm de ancho x 7 cm de largo.

Muestras: CO-19A-99: ópalo gris; y CO-19B-99: roca caja, posible anfíbolita. (Fig. 5)

Afloramiento CO-20

Ubicación descriptiva: a 250 m del punto anterior en dirección N74W.

Coordenadas UTM: 1.100.620 N y 569.355 E. Cota: 618 m.s.n.m.

Descripción: ópalos blancos con una estructura de enrejado "box-work". Están presentes como fragmentos esparcidos en la base del afloramiento cuya área es de aproximadamente 4 m². Con suelo húmedo de material gris verdoso, graso al tacto, deleznable y frágil.

Muestras: CO-20A-99: material gris verdoso, posiblemente antigorita y CO-20B-99: ópalo blanco opaco.

Afloramiento CO-23

Ubicación descriptiva: A 900 m del punto 20 en dirección N44E.

Coordenadas UTM: 1.101.333 N y 570.058 E. Cota: 542 m.s.n.m.

Descripción: ópalos blancos en vetas dispuesta romboédricamente con tamaño aproximado de 1m de largo x 3 cm de ancho, extremadamente meteorizados en un área de afloramiento de 60 m².

Muestra CO-23-98: ópalo blanco opaco.



Fig. 5
Vista hacia la mina de amianto con orientación S20W

3.4.2.2. Casupo Noroeste

Afloramiento CO-21

Ubicación descriptiva: entrando por Granja La Poli, cercano a la Agropecuaria Las Luvaras, dentro del Desarrollo Casupo. Coordenadas UTM: 1.099.404 N y 567.066 E. Cota: 567 m.s.n.m. Descripción: ópalos verdes claros translúcidos en pequeñas vetas de 1 m de largo x 6 cm de espesor, muy diseminadas. También se presentan en fragmentos de roca suelta en la base del afloramiento, de tamaño aproximado 6 cm de largo x 3 cm de espesor.

Muestra CO-21-99: ópalo verde. (Fig. 6)

Afloramiento CO-22

Ubicación descriptiva: a 1.100 m del punto anterior en dirección S67E.

Coordenadas UTM: 1.098.980 N y 568.010 E. Cota: 476 m.s.n.m.

Descripción: ópalo crema, opaco, en bloques, con material circundante muy meteorizado, con fractura concoidea, de variados tamaños, siendo su promedio aproximadamente 1 m x 50 cm, acompañado de un suelo rocoso suelto del mismo material de tipo laterítico. También se encuentran algunos verde oliva, muy compactos, algunos con bordes crema como en vetas, translúcido, muy compacto y brillante. Su extensión de afloramiento es de 20 m de largo x 10 m de ancho.

Muestra CO-22A-99: ópalo crema; CO-22B-99: ópalo verde

y CO-22C-99: roca caja, posible serpentinita. (Fig. 7)

3.4.3. Tetas de Tinaquillo

Coincide con la zona T-3 de VARELA (1995), correspondiente a ópalos blancos.

Aquí no hay ópalos blancos exclusivamente como específica VARELA (1995), sino también translúcidos, con tonos naranjas, con pirolusita, y otros marrones, aunque los blancos son predominantes. (Mapa 6)

Afloramiento CO-13

Ubicación descriptiva: se entra por el poblado de Tinaquillo y se continúa aproximadamente por 10 cuadras y se cruza a mano derecha hacia el cementerio siguiendo luego hacia la Iglesia Fátima, y de allí rumbo al sector Banco Bonito, pasando por la Agropecuaria Las Luvaras hasta llegar a la antigua mina de amianto, donde se localiza el yacimiento de ópalo. Coordenadas UTM: 1.097.850 N y 565.200 E. Cota: 498 m.s.n.m.

Descripción: en esta mina de amianto se encontraron ópalos marrones, blancos y blancos con tonos naranjas, con pirolusita en forma de puntos oscuros, algunos con enrejado "box-work" o en gránulos. También se observa amianto en muestras marrón oscura, casi negras, presumiblemente de ópalos negros, grasos al tacto, opacos. Así como, muestras translúcidas azuladas con pirolusita. Todas se presentan como fragmentos aflorantes de diferentes tamaños. Su ex-



Fig.6

Zona de ópalo verde

tensión es de aproximadamente 20 m de largo x 60 m de ancho.

Muestras CO-13A-98: ópalo blanco opaco; CO-13B-98: ópalo blanco-naranja, CO-13C-98 y CO-13D-98: roca caja, posible serpentinita.

Afloramiento CO-14

Ubicación descriptiva: parte posterior del Bohío "Las Cinco Jotas" (hacia el sur), al lado de "Agropecuaria Las Luvaras". Coordenadas UTM: 1.097.150 N y 567.890 E. Cota: 455 m.s.n.m.

Descripción: ópalos translúcidos con tonos naranja oscuro, con fractura concoidea, muy compacto, en terreno de pendiente suave cubierto de gramíneas y fragmentos de roca suelta muy oxidada de diferentes tamaños, siendo el más común el de muestras de mano. También se observan algunos ópalos blancos translúcidos, con algunas inclusiones oscuras y de brillo vítreo, así como ópalos blancos opacos y sedosos al tacto. Con esquisto como roca caja. Su extensión es de 20 m de largo x 20 m de ancho.

Muestra CO-14A-98: ópalo blanco-naranja; CO-14B-98: ópalo blanco translúcido y CO-14C-98: roca caja, posible esquisto.

Afloramiento CO-15

Ubicación descriptiva: a 1.070 m del punto anterior en dirección S71W.

Coordenadas UTM: 1.096.816 N y 566.896 E. Cota: 479 m.s.n.m.

Descripción: muestras de ópalo blanco opaco, sin brillo,

sedoso al tacto, compacto, en vetas perpendiculares entre sí, formando rombos. En un área de aproximadamente 1 m², se ubican seis vetas verticales cuyo patrón es N24E 76S y las horizontales con patrón N87E 29N, imbuidas en material limoso color ocre verdoso. También se observan rocas gris azulado muy fracturadas posiblemente peridotitas serpentinizadas. Su extensión es de 2 m de largo x 10 m de ancho.

Muestra CO-15A-98: ópalo blanco opaco y CO-15B-98: roca caja posible serpentinita metamorfozada. (Figs. 8 y 9)

Afloramiento CO-16

Ubicación descriptiva: a 610 m del punto anterior en dirección S24W.

Coordenadas UTM: 1.096.255 N y 566.604 E. Cota: 380 m.s.n.m

Descripción: ópalos blancos en capas serpenteantes, con orientación S50E y de espesor de 20 cm, ubicadas paralelamente y con material limoso verde oliva, muy arenoso y húmedo con patrón de diaclasamiento entre ellas, en fragmentos de posible antigorita de color azul. Su extensión es de 50 m de largo x 100 m de ancho.

Muestra CO-16-98: ópalo blanco opaco. (Figs. 10, 11 y 12)

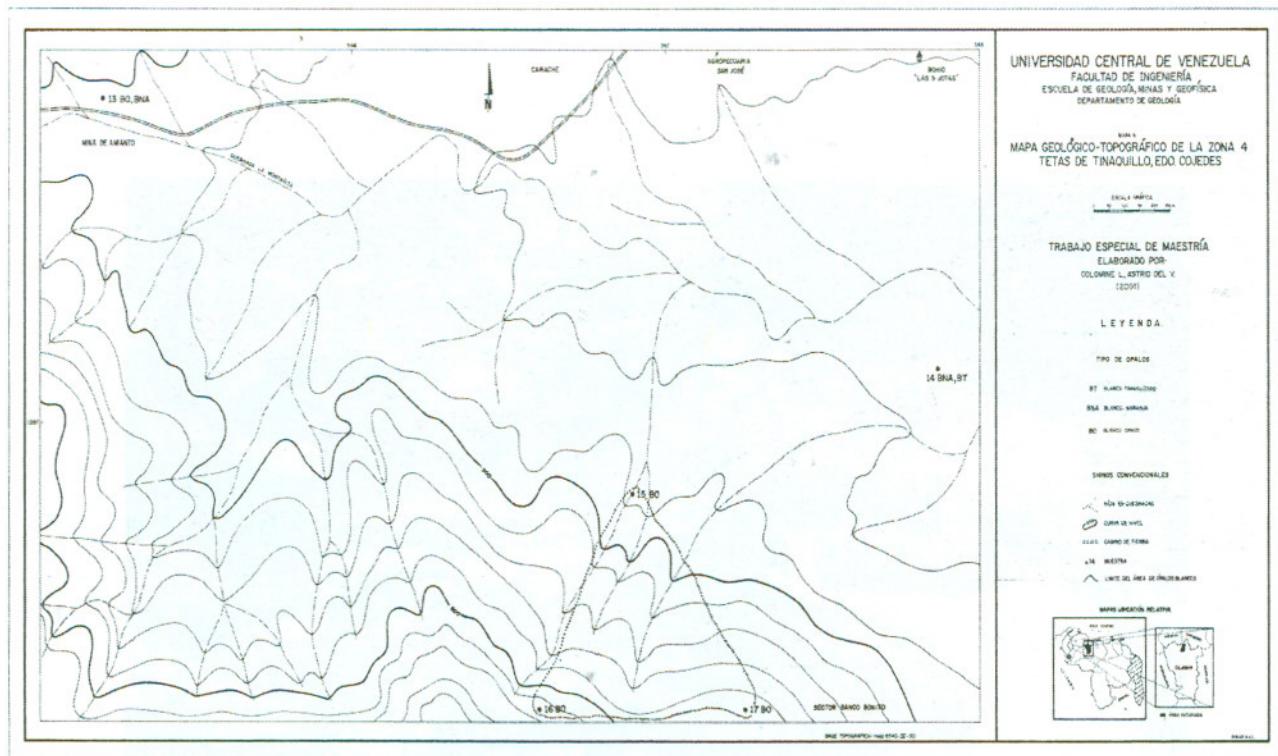
Afloramiento CO-17

Ubicación descriptiva: a 640 m del punto anterior en dirección E.

Coordenadas UTM: 1.096.260 N y 567.259 E. Cota: 400 m.s.n.m.



Fig. 7
Zona de ópalo crema



Mapa 6
Mapa geológico-topográfico de la zona 4: Tetas de Tinaquillo, estado. Cojedes.



Fig. 8
Zona de ópalo blanco en vetas paralelas
entre sí formando rombos



Fig. 9
Otra sección de ópalo blanco



Fig. 10
Ópalo blanco en capas serpenteantes con orientación S50E



Fig. 11
Ópalo blanco mezclado con posible antigorita azul



Fig. 12:
Vista hacia la mina Damica con orientación N35E desde el punto 16

Descripción: parte superior de la muestra CO-14. Ópalo blanco en vetas de 1 m de largo x 3 cm de grosor. Su extensión es de 1 m de largo x 5 m de ancho.

Muestra CO-17-98: ópalo blanco opaco.

En la Zona de Casupo Sur, correspondiente a la Zona T4 de VARELA (1995), no se pudieron detectar los ópalos negros y dendríticos que fueron reportados por RODRÍGUEZ (1992) y VARELA (1995) ya que en el área señalada hay actualmente una serie de edificaciones, por lo que se supone, fueron removidos, o quizás, la ubicación no fue correcta, pues se detectaron ópalos grises, casi negros, como a 2,5 km hacia el norte del lugar indicado por ellos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción de las muestras sometidas a análisis químicos

Se escogieron 24 muestras, de las cuales su mayoría está conformada por ópalo, así como también, jaspe, roca caja y material suelto anexo a los ópalos. Estas muestras son las siguientes:

CO-1-98: ópalo verde claro hacia su parte central mezclado con algunas porciones blancas, poco uniforme en cuanto a color en su totalidad. Translúcido, con muy pocas inclusiones negras vistas a la lupa de mano. Con aspecto granular,



Fig. 13
Ópalo verde

que van de 0,5 a 2 cm aproximadamente. Compacta (Fig. 13)

CO-2-98: ópalo blanco translúcido en su parte central y en sus bordes, manteniendo una pequeña porción opaca hacia el centro y con una costra rojiza en su sección más externa. Sin inclusiones visibles. Macizo, uniforme, liso y muy compacto (Fig. 14).

CO-3-98: jaspe marrón, de color bastante uniforme y opaco.



Fig. 14
Ópalo blanco-traslúcido

Con diminutas vetillas grises de cuarzo muy delgadas y translúcidas. Con signos de oxidación en sus bordes. Macizo, compacto, con alto porcentaje de oquedades (Fig. 15).
CO-4-98: ópalo blanco translúcido algo grisáceo hacia los



Fig. 15
Jaspe

bordes y blanco opaco hacia el centro. Con costra rojiza en los bordes. Sin inclusiones visibles. Bastante uniforme, macizo y compacto (Fig. 16).

CO-5-98: ópalo blanco translúcido hacia los bordes y blanco opaco hacia el centro y hacia los bordes con coloración rojiza. Muy compacto (Fig. 17)

CO-6A-98: ópalo blanco grisáceo, más translúcido hacia el centro y blanco opaco hacia los bordes. Con muchas películas delgadas gris oscuro, presumiblemente de pirolusita, con terminaciones radiales de tipo dendrítico. Macizo, translúcido



Fig. 16
Ópalo blanco-traslúcido



Fig. 17
Ópalo blanco-traslúcido

y algo brillante (Fig. 18)

CO-6B-98: ópalo marrón oscuro siguiendo una configuración en "box-work" opaco, terroso, frágil, dispuesto en capas muy delgadas y frágiles de 0,3 mm aproximadamente.

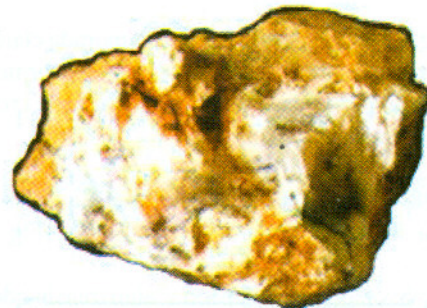


Fig. 18
Ópalo blanco-gris

Sin inclusiones visibles (Fig. 19).

CO-7A-98: ópalo blanco con tonalidad crema, de transpa-



Fig.19
Ópalo marrón

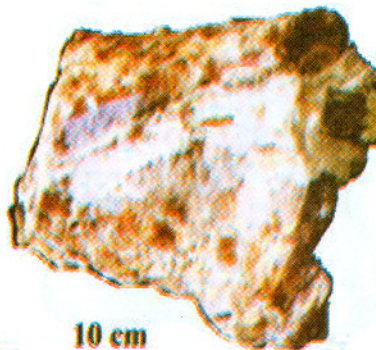


Fig.21
Ópalo blanco morado

rente a translúcido, muy brillante, brillo vítreo con efecto arcoiris en algunas secciones con fractura tipo concoidea. Con escasas inclusiones negras visibles bien diseminadas (Fig. 20)

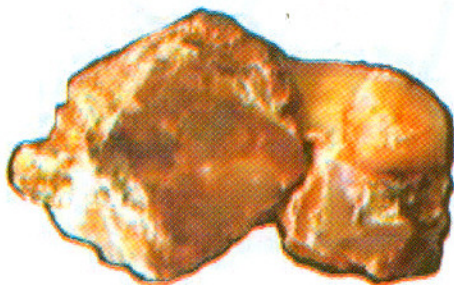


Fig.20
Ópalo blanco-crema



Fig.22
Ópalo blanco opaco

CO-9-98: ópalo blanco con tonalidad morada clara en forma de vetas, translúcido, con un color poco uniforme ya que se mezcla con algunas manchas blancas y algo de crema, macizo y muy compacto (Fig. 21).

CO-11-98: ópalo blanco opaco mezclado con posible magnesita. Mate, terrosa, frágil, muy liviana. (Fig. 22).

CO-13A-98: ópalo blanco opaco y algo translúcido hacia los bordes en forma de delgadas vetillas. Con inclusiones negras en forma de puntos, muy diseminadas y de tamaño aproximado de 1 mm, quizás de pirolusita. Terrosa, frágil, con apariencia algo granulada, de aproximadamente 0,5 a 1 cm de diámetro (Fig. 23).



Fig.23
Ópalo blanco opaco

diámetro (Fig. 23).

CO-13B-98: ópalo blanco naranja, opaco. Con inclusiones negras, de posible pirolusita visibles a simple vista, de aproximadamente 2 mm, en forma de puntos muy diseminados. Muy frágil, liso y graso al tacto. Algo brillante (Fig. 24).

CO-13C-98: roca caja, serpentinita, casi negra, cubierta por algunas manchas color crema claro y otras en menor proporción, grises. Compacta pero algo fracturada. Lisa al tacto.

CO-13D-98: roca caja verde claro, serpentinita, con diminutas inclusiones negras de la pirolusita de aproximadamente 2 mm, muy diseminadas. Bastante compacta.

CO-14A-98: ópalo blanco con naranja oscuro, translúcido, recubierto de una gruesa costra blanca de ópalo hacia los bordes. Liso al tacto, con fractura concoidea, muy compacto

y resistente ante la percusión (Fig. 25).

CO-14B-98: ópalo blanco, de transparente a translúcido, con algunas inclusiones gris oscuro. Con terminaciones dendríticas en algunas secciones, de posible pirolusita. Brillo vítreo. Liso al tacto. Macizo, pero algo fracturado (Fig. 26).

CO-15A-98: ópalo blanco opaco, con bordes de tonalidad algo crema. Mate, sedoso al tacto, compacto (Fig. 27).

CO-18A-99: ópalo gris claro, bastante uniforme casi en su totalidad, exceptuando algunas porciones de color crema y blanco, con inclusiones negras en forma de puntos muy esparcidos, quizás de pirolusita. De translúcido a opaco, algo sedoso al tacto y muy compacto aunque presenta una apariencia terrosa (Fig. 28).

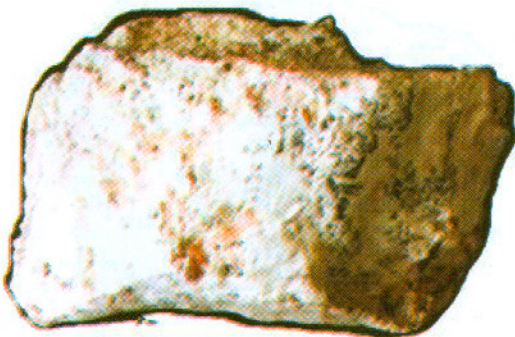


Fig.24
Ópalo blanco-naranja

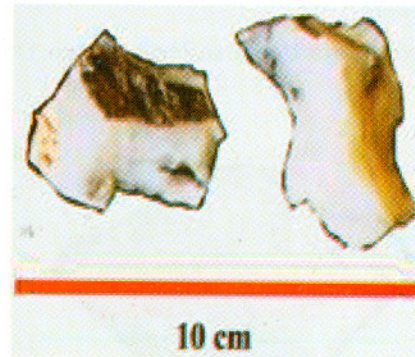


Fig.26
Ópalo blanco-traslúcido

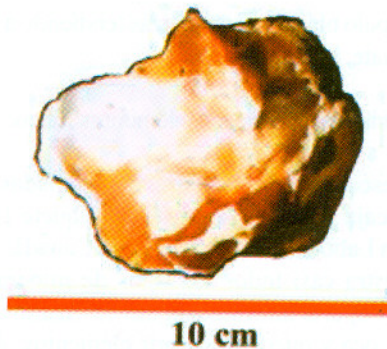


Fig.25
Ópalo blanco-naranja

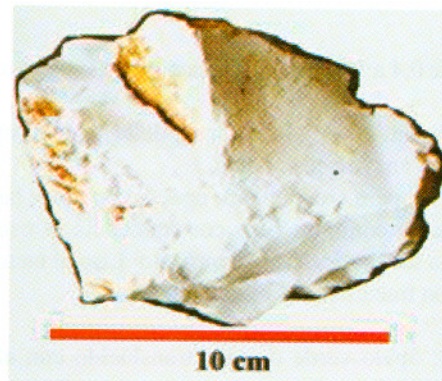


Fig.27
Ópalo blanco-opaco

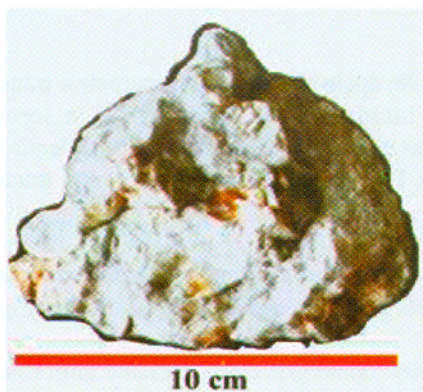


Fig.28
Ópalo gris

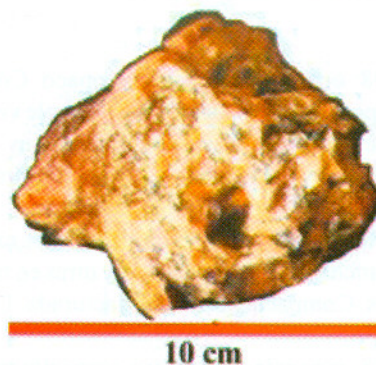


Fig.30
Ópalo crema

CO-19A-99: ópalo gris claro translúcido, vítreo. De aspecto



Fig.29
Ópalo gris



Fig.31
Ópalo verde

granulado de 0,4 a 1 cm aproximadamente. Compacto. Mate (Fig. 29).

CO-20A-99: antigorita gris verdosa, deleznable, muy fina, grasa al tacto, anexa a los ópalos.

CO-22-A-99: ópalo crema claro, opaco, con color bastante uniforme en su conjunto pero con tendencia al oscurecimiento hacia los bordes. Muy compacto. Liso al tacto, algo brillante. Con fractura concoidea (Fig. 30).

CO-22B-99: ópalo verde oscuro translúcido con algunas secciones crema hacia los bordes como si conformaran vetas. Brillo vítreo, liso al tacto y muy compacto. Produce chispas al golpearlo (Fig. 31).

CO-22-C-99: roca caja, serpentina verde claro, con actinolita.

Muy frágil, con bandeamiento de amianto. Con moteado verde oscuro.

CO-23-99: ópalo blanco opaco quizás tendiendo a magnesita, muy frágil, mate, liviana.

4.2. Determinación química de elementos trazas

Se escogieron 24 muestras conformadas por ópalo, jaspe y roca caja y se analizaron según paquete 1H "Au 48" en Activation Laboratories Ltd, Ontario, Canadá, ya que este paquete registra casi todos los tipos de mineralizaciones económicas y aporta información útil en cuanto a alteraciones, tipo de roca y puede descubrir elementos. Aquí se incluyen los códigos ID (Análisis de Activación Neutrónica Instrumental o INAA) y el 1F (Espectroscopia por Emisión de Plasma o Digestión por 4 ácidos ICP) que registran 49 elementos. De estos, los determinados por INAA son: Au, As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, La, Lu, Na, Nd,

tes, son precisados por ICP. Fueron enviadas 100 gr de cada muestra en bruto, por lo cual realizaron la pulverización y enviaron de regreso el polvo sobrante.

4.2.1. Análisis de activación neutrónica instrumental (INAA)

El análisis de activación neutrónica instrumental consiste en el bombardeo de muestras por neutrones a partir de un reactor nuclear midiendo las "huellas impresas" de rayos gamma inducidos a partir de la muestra de manera no destructiva y con gran precisión.

Este método es requerido por varias razones: 1) la matriz del ópalo es principalmente silícea, y ésta se activa muy escasamente cuando se expone a los neutrones, por tanto, la concentración de un gran número de elementos sólo es posible determinarla en el rango de sub ppm. 2) es una técnica no destructiva, muy adecuada para emplearla en materiales valiosos como lo son las gemas. 3) una misma muestra puede ser subdividida después del análisis para establecer las posibles diferencias en el contenido de elementos trazas, tanto en ópalos comunes como en preciosos y poder así deducir si estos elementos trazas pueden ser causantes del color.

4.2.2. Espectroscopía por emisión de plasma (ICP)

Desde 1920 fue introducida la palabra plasma para designar un "gas ionizado eléctricamente neutro, confinado a tubos de descarga". Se puede decir que el plasma es un cuarto estado de la materia en donde sus propiedades se generan a partir de las fuerzas coulombianas por la interacción entre partículas cargadas.

Desde el punto de vista de aplicación espectroscópica, es un gas parcialmente ionizado, eléctricamente neutro en su conjunto y confinado en un campo electromagnético, con temperaturas entre 4.000 a 10.000 K que son muy superiores a las pertenecientes a las llamas químicas. Esta característica lo convierte en fuente de emisión en espectroscopia donde deben disociarse las combinaciones químicas, incluidas las más refractarias.

A través de este método se puede hacer entre otros, el análisis de rocas, sedimentos y materiales geológicos a través de la excitación de las líneas más sensibles para cada uno de los elementos con un carácter único para todos ellos, con un rango analítico que comprende a los constituyentes mayoritarios, minoritarios, trazas y ultratrazas (VINDEL 1985).

A partir de la Tabla 3, que contiene los valores de ambos métodos aplicados en estos análisis geoquímicos, se hizo la Tabla 3 A, para condensar en una sola, los elementos que se repetían, escogiendo los que presentaban mayores

diferencias en cuanto a la totalidad de las lecturas de los valores y aquellos que poseían mayor precisión en cuanto a las lecturas (con más decimales). Se realizaron cuatro tipos de gráficos:

Barras: diseñados en base a los 15 elementos mayoritarios de la Tabla 3 A: Mn, Ni, Zn, Al, Ca, Mg, Sr, V, S, Co, Cr, Fe, Sc, La y Lm para cada coloración, con el fin de observar cuáles son los elementos que se destacan de acuerdo al color y si presenta un patrón común para poder así establecer si existe o no una relación entre el elemento y el color o entre sus proporciones.

Histogramas, diagramas de caja (box plot) y de dispersión (scatter plot) a partir de los 28 elementos contenidos en la Tabla 3 A: Cu, Mn, Mo, Ni, Zn, Al, Ca, K, Mg, P, Sr, Ti, V, Y, S, Au, As, Ba, Br, Co, Cr, Fe, Na, Sb, Sc, La, Ce y Sm, con el objeto de detectar la tendencia en cuanto a variación general de los elementos traza y si presenta algún comportamiento anómalo.

4.3. Análisis de difracción de rayos X

Se sometieron a análisis de difracción de rayos X a 22 muestras correspondientes a ópalos, jasper y roca caja en los Laboratorios de Difracción de Rayos X de la Escuela de Geología, Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela y en el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) utilizando radiación $\text{Cu K}\alpha$, a partir de los polvos procedentes del sobrante de las muestras analizadas químicamente según paquete 1H en Activation Laboratories Ltd, Ontario, Canadá. De estas muestras enviadas, se escogieron 20 muestras de ópalo y jaspes, 1 de roca caja (CO-13-C), y adicionalmente se agregó una muestra de ópalo tipo A suministrada por el Prof. Franco Urbani para que sirviese de patrón de comparación con respecto a los demás ópalos.

Este método consiste en la emisión de rayos X que se hace pasar por la estructura tridimensional de cada muestra de mineral pulverizado muy finamente, la cual se extiende uniformemente sobre la superficie de un porta-metálico. Esto provoca que los electrones que se encuentren en su trayectoria vibren con la frecuencia de la radiación incidente. Si la muestra se preparó adecuadamente, habrá millares de partículas en el porta-metálico en todas las direcciones y el detector en vez de registrarlas a todas al mismo tiempo, conserva la relación geométrica apropiada para recibir separadamente cada máximo de difracción. Dichos electrones vibrantes absorben parte de la energía de los rayos X y actúan como fuente de nuevos frentes de ondas dispersando esta energía como radiación de la misma frecuencia y longitud de onda. Todo esto es registrado y graficado en un papel en forma de difractograma.

Para que ocurra la dispersión se debe cumplir la Ley de Bragg, según la cual para un espaciado dado d y una longitud de onda λ , las reflexiones se producen para aquellos ángulos θ que satisfacen la ecuación, $n\lambda = 2d \sin\theta$ (HURLBUTH & KLEIN 1982). Dicho en otras palabras, esto sucede cuando el λ de los rayos X es del mismo orden que el de la distancia interplanar entre átomos de materiales cristalinos.

Por medio de este método se logra obtener gran información y comprensión en la identificación de compuestos cristalinos.

4.4. Determinación del color

Se determinó el color en las mismas 20 muestras de ópalos y jaspes, sometidas a los análisis químicos anteriores, basado 8 colores fundamentales utilizados en la escala europea (DIN) con 16.539 cifras indicativas y condensadas en el Atlas de Los Colores (KÜPPERS 1979).

Estos colores básicos corresponden al blanco (B), amarillo (A), magenta (M), cian (C), azul violeta (Vi), verde (V), naranja (Na) y negro (N), inmersos en una serie de tablas que muestran por orden sistemático más de 5.500 matices de colores. Para estas muestras en particular, se tomaron en cuenta sólo las posibles combinaciones del amarillo, magenta, cian y negro, determinados por su color intrínseco.

Con la muestra de mano, se busca en el Atlas, las tablas pertenecientes al color más parecido, partiendo de su color predominante, por ejemplo, amarillo. Se comienza por la numeración en negro de rasgos gruesos situada en la parte superior izquierda encima de cada tabla, en este caso, especificado como A_{20} (letra A que expresa las cantidades proporcionales del color en este caso amarillo) y el subíndice numérico que expresa el cubrimiento geométrico de la superficie en porcentaje (en este caso, 20 %). Este valor es el mismo para todos los matices de color de una misma tabla.

Este valor se mantiene y se intersectan los otros dos colores secundarios para obtener sus porcentajes leyendo el valor correspondiente en la escala izquierda de la tabla y por último, el valor de la parte inferior. Así resulta una cifra indicativa de tres miembros, por ejemplo: $A_{20}M_{00}C_{40}$ o sea, 20 % de amarillo, 0 % de magenta y 40 % de cian.

No se pudo utilizar el tradicional Atlas de colores de suelos ya que los colores verdes no se incluyen en dicho Atlas. Se clasificaron por color tanto las muestras de mano

como las pulverizadas.

4.5. Análisis petrográfico de secciones finas

Se realizó el estudio de 28 muestras: 21 de ópalos y jaspes, 7 de roca caja a través de microscopio petrográfico con el objeto de identificar los minerales a través de sus propiedades ópticas, tipos de inclusiones y texturas presentes, en los casos del ópalo y jaspe e identificar el tipo de roca caja a través de sus minerales.

4.6. Análisis gemológico

Se escogieron 5 muestras para ser tallados por el Sr. Bruno De Toni en forma de cabujón sencillo, en gota de cera y fantasía. Dichas muestras se mencionan a continuación: CO-7 (ópalo blanco crema), CO-14A (cuarzo criptocristalino blanco naranja), CO-14B (ópalo blanco translúcido), CO-22A (ópalo crema) y CO-22 B (ópalo verde). Se seleccionaron en función de su homogeneidad, en cuanto a distribución del color y textura, dureza y belleza, para poder ser considerado como posible gema y ser sometidos a su estudio en el refractómetro, polariscopio, espectrómetro, lámpara fluorescente, lupa binocular y de mano.

El índice de refracción en las gemas con talla cabujón se determinó mediante una técnica muy diferente a la utilizada para piedras talladas en facetas (como es el caso de la talla tipo fantasía). Dicha técnica se denomina visión lejana, y consiste en colocar la piedra por su parte convexa, haciendo la lectura en el refractómetro a una separación de 20 cm del ocular.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las muestras de ópalo y jaspe, se escogieron 20 para analizarlas químicamente y mineralógicamente: cuatro blanco translúcido, cuatro blanco opaco, uno blanco crema, dos blanco naranja, uno blanco morado, uno blanco grisáceo, uno crema, dos marrón, dos grises y dos verdes con el objeto de graficar y analizar los datos obtenidos a partir de los análisis químicos de elementos trazas. También fueron analizadas cuatro muestras de roca caja y materiales anexos, dando un total de 24 muestras.

5.1. Análisis químicos

Los resultados analíticos se presentan en las Tablas 3 y 3 A.

TABLA 3: ANÁLISIS GEOQUÍMICOS PARCIALES EN MUESTRAS DE ÓPALO, JASPE Y ROCA CAJA

		Espectroscopía por emisión de plasma (Digestión ICP) *																			
Muestra	Color	Ag	Cd	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	Al	Be	Bi	Ca	K	Mg	P	Sr	Ti	V	Y	S
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	ppm	ppm	%
OPALOS																					
Blanco																					
CO-2	OBT	<0,3	<0,3	7	162	1	71	<3	4	0,07	<1	<2	0,02	0,02	0,02	0,001	2	<0,01	4	<1	0,011
CO-4	OBT	<0,3	<0,3	6	42	<1	29	<3	3	0,09	<1	<2	0,02	0,02	0,01	0,002	1	<0,01	4	<1	0,008
CO-5	OBT	<0,3	<0,3	1	44	<1	55	<3	2	0,02	<1	<2	0,01	0,01	0,09	<0,001	<1	<0,01	<2	<1	0,006
CO-14B	OBT	<0,3	<0,3	3	148	<1	240	<3	2	0,02	<1	<2	0,03	0,01	0,91	<0,001	<1	<0,01	2	<1	0,005
CO-15A	OBO	<0,3	<0,3	2	<1	<1	220	<3	<1	0,01	<1	<2	0,24	0,01	25,01	0,002	<1	<0,01	<2	<1	0,003
CO-23	OBO	<0,3	<0,3	8	63	<1	1467	<3	7	0,06	<1	<2	0,08	0,03	12,2	0,001	<1	<0,01	6	4	0,005
CO-13A	OBO	<0,3	<0,3	2	222	<1	196	<3	<1	<0,01	<1	<2	0,74	0,02	22,06	0,002	<1	<0,01	2	<1	0,005
CO-11	OBO	<0,3	<0,3	4	14	<1	365	<3	<1	0,12	<1	<2	1,63	0,02	25,59	0,002	5	<0,01	<2	<1	0,008
CO-7A	OBC	<0,3	<0,3	4	200	<1	828	<3	19	0,25	<1	<2	0,02	0,01	2,43	<0,001	<1	<0,01	12	1	0,007
CO-13B	OBNA	<0,3	<0,3	3	395	<1	410	<3	<1	0,11	<1	<2	10,82	0,02	14,07	0,002	20	<0,01	7	<1	0,011
CO-14A	OBNA	<0,3	<0,3	4	1363	2	170	<3	5	0,08	<1	<2	0,02	0,02	0,1	<0,001	2	<0,01	6	<1	0,005
CO-9	OBM	<0,3	<0,3	6	362	<1	596	<3	12	0,28	<1	<2	2,8	0,02	6,22	0,001	17	<0,01	21	<1	0,007
CO-6A	OBG	<0,3	<0,3	4	272	<1	370	<3	9	0,1	<1	<2	0,03	0,01	0,52	<0,001	1	<0,01	8	<1	0,006
Crema y marrón																					
CO-22A	OC	<0,3	<0,3	4	109	<1	647	<3	10	0,09	<1	<2	0,05	0,01	0,44	<0,001	<1	<0,01	4	<1	0,004
CO-6B	OM	<0,3	<0,3	6	2092	<1	2412	<3	54	0,8	<1	<2	0,09	0,02	3,11	0,003	3	0,03	54	1	0,007
Gris																					
CO18A	OG	<0,3	<0,3	4	197	<1	493	<3	10	0,39	<1	<2	1,22	0,06	6,11	0,001	4	<0,01	7	1	0,005
CO-19A	OG	<0,3	<0,3	3	39	2	10	<3	4	0,04	<1	<2	0,02	0,01	0,04	<0,001	1	<0,01	<2	<1	0,006
Verde																					
CO-1	OV	<0,3	<0,3	7	39	2	14180	<3	79	0,05	<1	<2	0,05	0,03	3,64	0,002	1	<0,01	3	4	0,009
CO-22B	OV	<0,3	<0,3	7	114	<1	4691	<3	27	0,09	<1	<2	0,02	0,02	1,79	<0,001	<1	<0,01	3	<1	0,004
JASPE																					
CO-3	jaspe marrón	<0,3	<0,3	6	199	3	487	<3	16	0,16	<1	<2	0,04	0,02	0,84	0,002	2	<0,01	12	<1	0,012
ROCA CAJA																					
CO-13C	serpentinita de color negro	<0,3	<0,3	7	490	<1	1903	<3	42	0,39	<1	<2	0,19	0,01	22,86	0,002	1	<0,01	35	<1	0,007
CO-22C	serpentinita verde claro	<0,3	<0,3	14	497	<1	7777	<3	66	0,28	<1	<2	0,03	0,01	20,18	0,003	1	<0,01	41	2	0,006
CO-13D	serpentinita verde manzana con inclusiones negras	<0,3	<0,3	11	683	<1	2296	<3	65	0,36	<1	<2	0,03	0,01	22,8	0,003	<1	<0,01	52	<1	0,004
CO-20A	antigorita en forma de material gris verdoso anexo a los ópalos	<0,3	<0,3	86	1018	<1	9997	<3	104	2,37	<1	<2	0,83	0,02	10,15	0,002	28	0,03	47	2	0,026

* Activation Laboratories, Ltd. Canadá.

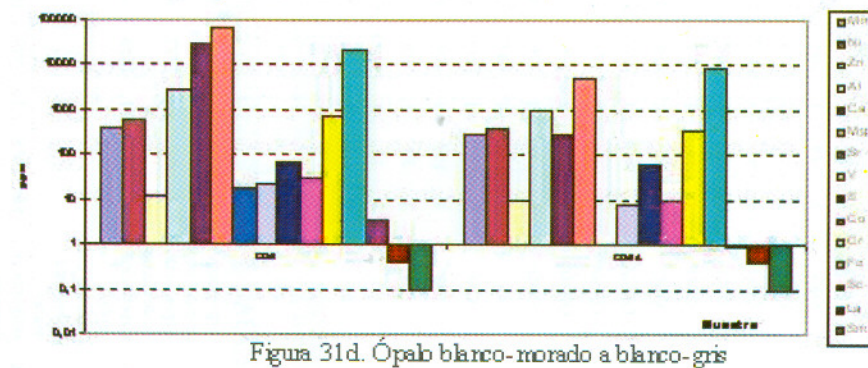
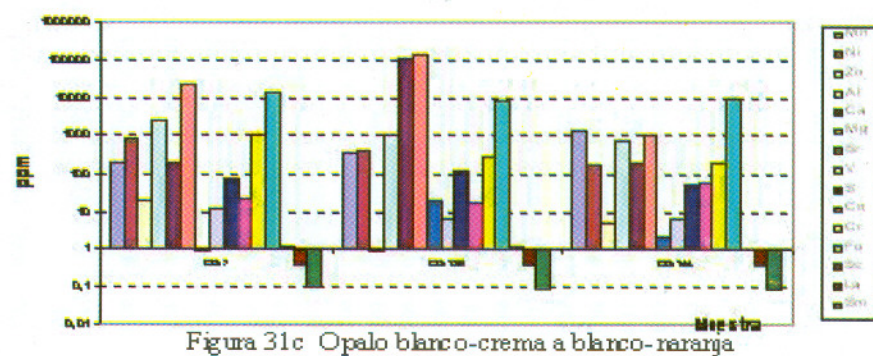
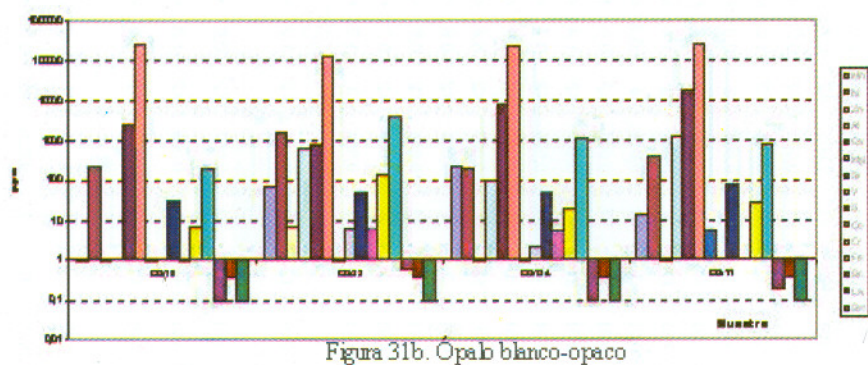
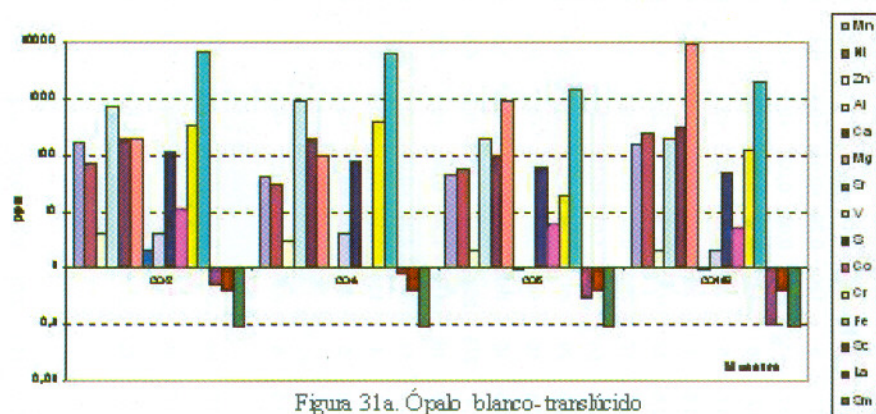
Continuación

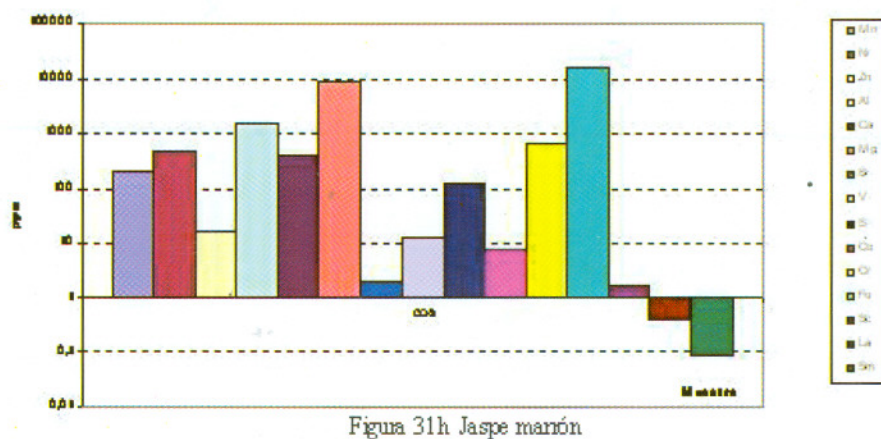
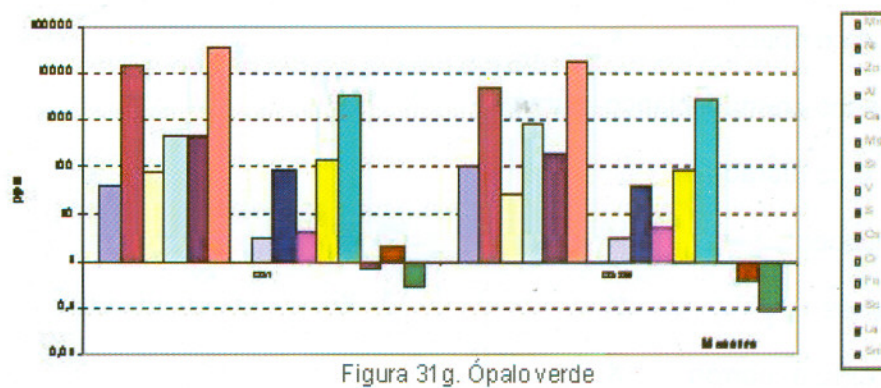
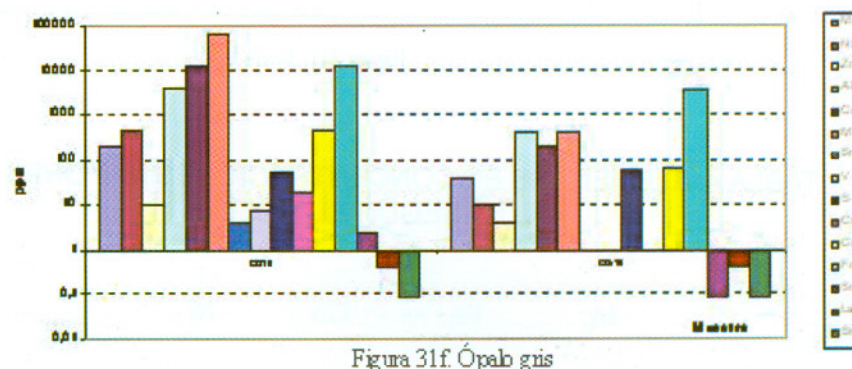
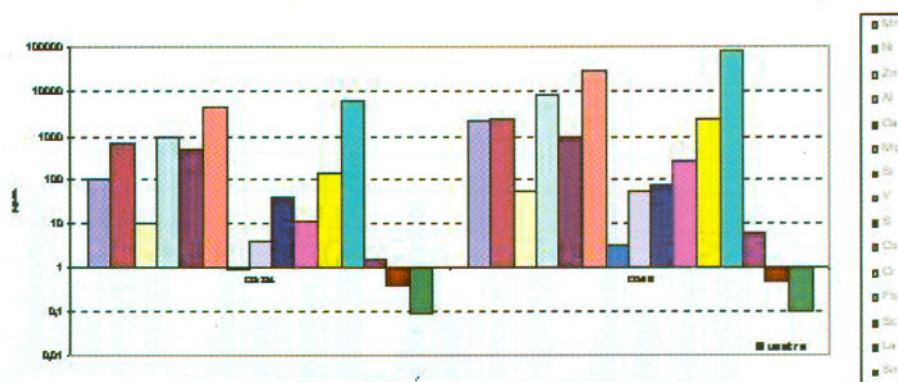
Activación neutrónica instrumental (INAA)																																			
Muestra	Au	Ag	As	Ba	Br	Ca	Co	Cr	Cs	Fe	Hf	Hg	Ir	Mo	Na	Ni	Rb	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	U	W	Zn	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	
	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppb	ppm	%	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
OPALOS																																			
Blanco																																			
CO-2	<2	<5	0,8	<50	<0,5	<1	11	332	<1	0,65	<1	<1	<5	<1	0,01	45	<15	<0,1	0,5	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-4	<2	<5	1	<50	<0,5	<1	1	403	<1	0,63	<1	<1	<5	<1	<0,01	25	<15	<0,1	0,8	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-5	<2	<5	0,5	<50	<0,5	<1	6	20	<1	0,14	<1	<1	<5	<1	<0,01	42	<15	<0,1	0,3	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-14B	<2	<5	0,7	<50	<0,5	<1	5	120	<1	0,20	<1	<1	<5	<1	<0,01	208	<15	<0,1	0,1	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-15A	<2	<5	0,9	<50	<0,5	<1	<1	7	<1	0,02	<1	<1	<5	<1	0,02	222	<15	<0,1	<0,1	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-23	<2	<5	1,2	<50	0,7	<1	6	131	<1	0,37	<1	<1	<5	<1	0,02	1390	<15	<0,1	0,6	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-13A	2	<5	0,9	<50	<0,5	<1	5	20	<1	0,11	<1	<1	<5	<1	0,02	198	<15	<0,1	<0,1	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-11	<2	<5	0,7	<50	<0,5	2	1	28	<1	0,08	<1	<1	<5	<1	0,02	337	<15	<0,1	0,2	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-7A	3	<5	1,4	<50	<0,5	<1	23	1010	<1	1,40	<1	<1	<5	<1	<0,01	679	<15	0,1	1,2	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-13B	4	<5	<0,5	<50	<0,5	14	17	290	<1	0,87	<1	<1	<5	<1	0,01	436	<15	<0,1	1,2	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-14A	<2	<5	0,9	140	<0,5	<1	58	190	<1	1,01	<1	<1	<5	2	<0,01	121	<15	<0,1	1	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-9	<2	<5	1,4	<50	<0,5	3	29	691	<1	2,09	<1	<1	<5	1	0,03	523	<15	0,2	3,4	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-6A	<2	<5	0,7	<50	<0,5	<1	10	343	<1	0,81	<1	<1	<5	<1	<0,01	268	<15	<0,1	0,9	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
Crema y marrón																																			
CO-22A	<2	<5	1,2	<50	<0,5	<1	12	132	<1	0,65	<1	<1	<5	<1	<0,01	525	<15	<0,1	1,5	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-6B	<2	<5	5,4	<50	2,4	<1	273	2570	<1	8,50	<1	<1	<5	<1	0,01	2060	<15	0,2	6,5	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	55	0,5	4	<5	0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
Gris																																			
CO18A	<2	<5	0,8	<50	<0,5	1	18	470	<1	1,20	<1	<1	<5	<1	0,04	445	<15	<0,1	2,2	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-19A	<2	<5	0,9	<50	<0,5	<1	<1	64	<1	0,36	<1	<1	<5	<1	<0,01	<20	<15	<0,1	<0,1	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
Verde																																			
CO-1	<2	<5	0,7	<50	<0,5	<1	4	134	<1	0,33	<1	<1	<5	<1	0,02	12500	<15	<0,1	0,7	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	2,0	<3	<5	0,3	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-22B	3	<5	1,5	<50	<0,5	<1	5	90	<1	0,28	<1	<1	<5	<1	<0,01	3280	<15	<0,1	1	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
JASPE																																			
CO-3	<2	<5	1,2	<50	<0,5	<1	8	630	<1	1,66	<1	<1	<5	2	0,02	334	<15	<0,1	1,7	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
ROCA CAJA																																			
CO-13C	<2	<5	0,6	<50	<0,5	<1	94	2000	<1	5,52	<1	<1	<5	<1	0,02	1780	<15	<0,1	7,1	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	56	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-22C	<2	<5	1,8	<50	<0,5	<1	86	2560	<1	4,83	<1	<1	19	<1	0,02	8450	<15	<0,1	5,8	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	<50	0,6	<3	<5	0,2	<0,2	<0,5	0,2	<0,05		
CO-13D	<2	<5	0,9	<50	<0,5	<1	82	2700	<1	2,66	<1	<1	<5	<1	0,02	2200	<15	<0,1	9,9	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	72	<0,5	<3	<5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		
CO-20A	<2	<5	2,3	<50	<0,5	<1	110	3700	<1	6,38	<1	<1	<5	<1	0,08	8230	<15	0,2	5	<3	<0,01	<0,05	<0,5	<1	54	0,6	<3	<5	0,2	<0,2	<0,5	<0,2	<0,05		

TABLA 3A: ANÁLISIS GEOQUÍMICOS PARCIALES SIMPLIFICADOS EN MUESTRAS DE ÓPALO, JASPE Y ROCA CAJA*

Espectroscopía por emersión de plasma (Digestión ICP)														Activación neutrónica instrumental (INAA)															
Muestra	Color	Cu	Mn	Mo	Ni	Zn	Al	Ca	K	Mg	P	Sr	Ti	V	Y	S	Au	As	Ba	Br	Co	Cr	Fe	Na	Sb	Sc	La	Ce	Sm
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	ppm	%	ppm	ppm	%	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
OPALOS																													
CO-2	OBT	7	162	1	71	4	0,07	0,02	0,02	0,02	0,001	2	<0,01	4	<1	0,011	<2	0,8	<50	<0,5	11	332	0,65	0,01	<0,1	0,5	<0,5	<3	<0,1
CO-4	OBT	6	42	<1	29	3	0,09	0,02	0,02	0,01	0,002	1	<0,01	4	<1	0,008	<2	1	<50	<0,5	1	403	0,63	<0,01	<0,1	0,8	<0,5	<3	<0,1
CO-5	OBT	1	44	<1	55	2	0,02	0,01	0,01	0,09	<0,001	<1	<0,01	<2	<1	0,006	<2	0,5	<50	<0,5	6	20	0,14	<0,01	<0,1	0,3	<0,5	<3	<0,1
CO-14B	OBT	3	148	<1	240	2	0,02	0,03	0,01	0,91	<0,001	<1	<0,01	2	<1	0,005	<2	0,7	<50	<0,5	5	120	0,20	<0,01	<0,1	0,1	<0,5	<3	<0,1
CO-15A	OBO	2	<1	<1	220	<1	0,01	0,24	0,01	25,01	0,002	<1	<0,01	<2	<1	0,003	<2	0,9	<50	<0,5	<1	7	0,02	0,02	<0,1	<0,1	<0,5	<3	<0,1
CO-23	OBO	8	63	<1	1467	7	0,06	0,08	0,03	12,2	0,001	<1	<0,01	6	4	0,005	<2	1,2	<50	0,7	6	131	0,37	0,02	<0,1	0,6	<0,5	<3	<0,1
CO-13A	OBO	2	222	<1	196	<1	<0,01	0,74	0,02	22,06	0,002	<1	<0,01	2	<1	0,005	2	0,9	<50	<0,5	5	20	0,11	0,02	<0,1	<0,1	<0,5	<3	<0,1
CO-11	OBO	4	14	<1	365	<1	0,12	1,63	0,02	25,59	0,002	5	<0,01	<2	<1	0,008	<2	0,7	<50	<0,5	1	28	0,08	0,02	<0,1	0,2	<0,5	<3	<0,1
CO-7A	OBC	4	200	<1	828	19	0,25	0,02	0,01	2,43	<0,001	<1	<0,01	12	1	0,007	3	1,4	<50	<0,5	23	1010	1,40	<0,01	0,1	1,2	<0,5	<3	0,1
CO-13B	OBNA	3	395	<1	410	<1	0,11	10,82	0,02	14,07	0,002	20	<0,01	7	<1	0,011	4	<0,5	<50	<0,5	17	290	0,87	0,01	<0,1	1,2	<0,5	<3	<0,1
CO-14A	OBNA	4	1363	2	170	5	0,08	0,02	0,02	0,1	<0,001	2	<0,01	6	<1	0,005	<2	0,9	140	<0,5	58	190	1,01	<0,01	<0,1	1	<0,5	<3	<0,1
CO-9	OBMO	6	362	<1	596	12	0,28	2,8	0,02	6,22	0,001	17	<0,01	21	<1	0,007	<2	1,4	<50	<0,5	29	691	2,09	0,03	0,2	3,4	<0,5	<3	<0,1
CO-6A	OBG	4	272	<1	370	9	0,1	0,03	0,01	0,52	<0,001	1	<0,01	8	<1	0,006	<2	0,7	<50	<0,5	10	343	0,81	<0,01	<0,1	0,9	<0,5	<3	<0,1
CO-22A	OC	4	109	<1	647	10	0,09	0,05	0,01	0,44	<0,001	<1	<0,01	4	<1	0,004	<2	1,2	<50	<0,5	12	132	0,65	<0,01	<0,1	1,5	<0,5	<3	<0,1
CO-6B	OM	6	2092	<1	2412	54	0,8	0,09	0,02	3,11	0,003	3	0,03	54	1	0,007	<2	5,4	<50	2,4	273	2570	8,50	0,01	0,2	6,5	0,5	4	0,1
CO18A	OG	4	197	<1	493	10	0,39	1,22	0,06	6,11	0,001	4	<0,01	7	1	0,005	<2	0,8	<50	<0,5	18	470	1,20	0,04	<0,1	2,2	<0,5	<3	<0,1
CO-19A	OG	3	39	2	10	4	0,04	0,02	0,01	0,04	<0,001	1	<0,01	<2	<1	0,006	<2	0,9	<50	<0,5	<1	64	0,36	<0,01	<0,1	<0,1	<0,5	<3	<0,1
CO-1	OV	7	39	2	14180	79	0,05	0,05	0,03	3,64	0,002	1	<0,01	3	4	0,009	<2	0,7	<50	<0,5	4	134	0,33	0,02	<0,1	0,7	2,0	<3	0,3
CO-22B	OV	7	114	<1	4691	27	0,09	0,02	0,02	1,79	<0,001	<1	<0,01	3	<1	0,004	3	1,5	<50	<0,5	5	90	0,28	<0,01	<0,1	1	<0,5	<3	<0,1
JASPE																													
CO-3	JM	6	199	3	487	16	0,16	0,04	0,02	0,84	0,002	2	<0,01	12	<1	0,012	<2	1,2	<50	<0,5	8	630	1,66	0,02	<0,1	1,7	<0,5	<3	<0,1
ROCA CAJA																													
CO-13C	serpentinita de color negro	7	490	<1	1903	42	0,39	0,19	0,01	22,86	0,002	1	<0,01	35	<1	0,007	<2	0,6	<50	<0,5	94	2000	5,52	0,02	<0,1	7,1	<0,5	<3	<0,1
CO-22C	serpentinita verde claro	14	497	<1	7777	66	0,28	0,03	0,01	20,18	0,003	1	<0,01	41	2	0,006	<2	1,8	<50	<0,5	86	2560	4,83	0,02	<0,1	5,8	0,6	<3	0,2
CO-13D	serpentinita verde	11	683	<1	2296	65	0,36	0,03	0,01	22,8	0,003	<1	<0,01	52	<1	0,004	<2	0,9	<50	<0,5	82	2700	2,66	0,02	<0,1	9,9	<0,5	<3	<0,1
CO-20A	manzana con inclusiones negras antigorita en forma de material gris verdoso anexo a los ópalo	86	1018	<1	9997	104	2,37	0,83	0,02	10,15	0,002	28	0,03	47	2	0,026	<2	2,3	<50	<0,5	110	3700	6,38	0,08	0,2	5	0,6	<3	0,2

* Tabla simplificada en la cual se omiten aquellos elementos en los cuales los valores obtenidos para todas las muestras se mantuvieron invariantes y menor que la apreciación del instrumento





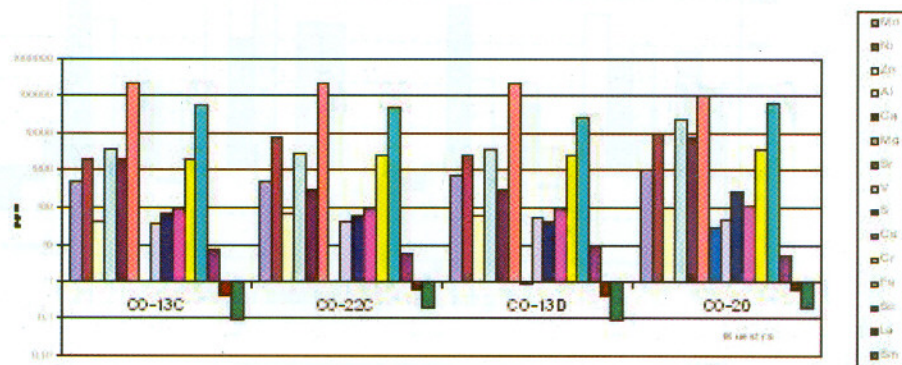


TABLA 4: ELEMENTOS EN CONCENTRACIONES MAYORES A 1000 PPM
SEGÚN SU COLOR.

Color	Mg	Fe	Ca	Ni
Ópalos blanco translúcido	X	X		
Ópalos blanco opaco	X			
Ópalos blanco-crema a blanco- naranja			X	
Ópalos blanco morado a blanco grisáceo	X		X	
Ópalos grises	X		X	
Ópalos crema a marrón	X	X		
Ópalos verde	X			X
Jaspe marrón		X		

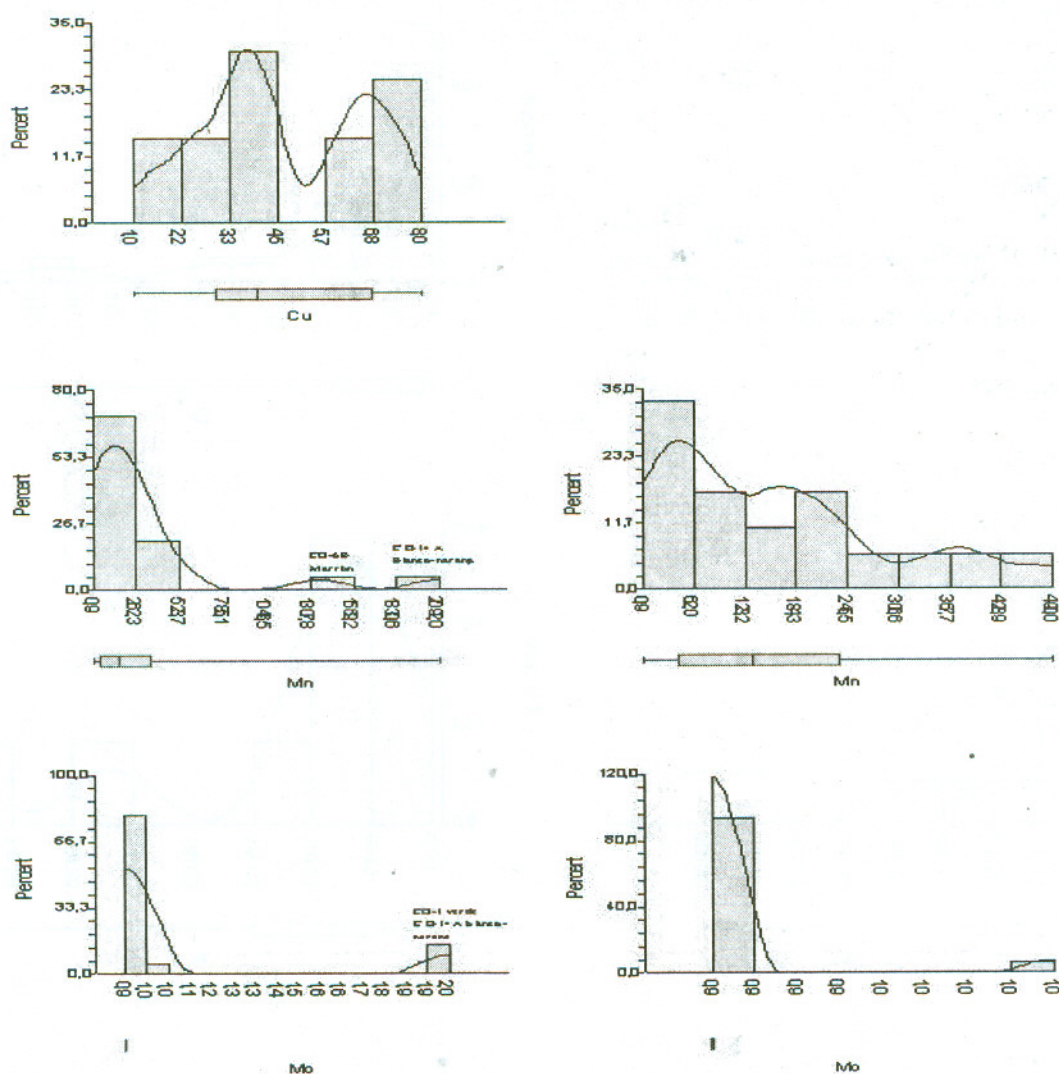
Con los resultados se realizaron diversos **diagramas de barra**, con el promedio por cada tipo de color (Fig. 32a hasta 32i):

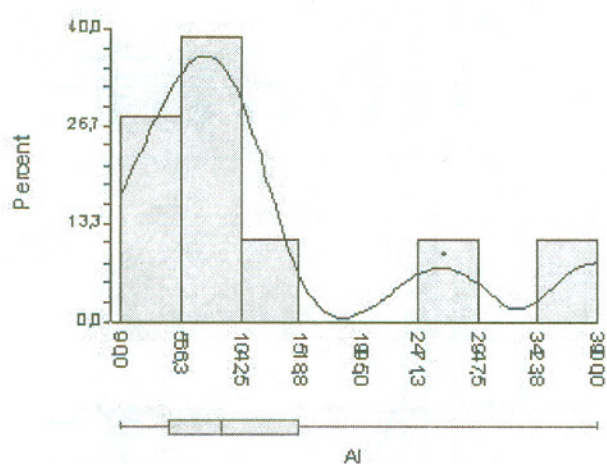
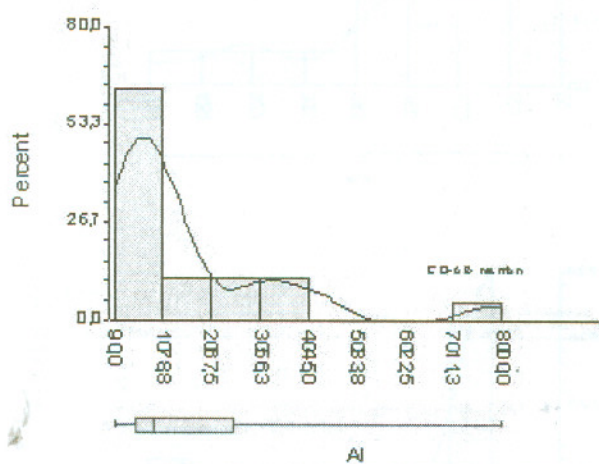
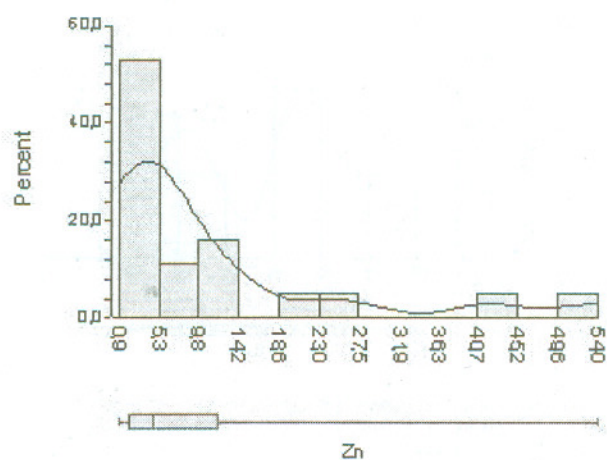
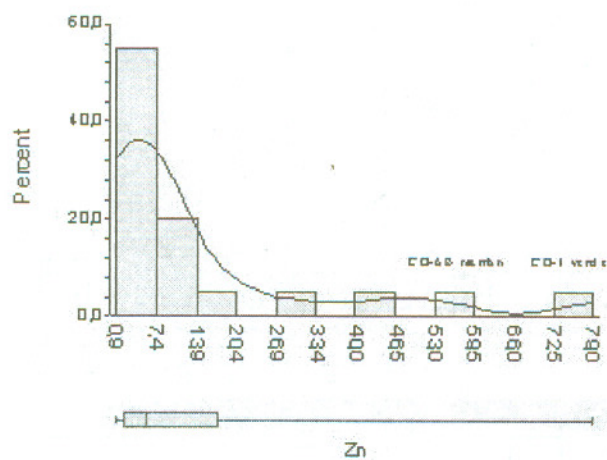
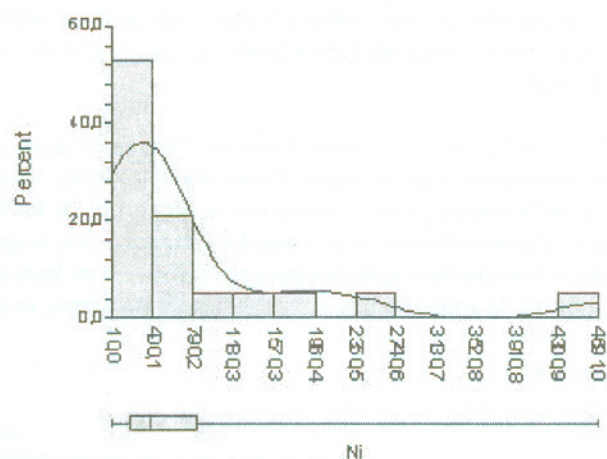
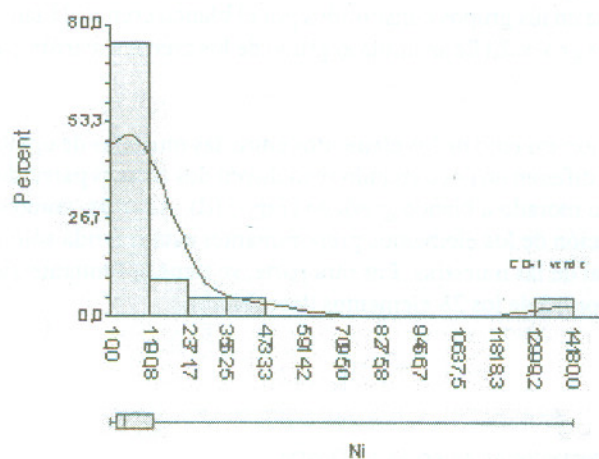
Como se puede observar en la Tabla 4, el elemento Mg está presente en casi todas las muestras de ópalo, exceptuando el grupo de los blanco crema a blanco naranja; el Ca predomina en los grupos constituidos por el blanco crema al blanco naranja y por el blanco morado al blanco grisáceo, y también en los grises. El Fe se limita al grupo de los crema a marrón y el Ni al verde.

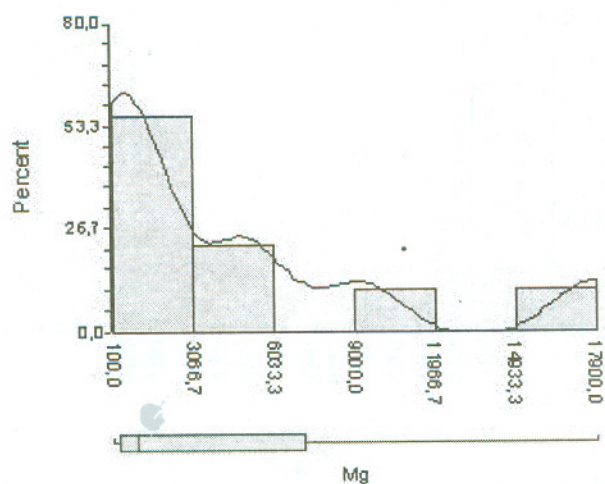
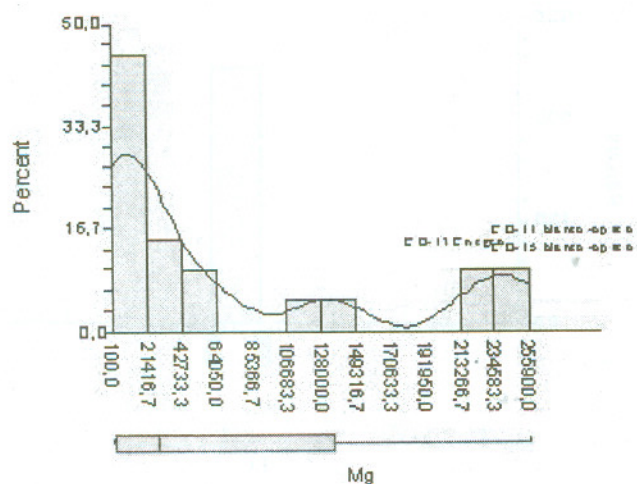
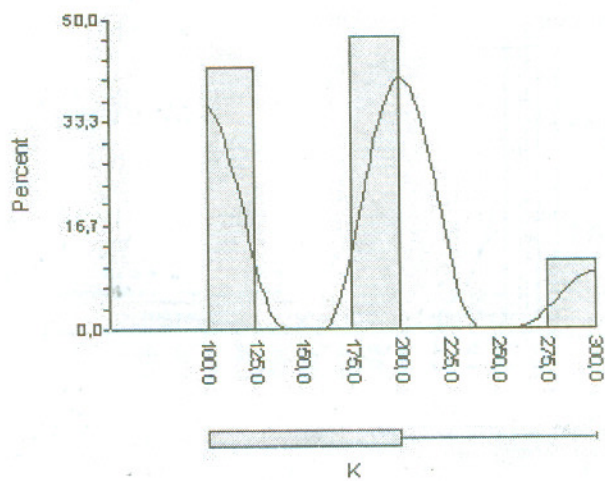
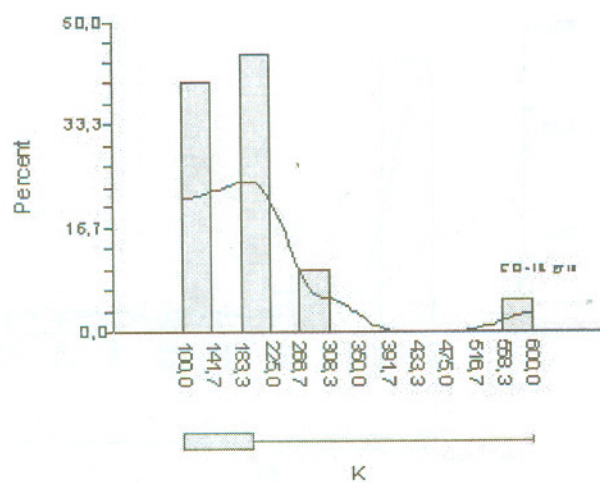
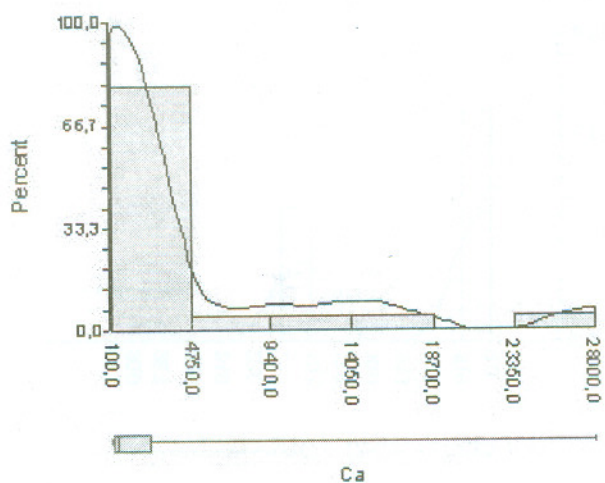
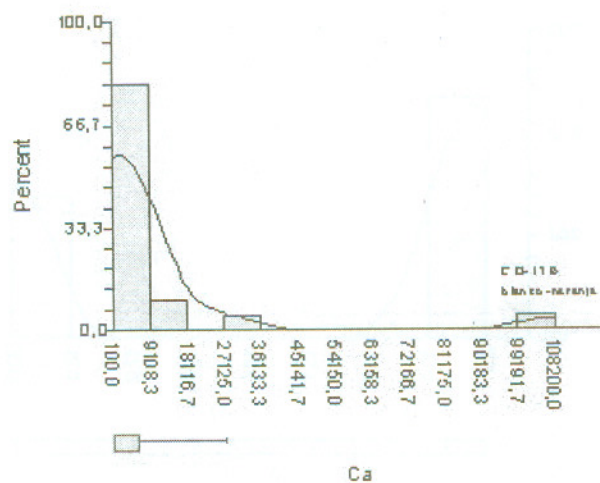
Se puede ver un patrón bastante similar en cuanto a comportamiento de los elementos entre las muestras de ópalo de un mismo color, por ejemplo, blanco traslúcido (Fig. 31a) pero difieren un poco cuando se incluyen dos colores parecidos o sea, de la misma gama, como es el caso del grupo de los blanco morado a blanco grisáceo (Fig. 31d). Además, como se analizan las muestras en base a una división por color, la apreciación de los elementos predominantes está referida sólo al número de muestras existentes para ese color y no en base al total de las muestras. Por otra parte, se tiene la limitante que por efectos de armonía en la visualización de las barras, se tomaron 15 de los 28 elementos descubiertos.

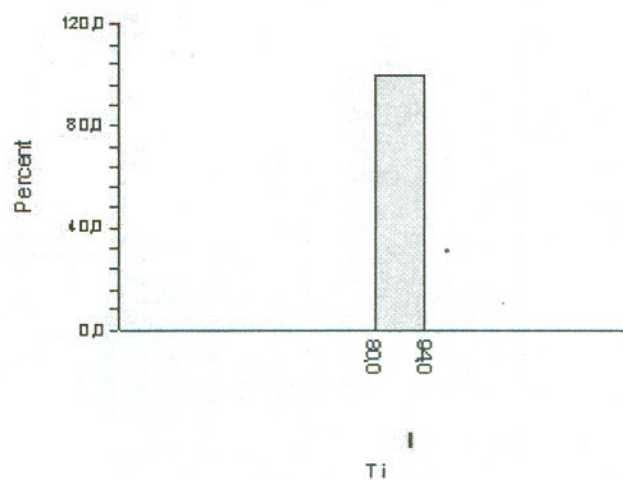
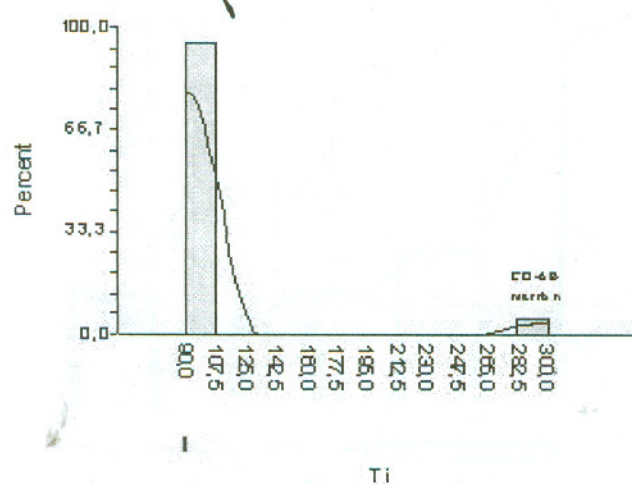
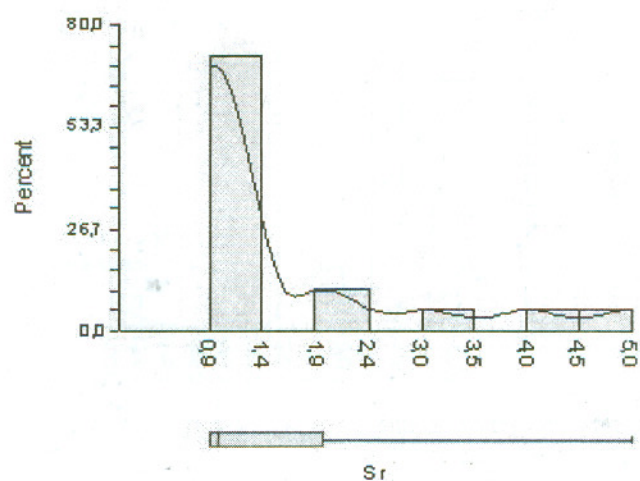
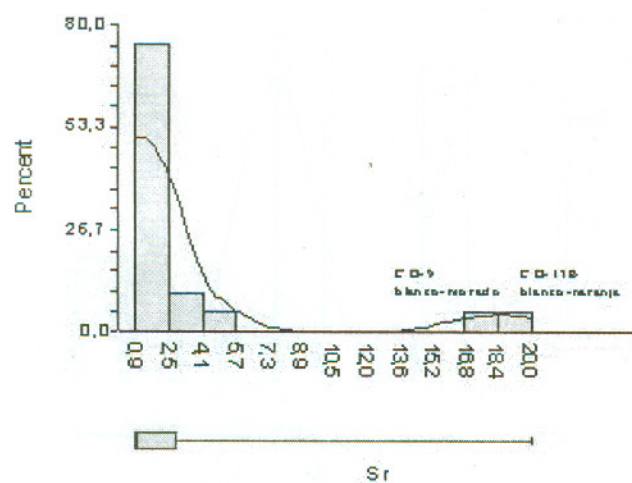
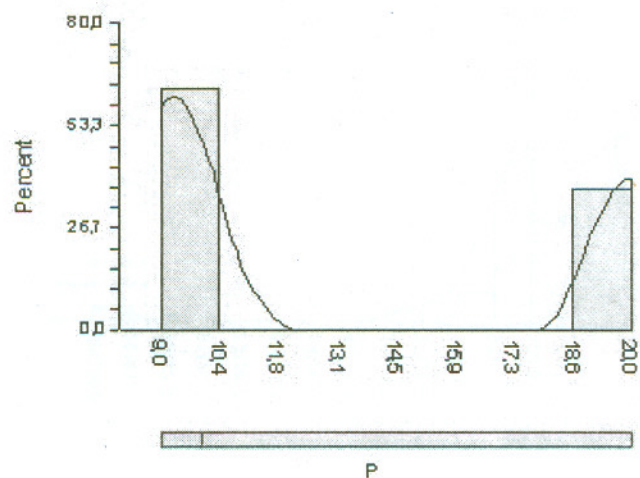
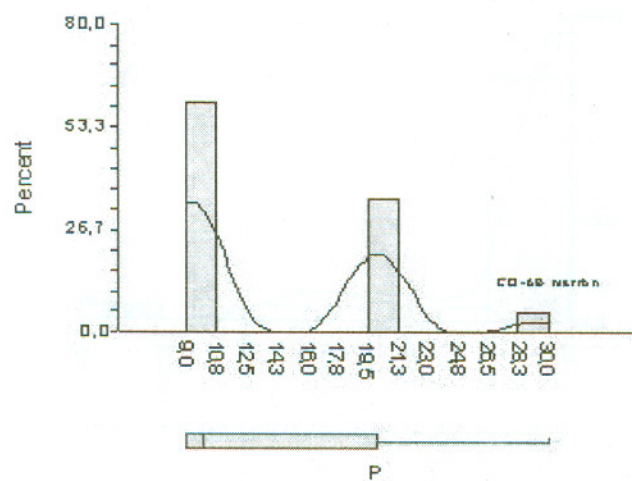
Histogramas

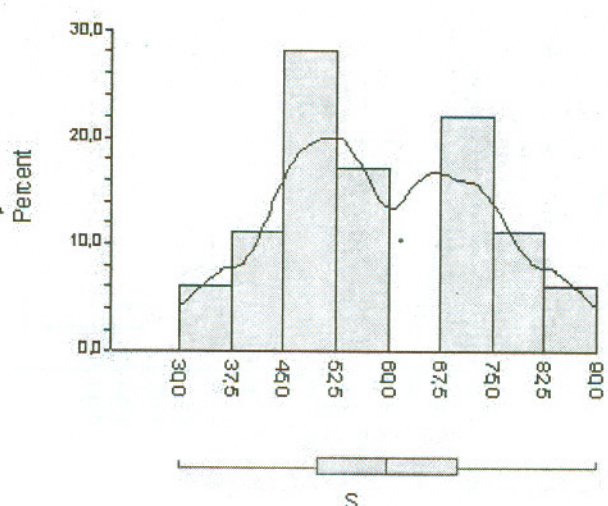
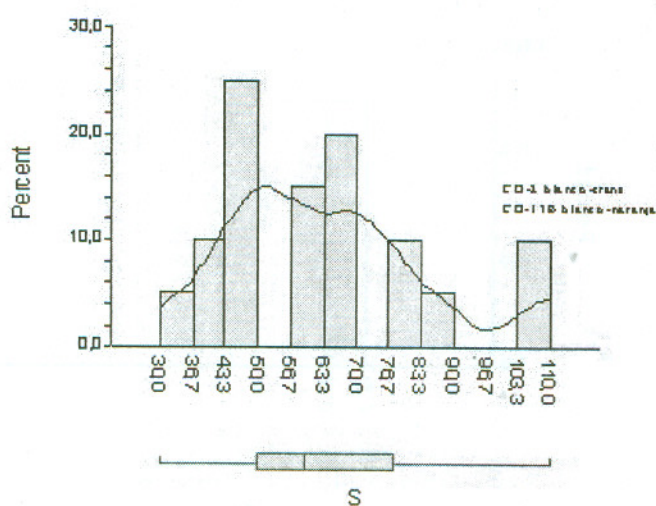
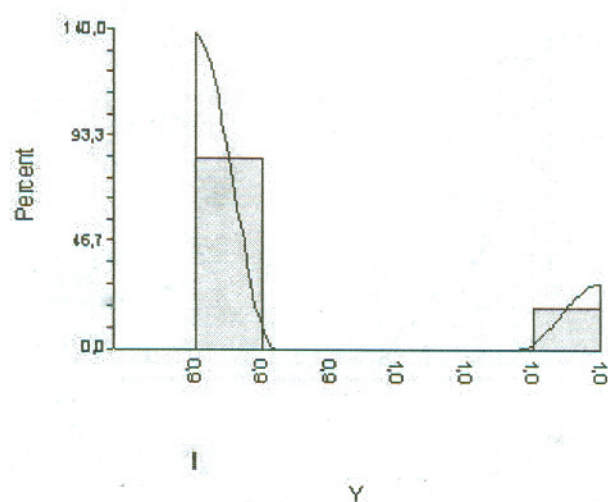
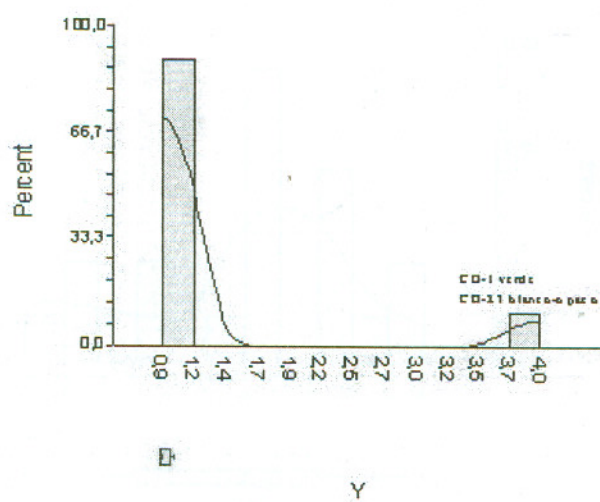
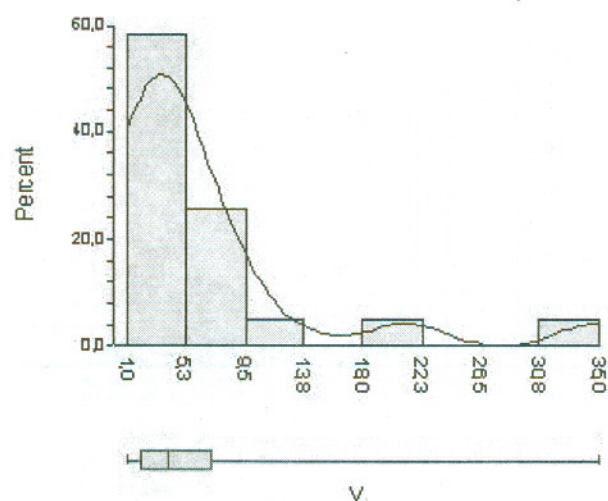
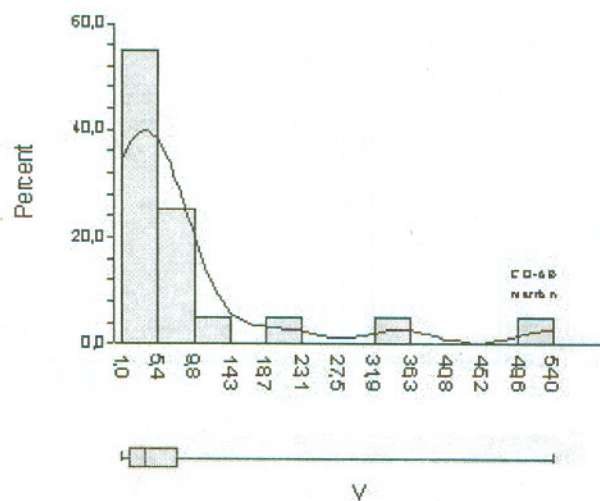
Fig. 33
Histogramas de % de concentración de elementos en muestras de Ópalos

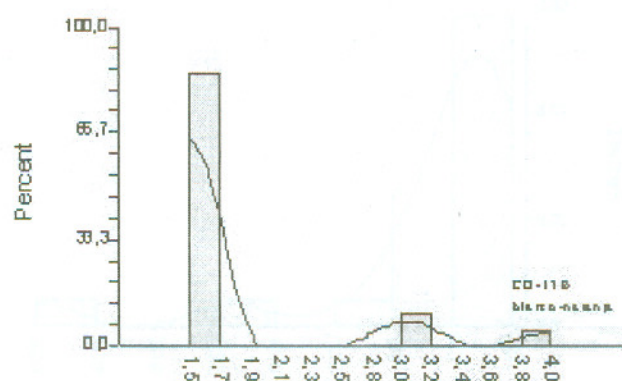




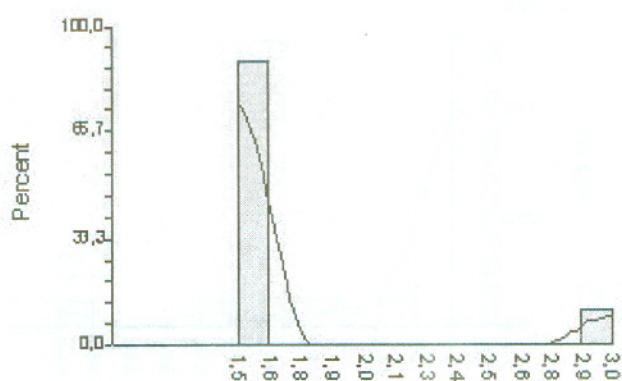




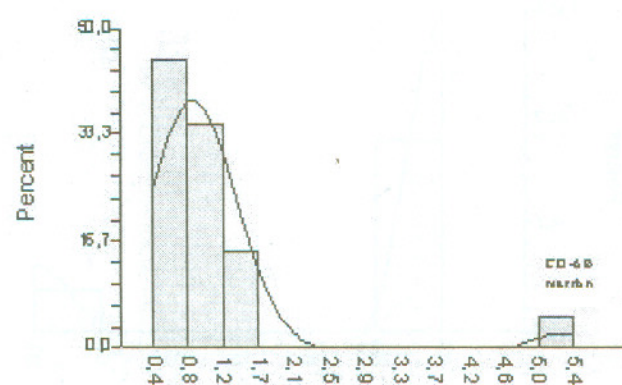




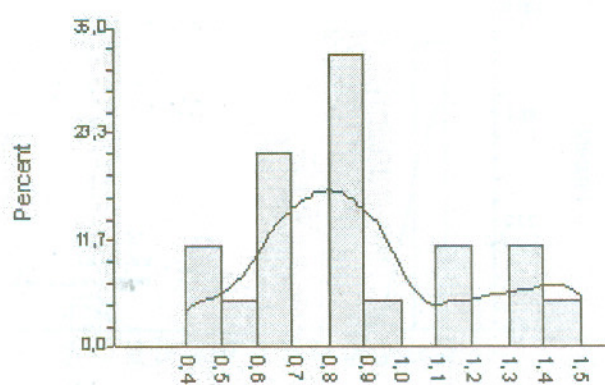
Au



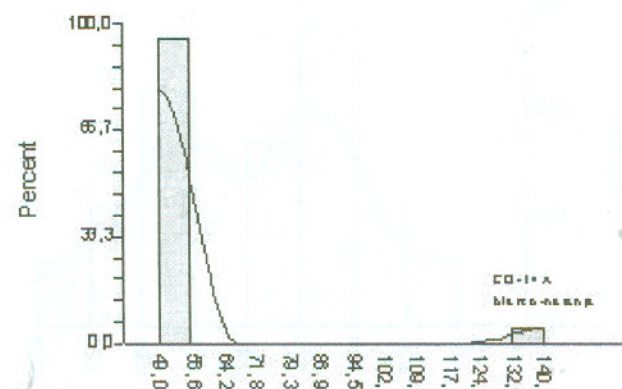
Au



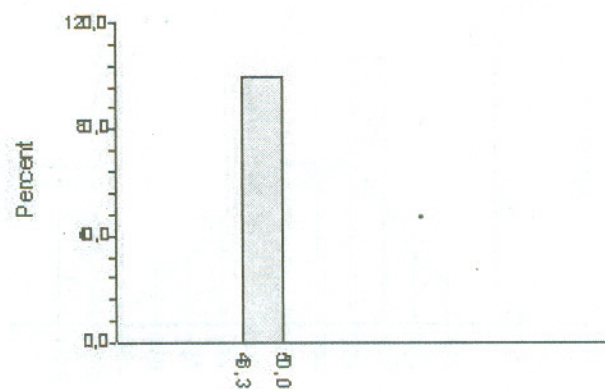
As



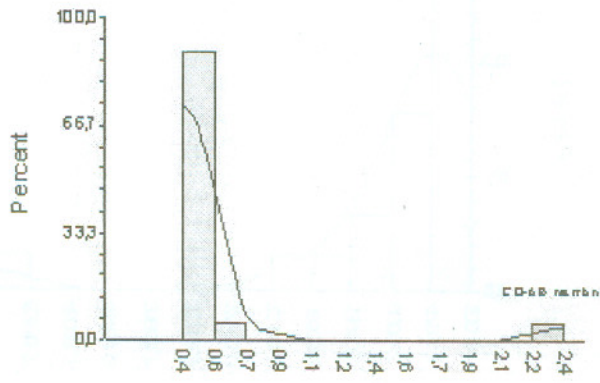
As



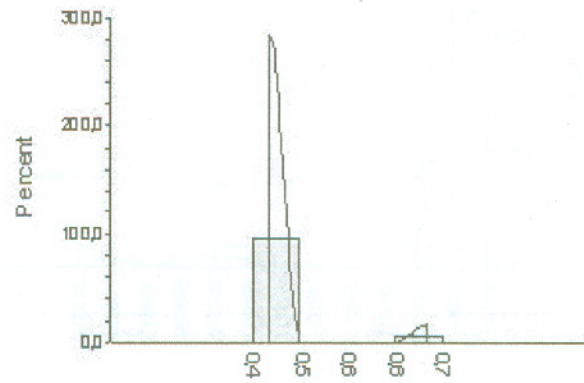
Ba



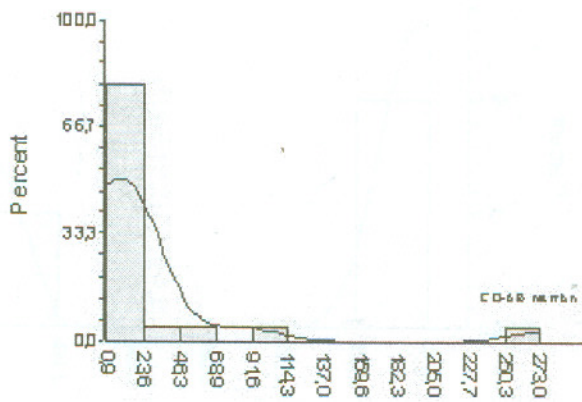
Ba



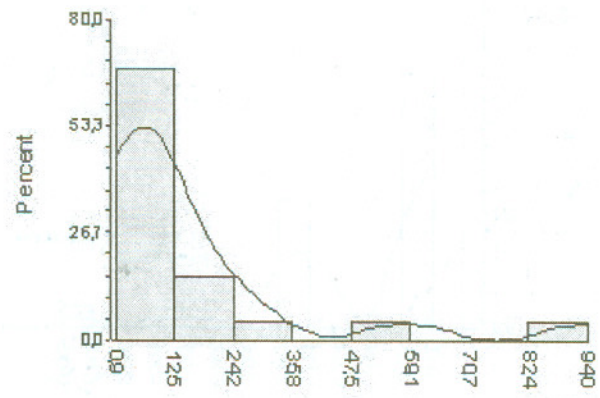
Br



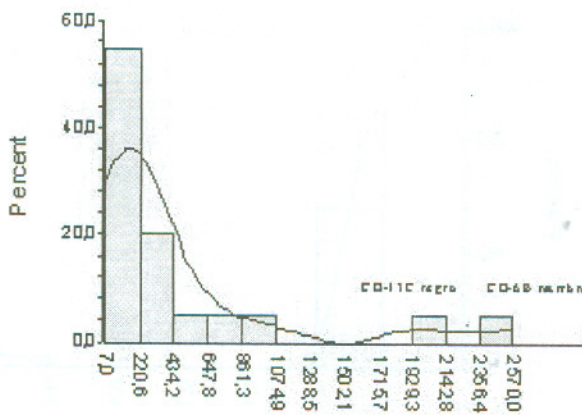
Br



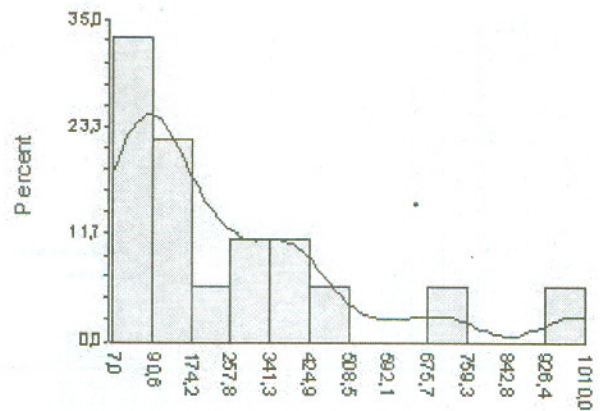
Co



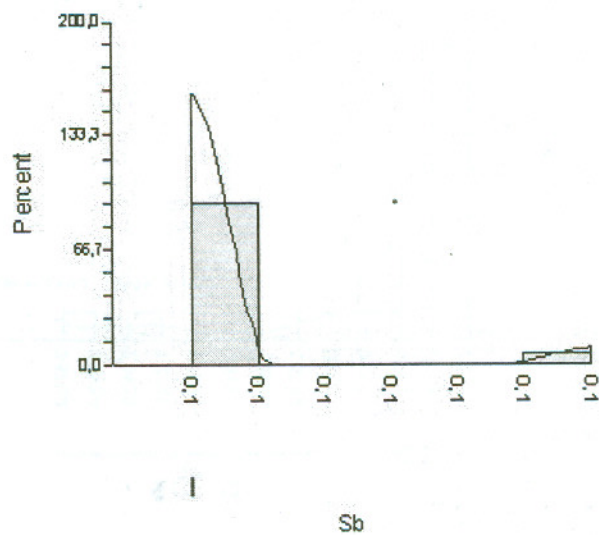
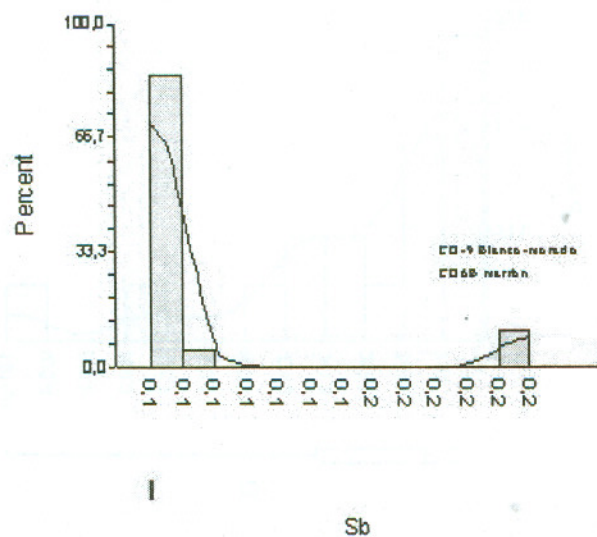
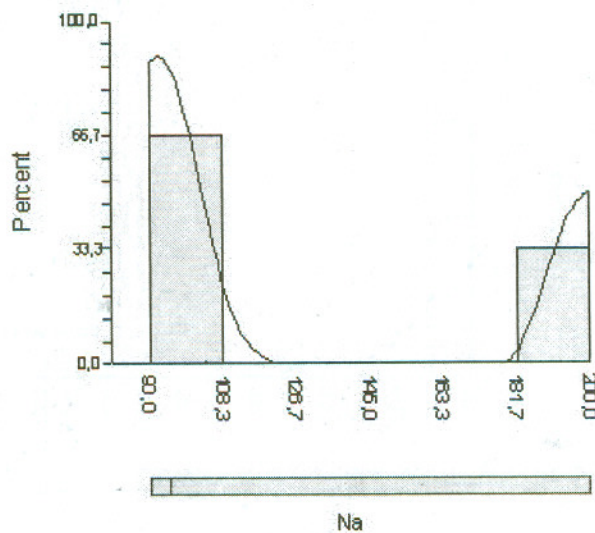
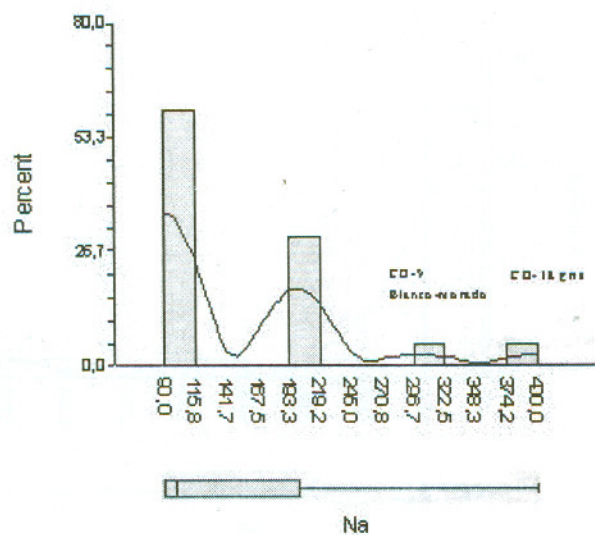
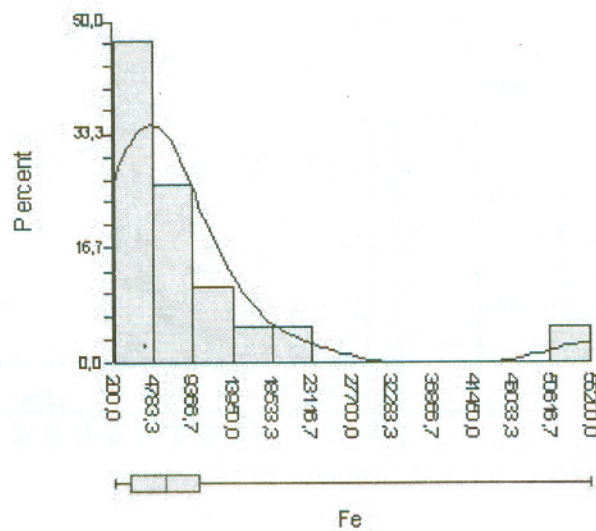
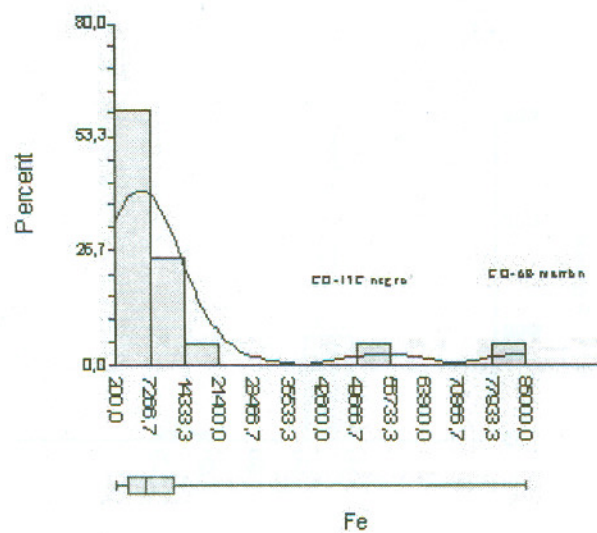
Co

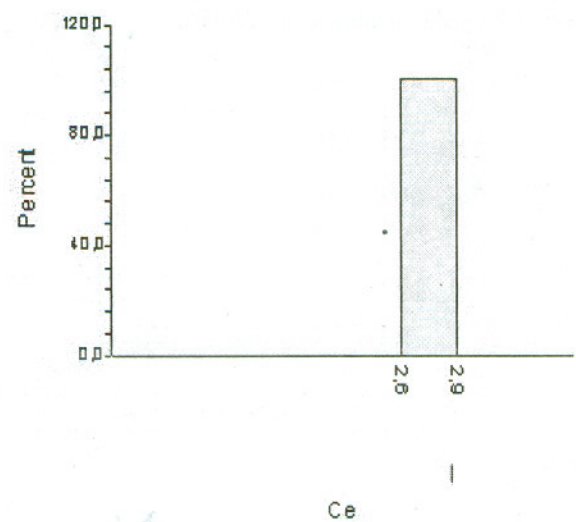
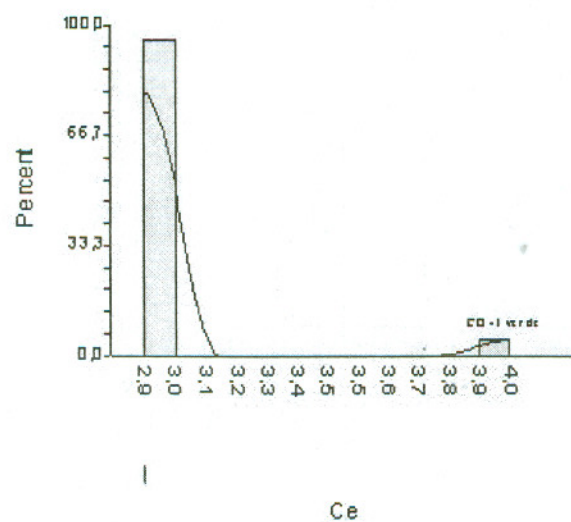
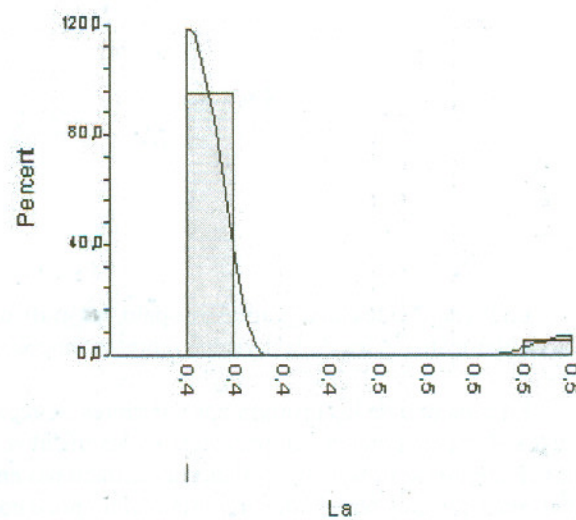
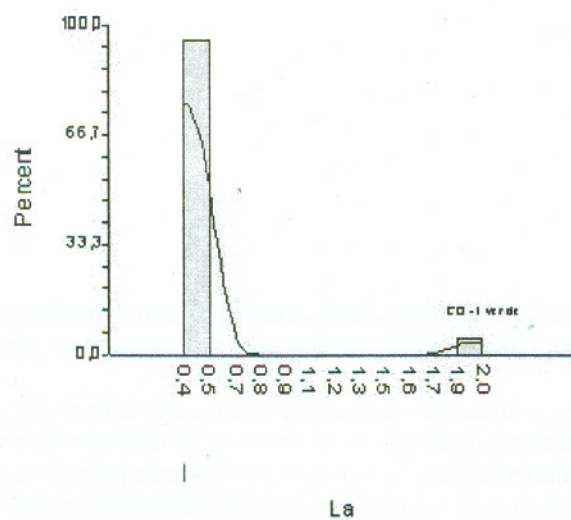
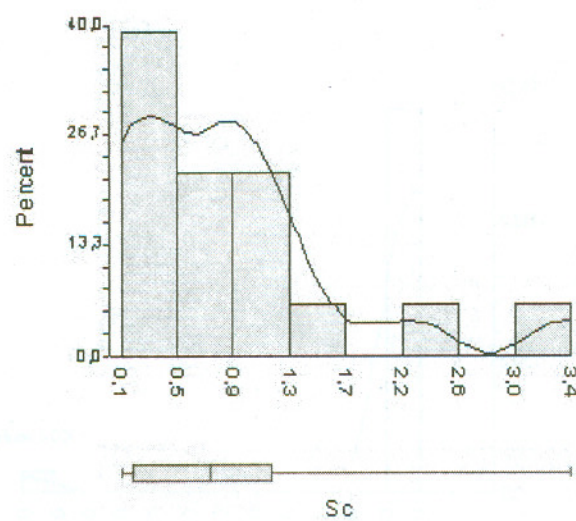
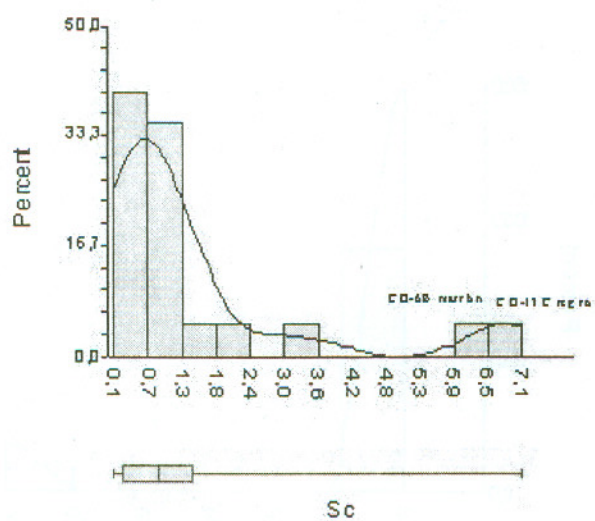


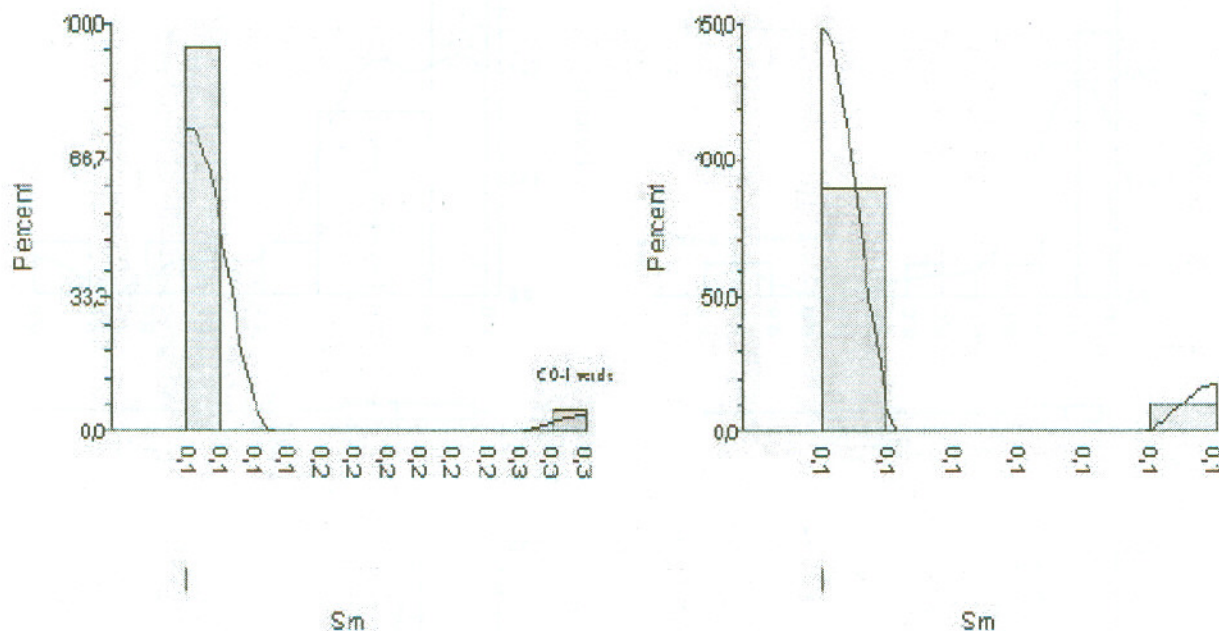
Cr



Cr







En los siguientes histogramas de ópalo, los gráficos de la izquierda representan aquellas muestras con alta concentración de elementos, y los de la derecha, representan estas mismas muestras pero sin esas altas concentraciones. (Fig. 33)

En cada uno de los histogramas anteriores, se representa la frecuencia porcentual de muestras de ópalo para cada uno de los elementos que tienen presencia en los mismos, en distintos grados de concentración. Se nota igualmente, que algunos elementos se presentan en altas concentraciones en algunas muestras y en otras no, por lo que se procedió a obviar aquellas muestras que tenían un comportamiento poco común en cuanto a concentraciones de elementos se refiere.

A partir del análisis de estos histogramas, se detectaron once muestras con concentraciones muy altas de ciertos elementos, lo cual se resume en la Tabla 5.

TABLA 5: ELEMENTOS TRAZA EN ALTAS CONCENTRACIONES EN MUESTRAS DE OPALO BLANCO Y COLOREADO

Color	Muestra	Elemento	Valor
blanco translúcido	CO-2	S	0,011 %
blanco ópalo	CO-11	Mg	25,6 %
blanco opaco	CO-15	Mg	25 %
blanco opaco	CO-23	Y	4 ppm
		Mn	1.363 ppm
blanco naranja	CO-14 A	Mo	2 ppm
		Ba	140 ppm
		Ca	10,8 %
blanco naranja	CO-13B	Sr	20 ppm
		S	0,011 %
		Au	4 ppb
		Sr	17 ppm
blanco morado	CO-9	Sb	0,2 ppm
		Na	0,03 %
		Mn	2.092 ppm
		Zn	54 ppm
		Al	0,8 %
		P	0,003 %
		Ti	0,03 %
marrón	CO-6B	As	5,4 ppm
		Br	2,4 ppm
		Co	273 ppm
		Cr	2.570 ppm
		Fe	8,5 %
		Sb	0,2 ppm
		Sc	6,5 ppm
gris	CO-19	Mo	2 ppm
gris	CO-18	K	0,06 %
		Na	0,04 %
		Mo	2 ppm
		Ni	14.180 ppm
verde	CO-1	Zn	79 ppm
		Y	4 ppm
		La	2 ppm
		Sm	0,3 ppm

Resumiendo, la Tabla 5 muestra en cuanto a valores en altas concentraciones de elementos, lo siguiente:

En los ópalos blanco translúcido: Hay preponderancia del S.

En los ópalos blanco opaco: Se ve una clara preponderancia del Mg.

En los ópalos blanco crema a naranja: Hay predominio del Ca

En los ópalos blanco morado a blanco gris: El más abundante el Na.

En los ópalos crema a marrón: Hay preponderancia del Fe.

En los ópalos grises: Se destaca el K.

En los ópalos verdes: Se observa preponderancia del Ni.

TABLA 6: INTERVALOS Y PROMEDIOS DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN ÓPALOS SEGÚN SU COLOR

Elemento	Unid	Total muestras (19)			Incoloro translúcido (4 muestras)			Incoloro opaco (4 muestras)			Blanco crema a naranja (3 muestras)			Blanco Morado a Blanco-gris (2 muestras)		
		Promedio	Máximo	Minimo	Promedio	Minimo	Máximo	Promedio	Minimo	Máximo	Promedio	Minimo	Máximo	Promedio	Minimo	Máximo
Cu	ppm	4,474	8	1	4,25	1,00	7	4	2	8	3,6667	3	4	5	4	6
Mn	ppm	309,4	2092	0,9	99	42,00	162	74,975	0,9	222	652,67	200	1363	317	272	362
Mo	ppm	1,079	2	0,9	0,925	0,90	1	0,9	0,9	0,9	1,2667	0,9	2	0,9	0,9	0,9
Ni	ppm	1445	14180	10	98,75	29,00	240	562	196	1467	469,33	170	828	483	370	596
Zn	ppm	13,19	79	0,9	2,75	2,00	4	2,425	0,9	7	8,3	0,9	19	10,5	9	12
Al	%	0,141	0,8	0,009	0,05	0,02	0,09	0,04975	0,009	0,12	0,1467	0,08	0,25	0,19	0,1	0,28
Ca	%	0,943	10,82	0,01	0,02	0,01	0,03	0,6725	0,08	1,63	3,62	0,02	10,82	1,42	0,03	2,8
K	%	0,019	0,06	0,01	0,015	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,0167	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Mg	%	6,545	25,59	0,01	0,2575	0,01	0,91	21,215	12,2	25,59	5,5333	0,1	14,07	3,37	0,52	6,22
P	%	0,001	0,003	9E-04	0,0012	0,00	0,002	0,00175	0,001	0,002	0,0013	0,0009	0,002	0	0,0009	0,001
Sr	ppm	3,379	20	0,9	1,2	0,90	2	1,925	0,9	5	7,6333	0,9	20	9	1	17
Ti	%	0,01	0,03	0,009	0,009	0,01	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,01	0,009	0,009
V	ppm	7,737	54	1	2,75	1,00	4	2,5	1	6	8,3333	6	12	14,5	8	21
Y	ppm	1,242	4	0,9	0,9	0,90	0,9	1,675	0,9	4	0,9333	0,9	1	0,9	0,9	0,9
S	%	0,006	0,011	0,003	0,0075	0,01	0,011	0,00525	0,003	0,008	0,0077	0,005	0,011	0,01	0,006	0,007
Au	ppb	1,789	4	1,5	1,5	1,50	1,5	1,5	1,5	1,5	2,8333	1,5	4	1,5	1,5	1,5
As	ppm	1,158	5,4	0,4	0,75	0,50	1	0,925	0,7	1,2	0,9	0,4	1,4	1,05	0,7	1,4
Ba	ppm	53,79	140	49	49	49,00	49	49	49	49	79,333	49	140	49	49	49
Br	ppm	0,521	2,4	0,4	0,4	0,40	0,4	0,475	0,4	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Co	ppm	25,57	273	0,9	5,75	1,00	11	3,225	0,9	6	32,667	17	58	19,5	10	29
Cr	ppm	370,8	2570	7	218,75	20,00	403	46,5	7	131	496,67	190	1010	517	343	691
Fe	%	1,076	8,5	0,02	0,405	0,14	0,65	0,145	0,02	0,37	1,0933	0,87	1,4	1,45	0,81	2,09
Na	%	0,015	0,04	0,009	0,0093	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,0093	0,009	0,01	0,02	0,009	0,03
Sb	ppm	0,102	0,2	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,0933	0,09	0,1	0,15	0,09	0,2
Sc	ppm	1,177	6,5	0,09	0,425	0,10	0,8	0,245	0,09	0,6	1,1333	1	1,2	2,15	0,9	3,4
La	ppm	0,489	2	0,4	0,4	0,40	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ce	ppm	2,958	4	2,9	2,9	2,90	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Sm	ppm	0,102	0,3	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,0933	0,09	0,1	0,09	0,09	0,09

Continuación

Elemento	Unid	Total muestras (19)			Crema a marrón (2 muestras)			Gris (2 muestras)			Verde (2 muestras)		
		Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
Cu	ppm	4,474	8	1	5	4	6	3,5	3	4	7	7	7
Mn	ppm	309,4	2092	0,9	1101	109	2092	118	39	197	76,5	39	114
Mo	ppm	1,079	2	0,9	0,9	0,9	0,9	1,45	0,9	2	1,45	0,9	2
Ni	ppm	1445	14180	10	1530	647	2412	251,5	10	493	9435,5	4691	14180
Zn	ppm	13,19	79	0,9	32	10	54	7	4	10	53	27	79
Al	%	0,141	0,8	0,009	0,445	0,09	0,8	2150	400	3900	0,07	0,05	0,09
Ca	%	0,943	10,82	0,01	0,07	0,05	0,09	6200	200	12200	0,035	0,02	0,05
K	%	0,019	0,06	0,01	0,015	0,01	0,02	350	100	600	0,025	0,02	0,03
Mg	%	6,545	25,59	0,01	1,775	0,44	3,11	30750	400	61100	2,715	1,79	3,64
P	%	0,001	0,003	9E-04	0,002	0,0009	0,003	9,5	9	10	0,00145	0,0009	0,002
Sr	ppm	3,379	20	0,9	1,95	0,9	3	2,5	1	4	0,95	0,9	1
Ti	%	0,01	0,03	0,009	0,02	0,009	0,03	90	90	90	0,009	0,009	0,009
V	ppm	7,737	54	1	29	4	54	4	1	7	3	3	3
Y	ppm	1,242	4	0,9	0,95	0,9	1	0,95	0,9	1	2,45	0,9	4
S	%	0,006	0,011	0,003	0,006	0,004	0,007	55	50	60	0,0065	0,004	0,009
Au	ppb	1,789	4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,25	1,5	3
As	ppm	1,158	5,4	0,4	3,3	1,2	5,4	0,85	0,8	0,9	1,1	0,7	1,5
Ba	ppm	53,79	140	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Br	ppm	0,521	2,4	0,4	1,4	0,4	2,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Co	ppm	25,57	273	0,9	142,5	12	273	9,45	0,9	18	4,5	4	5
Cr	ppm	370,8	2570	7	1351	132	2570	267	64	470	112	90	134
Fe	%	1,076	8,5	0,02	4,575	0,65	8,5	7800	3600	12000	0,28	0,28	0,28
Na	%	0,015	0,04	0,009	0,01	0,009	0,01	245	90	400	0,0145	0,009	0,02
Sb	ppm	0,102	0,2	0,09	0,145	0,09	0,2	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Sc	ppm	1,177	6,5	0,09	4	1,5	6,5	1,145	0,09	2,2	0,85	0,7	1
La	ppm	0,489	2	0,4	0,45	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	1,2	0,4	2
Ce	ppm	2,958	4	2,9	3,45	2,9	4	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Sm	ppm	0,102	0,3	0,09	0,095	0,09	0,1	0,09	0,09	0,09	0,195	0,09	0,3

Como se puede apreciar en líneas generales, casi todos los elementos mayoritarios están presentes en estos dos tipos de gráficos analizados, aunque en el histograma se puede tener una visión más amplia que la lograda en el de barras, debido a que se incluyen todas las muestras sin discriminarlas por color.

También se determinaron los valores mínimo, máximo y promedio de elementos traza en todas las muestras de ópalo y discriminados como ópalos incoloros y como ópalos coloreados (Tabla 6).

Diagramas de Dispersión.

A partir de los resultados de la tabla 3A se realizaron los siguientes diagramas de dispersión (Fig. 34), donde se determinó el coeficiente de correlación lineal entre las variables representadas por los elementos químicos, con combinaciones cuyo valores son mayores a 0,9. Esto se resume en la Tabla 7.

Como puede observarse en la Tabla 7, la relación más marcada se presenta entre el V y el Fe y se hacen presentes sólo 5 elementos traza de manera repetitiva: en cuatro de las nueve combinaciones predominantes se presentan el V, el Cr y el Fe y en tres, el Al y el Sc.

Comparación de los resultados obtenidos con estudios anteriores

Si se comparan los elementos detectados en los análisis químicos de este estudio, y los reportados en trabajos previos de ORIST & SMALLWOOD (1995, 1997) los cuales presuntamente son causantes del color, se tiene que para los ópalos con colores coincidentes: verde, blanco y gris, no hay ninguna similitud importante que conlleve a pensar que sí existe una relación directa entre estos elementos traza presentes y las muestras de ópalo con el mismo color en ambos estudios. Para el verde, ORIST & SMALLWOOD (1995) encontraron que los elementos mayoritarios eran los metales alcalinos: Na, K, Rb y Cs; en el gris, las tierras raras, y muy especialmente, el Th y el U; en el blanco opaco, el Na, K, Ba, Th y tierras raras (ORIST & SMALLWOOD 1997).

A pesar de ello, es evidente que existe una alta relación lineal entre el V, el Cr y el Fe, elementos de transición cuya presencia en el campo cristalino aportan coloraciones a muchas gemas, tanto naturales como sintéticas, ya sea formando parte de su fórmula química (idiocromáticos), o como impurezas (alocromáticos). Se tiene como buenos ejemplos de ello al vanadio, causante del azul violeta en el zafiro; al Cr, del verde en la esmeralda y del rojo en el rubí y al Fe, del verde del olivino y el marrón del granate almandino.

Esto conlleva a pensar que no existe un determinado elemento que genere un color en especial, ya que un mismo

elemento puede aportar más de una coloración, pero sí que la presencia de ciertos elementos como el Ti, Fe, V, Cr, Mn, Mg, Ni, Co, Cu y Sc y algunas tierras raras están asociados a ciertos colores preferenciales en las gemas. En los ópalos verdes, por ejemplo, se nota una acentuada preponderancia del Ni y del V, en los crema a marrón del Fe y en los blancos y grises del Mg.

5.2. Análisis de difracción de rayos x (DRX)

De los análisis realizados en la Escuela de Geología de la Universidad Central de Venezuela se seleccionaron los siguientes difractogramas (Fig. 35a – 35f):

A partir de los análisis realizados en el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 8):

Los difractogramas de las muestras CO-13A, CO-13B, CO-18 y CO-23, presentaron un abombado difuso a 12.46 Å lo cual puede corresponder con la presencia de esmectita poco cristalizada

5.3. Color

Las muestras de mano y las pulverizadas se clasificaron según la escala de colores contenida en el "Atlas de los Colores" (KÜPPERS 1979) y los resultados se muestran en la Tabla 9.

Como puede observarse, el color cambia de muestra de mano a pulverizada en la mayoría de los casos. Esto podría aducirse a que el Atlas de color en sí conlleva a sus propios errores, ya que hay que tener en cuenta que en el proceso de impresión hay variaciones en el color y que el aspecto de los matices de los colores puede cambiar debido a la influencia de factores externos como humedad contenida en el aire, calor, gases y luz (KÜPPERS 1979) y por otra parte, no abarca todas las tonalidades presentes por lo que se compararon con las más parecidas.

5.4. Análisis petrográfico

El estudio de las 24 secciones finas mostró lo siguiente:

CO-1-98: ópalo-tridimita. Con dos tipos de texturas principales: a) coloforme, en donde existe un reborde conformado por cristales dispuestos y amoldados ordenadamente alrededor de las cavidades; y b) radial, con aspecto de rosetas de muy variados tamaños pero agrupadas de manera ordenada según sus dimensiones. Hay abundante presencia de tridimita, con cavidades rellenas de sílice por posible precipitación posterior en las paredes de dichas cavidades. El relleno está conformado en algunos casos por escaso leucoxeno. Algunos microcristales están restringidos a zo-

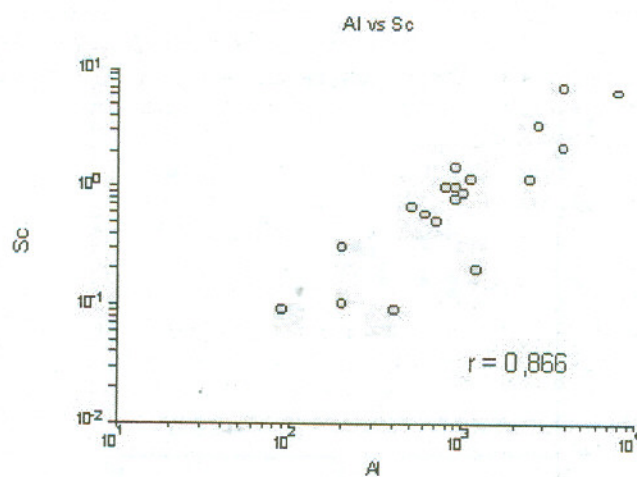
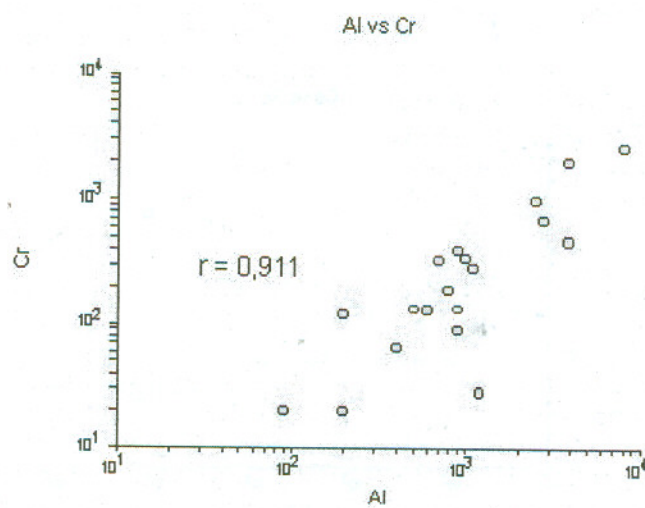
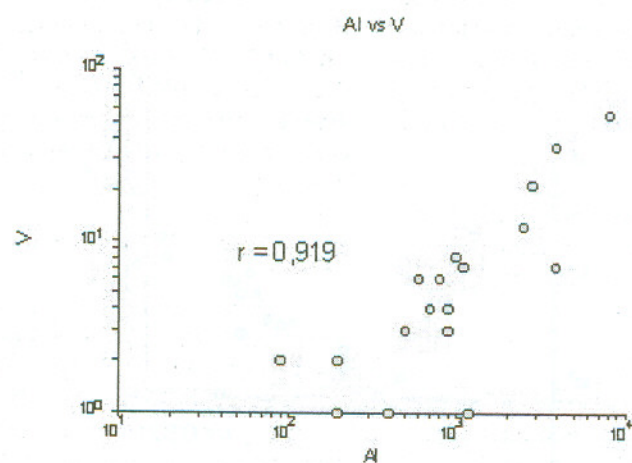
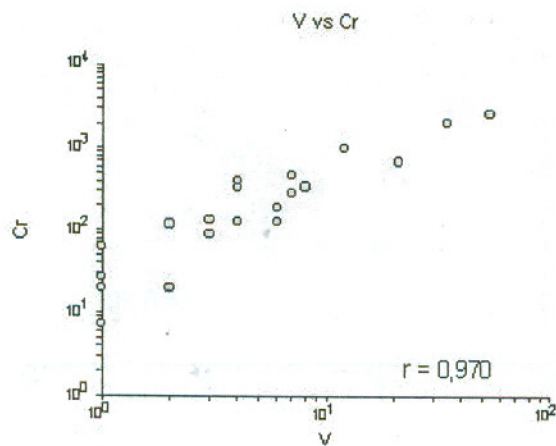
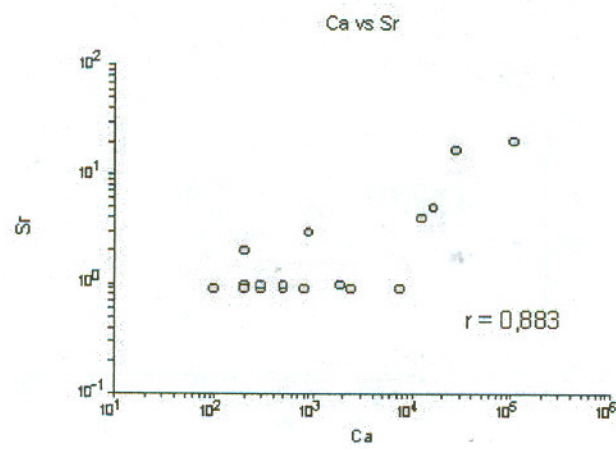
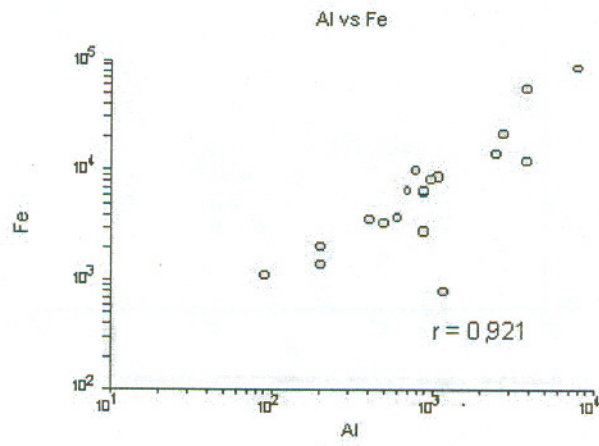
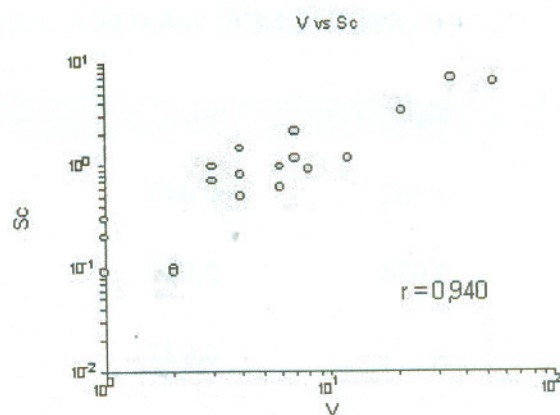
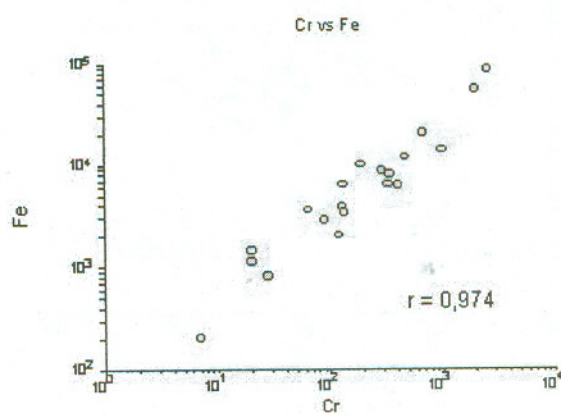
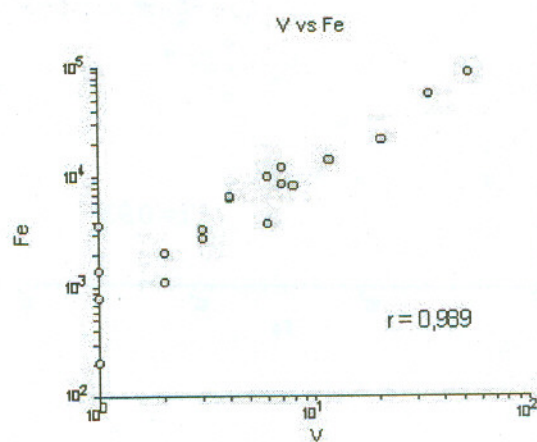


Fig. 34
Gráficos de dispersión





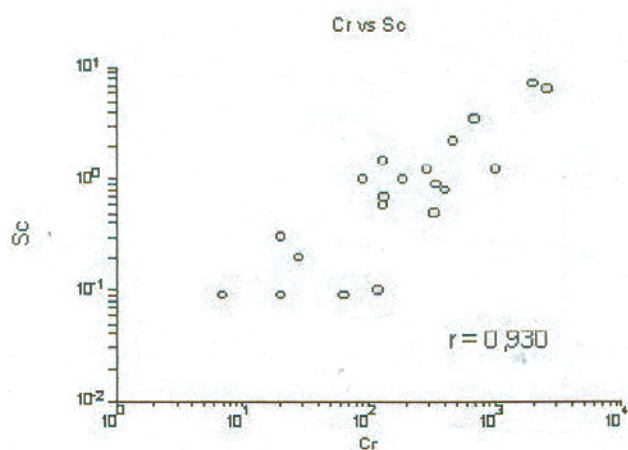
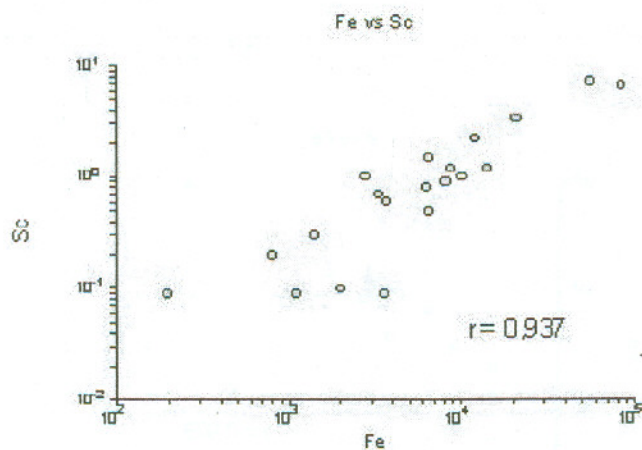


TABLA 7: PARES DE ELEMENTOS TRAZA CON ALTO COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL MAYOR A 0,90

	Cr	Fe	Sc	Al
V	0,970	0,989	0,940	0,919
Cr	-	0,974	0,930	0,911
Fe	0,974	-	0,937	0,921

Sample identification: CO-1

2-apr-2001 11:57

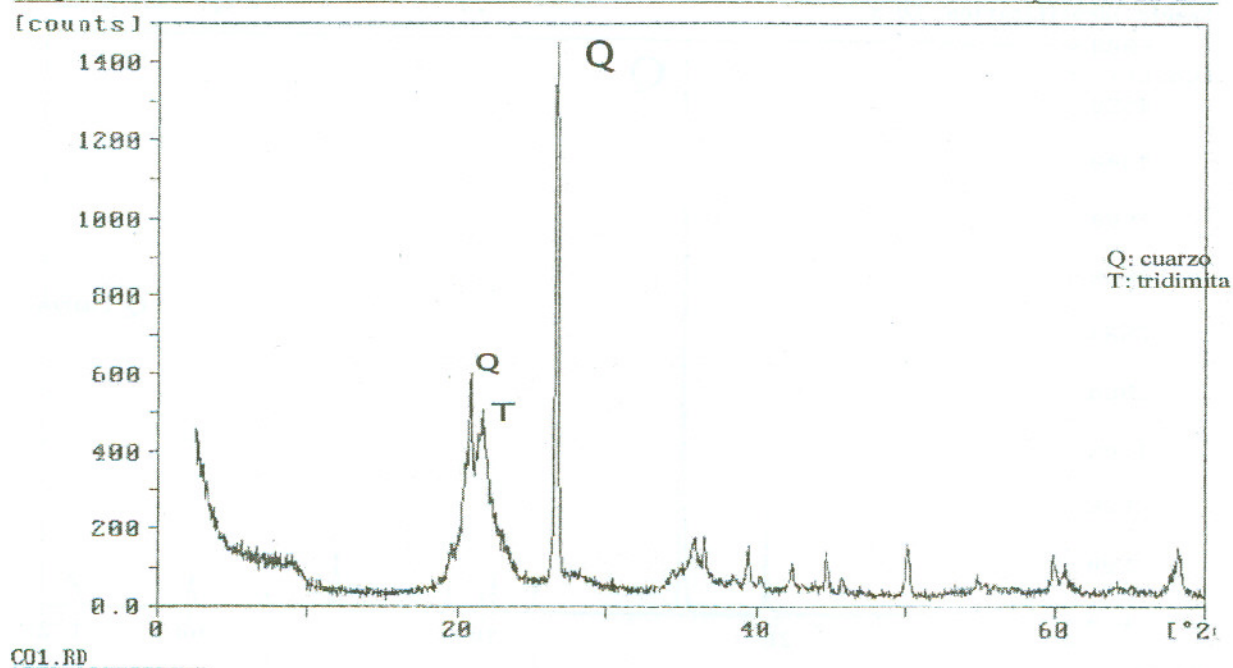


Figura 35a.

Difractograma correspondiente a la muestra CO-1: ópalo tridimita

Sample identification: CO-2

2-apr-2001 12:01

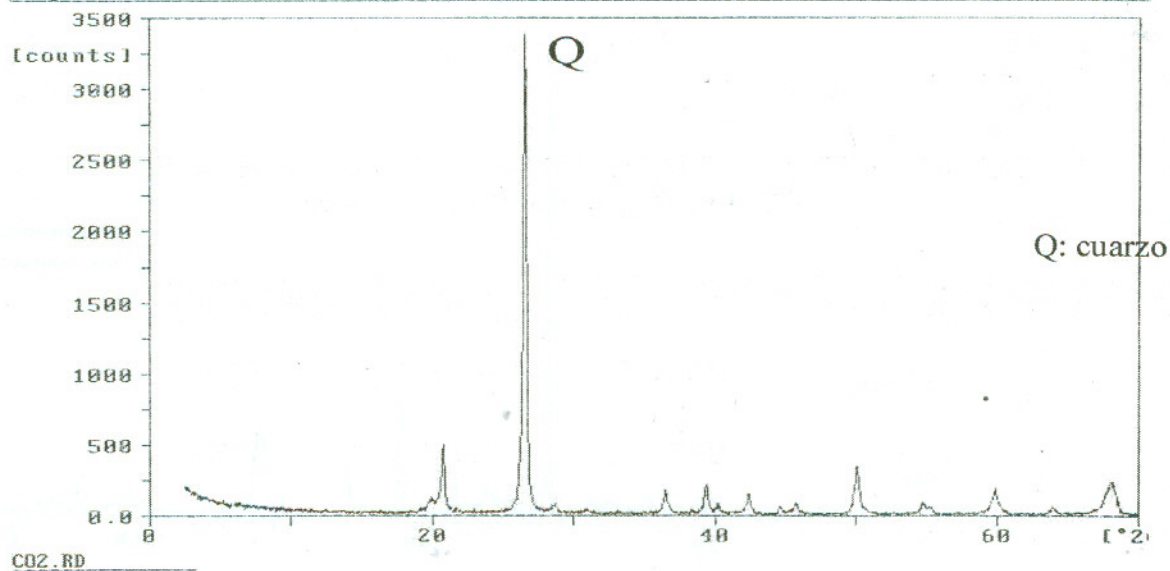


Figura 35b.

Difractograma correspondiente a la muestra CO-2: cuarzo criptocristalino

Sample identification: CO-3

2-apr-2001 12:23

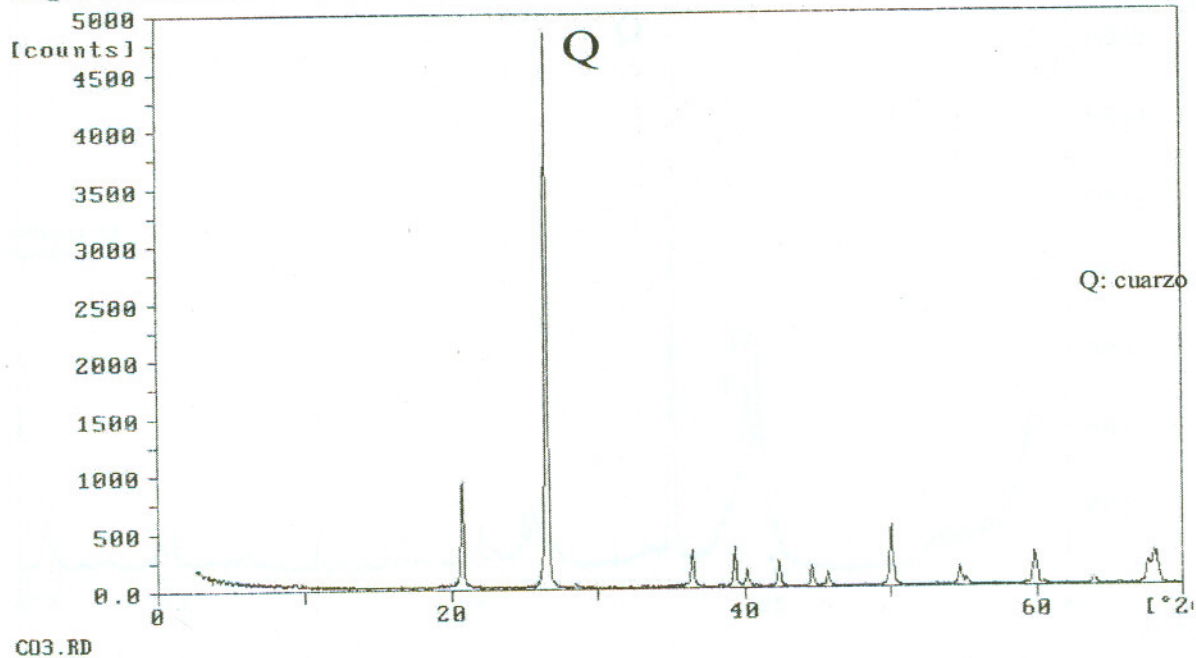


Figura 35c. Difractograma correspondiente a la muestra CO-3: jaspe.

Sample identification: CO-13B

8-nov-1998 14:11

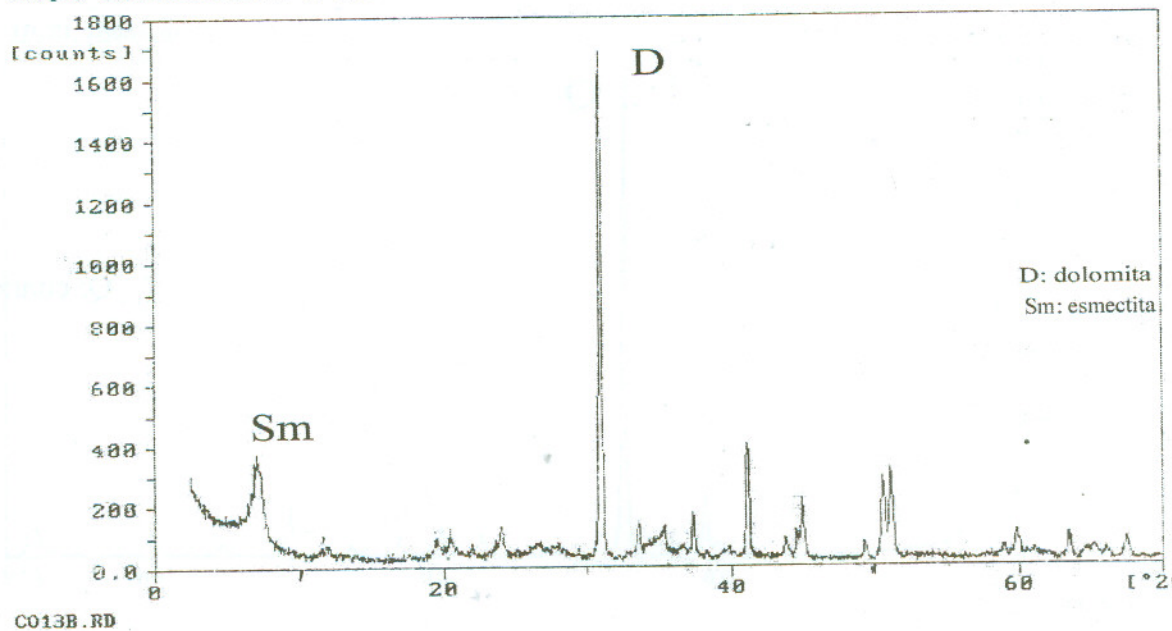


Figura 35d. Difractograma correspondiente a la muestra CO-13B: dolomita y esmectita.

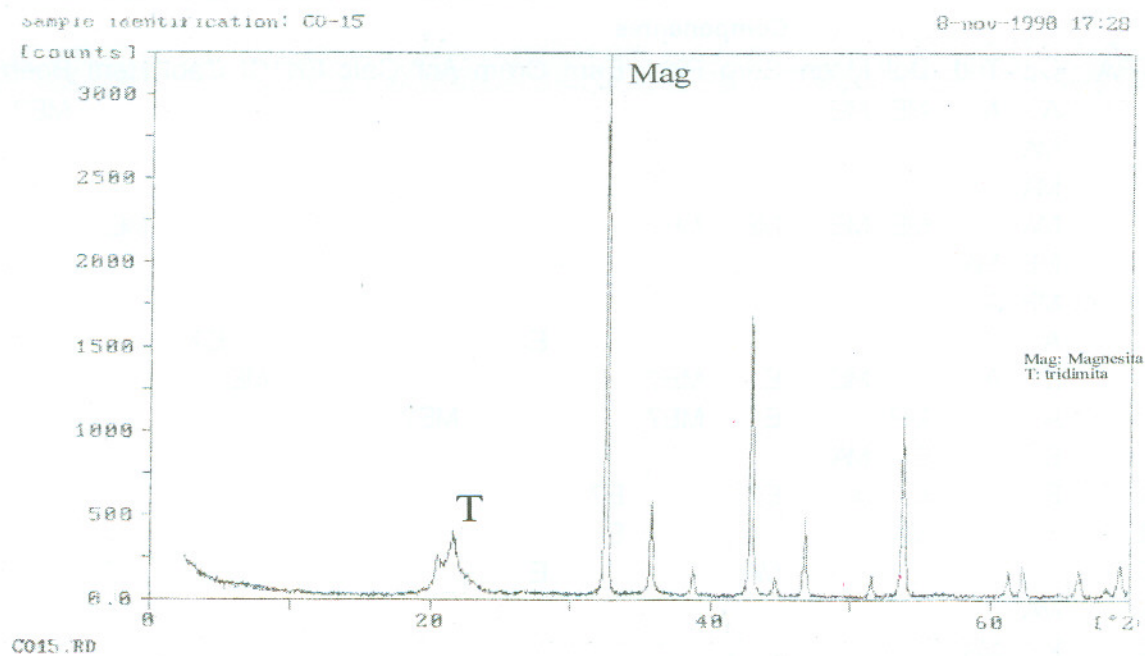


Figura 35e. Difractograma correspondiente a la muestra CO-15: magnesita y ópalo tridimita

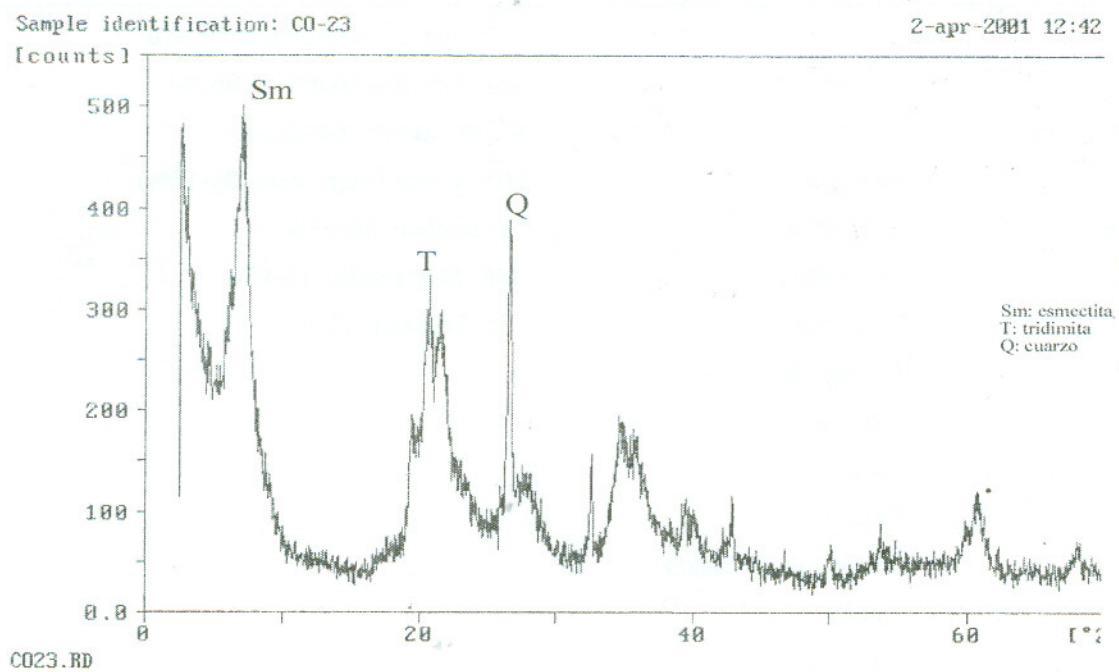


Figura 35f. Difractograma correspondiente a la muestra CO-23: tridimita, esmectita y cuarzo.

TABLA 8: INFORME MINERALÓGICO DE 22 MUESTRAS PULVERIZADAS

MUESTRA	Componentes														
	Cz	Trid	Dol	Magn	Serp	Pirol	Esm	Crom	Anf	Calc	FK	Cl	Caol	Hem	Boeh
CO-1	A	A	ME	ME											ME?
CO-2	MA														
CO-3	MA														
CO-4	MA		ME	ME	ME	ME								ME	
CO-5	ME	MA													
CO-6A	MP	A													
CO-6B	A							E						E?	
CO-7A	E	A		ME	E	ME?								ME	
CO-9	A		MP		E	ME?				ME?					
CO-11	E		E	MA											
CO-13A	E		E	A	E?		E?								
CO-13B			MA				E								
CO-13C					MA			E							
CO-14A	MA														
CO-14B	E	MA													
CO-15A		MP		A											
CO-18A	A		E			ME?	E?			E	ME?				
CO-19A	MA														
CO-22A	E	MA													
CO-22B	ME	MA													
CO-23	E	A					E?								
OP-1															

Leyenda

Escala de Abundancia Mineral

Cz. Cuarzo

MA: Muy Abundante (> 65 %)

Trid Tridimita

A: Abundante (64-35%)

Dol. Dolomita

MP: Menor Proporción (34-15%)

Magn. Magnesita

E: Escaso (14-5%)

Serp. Serpentina

ME: Muy Escaso (4-1%)

Pirol. Pirolusita

Tz: Trazas (<1%)

Esm. Esmectita

Crom. Cromita

Anf. Anfíbol

Calc. Calcita

FK. Feldespato Potásico

Cl. Clorita

Caol. Caolinita

Hem. Hematita

Boeh. Boehmita

nas bien delimitadas (Fig. 36a)

Hay restos de su roca caja, donde la serpentina presenta microfracturamiento y se identifica como antigorita. También está presente el crisotilo, la clorita y el ortopiroxeno (enstatita) muy alterado.

CO-2-98: cuarzo criptocristalino blanco. Con textura criptocristalina, muy uniforme en toda la sección fina. Posee algunas vetas muy finas, rellenas de escasa hematita o delineadas por microcristales de cuarzo que siguen la forma de los bordes. Poco leucoxeno.

CO-3-98: jaspe. Textura criptocristalina con gruesas vetas donde se observa gradación y alternancia bien definida en cuanto a tamaño de granos y una gama de formas: cristales euhedrales, subhedrales y anhedrales. Estos granos se ubican

TABLA 9: CLASIFICACIÓN DEL COLOR DE MUESTRAS DE MANO Y PULVERIZADAS.

N° de muestra	Muestra de mano	Muestra pulverizada
CO-1-98	$A_{20} M_{00} C_{40}$	$N_{10} A_{10} M_{00}$
CO-2-98	$N_{10} A_{00} M_{00}$	$N_{10} A_{30} M_{20}$
CO-3-98	$N_{40} A_{70} M_{50}$	$N_{10} A_{40} M_{30}$
CO-4-98	$N_{30} A_{00} M_{10}$	$N_{10} A_{40} M_{30}$
CO-5-98	$N_{10} A_{00} M_{00}$	$N_{10} A_{10} M_{10}$
CO-6A-98	$N_{30} A_{00} M_{00}$	$N_{00} A_{00} M_{00}$
CO-6B-98	$N_{70} A_{90} M_{60}$	$N_{40} A_{70} M_{50}$
CO-7A-98	$N_{20} A_{40} M_{30}$	$N_{10} A_{20} M_{10}$
CO-9A-98	$A_{10} M_{30} C_{40}$	$A_{30} M_{10} C_{00}$
CO-11-98	$N_{00} M_{00} C_{00}$	$A_{00} M_{00} C_{00}$
CO-13A-98	$N_{00} M_{00} C_{00}$	$A_{00} M_{00} C_{00}$
CO-13B-98	$N_{20} A_{30} M_{50}$	$N_{10} A_{20} M_{10}$
CO-14A-98	$N_{40} A_{70} M_{60}$	$N_{20} A_{30} M_{10}$
CO-14B-98	$N_{10} A_{00} M_{00}$	$N_{00} A_{00} M_{00}$
CO-15A-98	$N_{00} A_{00} M_{00}$	$N_{00} A_{00} M_{00}$
CO-18A-99	$N_{20} M_{10} C_{10}$	$N_{00} A_{00} M_{00}$
CO-19A-99	$N_{50} A_{10} M_{10}$	$N_{10} M_{00} C_{00}$
CO-22A-99	$A_{40} M_{20} C_{00}$	$A_{10} M_{00} C_{00}$
CO-22B-99	$A_{40} M_{10} C_{40}$	$A_{10} M_{00} C_{00}$
CO-23-99	$A_{00} M_{00} C_{00}$	$A_{00} M_{00} C_{00}$

en los extremos y centro de las grietas rellenándolas de la siguiente manera: cristales pequeños en los extremos, seguidos por cristales grandes, y de nuevo finos en la parte central. Algunas de estas vetas son transversales. Con abundante cuarzo y calcedonia, y en grandes cantidades, hematita y magnetita (Fig. 36b).

CO-4-98: cuarzo criptocristalino blanco. Textura criptocristalina, muy similar a la muestra CO-2. Con microfracturas muy delgadas y microcristales de cuarzo rodeando los bordes de la sección fina. Abundante hematita y leucoxeno y en menor proporción, la pirita.

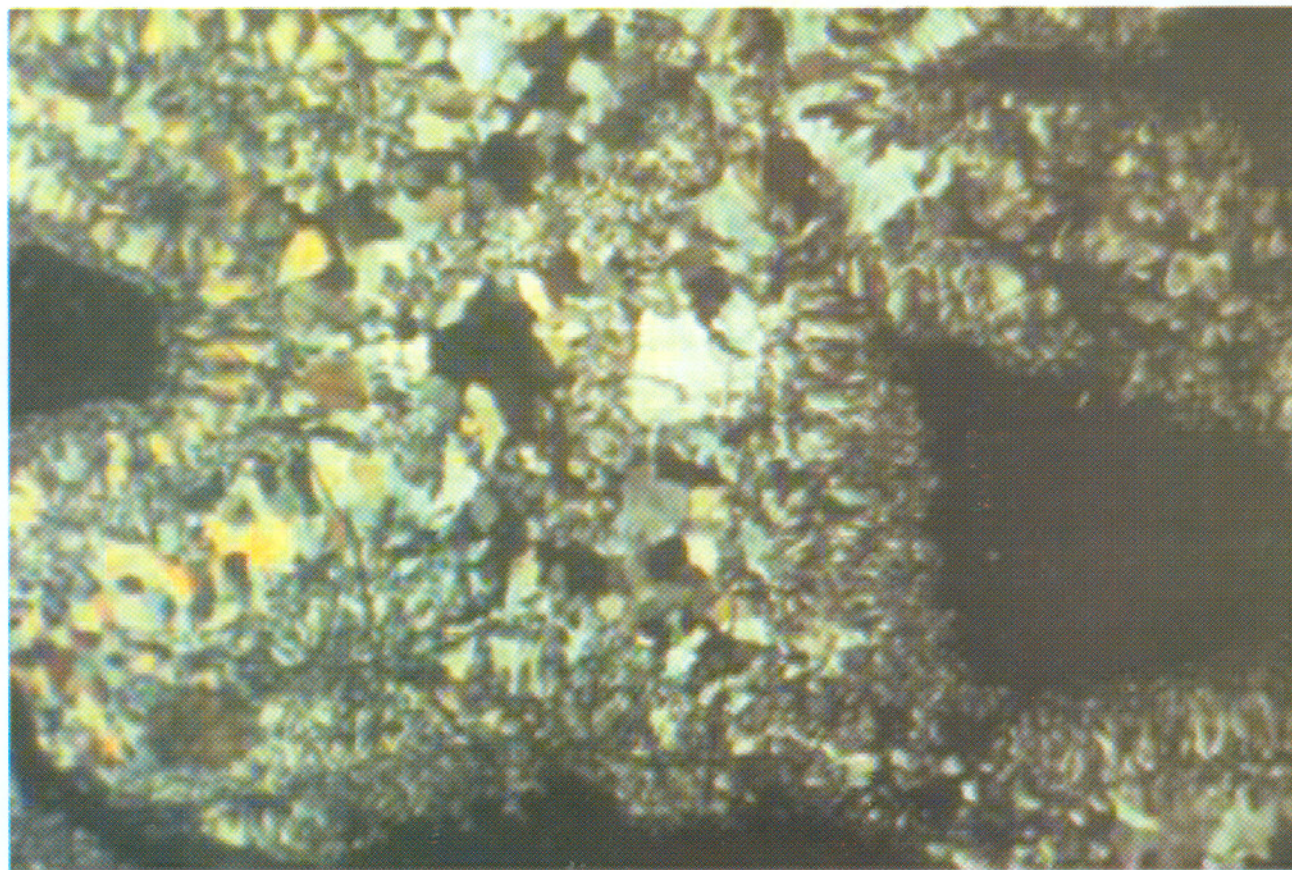
CO-5-98: ópalo-tridimita (muy puro). Textura criptocristalina muy similar a la muestra anterior. Con delgadas y escasas fracturas rellenas de abundante hematita. Escasa tridimita y abundante leucoxeno y pirita.

CO-6A-98: ópalo-tridimita. Textura coloforme con aberturas rellenas bajo un patrón de alternancia y ordenamiento de grano fino en los bordes, grano grueso y nuevamente grano fino. Se observa cierto bandeamiento en la disposi-

ción de los cristales, similar a líneas de crecimiento. Está surcada de vetas muy delgadas y abundantes con cierta orientación. Con tridimita, calcedonia, leucoxeno y hematita (Fig. 36c).

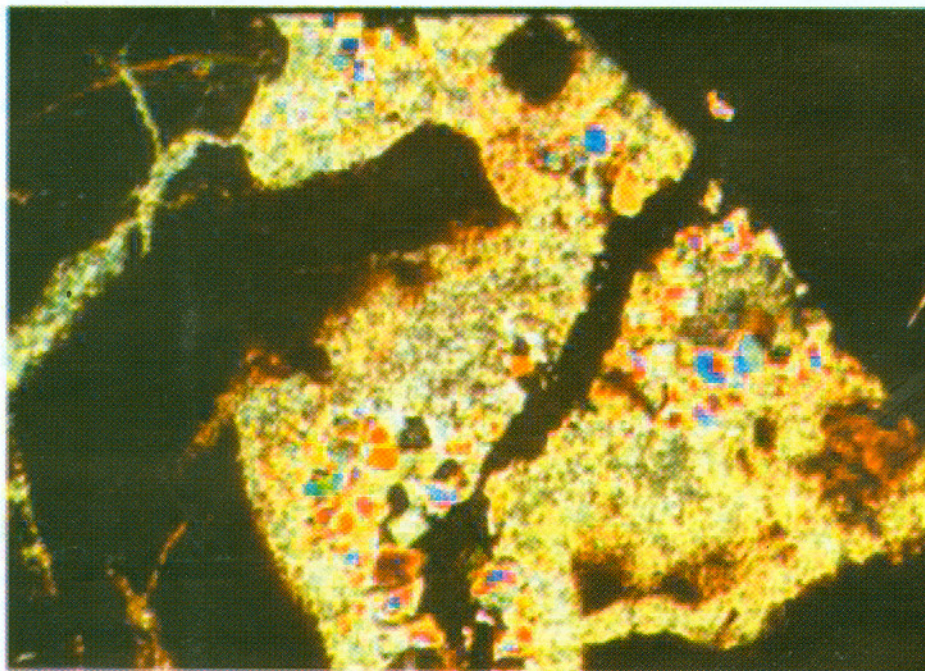
CO-6B-98: jaspe. Textura criptocristalina surcada por una fina red de vetillas, presenta además, gruesas y abundantes vetas rellenas de cuarzo microcristalino que se concentra en los bordes y un poco más grueso, hacia en el centro. En algunas zonas coexisten cristales finos y gruesos bien delimitados por tamaño, nunca mezclados. Esta diferencia en cuanto a tamaño de grano podría implicar una vez más, una formación posterior de cuarzo por acción hidrotermal. Con abundante hematita.

CO-7A-98: ópalo-tridimita (muy puro). Textura criptocristalina acompañada de textura coloforme, esta última limitada a ciertas secciones. Con vetillas ligeramente orientadas, grietas y orificios rellenos de sílice. Con escasa tridimita.



0.5 mm

Figura 36a.
Fotomicrografía de textura coloforme y radial en ópalo-tridimita.



0.5 mm

Figura 36b.

Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-3 con jaspe.

CO-7B-98: ópalo-tridimita. Textura conformada por una masa de cristales que gradan de fino a grueso, dispuestos en forma radial alrededor de los orificios; otros granos bastante gruesos, se ubican hacia los bordes de la muestra o se agrupan en ciertas secciones preferenciales. Hay una mezcla de cristales euhedrales, subhedrales y anhedrales de tridimita. Granos muy triturados. Poco leucoxeno.

CO-9-98: cuarzo criptocristalino blanco. Textura conformada casi en un 60% por cristales de carbonato y el resto, por cuarzo dispuesto en forma radial. Otros se presentan en reducidos grupos de cristales pequeños subhedrales y anhedrales de cuarzo, limitados a ciertas zonas. Se evidencia también la textura coloforme, restringida a ciertas zonas, donde los cristales mantienen el mismo patrón de gradación fino-grueso-fino de afuera hacia adentro de las cavidades. Hay presencia de leucoxeno. Con restos de roca caja evidenciada por el amianto dispuesto en capas sinuosas, en algunas secciones que están interrumpidas, pese a su aparente flexibilidad evidenciada por la forma adoptada. También hay illmenita muy alterada y ortopiroxeno.

CO-11-98: magnesita y dolomita. Textura criptocristalina semejante a la CO-7A, con red de vetillas rellenas de clorita que presentan una ligera orientación (Fig. 36d).

CO-13A-98: ópalo-tridimita. Textura criptocristalina se-

mejante a CO-2, con delgadas vetillas, conservando la misma gradación de grano fino-grueso-fino de afuera hacia adentro de los orificios. Dichos granos son euhedrales y anhedrales. También se observan algunos cristales dispuestos en forma radial alrededor de estas cavidades, pero en muy pequeña proporción. Posee en algunas zonas, textura coloforme. Abundante tridimita y escasa mica muscovita (Fig. 36e).

CO-13B-98: dolomita y esmectita. Textura criptocristalina con cierta tendencia al flujo, surcada por una delgada red de vetillas, algunas rellenas de clorita y en lugares muy específicos, se observa la presencia de muy escasos cristales euhedrales y anhedrales de cuarzo. Se localizan cristales muy finos de carbonato hacia los bordes. Poca hematita y pirita.

CO-13C-98: roca caja, serpentinita, con textura que muestra cierta orientación de flujo presente en las vetas rellenas de clorita las cuales adoptan formas sinuosas. También se observan vetas de crisotilo más gruesas y muy fracturadas en algunas secciones. Se presentan cristales de carbonato en zonas muy específicas. El resto de la muestra es una mezcla de cristales alargados que coexisten con otros anhedrales y subhedrales de cuarzo. Con clorita, leucoxeno y hematita (Fig. 36f).

CO-13D-98: roca caja serpentinita, con alto porcentaje de cristales euhedrales y anhedrales de carbonato rodeando la masa de ópalo criptocristalino. Se observan gruesas bandas de crisotilo bastante plegadas y microfracturadas. Con vetas muy delgadas rellenas de sericita. Hay presencia de talco.

CO-14A-98: cuarzo criptocristalino blanco naranja. Textura criptocristalina, muy parecida a CO-2. Con poco cuarzo, leucoxeno y pirita (Fig. 36g).

CO-14B-98: ópalo-tridimita y cuarzo. Textura coloforme presente en las zonas circundantes a los orificios, los cuales presentan gradación de grano fino-grueso-fino desde la parte más externa a la más interna. El resto está conformado por

un mosaico de cristales de tridimita de diferentes tamaños dispuestos como rosetas en forma radial. Se observan algunas fracturas rellenas. Con algunas microgrietas. Poca presencia de carbonato (Fig. 36h).

CO-14C-98: roca caja, gabro, con muy alto porcentaje de plagioclasas tipo albita (casi la totalidad de la muestra), muy heterogénea en cuanto a tamaño de grano, con muy escasos cristales subhedrales y anhedrales, muy triturados de cuarzo. Con ortosa y actinolita.

CO-15A-98: magnesita y ópalo-tridimita. Textura criptocristalina muy semejante a CO-2

CO-15B-98: roca caja, piroxenita, con textura bastante homogénea constituida de granos muy fracturados, en su gran mayoría ortopiroxenos. Presencia de serpentina, augita,

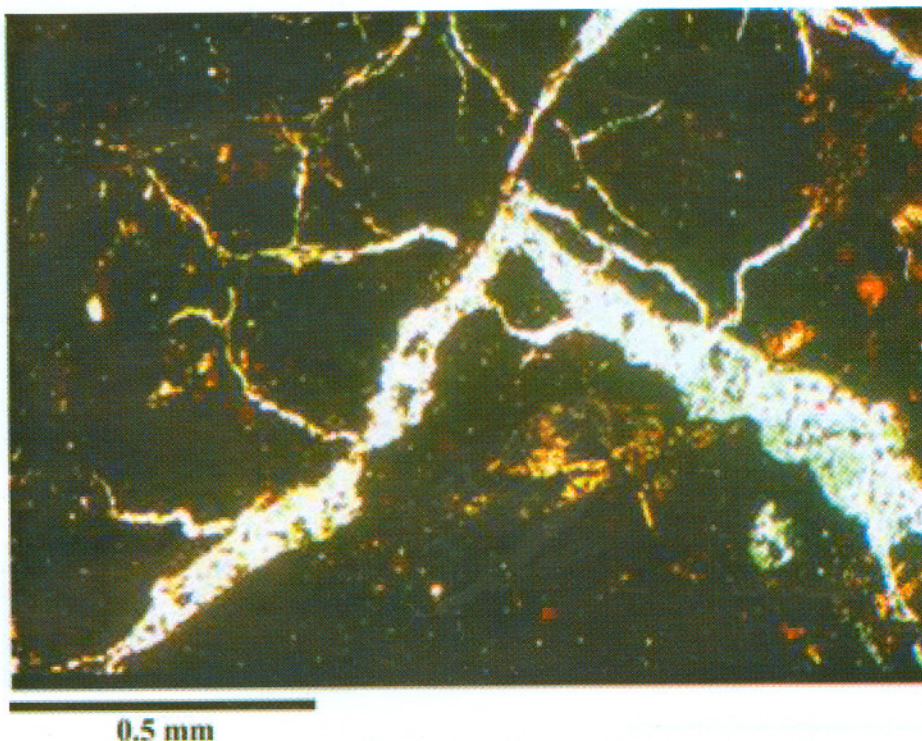


Figura 36c.

Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-6ª con ópalo-tridimita.

CO-18A-99: cuarzo criptocristalino gris. Textura criptocristalina, con algunos orificios e igual gradación de fino-grueso-fino desde la parte más externa a la más interna. Con algunos cristales de cuarzo organizados en forma radial en pequeñas secciones. También se localizan vetillas muy delgadas de cuarzo con cierta orientación.

CO-18B-99: roca caja, anfíbolita. Textura con granulometría muy variada, y formas subhedrales y anhedrales constituidos en un 90 % por cristales de plagioclasa tipo albita. Con actinolita y algo de cuarzo.

CO-19A-99: cuarzo criptocristalino gris. Textura criptocristalina muy parecida a CO-2, con escasas vetas rellenas de granos gruesos de

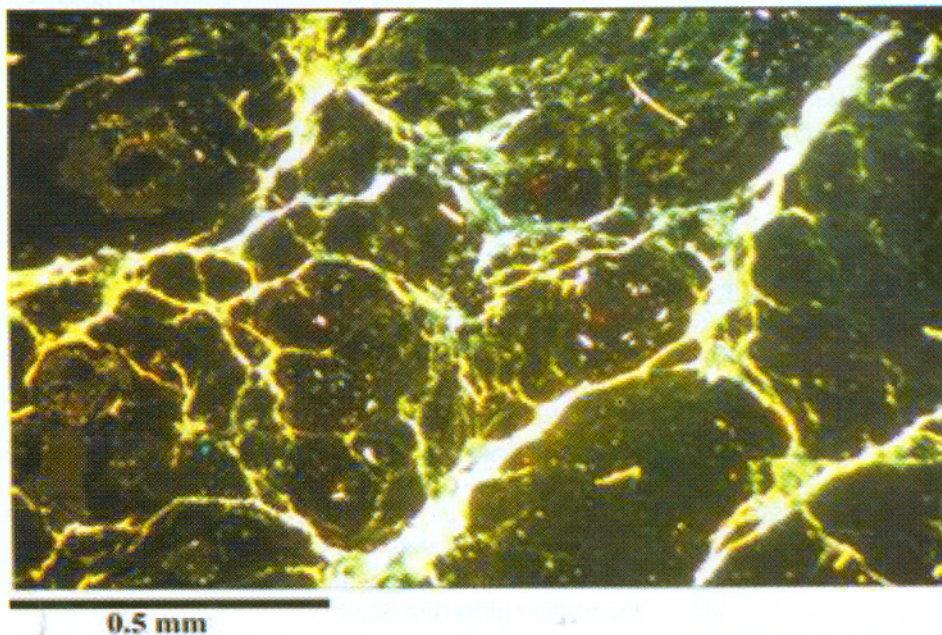


Figura 36d.

Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-11 con magnesita y dolomita.

cuarzo ubicados alrededor de orificios.

CO-19B-99: roca caja, esquistos calcáreos. Con cristales de carbonato de diferentes tamaños, donde no existe una delimitación clara pero sí una dirección específica. Los de mayor tamaño se presentan bastante aplanados. Con granos de cuarzo poco homogéneos en cuanto a tamaño y muy agrietados. Presencia de mica muy alterada y epidoto.

CO-22 A-99: ópalo-tridimita y cuarzo. Textura criptocristalina, con delgadas vetillas rellenas de cuarzo. Poca tridimita.

CO-22B-99: ópalo-tridimita. Textura criptocristalina parecida a CO-7A. Con vetillas muy abundantes y finas, rellenas de clorita, con tendencia a cierta orientación de flujo. Abundante tridimita y algo de calcedonia.

CO-22C-99: roca caja, serpentinita. Muy fracturada. Con cierta orientación presente en la antigorita y algunas vetas rellenas de cuarzo. Con posible calcedonia de color rojizo que podría indicar varias generaciones en el proceso de formación (Fig. 36i).

CO-23-99: ópalo-tridimita, cuarzo y esmectita. Textura coloforme. Con cristales de tridimita rellenos de vetas, lo que sugiere una cristalización posterior. Poca tridimita y clorita. Con parte de roca caja conformada por serpentinita muy alterada casi en su totalidad, en forma de magnesita. (Fig. 36j).

Resultado de los análisis petrográficos

Del estudio de estas secciones finas, se obtuvieron los siguientes resultados

Más de la mitad de las muestras analizadas presentan textura criptocristalina. También está presente la textura coloforme con una marcada gradación y alternancia de grano fino-grueso-fino, desde la parte más externa de esta textura a la más interna, la cual se ubica alrededor en forma de capas.

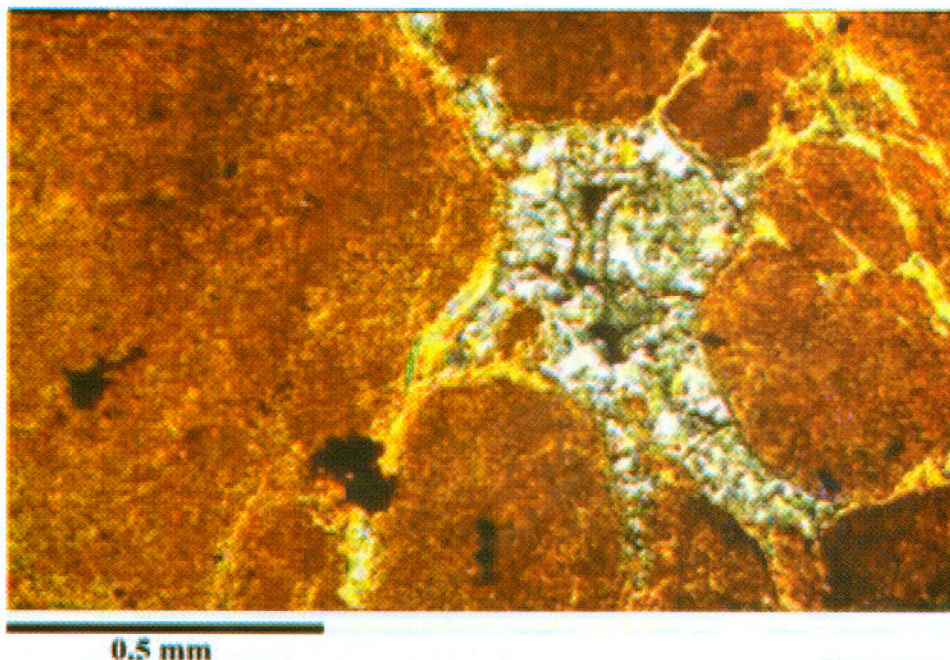


Figura 36e.
Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-13 A con ópalo-tridimita.

Esta diferencia en cuanto a tamaño de grano sugiere una entrada de agua que transporta sílice disuelto y que posteriormente precipita en las fracturas en diferentes momentos, al penetrar por las grietas u otros espacios disponibles como consecuencia de la acción hidrotermal. Algunas secciones finas presentan una ligera orientación de flujo y bandeamiento.

Se presenta también un crecimiento de minerales en forma de rosetas, con gran homogeneidad en su tamaño, en cristales euhédricos, subhédricos y anhédricos, predominando los últimos. Se agrupan según su tamaño y no al azar.

En las secciones finas de roca caja, algunos granos se presentan muy fracturados, muy especialmente en la serpentinita, donde se evidencia cizallamiento y recrystalización de minerales silíceos muy finos. La presencia de este mineral es común, sobre todo en la forma de antigorita y crisotilo. Mucha alteración en olivino y mica. Los minerales presentes en ópalos se señalan en la Tabla 10.

En cuanto a roca caja, se identificó a la serpentinita, muy rica en talco, dolomita y crisotilo, anfibolita, esquistos muy calcáreos y la piroxenita, con una preponderancia muy marcada de ortopiroxeno.

Este estudio revela que los ópalos presentes corresponden al tipo tridimita (T), diferente a lo reportado con anterior-

ridad por VARELA (1995), quien los clasifica como ópalo del tipo cristobalita-tridimita (C-T) en base a cuatro muestras estudiadas.

El caso del ópalo-tridimita (T) implicaría un tipo de ópalo nuevo para la zona, con un arreglo más ordenado en su estructura que el sugerido por VARELA (1995), pudiendo ser ubicado como intermedio entre el ópalo C-T y el C, de la siguiente manera: ópalo tipo A, altamente desordenado y muy cercano a lo realmente amorfo; ópalo tipo C-T desordenado y conformado por cristobalita y tridimita; ópalo tipo T, algo ordenado y conformado por un patrón bien definido de tridimita; y ópalo C, muy ordenado y constituido por cristobalita.

A partir del estudio y la subsiguiente correlación de los resultados arrojados en los análisis químicos, difracción de rayos X y secciones finas así como de la observación de muestras de mano, se hizo la equivalencia en cuanto a nombres iniciales de campo y los que corresponden a la realidad (Tabla 11).

Como puede observarse, estos análisis revelan el hecho de que hay minerales que por su apariencia parecen ser ópalo, pero en realidad son cuarzo criptocristalino. Se catalogaron como jaspe sólo al cuarzo criptocristalino opaco y con tonalidad oscura, generalmente marrón y se dejó el tér-

mino de cuarzo criptocristalino a las muestras translúcidas y de color claro. El ópalo se aplicó a aquellas muestras que contienen tridimita y su comportamiento en el difractograma es muy diferente al del jaspe y cuarzo criptocristalino (Fig 35 a, b y c).

De veinte muestras, diez son ópalo-tridimita, seis de ellas son cuarzo criptocristalino, dos son jaspe, una de magnesita-dolomita y una de dolomita-esméctica.

5.5. Análisis gemológico

Se tallaron diez muestras en total: 4 muestras de ópalo en cabujón sencillo, 2 en gota de cera y 2 en talla fantasía, y 2 muestras de cuarzo criptocristalino en talla cabujón sencillo (Fig. 37):

Estas muestras se sometieron a análisis gemológico de la siguiente manera:

Muestra CO-7A (Fig. 37, superior derecha)

Color: blanco crema

Transparencia: translúcido.

Fractura: concoidea, observada en los bordes

Brillo: vítreo

Tipo de talla: fantasía

Comportamiento al polariscopio: isótropo. Iluminado los 360°

Lecturas al refractómetro: 1,450/1,450; 1,450; 1,450/1,450

Índice de refracción: 1,450

Tipo de cristal:

monorrefringente

Birrefringencia: no tiene por ser isótropo

Signo óptico: no tiene

Espectro de absorción: ninguno

Inclusiones: negras de pirolusita, muy escasas y en forma de puntos

Efectos especiales: no presenta

Otras observaciones: se talló una sola pieza

Gema: ópalo

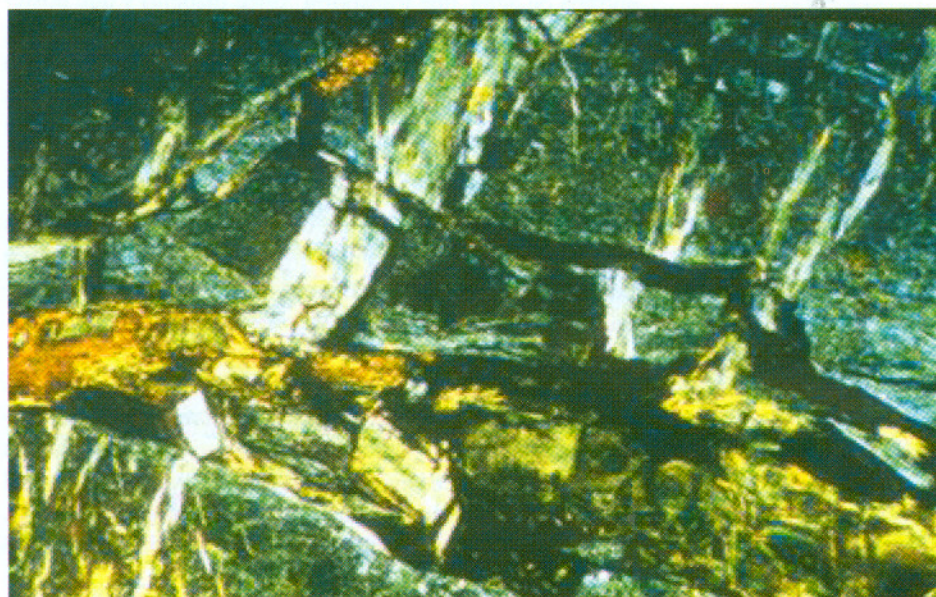
Muestra CO-14A (Fig. 37 centro, Fig. 38 izquierda, Fig. 39 centro y Fig. 40 inferior derecha)

Color: blanco naranja

Transparencia: transparente a translúcido.

Fractura: concoidea, observada en los bordes

Brillo: vítreo



0.5 mm

Figura 36f.
Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-13C con roca caja serpentinita.

Tipo de talla: cabujón sencillo
Comportamiento al polariscopio: anisótropo. Iluminado los 360°

Lecturas al refractómetro: 1,544; 1,547/1,544; 1,544/1,551

Índice de refracción: 1,544/1,551

Tipo de cristal: birrefringente uniáxico

Birrefringencia: 0,007

Signo óptico: positivo

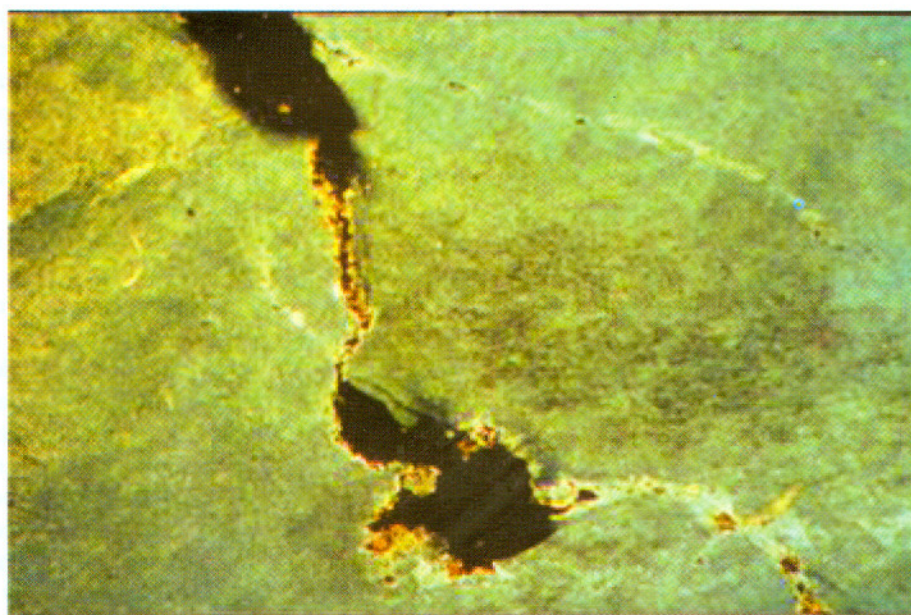
Espectro de absorción: ninguno

Inclusiones: óxidos en superficie algo porosa

Efectos especiales: no presenta

Otras observaciones: se tallaron dos piezas

Gema: cuarzo criptocristalino



0.5 mm

Muestra CO-14-B (Fig. 37, centro, superior e inferior izquierda e inferior derecha y Fig. 38, derecha)

Color: blanco

Transparencia: transparente a translúcido.

Fractura: concoidea, observada en los bordes

Brillo: vítreo

Tipo de talla: cabujón sencillo, gota de cera y fantasía

Comportamiento al polariscopio: isótropo. Iluminado los 360°

Lecturas al refractómetro: 1,450/1,450; 1,450/1,450; 1,450/1,450

Índice de refracción: 1,450

Tipo de cristal: monorrefringente

Birrefringencia: no tiene por ser isótropo

Signo óptico: no tiene

Espectro de absorción: ninguno

Inclusiones: dendritas negras de pirolusita, muy abundantes y en forma de ramificaciones

Efectos especiales: no presenta

Otras observaciones: se tallaron cuatro piezas. Muestra algo porosa

Gema: ópalo

Muestra CO-22 A (Fig. 39 izquierda)

Color: crema

Transparencia: translúcido a opaco.

Fractura: concoidea, observada en los bordes

Brillo: vítreo

Tipo de talla: cabujón sencillo

Comportamiento al polariscopio: isótropo. Iluminado los 360°

Lecturas al refractómetro: 1,450/1,450; 1,450/1,450; 1,450/1,450

Índice de refracción: 1,450

Figura 36g.

Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-14 A con Cuarzo criptocristalino blanco naranja.

Tipo de cristal: monorrefringente

Birrefringencia: no tiene por ser isótropo

Signo óptico: no tiene

Espectro de absorción: ninguno

Inclusiones: óxido

Efectos especiales: no presenta

Otras observaciones: se talló una pieza. Muestra medianamente porosa.

Gema: ópalo

Muestra CO-22 B (Fig. 37, centro y superior izquierda; Fig. 38, centro; Fig. 39, derecha y Fig. 40, superior)

Color: verde

Transparencia: translúcido

Fractura: concoidea, observada en los bordes y con algunas fracturas en la corona

Brillo: vítreo

Tipo de talla: cabujón sencillo y fantasía

Comportamiento al polariscopio: isótropo. Iluminado los 360°

Lecturas al refractómetro: 1,450/1,450; 1,450/1,450; 1,450/1,450

Índice de refracción: 1,450

Tipo de cristal: monorrefringente

Birrefringencia: no tiene por ser isótropo

Signo óptico: no tiene

Espectro de absorción: ninguno

Inclusiones: fracturas rellenas de óxido

Efectos especiales: no presenta

Otras observaciones: se tallaron dos piezas. Muestras medianamente porosa.

Gema: ópalo

De este análisis se destaca el hecho de que sólo unas pocas muestras pueden ser talladas debido a que la mayoría posee poca dureza y cohesión y son algo porosas, pero la belleza dada por sus atractivos colores, presencia de inclusiones en algunos ópalos que semejan plantas, aunado a su brillo vítreo intenso y aspecto translúcido, les hace bastante llamativos en el campo del lapidarismo.

5.6. Relación del proceso de formación del ópalo con su roca caja

A partir de la Peridotita de Tinaquillo caracterizada por OSTOS (1990) por la presencia de rocas ultramáficas que son tectónicas metamorizadas, constituidas originalmente por 75% de harzburgitas, 20% de dunitas y 5% de serpentinitas, y cuyo mineral base es el olivino (silicato de Fe y Mg), se produce un proceso de alteración en porcentajes variables denominado serpentización, debido a la acción hidrotermal.

Esta serpentización genera minerales del grupo de la serpentina, cuya roca característica, la serpentinita, es reservada como término en OSTOS (1985) a aquellas rocas

ultramáficas que se encuentran serpentinizadas en un 50%. Para OSTOS (1985), este proceso afectó a las rocas fuertemente, aspecto que se evidencia en el campo por el aspecto terroso de las rocas y por las venas de ópalo y magnesita que se cruzan sin un patrón definido, pero en mayor énfasis estuvo en las cercanías del contacto de corrimiento entre la Peridotita de Tinaquillo y las filitas y mármoles del Esquistito de Las Mercedes, en el norte.

Esta acción hidrotermal pudo originarse a partir de soluciones circundantes producto del tectonismo y del metamorfismo, en donde el olivino (Mg, Fe^{2+}) SiO_4 es reemplazado por la serpentina, pudiendo formarse adicionalmente talco, anfíboles, clorita y otros silicatos hidratados de magnesio y por otra parte, hubo una oxidación y precipitación de hierro. Este proceso podrá haber sido acompañado por la acción del agua meteórica, rica en dióxido de carbono, la cual inicia su proceso al infiltrarse a través de las diaclasas, zonas de cizallamiento y demás grietas del suelo. Remueve el sílice fácilmente lixiviándolo conjuntamente con el magnesio, combinándose con estos dos elementos y precipitando en forma de gel que posteriormente constituirá al ópalo como tal. El hierro, que también se disuelve, se oxida rápidamente y precipita, produciéndose un enriquecimiento del mismo en forma de latheritas.

Estos dos procesos combinados conllevan a sugerir un origen mixto para estos ópalos, ya que algunos se localizan a cierta profundidad y presentan una estructura muy peculiar en forma de enrejado o en "box-work" (posiblemente hidrotermal), y otros, en superficie, muy meteorizados y con capas latheríticas cercanas (aguas meteóricas). Los procesos descritos anteriormente son bastante comunes, ya que el origen de las soluciones hidrotermales es por lo general mixta, pudiendo combinarse aguas magmáticas, metamórficas y meteóricas (SMIRNOV 1982).

5.7. Posibilidades económicas en la extracción, comercialización y empleo del ópalo en Venezuela.

Las posibilidades de explotación presentes son del tipo artesanal a pequeña escala, debido a que en su mayoría son depósitos de fácil acceso y extracción. A pesar de representar yacimientos reducidos, cuenta con ópalos con

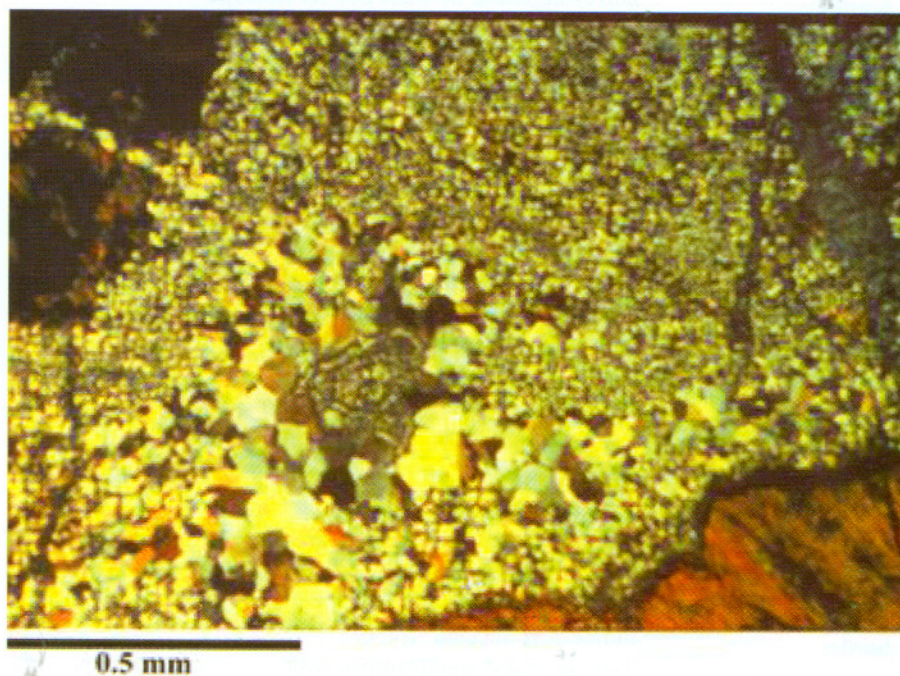


Figura 36h.
Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-14B con ópalo-tridimita y cuarzo.

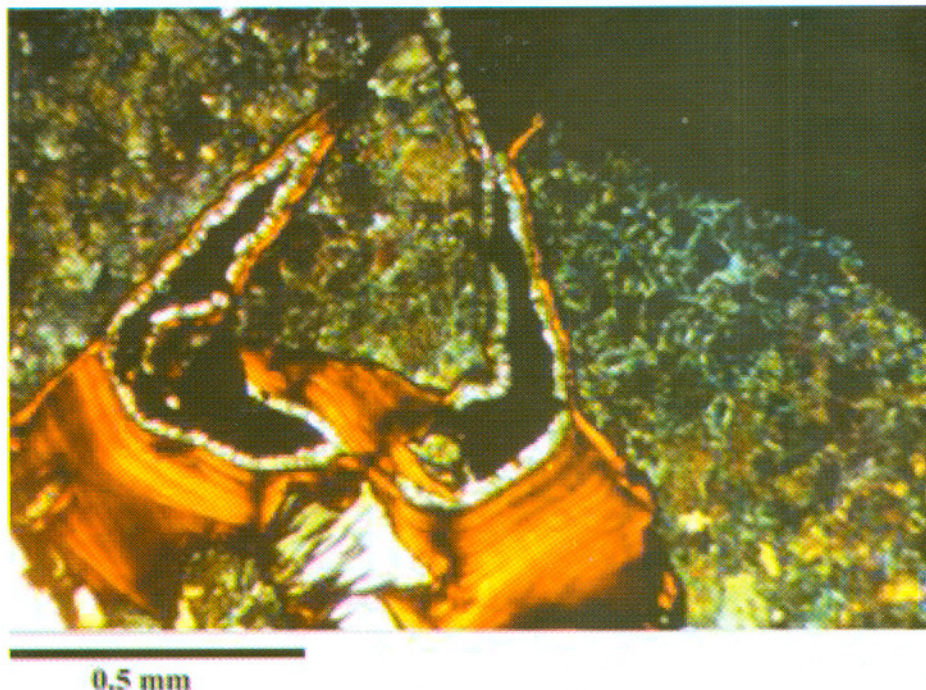


Figura 36i.

Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-22C con roca caja serpentinita y posible calcedonia de color rojo

buen potencial en cuanto a posibilidades comerciales, ya que posee colores verdes, naranjas, blancos y grises dendríticos bastante atractivos, para tallarlos en cabujón o en fantasía en piezas de joyería; para engastarlos en bruto como piezas de orfebrería; para hacer collares, rosarios, con cuentas redondeadas; para tallado de esculturas, figuras y artículos ornamentales como nacimientos, pastilleros, tapas de cajitas, relojes de pared, o de utilidad práctica como en artículos de escritorio, elaboración de juegos como damas chinas, ajedrez, etc.

En cuanto al jaspe, las posibilidades comerciales y de extracción son casi nulas ya que conforman yacimientos muy aislados, reducidos y de difícil tallado por ser bastante frágiles.

Se puede decir que existe un mercado cautivo en Venezuela,

ya que es un importante importador de jaspe y ópalos brasileños y estadounidenses principalmente (RODRÍGUEZ 1992), pero habría que ofertarlos a los comercios potencialmente interesados.

5.8. Equipos y maquinarias necesarios para la talla de ópalos

Los equipos y maquinarias de talla son de costos accesibles por lo que se necesitaría una inversión relativamente baja, por lo que cualquier interesado en este campo podría iniciarse con lo que a continuación se sugiere:

En cuanto a maquinarias: cortadora de roca con disco diamantado, desbastadora con disco de carburo de silicio, molino de frotamiento y balanza automática.

En cuanto a materiales y equipos: bata, lentes y máscara de seguridad con lupa de 10x adaptada, lupa gemológica de

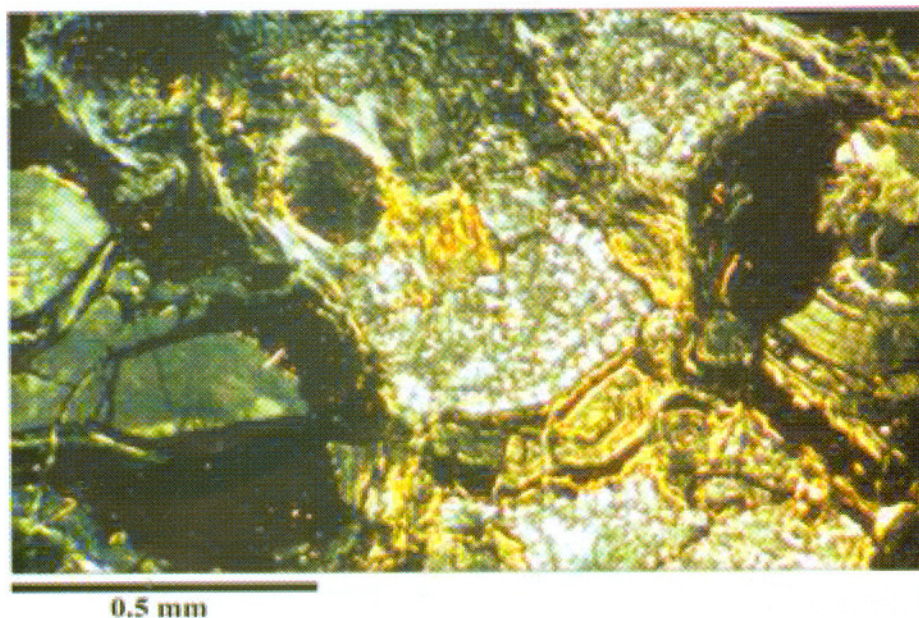


Figura 36j.

Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-23 con ópalo-tridimita, cuarzo y esmectita.

TABLA 10: MINERALES IDENTIFICADOS PETROGRÁFICAMENTE EN MUESTRAS DE ÓPALO Y JASPE (SE INCLUYE LA INFORMACIÓN APORTADA POR DRX)

Nº	Color	cuarzo	clorita	tridimita	calcedonia	leucóxeno	hematita	pirita	magnetita	carbonato
	muscovita									
CO-1	verde			XXX			X			
CO-2	blanco translúcido			X				X		X
CO-3	marrón XX					XX		XXX		XXX
CO-4	blanco translúcido			X				XX	XX	X
CO-5	blanco translúcido						X	XX	XX	XX
CO-6A	blanco grisáceo					XX	X	X	X	
CO-6B	marrón XXX							XX		
CO-7A	blanco crema					X				X
CO-9	blanco morado XX							X		XXX
CO-11	Blanco opaco			X						
CO-13A	blanco opaco					XX				
X										
CO-13B	blanco naranja X							X		X
X										
CO-14A	blanco naranja X							X		X
CO-14B	blanco translúcido							XXX		
X										
CO-15A	blanco opaco									
CO-18A	gris X									
CO-19A	gris X									
CO-22A	crema X									
CO-22B	verde		XX	XX		X				
CO-23	Blanco opaco			X		X				

Abreviaturas:

XXX: Muy abundante

XX: Abundante.

X : Escaso.

TABLA 11: EQUIVALENCIA ENTRE LOS NOMBRES DE CAMPO Y LOS ACTUALES.

N°	Color	Nombre de campo	Nombre actual
CO-1	verde	ópalo verde (OV)	ópalo tridimita
CO-2	blanco		
	translúcido	ópalo blanco translúcido (OBT)	cuarzo criptocristalino blanco
CO-3	marrón	jaspe marrón (JM)	jaspe
CO-4	blanco		
	translúcido	ópalo blanco translúcido (OBT)	cuarzo criptocristalino blanco
CO-5	blanco		
	translúcido	ópalo blanco translúcido (OBT)	ópalo tridimita (muy puro)
CO-6A	blanco		
	grisáceo	ópalo blanco grisáceo (OBG)	ópalo tridimita
CO-6B	marrón	ópalo marrón (OM)	jaspe
CO-7A	blanco		
	crema	ópalo blanco crema (OBC)	ópalo tridimita (muy puro)
CO-9	blanco		
	morado	ópalo blanco morado (OBMO)	cuarzo criptocristalino blanco-morado
CO-11	blanco		
	opaco	ópalo blanco opaco y magnesita (OBO, g)	magnesita y dolomita
CO-13A	blanco	ópalo blanco opaco (OBO)	ópalo tridimita
	opaco		
CO-13B	blanco	ópalo blanco naranja (OBNA)	dolomita y esmectita
	naranja		
CO-14A	blanco	ópalo blanco naranja (OBNA)	cuarzo criptocristalino
	naranja		blanco-naranja
CO-14B	blanco	ópalo blanco translúcido (OBT)	ópalo tridimita y cuarzo
	traslúcido		
CO-15A	blanco	ópalo blanco opaco (OBO)	magnesita y ópalo tridimita
	opaco		
CO-18A	gris	ópalo gris (OG)	cuarzo criptocristalino gris
CO-19A	gris	ópalo gris (OG)	cuarzo criptocristalino gris
CO-22A	crema	ópalo crema (OC)	ópalo tridimita y cuarzo
CO-22B	verde	ópalo verde (OV)	ópalo tridimita
CO-23	blanco	ópalo blanco opaco (OBO)	ópalo tridimita, cuarzo y esmectita
	opaco		

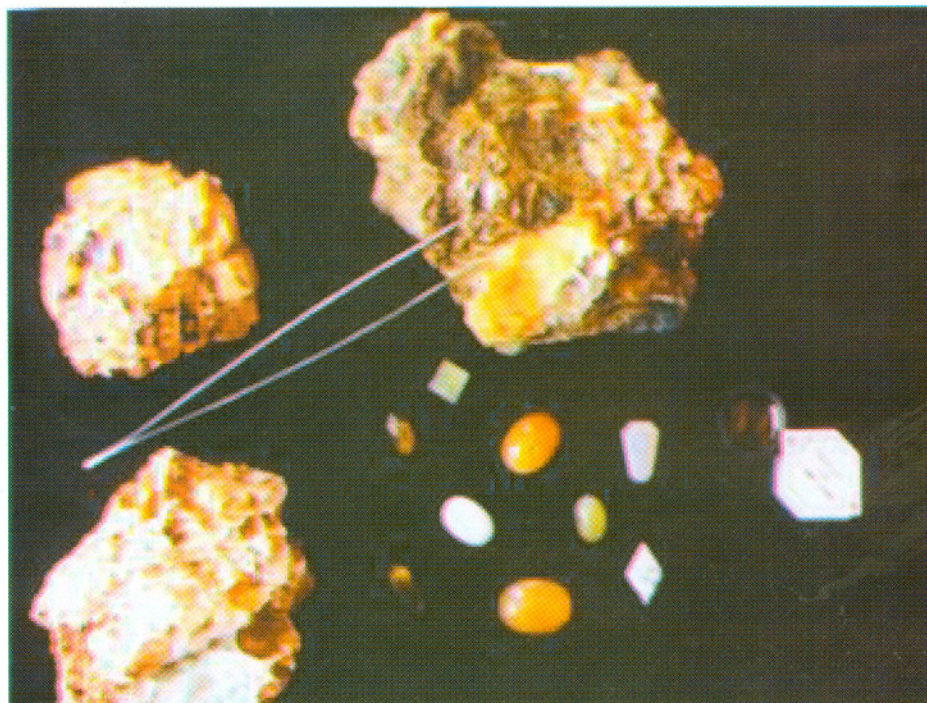


Figura 37.
Ópalo y cuarzo criptocristalino tallados en cabujón
sencillo, gota de cera y talla fantasía.

6. CONCLUSIONES

En el área de Tinaquillo, estado Cojedes, se estudiaron los materiales llamados comúnmente "ópalo" por DRX, sin embargo su identificación mineralógica mostró que son: ópalo tridimita, cuarzo criptocristalino y jaspe, en orden decreciente de abundancia.

Los ópalos tridimita son ópalos comunes unicolores, algunos con inclusiones o interpenetración de dos colores. Se catalogan como cuarzos criptocristalinos a aquellos identificados como cuarzo por DRX, de textura criptocristalina, y con colores claros y translúcidos.

Se consideran jaspes a aquellas muestras con textura criptocristalina, también identifi-

10x de bolsillo, pinzas punta fina, media, gruesa y de garra, calibrador, vernier, segueta con sierra diamantina, lámpara, vidrio grueso y plano de 4 cm de grosor y de 30 x 30 cm., abrasivo (carborundo) de 200, 400, 600 y 1000, paño para pulidora, dops de madera (portagema durante el frotamiento y pulido), cera para dops, taladro de mano, y un mesón. Esto significaría una inversión de aproximadamente 3.000 dólares si se compra un artículo de cada uno de los sugeridos.

La ventaja de eso es que para la talla se necesita poco material, y fragmentos de 3 x 3 cm son perfectamente aprovechables por lo que se necesitarían pocos kilos para emplearlos como materia prima.

ficados como cuarzo que presentan colores oscuros y opa-



Figura 38.
Cuarzo criptocristalino blanco naranja, ópalo verde
y ópalo blanco en talla cabujón sencillo.



Figura 39. Cuarzo criptocristalino blanco naranja, ópalo crema y ópalo verde tallados en cabujón sencillo.

cos. La textura de estos ejemplares es mayormente criptocristalina, pero algunas veces viene acompañada por textura coloforme.

El origen de los ópalos es probablemente hidrotermal, a partir de la serpentinización de la Peridotita de Tinaquillo por soluciones circundantes producto del tectonismo, metamorfismo y posterior infiltración del sílice por acción de las aguas meteóricas, precipitando en forma de gel.

Es innegable la relación que existe entre el color en los ópalos y la presencia de ciertos elementos característicos, a pesar de que un mismo elemento puede generar más de un color diferente. Este hecho quizás dependa de la abundancia de estos elementos, de su estado de oxidación y tipo de combinación con

otros elementos compatibles. El color varía en algunos casos, de muestra de mano a muestra pulverizada.

El elemento Mg está presente en casi todas las muestras independientemente del color aunque en mayor proporción en los ópalos blancos opacos, el S predomina en los blanco translúcido, el Fe en los crema a marrón, el Ni en los verde, el Ca en los naranja, el Na en los blanco morado a blanco gris y el K en los de color gris.

El Fe muestra una relación muy marcada con respecto al Cr, V, Sc y Al. Todos tienen valencia +3, pero sus radios iónicos no son iguales, ya que el del V es 0,74, el del Cr es 0,63, el del Fe 0,64, el del Sc es 0,81 y el del Al es 0,51.



Figura 40. Ópalo verde en tallas cabujón y fantasía y cuarzo criptocristalino blanco-naranja

En la zona de estudio, hay una gran variedad de colores en los ópalos, pero los mejores para ser tallados son los verdes, los crema, y los blancos con y sin inclusiones, recomendando las tallas tipo cabujón y fantasía o en forma de cuentas, esculturas, artículos ornamentales, religiosos y de utilidad práctica, así como juegos, ya que la maquinaria y equipo necesario son pocos y con precios accesibles.

Las acumulaciones de estos materiales son de relativo fácil acceso, de poca extensión y pueden ser extraídos manualmente, lo que implica una extracción de tipo artesanal sin el uso de maquinarias costosas.

A estos depósitos están asociados otros minerales como son la magnesita, el crisotilo y la antigorita, que también pueden ser aprovechados para su uso comercial, al igual que la serpentinita, roca caja por excelencia que de encontrarse en formas masivas y compactas podría ser empleada para los mismos fines que los ópalos.

7. AGRADECIMIENTOS.

Al Prof. Franco Urbani, por ser mi guía incondicional y mi maestro; al Prof. Sebastián Grande y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV por financiar parte de mi tesis; asimismo a Carlos Joa, por ser mi oasis en los momentos críticos de mi tesis y apoyarme siempre; a Luis Melo, por compartir conmigo los duros días de campo y convertirlos en agradables; igualmente a Dimas Soto, por facilitarme el camino a sus tierras y darme su cariño y confianza, de igual manera a la Econ. Zonia Osorio de Fernández, a la Geol. Rosario Bajo de Osuna y muy especialmente al Ing. Simón Baloa, por dar su aprobación en la realización de mis mapas y análisis de mis muestras por DRX, en INGEOMIN; Bertha Chachati, por clarificar muchas de mis dudas en el análisis de las secciones finas y tener toda la paciencia de una buena amiga; a Oswaldo Cisneros y Rafael Silva, por correr y analizar mis muestras por DRX y darme su respaldo como profesionales y como amigos tantas veces; a María Graterol, Arnaldo Leguizamón y José Luces por dibujar mis mapas con tanto cuidado y precisión; los Prof. Raúl Sifontes y Carlos Yáñez de la Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra de la UCV, por facilitar la elaboración de mis secciones finas; a Arturo Antequera, por asesorarme en cuanto a maquinarias y equipos de talla; al Sr. Bruno De Toni e hijo, por ser tan gentiles y tallar mis muestras con tanto cariño, belleza y dedicación; a mi amiga Zaida Vegas y familia, por abrirme una vez más las puertas de su hogar; a Luis Camposano y Iván Baritto, por estar siempre a mi lado y brindarme su ayuda especializada referente a DRX; a Morella Micatti y Eduardo Castillo de la Biblioteca de Geología de la UCV, por facilitarme todo el material solicitado; igualmente a todos mis buenos amigos que me alentaron a

seguir, y a mi gran deseo de finalizar esta tesis pese a tantos contratiempos surgidos y gracias a Dios superados.

8. GLOSARIO

Amorfo Material que carece de cristalinidad.

Box-work Literalmente, enrejado en caja, producto del entrelazamiento de pequeñas venas minerales que atraviesan a una masa rocosa.

Cabujón sencillo Tipo de talla no facetada con una cara convexa y la otra plana.

Clathratelike Agrupaciones esféricas de sílice hidratado en arreglos tanto homogéneos como heterogéneos presentes en la mayoría de los ópalos A_g.

Criptocristalino Agregado cristalino con 100 % de cristalinidad con dimensiones tan pequeñas que no tienen resolución en el microscopio petrográfico estándar.

Cristalino Material altamente ordenado.

Dop Barra de madera dura que funge como portagema al sujetar la piedra por su extremo en el proceso de frotamiento y pulimento.

Fanerocristalino Cristales grandes bien formados. Por ejemplo, el cuarzo cristal de roca, amatista, etc.

Fantasía Cualquier combinación de tallas en la corona y en la culata de una misma gema.

Formas bidispersas Enrejado bien organizado con esferas mixtas de dos tamaños diferentes, varios planos y empaquetamiento cúbico de cara centrada, en ópalos brasileños que exhiben iridiscencia.

Glauberita Tipo de ópalo en forma de piña producto de pseudomorfismo.

Juego de colores Efecto óptico que produce diferentes colores en ópalos nobles exclusivamente y que es producto de la interferencia de la luz reflejada del mineral a medida que va cambiando el ángulo de luz incidente, como si fuese una especie de iridiscencia superficial.

Lechatelieritas Vidrios naturales de sílice no hidratado.

Lepisferas Esferas delgadas conformadas por capas sucesivas de cristobalita y tridimita de igual tamaño, característica de los ópalos.

Lusatita o lusatina Variedades microcristalinas y criptocristalina de cristobalita, con diferentes texturas dependiendo de su hábito morfológico y características ópticas de sus cristales dispuestos en los agregados. Antiguamente empleado indistintamente para cristobalita y en ópalos ópticamente anómalos.

Microcristalino Agregados minerales con 100 % de cristalinidad con resolución en el microscopio.

No cristalino Material que puede contener una pequeña sección ordenada pero que carece de un rango largo arreglado tridimensionalmente y que produce patrones de rayos X compuesto de un ancho máximo, pudiendo ser mixtos, con picos máximos.

Opalescencia (efecto Tyndall) Efecto óptico de aspecto lechoso o turbidez que se presenta en ciertos ópalos comunes debido a la dispersión de la luz por las pequeñas partículas de la gema.

Ópalo A Ópalo cercanamente amorfo y altamente desordenado en donde se ubican la mayoría de los ópalos preciosos y los ópalos comunes asociados. Estos ópalos se subdividen a su vez, en ópalos A_g y ópalos A_n .

Ópalo A_g Tipo de ópalo A con enlace de sílice en forma de gel (finito).

Ópalo A_n Tipo de ópalo A con enlace de sílice como red (infinito).

Ópalo C-T Ópalo con arreglo parcialmente ordenado de capas de sílice tipo cristobalita y tridimita intercaladas, donde se incluyen raramente a ópalos preciosos pero sí a la mayoría de los ópalos comunes, tanto de ambiente sedimentario como volcánico.

Ópalo C Ópalo con un arreglo bien ordenado parecido al de la cristobalita pero sin llegar a ser considerado como cristalino, producto de ambiente volcánico.

Ópalo precioso o noble Ópalo con empaquetamiento bien ordenado de esferas de sílice con el mismo diámetro que refractan la luz y producen juego de colores.

Ópalo tipo 1 Ópalo amorfo frente a los rayos X, con amplio pico de difracción cercano a los 0,4 nm. (4 Å) en donde se incluyen a la mayoría de los ópalos preciosos y a los comunes asociados. Equivalente a ópalo tipo A.

Ópalo tipo 2 Ópalo con patrón de difracción típicos de la cristobalita y tridimita que coexisten en un arreglo bastante desordenado. Equivalente a ópalo C-T.

Ópalo tipo 3 Ópalo con estructura bien definida de α cristobalita de origen volcánico, pudiendo representar desvitrificación por calor de los ópalos tipo 1 y 2. Equivalente a ópalo C.

Paracristalino Material con un pequeño rango de ordenamiento parcial en una matriz desordenada, con enlace continuado análogo al empleado en polímeros orgánicos e inorgánicos.

Potch Ópalo común que puede estar íntimamente asociado o no al ópalo precioso, que consiste en esferas desordenadas de sílice de diferentes diámetros y que adolece de un orden real así como de juego de colores.

Sinhidrita Forma cristalina de sílice hidratado producto de una reacción de hidratación con la envoltura de nódulos de calcedonia.

Sinanol Agua interna y externa en forma de grupos Si-OH en los ópalos.

Talla cabujón sencillo o plano Tipo de talla con una cara convexa y otra plana.

Talla cabujón sencillo gota de cera
Igual que el cabujón sencillo pero más aplanado.

Talla fantasía Cualquier combinación de tallas en la corona y en la culata.

Visión lejana Técnica especial utilizada para determinar el índice de refracción en piedras talla cabujón.

Xilópalo Sílice con la composición química del cuarzo que ha reemplazado a madera, conservando la estructura interna de ella.

9. LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Localización de la zona de estudio	53
Fig. 2 Patrón de difracción experimental obtenido de los ópalos A_g , CT y C	60
Fig. 3 Patrón de difracción experimental en el ópalo A_g y A_n comparado con el patrón obtenido a partir de vidrio de sílice.	60
Fig. 4 Cinturones tectónicos en el Sistema Montañoso del Caribe	65
Fig. 5 Vista hacia la mina de amianto con orientación S20W	75
Fig. 6 Zona de ópalo verde	76
Fig. 7 Zona de ópalo crema	77
Fig. 8 Zona de ópalo blanco en vetas paralelas entre sí formando rombos	78

Fig. 9	Otra sección de ópalo blanco	78		a la muestra CO-13B: dolomita y esméctica	112
Fig. 10	Ópalo blanco en capas serpenteantes con orientación S50E	79	Fig. 35e	Difractograma correspondiente a la muestra CO15: magnesita y ópalo-tridimita	113
Fig. 11	Ópalo blanco mezclado con posible antigorita azul	79			
Fig. 12	Vista hacia la mina Damica con orientación N35E desde el punto 16	80	Fig. 35f	Difractograma correspondiente a la muestra CO-23: tridimita, esméctica y cuarzo	113
Fig. 13	Ópalo verde	80			
Fig. 14	Ópalo blanco-translúcido	81	Fig. 36a	Fotomicrografía de textura coloforme y radial en ópalo-tridimita	116
Fig. 15	Jaspe	81			
Fig. 16	Ópalo blanco-translúcido	81	Fig. 36b	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-3 con jaspe	117
Fig. 17	Ópalo blanco-translúcido	81			
Fig. 18	Ópalo blanco-gris	81	Fig. 36c	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-6ª con ópalo-tridimita	118
Fig. 19	Ópalo marrón	82			
Fig. 20	Ópalo blanco-crema	82	Fig. 36d	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-11 con magnesita y dolomita	118
Fig. 21	Ópalo blanco-morado	82			
Fig. 22	Ópalo blanco-opaco	82	Fig. 36e	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-13A con ópalo- tridimita	119
Fig. 23	Ópalo blanco-opaco	82			
Fig. 24	Ópalo blanco-naranja	83	Fig. 36f	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-13C con roca caja serpentinita	120
Fig. 25	Ópalo blanco-naranja	83			
Fig. 26	Ópalo blanco-translúcido	83	Fig. 36g	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-14A con cuarzo criptocristalino blanco-naranja	121
Fig. 27	Ópalo blanco-opaco	83			
Fig. 28	Ópalo gris	84	Fig. 36h	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-14B con ópalo-tridimita y cuarzo	122
Fig. 29	Ópalo gris	84			
Fig. 30	Ópalo crema	84	Fig. 36i	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-22C con roca caja serpentinita con posible calcedonia de color rojo	123
Fig. 31	Ópalo verde	84			
Fig. 32a	Ópalo blanco-translúcido	90	Fig. 36j	Fotomicrografía de sección fina de la muestra CO-23 con ópalo-tridimita, cuarzo y esmectita	123
Fig. 32b	Ópalo blanco-opaco	90			
Fig. 32c	Ópalo blanco-crema a blanco-naranja	90	Fig. 37	Ópalo y cuarzo criptocristalino tallados en cabujón sencillo, gota de cera y talla fantasía	126
Fig. 32d	Ópalo blanco-morado a blanco-gris	90			
Fig. 32e	Ópalo crema a marrón	91	Fig. 38	Cuarzo criptocristalino blanco-naranja, ópalo Verde y ópalo Blanco en talla cabujón sencillo	126
Fig. 32f	Ópalo gris	91			
Fig. 32g	Ópalo verde	91	Fig. 39	Cuarzo criptocristalino blanco-naranja, ópalo crema y ópalo verde tallados en cabujón sencillo	127
Fig. 32h	Jaspe marrón	91			
Fig. 32i	Roca caja	92	Fig. 40:	Ópalo verde en tallas cabujón,	
Fig. 33	Histograma de % de concentración de elementos en muestras de ópalo	99			
Fig. 34	Gráficos de dispersión	107			
Fig. 35a	Difractograma correspondiente a la muestra CO-1: ópalo-tridimita	111			
Fig. 35b	Difractograma correspondiente a la muestra CO-2: cuarzo criptocristalino	111			
Fig. 35c	Difractograma correspondiente a la muestra CO-3: jaspe	112			
Fig. 35d	Difractograma correspondiente				

fantasía y cuarzo criptocristalino
blanco-naranja 127

10. LISTA DE MAPAS.

Mapa 1	Mapa de ubicación de las zonas de toma de muestras en Tinaquillo, estado Cojedes.	Pag. 70
Mapa 2	Mapa geológico estructural de la zona de Tinaquillo, estado. Cojedes.	71
Mapa 3	Mapa geológico-topográfico de la zona 1: Hato Tamanaco, estado. CojedeS	72
Mapa 4	Mapa geológico-topográfico de la zona 2: Casupo noreste, estado. Cojedes.	73
Mapa 5	Mapa geológico-topográfico de la zona 3: Casupo noroeste, estado. Cojedes.	74
Mapa 6	Mapa geológico-topográfico de la zona 4: Tetas de Tinaquillo, estado. Cojedes.	77

11. LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Cinturón Tectónico Caucaagua -El Tinaco. Peridotita de Tinaquillo	66
Tabla 2	Unidades y tipos litológicos	67
Tabla 3	Análisis geoquímicos parciales en muestras de ópalo, jaspe y roca caja	87
Tabla 3A	Análisis geoquímicos parciales simplificados en muestras de ópalo, jaspe y roca caja	89
Tabla 4	Elementos en concentraciones mayores a 1.000 ppm. según su color	92
Tabla 5	Elementos traza en altas concentraciones en muestras de ópalo blanco y coloreado	103
Tabla 6	Intervalos y promedios de concentración de elementos en ópalos según su color	104
Tabla 7	Pares de elementos traza con alto coeficiente de correlación lineal mayor a 0,90	110
Tabla 8	Informe mineralógico de 22 muestras pulverizadas	114

Tabla 9	Clasificación del color de muestras de mano y pulverizadas	115
Tabla 10	Minerales identificados petrográficamente en muestras de ópalo y jaspe (se incluye la información aportada por DRX) 137	124
Tabla 11	Equivalencia entre los nombres de campo y los actuales	125

12. BIBLIOGRAFÍA

- AGUERREVERE, S.; ZULOAGA, G. y TELLO, M.** Informe geológico sobre la región amiantífera de Tinaquillo, estado Cojedes. Bol. Geol. Min. MF, 1936. Caracas, 1936 4(12): 5-36. 1937.
- BATEMAN, A.** Yacimientos minerales de rendimiento económico. Edit. Omega, Barcelona, 975 p. 1982.
- BECK, CH.** Las napas de Aragua-Cadena del Caribe Central y la historia mesozoica del margen sur del Caribe a lo largo del meridiano de Caracas. Geodynamique d e s Caribes. Symposium, Paris, 558 p. 1985.
- BELL, J. S.** Geología de la región de Camatagua, estado Aragua, Venezuela. Bol. Geol., MMH, Caracas, 9 (8) : 240-291. 1968.
- BELLIZZIA, G. A.** Rocas ultrabásicas en el sistema montañoso del Caribe y yacimientos de minerales asociados. Bol. Geol. , MMH, Caracas, 8 (16): 160-163. 1967.
- MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS.** Léxico Estratigráfico de Venezuela. Bol. Geol. Púb. Esp., 4. MMH, Caracas. 756 p, 1970.
- DARRAGH, P.; GASKIN, A. J. y SANDERS, J. V.** Opals. Scientific American, 234 (4): 84-95. 1996.
- FRAZIER, A.** Name that jasper. Lapidary Journal. 18 (9): 75-89. 1989.
- GAUTHIER, J. P.; CASEIRO, J. RANTSORDAS, S. Y BITTENCOURT, R.** A new close packed structure in precious opals from Brazil. CR. Academy Science o f Paris. Tomo 320. II a: 373-379. 1995.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C.; ITURRALDE DE AROCENA, J. y PICCARD, X.** Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ed. FONINVES, Caracas, 2 Tomo, 1031 p. 1980.

- GUBELIN, E.** Internal world of gemstones. Geological Survey. Washington DC, 233 p. 1972.
- HOLDEN, M.** The encyclopedia of gemstones and minerals. Friedman Group. New York. 303 p. 1991.
- HURLBUTH, C. y SWITZER, G.** Gemología. Edit. Omega. Barcelona. 234 p. 1980.
- HULBUTH, C y KLEIN, C.** Manual de mineralogía de Dana. Edit. Reverté. Madrid. 564 p. 1982.
- INSTITUTO GEMOLÓGICO ESPAÑOL.** Tratado de gemología. Tomos I y II. Madrid. 507 p. 1993.
- JONES, J. B. y SEGNIT, E. R.** The nature of opal: Nomenclature and constituent phases. Geological Society. 18 (1): 57-68. 1971.
- KÜPPERS, H.** Atlas de los colores. Edit. Blume. Barcelona. 861 p. 1979.
- LONECK, A.** Opals: river of illusions. Edit. Gemcraft. Sidney. 64 p. 1986.
- MACKENZIE, D. B.** La Peridotita de Tinaquillo. Cong. Geol. Venez.; 3 Caracas, 1959. Bol. Geol. Pub. Esp., 3. MMH, Caracas. 2: 761- 825, 1960.
- MCORIST, G. D.; SMALLWOOD, A. y FARDY, J. J.** Trace elements in Australian opals using neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 185 (2): 293-303. 1994.
- MCORIST, G. D. y SMALLWOOD, A.** Trace elements in coloured opals using neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 198 (2): 499-510. 1995.
-
- Trace elements in precious and common opals using neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 223 (1-2): 9-15. 1997.
- MATTSON, H. P.** Ultramafic and gabbroic rocks of Venezuela as possible ophiolites Tinaquillo Peridotite Complex. Cong. Geol. Venez., 6. Caracas, 1985. SVG, Caracas, 4: 2514-2539, 1985.
- MENÉNDEZ, A.** Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol. MMH, Caracas. 8 (15): 116-139. 1966.
- OSTOS, M.** Interpretación estructural de la Peridotita de Tinaquillo y su roca caja, estado Cojedes, Venezuela. UCV, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de Ascenso. Inédito, 129 p. 1985.
-
- Peridotita de Tinaquillo: Ofiolita Paleozoica en el sistema montañoso del Caribe. Cong. Geol. Venez., 6. Caracas, 1985. SVG, Caracas, 4: 2557-2602. 1985.
-
- Evolución tectónica del margen sur central del Caribe basado en datos geoquímicos. Geos, UCV, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 30: 1-294 p. 1990.
- PARK, C. y MACDIARMID, R.** Yacimientos minerales. Edic. Omega. Barcelona. 512 p. 1981.
- RAMOS, G.** Petrogénesis e historia estructural de la Peridotita de Tinaquillo y su roca caja, estado Cojedes. UCV, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Tesis de Grado. Inédito, 85 p. 1987.
- RODRÍGUEZ, J. A y VELAZCO, C.** Estudio geo-económico del Complejo Ultramáfico de Tinaquillo, estado Cojedes. Parte I: Área Casupo-Hato Tamanaco. MEM, División de la Región Centro-Occidental. Inédito. 67 p. 1987.
- RODRÍGUEZ, S.** Posible utilización económica a nivel regional: Concentración de ópalo y jaspe, área de Tinaquillo, estado Cojedes. MEM, Caracas. Venezuela. Inédito. 41 p. 1992.
- ROJAS, A.** Geología del cinturón tectónico Cauagua-El Tinaco al sur de la Peridotita de Tinaquillo, estado Cojedes. UCV, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Tesis de Grado. Inédito, 146 p. 1989.
- SMITH, D. K. y TROWER, P.** Opal: A study of beauty. Earth and Mineral Sciences. 47 (6): 45-48. 1978.
- SMIRNOV, V.** Geología de yacimientos. Edit Mir Moscú. Moscú. 654 p. 1982.
- SMITH, D. K.** Opal, cristobalite and tridimite: Noncrystallinity versus crystallinity, nomenclature of silica minerals and bibliography. Power Difracción. 13 (1): 1-19. 1997.
- SCHUMANN, W.** Guía de las piedras preciosas y ornamentos. Edic. Omega. Barcelona. 255 p. 1983.
- URBANI, F.** Un resumen de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de La Costa. Geos.

- UCV, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 33: 1-170. 2000.
- TORCAL, L.** Los minerales. Edic. Nueva Lente. 20: 313-328. 1983.
- VARELA, C.** El ópalo de Tinaquillo: Características y perspectivas económicas. UCV, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de Ascenso. Inédito. 59 p. 1995.
- VINDEL, A.** Espectroscopía de emisión por plasma ICP. Ces Analítica, S.A. 1985.
- WEBSTER, R.** Piedras preciosas: Sus fuentes, descripciones e identificaciones. Edit. Omega. Barcelona. 1008 p. 1987.
- ZEITNER, J. C.** Jasper: Gem of confusion. Lapidary Journal. 18(9): 978-998. 1964.