



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FI DE CARRERA

Títol

Aplicación de dos técnicas de separación de Minerales del Grupo del Platino (EPD+HS y Superpanning) en muestras de cromititas y de placeres

Autor/a

Eduardo M. Medina Varet

Tutor/a

Joaquin A. Proenza Fernández

Departament

Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals

Intensificació

Dipòsits Minerals

Data

2 de Juliol de 2010

RESUMEN

El superpanning (SP) y la hidroseparación (HS) son dos técnicas de separación de minerales del grupo del platino (MGP) que permiten concentrar estos minerales sin contaminar la muestra. La HS se suele usar en combinación con la Desintegración por Impulsos Eléctricos (EPD), ya que ésta permite una trituración de la muestra sin sufrir daños en su estructura.

En este trabajo se pretende comparar la eficacia de ambos métodos para la concentración de MGP en muestras de placeres fluviales de Loma Cabrera y de cromititas en lateritas níquelíferas de Loma Peguera, ambas de la República Dominicana. Estudios previos (Zaccarini et al 2009) indican que en las cromititas existen una gran variedad de Elementos del Grupo del Platino (EGP) por lo que en un futuro estos depósitos podrían ser explotables.

Para las muestras de sedimentos fluviales se ha analizado, mediante microsonda electrónica, la composición de los granos de cromita, en primer lugar, para identificar el área fuente de los MGP y, en segundo lugar, para determinar en qué campo composicional se halla la cromita.

ABSTRACT

Superpanning (SP) and hydroseparation (HS) are two techniques to separate Platinum Group Minerals (PGM) that can concentrate these minerals without contaminating the sample. HS is often used in combination with Electric Pulse Desintegration (EPD), as it allows grinding the sample without damage to its structure.

This paper aims to compare the effectiveness of both methods for concentration of PGM in samples of river placers at Loma Cabrera and chromitites in nickeliferous laterites at Loma Peguera, both from the Dominican Republic. Previous studies (Zaccarini et al 2009) indicates that in the chromitites are a big variety of platinum group elements (PGE), so that in future these deposits could be mine.

For samples of river sediments has been analyzed, by electron microprobe, the composition of chromite grains. Firstly, to identify the source area of the PGM and, secondly, to determine which compositional field is chromite.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, querría agradecer la paciencia, confianza, comprensión y ayuda que me ha aportado mi tutor de TFC, el Dr. Joaquín A. Proenza, sin su apoyo no podría haber llegado a redactar esta tesina y ni mucho menos entregarla. Gracias también por los conocimientos que me has dado y la experiencia que he adquirido y también gracias por atenderme cuando en ese momento era imposible para ti.

En segundo lugar, no podía olvidarme de mi queridísima Ana Belén, sin su apoyo, sin su amor, sin su entereza no podría haber llegado donde estoy ahora. Gracias por animarme cuando estaba más deprimido, gracias por ayudarme cuando lo necesitaba, sólo puedo decirte gracias.

En tercer lugar, quiero agradecerles a mis padres lo que soy, sin su ayuda y apoyo no podría haber estudiado esta carrera y sin ellos no podría disfrutar de esta vida. Igualmente el mismo agradecimiento a mi hermano que aunque no exterioriza su cariño yo sé muy bien lo que me quiere.

En cuarto lugar, a todos los compañeros y amigos de la carrera, sin ellos esto hubiera sido muy aburrido, cada uno de vosotros tiene una cosa especial y que me llevaré para siempre en mi corazón. Esas salidas de campo de cartografía y depósitos, esas fiestas nocturnas, ese viaje de obras...

No quiero despedirme sin agradecer a toda la gente que me ayudado técnicamente al desarrollo del TFC, en concreto me quiero referir a Federica Zaccarini, a Giorgio Garuti y a John Lewis entre otros por la aportación de todos los datos que he necesitado.

Gracias, gracias y gracias.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	Pág. 8
1.1. INTRODUCCIÓN.....	Pág. 8
1.2. OBJETIVOS.....	Pág. 9
2. INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE MINERALES	Pág. 10
2.1. EL PROCESADO MINERAL.....	Pág. 10
2.2. MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR TAMAÑO	Pág. 11
2.3. MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR CONCENTRACIÓN	Pág. 13
2.3.1. SEPARACIÓN POR GRAVEDAD O DENSIDAD	Pág. 13
2.3.1.1. Concentración por impulso o pulsación.....	Pág. 14
2.3.1.2. Concentración por superficie de sacudimiento.....	Pág. 14
2.3.1.3. Separación en medio denso o por líquidos pesados	Pág. 15
2.3.1.4. Separación centrífuga.....	Pág. 16
2.3.1.5. Hidroseparación.....	Pág. 17
2.3.1.6. Superpanning.....	Pág. 18
2.3.2. SEPARACIÓN MAGNÉTICA.....	Pág. 19
2.3.3. SEPARACIÓN ELÉCTRICA.....	Pág. 21
2.3.4. FLOTACIÓN.....	Pág. 22
3. SEPARACIÓN DE MGP MEDIANTE EPD+HS	Pág.23
3.1. DESINTEGRACIÓN POR IMPULSO ELÉCTRICO (EPD)	Pág. 23
3.1.1. INTRODUCCIÓN.....	Pág. 23
3.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA.....	Pág. 24
3.2. EL HIDROSEPARADOR (HS-11).....	Pág. 27
3.2.1. INTRODUCCIÓN.....	Pág. 27
3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA.....	Pág. 28
3.2.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	Pág. 30
3.2.4. FUNCIONAMIENTO DEL HS-11	Pág. 31

4. MUESTRAS ESTUDIADAS Y TÉCNICA ANALÍTICAS..... Pág. 35

4.1. MUESTRAS ESTUDIADAS Pág. 35

4.1.1. Concentrados pesados en placeres fluviales Pág. 35

4.1.2. Muestras de cromititas en lateritas níquelíferas Pág. 35

4.2. TÉCNICAS ANALÍTICAS..... Pág. 36

4.2.1. Procesado mediante superpanning Pág. 36

4.2.2. Preparación de probetas pulidas con los concentrados pesados obtenidos.....
..... Pág. 36

4.2.3. Análisis de los concentrados..... Pág. 37

4.2.3.1. Microscopía de luz reflejada..... Pág. 37

4.2.3.2. Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM-EDS)...
..... Pág. 38

4.2.3.3. Microsonda electrónica (EMPA) Pág. 39

5. EJEMPLO I: MGP EN PLACERES FLUVIALES DEL NW DE REPÚBLICA DOMINICANA..... Pág. 40

5.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO GEOLÓGICO..... Pág. 40

5.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE MGP Y CROMITAS Pág. 42

5.2.1. CONCENTRADOS PESADOS EN PLACERES FLUVIALES..... Pág. 42

5.2.2. CONCENTRADOS PESADOS EN ROCAS ULTRAMÁFICAS Pág. 49

5.3. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS: ÁREA FUENTE DE LOS MGP...
..... Pág. 56

**6. EJEMPLO II: MGP EN CROMITITAS EN LATERITAS NIQUELÍFERAS
..... Pág. 59**

6.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO GEOLÓGICO..... Pág. 59

6.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS MGP Y DE LA CROMITA Pág. 61

6.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL SUPERPANNER CON LOS DEL
HIDROSEPARADOR..... Pág. 65

7. CONCLUSIONES	Pág. 68
8. BIBLIOGRAFÍA	Pág. 70
9. ANEXO	Pág. 74
9.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA, MEDIANTE MICROSONDA ELECTRÓNICA, DE LA CROMITA EN LOS CONCENTRADOS DE LOS PLACERES FLUVIALES	Pág. 74
9.1.1. MUESTRA CHP1.....	Pág. 74
9.1.2. MUESTRA CHP3.....	Pág. 75
9.1.3. MUESTRA CHP4.....	Pág. 76
9.1.4. MUESTRA CHP5.....	Pág. 77
9.1.5. MUESTRA CHP6.....	Pág. 78
9.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA, MEDIANTE MICROSONDA ELECTRÓNICA, DE LA CROMITA EN LOS CUERPOS DE ROCAS ULTRAMÁFICAS.....	Pág. 79
9.2.1. MUESTRA CH2	Pág. 79
9.2.2. MUESTRA CH12B.....	Pág. 81
9.2.3. MUESTRA CH15.....	Pág. 82
9.2.4. MUESTRA CH16.....	Pág. 83

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el mercado de los Elementos del Grupo del Platino (EGP) depende esencialmente de la producción de los yacimientos magmáticos de la República Sudafricana y Rusia, confiriéndole un importante papel geoestratégico a los EGP. Resulta necesario, por tanto, encontrar nuevos modelos de yacimientos. En este sentido, estudios previos indican que el proceso de laterización puede jugar un papel importante en la neoformación de Minerales del Grupo del Platino (MGP), y que las lateritas pueden ser un objetivo atractivo para la exploración de EGP (Traoré et al 2008). Otro objetivo de exploración lo constituyen las concentraciones mecánicas en placeres derivados de los denominados complejos Alaska – Ural (Garuti et al 2002).

Existen dos metodologías principales para separar los minerales del grupo del platino:

1. Combinación de las técnicas de **Desintegración por Impulso Eléctrico (EPD)** e **Hidroseparatoración (HS)**. Esta metodología es muy eficiente para separar trazas de MGP de las fracciones finas de la muestra que es analizada.
2. **Superpanner** (*wet gravity separator*).

Resultados previos demuestran la eficacia de la metodología EPD+HS para separar MGP. La técnica de EPD permite la liberación de los minerales accesorios de muchos tipos de rocas en sus condiciones originales sin producirles modificaciones (Rudashevsky et al 1995). Las muestras previamente tratadas con EPD son pasadas por el hidroseparador para obtener los concentrados de minerales pesados. El proceso mediante HS es una técnica novedosa y muy eficaz para producir concentrados de minerales pesados a partir de partículas que siguen la Ley de Stokes cuando sedimentan en una corriente de agua controlada. La aplicación del superpanning para separar MGP también ha dado muy buenos resultados, un ejemplo de ello son los concentrados de cromititas del complejo ofiolítico de Pindos, al NW de Grecia (Kapsiotis et al 2010).

1.2. OBJETIVOS

En el presente trabajo se pretende comparar la eficacia de las dos técnicas para separar los MGP, a partir del estudio de muestras de cromititas en lateritas y de concentrados pesados en placeres fluviales de la República Dominicana. A partir de las diferentes fracciones obtenidas (40 a 125 μm) se preparan probetas pulidas, las cuales son estudiadas mediante microscopía óptica de luz reflejada, por SEM-EDS¹ y EMPA².

En el caso de las muestras de los concentrados pesados, también se pretende identificar la fuente primaria de los MGP. Para ello, se estudia la composición de la cromita (un excelente indicador petrogenético) en los concentrados pesados y en las rocas ultramáficas aflorantes en la región de estudio. Pretendemos también analizar a qué tipo de depósitos minerales corresponden los cuerpos de rocas ultramáficas.

¹ Siglas en inglés de Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías

² Siglas en inglés de Microsonda electrónica

2. INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE MINERALES

2.1. EL PROCESADO MINERAL

El procesamiento de minerales tiene como objetivo la separación de las partículas minerales en términos de variación de tamaño o composición. Esta separación se lleva a cabo a través de un equipo apropiado, llamado separador. En el separador se aplica una fuerza adecuada a las partículas que según las diferentes propiedades de las partículas, dependiendo de su composición o tamaño, son afectadas en distintos niveles por la fuerza aplicada. Las partículas arrastradas por la fuerza tienen una respuesta positiva, en caso contrario, las no afectadas por la fuerza tienen una respuesta negativa (Fig. 2.1).

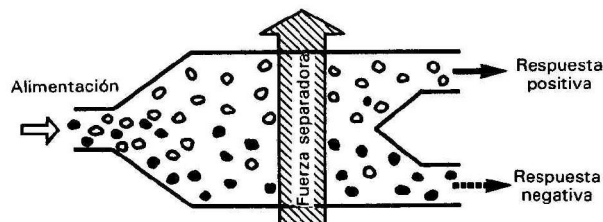


Fig. 2.1: Principio básico de un separador (Kelly, 1990)

En el caso de que esta separación sea definitiva, las partículas que tengan respuesta positiva serán el mineral mena, en caso contrario, serán el mineral ganga (Fig. 2.2).

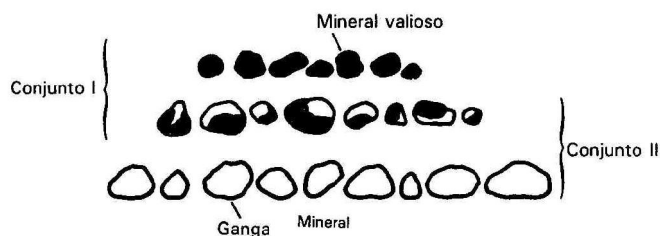


Fig. 2.2: Representación de las partículas como conjuntos (Kelly, 1990)

La separación depende de tres factores:

- Propiedades de los minerales
- Características del separador
- Necesidades en cuanto a ley y recuperación

Las propiedades más usadas en la separación de minerales son:

- Tamaño y Forma
- Densidad
- Susceptibilidad magnética
- Conductividad eléctrica
- Propiedades superficiales de los minerales (flotabilidad)

Trabajando estas propiedades se construyeron los distintos separadores que se utilizan en la actualidad y que serán explicados posteriormente. Hay que tener en cuenta que la utilización de un separador puede no ser definitiva, por lo que puede ser necesario usar varios separadores o la combinación de varios de ellos.

2.2. MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR TAMAÑO

Previamente a cualquier proceso mineral para la separación de la mena es muy importante reducir el tamaño del material, esto se lleva a cabo mediante la **trituration** o la **molienda**, normalmente se utiliza una trituradora mecánica (Fig. 2.3a), pero últimamente se está utilizando la **Desintegración por Impulsos Eléctricos** (EPD) que permite una fragmentación del mineral sin sufrir ningún daño en su estructura. Más adelante esta técnica será explicada con más detalle (pág. 23).

Posteriormente a esta reducción, se deberá hacer un **cribado**, **tamizado** (Fig. 2.3b) y **clasificado** de las partículas, esto nos proporcionará una separación mecánica y una clasificación de los granos minerales basados en la propiedad del tamaño.

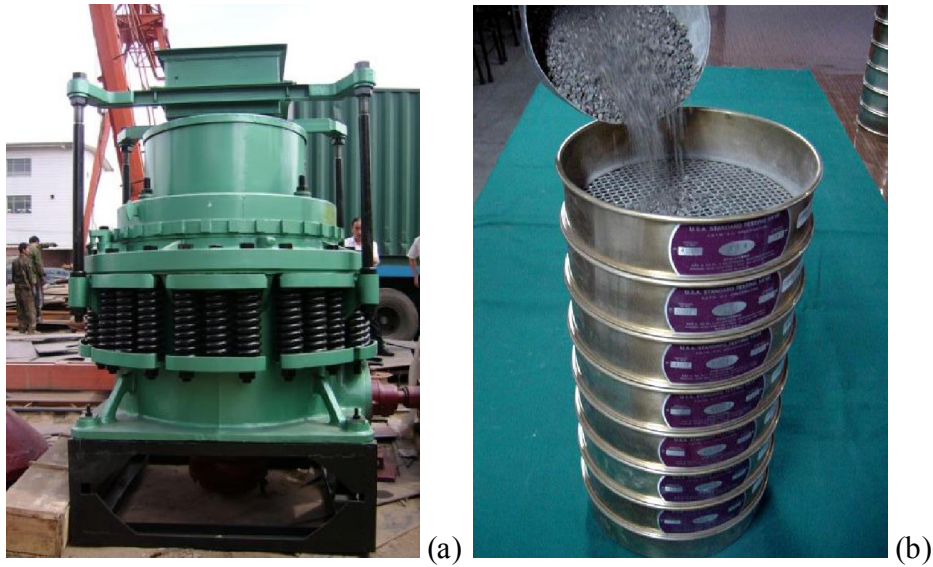


Fig. 2.3: a) Trituradora mecánica minera b) Tamizado

Este proceso es importante porque debemos tener un control del tamaño de las partículas, ya que, cada separador necesita un rango de tamaños para efectuar la separación y así poder extraer el mineral que nos interese.

2.3. MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR CONCENTRACIÓN

Más adelante, al tener el material clasificado por tamaños, continuaremos con la separación por concentración, es decir, obtener las menas en una forma más concentrada con base a las propiedades explicadas anteriormente (pág. 11).

2.3.1. SEPARACIÓN POR GRAVEDAD O DENSIDAD

En este apartado se describen los métodos principales de concentración que aprovechan las diferencias de densidad ($\rho_s - \rho_f$) para llevar a cabo la separación. Esta separación se realiza en un fluido (normalmente el agua) y está regulada por la Ley de Stokes (pág. 28), por lo que, está influida por una diferencia de densidad, un término de tamaño de partícula, la gravedad terrestre y la viscosidad del fluido.

Es una característica de todos los separadores por gravedad que las partículas minerales estén mínimamente apartadas, para que puedan moverse con facilidad y así poder clasificarse entre minerales ligeros y densos. Esto es posible gracias a la acción del fluido que permite el movimiento entre los granos y posterior clasificación.

La separación por gravedad es una de las técnicas más eficientes y de menor coste para obtener concentrados de minerales densos y únicamente debe ser utilizada cuando haya una diferencia considerable de densidad entre el mineral valioso y la ganga.

Las técnicas utilizadas para llevar a cabo esta separación y sus distintas aplicaciones se explican a continuación:

2.3.1.1. Concentración por impulsos o pulsación

Se trata de tomar un tamiz con un 1 cm de mineral heterogéneo molido dentro de él, después se sumerge en una cubeta con agua y se hace oscilar hacia arriba y hacia abajo en el agua. Esto dará como resultado que las partículas más densas y de mayor tamaño formen las capas inferiores y las partículas más finas y ligeras tomen su lugar en la parte superior (Fig. 2.4a). Normalmente esta técnica se utiliza para concentrar material relativamente grueso (0,5 a 200mm) y que la diferencia entre densidades relativas de los minerales sea amplia.

2.3.1.2. Concentración por superficie de sacudimiento

Consiste en incorporar una capa fluente de agua con partículas de mineral en una superficie plana ligeramente inclinada (en ambos planos) con tiras separadoras para clasificar los granos por densidad, después se aplica un vaivén alrededor de la superficie que provocará que las partículas más densas se depositen en la esquina más inclinada (Fig. 2.4b). Esta técnica procesa materiales más finos que las impulsoras ($<50\mu\text{m}$) y suele aplicarse a la concentración de casiterita, scheelita y otros minerales similares. Los dispositivos que se usan para esta técnica son las mesas o plataformas de sacudidas.

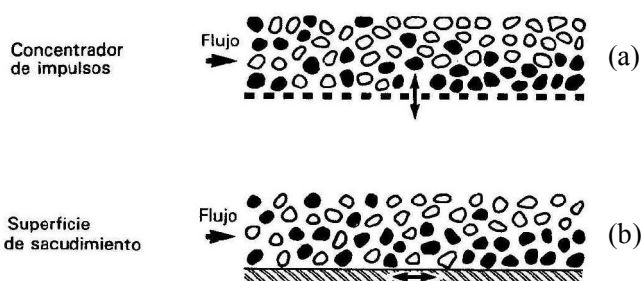


Fig. 2.4: a) Concentración por impulsos y b) concentración por superficie de sacudimiento (Kelly, 1990)

2.3.1.3. Separación en medio denso o por líquidos pesados

Se basa en sumergir una muestra material en un fluido con una densidad específica, los minerales que tengan una densidad mayor al fluido se depositarán en el fondo, en cambio, los minerales menos densos que el fluido flotarán en la superficie (Fig. 2.5). Se utiliza para desechar la ganga antes de la molienda para la liberación final y tiene una eficiencia mayor si el tamaño de grano es mayor ($>3\text{mm}$), en caso contrario, la velocidad de asentamiento sería muy baja y esta técnica no se podría aplicar.

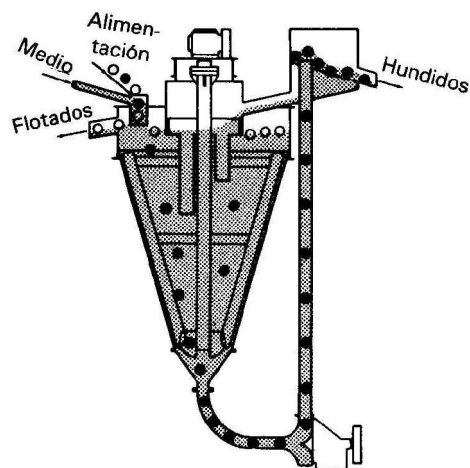


Fig. 2.5: Esquema de funcionamiento de un separador en medio denso (Wills, 1994)

2.3.1.4. Separación centrífuga

Se trata de usar la fuerza centrífuga para aumentar el efecto gravitacional con el propósito de conseguir una mayor recuperación de las partículas finas. Esto se consigue al hacer girar un cono perforado a alta velocidad e inyectando agua a presión por la parte inferior de dicho cono, esto provoca que las partículas más pesadas sean impulsadas hacia las paredes y queden incrustadas para después recuperarlas. Se utiliza para recuperar minerales de alta densidad específica, como el oro, la plata o el platino, en depósitos aluviales, placeres y otros depósitos secundarios. A nivel de laboratorio los más usados son el concentrador Knelson (Fig. 2.6) y el concentrador Falcon.



Fig. 2.6: Concentrador centrífugo Knelson (<http://www.rmgold.com>)

2.3.1.5. Hidroseparatoración

Esta técnica se basa en la separación de partículas por densidad en un flujo de agua cuidadosamente controlado. El dispositivo consta de dos partes principales, un **regulador de flujo de agua** y un **tubo separador de cristal** (Fig. 2.7). La fracción más ligera se recoge en un recipiente expulsado desde el tubo por la presión del agua y la fracción más pesada se deposita en la parte inferior del tubo que tiene forma de codo. Esta técnica suele aplicarse al estudio de minerales accesorios en rocas, minerales y productos industriales, suele combinarse con la técnica de Desintegración por Impulsos Eléctricos (EPD). Posteriormente se dará una explicación más detallada (pág. 27).



Fig. 2.7: Disposición típica de un hidroseparator (CNT-MC Corp.)

2.3.1.6. Superpanning

Es una técnica de separación por gravedad que simula el efecto de la batea en el laboratorio, tiene muchas similitudes con la concentración por sacudidas, pero esta técnica requiere que las muestras utilizadas sean de tamaño inferior. Consiste en una cubierta o plataforma triangular, de sección transversal en forma de V, que va disminuyendo gradualmente (Fig. 2.8 y 2.9). Los minerales más pesados se depositan en el fondo de la superficie de la cubierta, en cambio, los más ligeros migran a la parte superior cubriendo los más densos (Fig. 2.8). Más adelante, se introduce un flujo de agua constante de lavado que provocará un cambio de funcionamiento de la cubierta a un movimiento recíproco. Este movimiento hace que los minerales más pesados migren hacia la parte más ancha de la cubierta mientras que el lavado transporta los minerales más ligeros hacia la parte más estrecha. Esta técnica se utiliza para concentrar minerales densos (oro y MGP), pero también se aplica para hacer un lavado de las partículas más ligeras y posteriormente utilizar otros separadores.

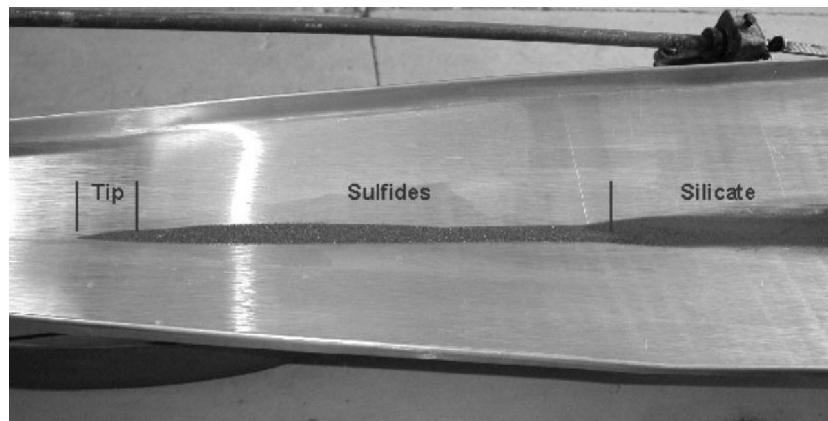


Fig. 2.8: Superpanner (Zhou et al 2006)

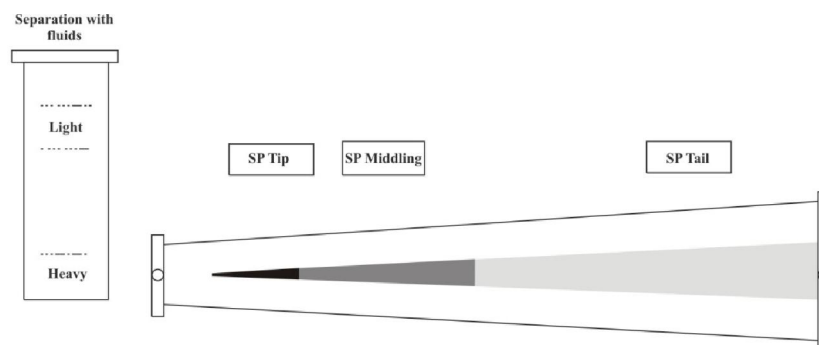


Fig. 2.9: Sección en planta y alzado del superpanner (Kapsiotis et al 2010)

2.3.2. SEPARACIÓN MAGNÉTICA

Es una técnica que aprovecha la diferencia de propiedades magnéticas entre los minerales mena y los minerales ganga. La propiedad magnética más utilizada es la **susceptibilidad magnética (χ)** que es el grado de magnetización de un material a la respuesta de un campo magnético.

Según esta propiedad los materiales se dividen entre paramagnéticos y diamagnéticos. Los primeros tienen atracción al campo magnético, pero este magnetismo desaparece al dejar de aplicarlo, además tienen χ positiva, en cambio, los diamagnéticos tienen repulsión al campo magnético y χ negativa.

Una variedad del paramagnetismo es el ferromagnetismo que tiene la particularidad que al dejar de aplicar el campo magnético éste queda retenido en el material de forma remanente, además tienen χ muy alta.

Como ejemplos de minerales paramagnéticos tenemos la ilmenita, hematites, wolframita ferrosa y cromita, como minerales diamagnéticos tenemos el grafito, diamante, yeso, oro, pirita y cuarzo y como minerales ferromagnéticos tenemos la magnetita y la pirrotina (Kelly, 1990)

La finalidad de esta técnica no es obtener concentrados de minerales con cierta susceptibilidad magnética, sino que el objetivo es separar de un conjunto de granos los minerales magnéticos de los no magnéticos, aunque en alguna ocasión nuestra mena podría ser un mineral magnético.

Existen dos tipos de separadores magnéticos:

1. **De baja intensidad:** se usan para minerales ferromagnéticos y se clasifican entre húmedos, que son los más comunes y limpios, y secos que se usan para granos gruesos pero con más pérdida de material.
2. **De alta intensidad:** se usan para minerales paramagnéticos, también se clasifican entre húmedos y secos. El separador más utilizado, ya que consigue fraccionar minerales de magnetismo débil, es el separador isodinámico de Frantz (Fig. 2.10).

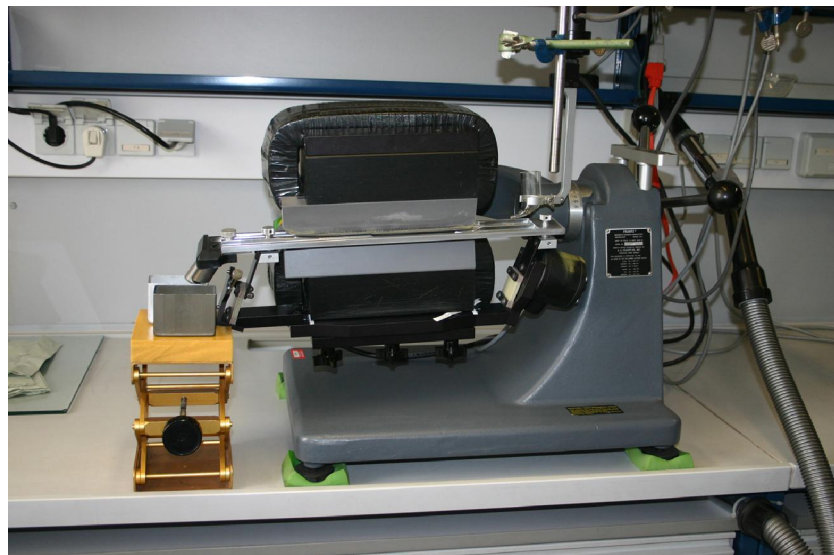


Fig. 2.10: Separador isodinámico de Frantz (<http://lithosphere.univie.ac.at>)

2.3.3. SEPARACIÓN ELÉCTRICA

Es una técnica que utiliza la propiedad de la conductividad para obtener concentrados minerales. Permite separar, en una muestra, menas minerales de alta conductividad de gangas de baja conductividad. El separador más empleado es el de alta tensión. Este separador está compuesto por un rotor puesto a tierra que llega hasta un electrodo ionizado. Las partículas conductoras entregan su carga al rotor donde son lanzadas por la fuerza centrífuga pasando a estar influenciadas por el campo electrostático, las partículas no conductoras son retenidas en la superficie del rotor hasta que vayan perdiendo su carga donde se van desprendiendo de éste según su conductividad (Fig. 2.11). Esta técnica es muy efectiva para la separación de oro y sulfuros metálicos de la ganga. (Wills, 1994)

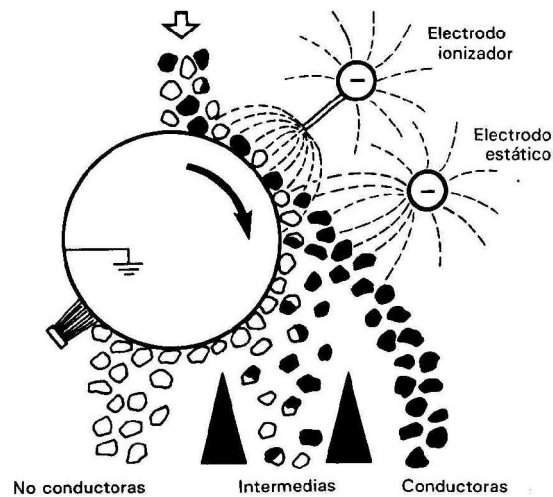


Fig. 2.11: Representación del funcionamiento de un separador de alta tensión (Kelly, 1990)

2.3.4. FLOTACIÓN

Esta técnica aprovecha las diferencias entre las propiedades fisico-químicas de la superficie de las partículas minerales para separar la mena de la ganga. Es usada para la separación de minerales sulfurosos, aunque también se extiende a la separación de minerales oxidados y no metálicos. (Kelly, 1990)

El objetivo del método es tratar con reactivos una pulpa mineral que harán que las diferencias entre las propiedades de los minerales se magnifiquen, y por lo tanto, a través de inclusión de aire, las partículas que sean hidrofóbicas, o que tengan repulsión al agua, se unirán a las burbujas de aire y tendrán tendencia a subir a la superficie. Este proceso se aplica solamente si el tamaño de los granos es muy fino, ya que la adhesión a las burbujas de aire sería imposible debido a su peso (Fig. 2.12).

Normalmente el concentrado superficial es el mineral mena, por lo que estaríamos hablando de flotación directa, en cambio, si este concentrado fuera la ganga hablaríamos de flotación inversa.

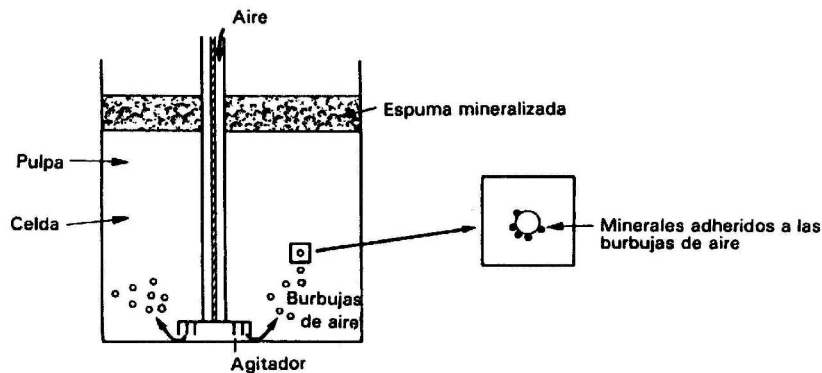


Fig. 2.12: Esquema de un proceso de flotación (Wills, 1994)

3. SEPARACIÓN DE MGP MEDIANTE EPD+HS

3.1. DESINTEGRACIÓN POR IMPULSO ELÉCTRICO (EPD)

3.1.1. INTRODUCCIÓN

La EPD es una técnica de fragmentación de minerales que libera sus granos de cualquier tipo de roca, con independencia de su litología o la distribución de tamaño de grano. La trituración mecánica normal de las muestras de roca se sustituye por el efecto de una explosión, que se produce mediante la aplicación de una corriente eléctrica de una fuente de alta tensión. La muestra se encuentra bajo el agua en una cámara de trituración especial (Fig. 3.1). La rápida distribución de impulsos eléctricos a través de la muestra da lugar a explosiones, que ocurren preferentemente a lo largo de las fronteras de grano (zonas de debilidad). A consecuencia, los granos minerales no dañados pueden ser liberados y recuperados en su forma y figura original sin importar el tamaño de grano (Rudashevsky et al 1995).

Esta técnica de rápida desintegración de minerales libera todas las partículas en sus distribuciones de tamaño natural y conserva su forma original. Una mayor concentración de las distintas fracciones del tamaño de grano, después de ese tratamiento, se puede lograr usando alguno de los métodos de separación por concentración explicados anteriormente. La EPD se puede utilizar para liberar fases individuales o agregados minerales y proporciona una oportunidad para un estudio detallado de su morfología, forma, estructura cristalina, sus características texturales y físicas y su composición química.

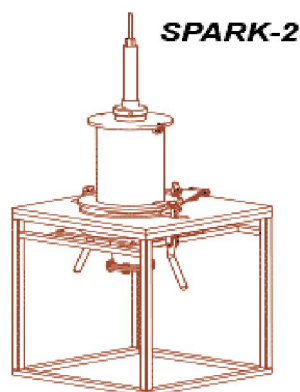


Fig. 3.1: Cámara SPARK-2, de la compañía CNT-MC, para producir la EPD

3.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Se trata de sustituir en la EPD la fuerza de compresión de la trituración mecánica normal por la tensión causada por el efecto desgarrador de una explosión. La tensión es creada por la aplicación directa de corriente eléctrica, para la muestra de roca, a partir de unos condensadores cargados en paralelo, pero descargados en serie.

En el circuito siguiente (Fig. 3.2) se muestran los componentes básicos de la EPD: se utiliza una fuente de alimentación de alta tensión como entrada a un circuito de Marx³, que consiste en una serie de condensadores impulsores. Estos condensadores (Fig. 3.3c), que se cargan en paralelo, permiten la acumulación de una tensión que es mucho más alta que el voltaje de entrada, este incremento depende del número de condensadores del circuito.

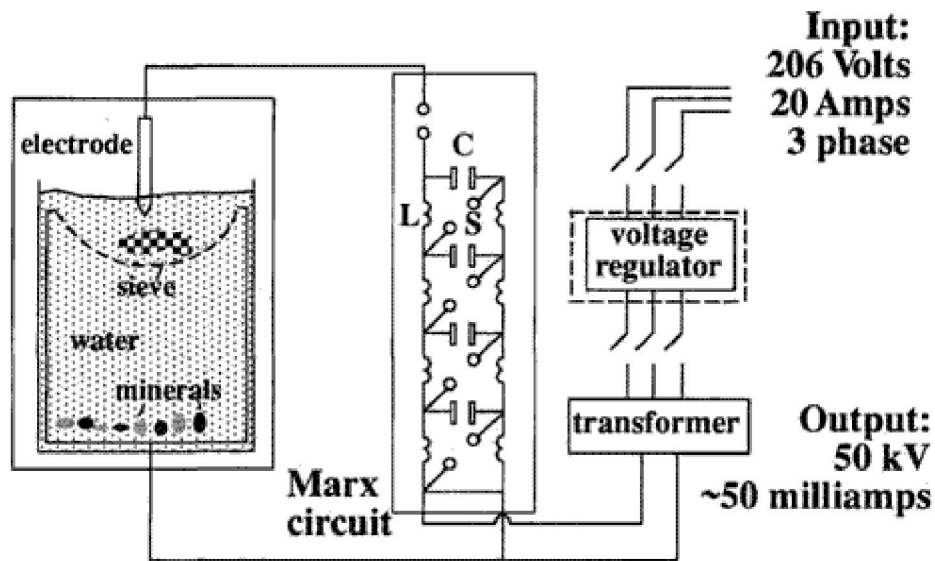


Fig. 3.2: Diagrama del circuito de la EPD que muestra los componentes básicos. C: Condensadores, cargados en paralelo y descargados en serie. Otros componentes eléctricos: L: bobina, S: hueco para producir las chispas. El tamaño del tamiz (en un baño de agua, a la izquierda) varía de acuerdo al tamaño del grano de la muestra (CNT-MC Corp., <http://www.cnt-mc.com>).

³ Es un tipo de circuito eléctrico que tiene como objetivo generar un impulso eléctrico de alto voltaje. Es ampliamente utilizado para simular los efectos de los rayos durante los ensayos de alto voltaje.

La descarga eléctrica se activa por medio de "chispas" que, en la práctica, constarán de dos bolas de acero separadas por un hueco. Cuando las chispas se desencadenan, la matriz de condensadores se descarga en serie. Las bobinas se encargan de regular el tiempo de descarga que es aproximadamente de 1 ms a 20 kV y 0,1 ms a 40 kV.

El baño de agua (cámara del EPD, Fig. 3.3a), en el que la muestra se sumerge, actúa como condensador por última vez en el sistema. A voltajes bajos (<50 kV) la descarga eléctrica pasa a través del primer baño de agua y los electrones viajan alrededor de la roca, en cambio, a voltajes altos (>50 kV) la roca se rompe eléctricamente.



Fig. 3.3: Componentes de una cámara SPARK-2 para la EPD (CNT-MC corp.)

La desintegración se logra cuando aumenta la corriente eléctrica en un canal de descarga que es ocupado por un plasma de alta densidad con la densidad del material. El plasma ejerce una presión física sobre la roca, lo que acaba con una explosión que se produce preferentemente a lo largo de zonas de debilidad de las rocas y a lo largo de las fronteras de grano de las fases minerales, sobre todo cuando los minerales tienen diferentes conductividades eléctricas. El producto final, recogido en el tamiz (Fig. 3.3b), consiste en granos minerales individuales, enteros, en su forma original, independientemente del tamaño de grano.

El uso de este método puede causar contaminación secundaria. Se puede encontrar, en la fracción más fina, restos de electrodos fundidos (es decir, restos de acero, cobre o aluminio), aunque son fácilmente identificables en el SEM o en las imágenes de la EMPA.

Las ventajas más importantes de la EPD son:

- Alta selectividad del proceso de molienda que produce una separación efectiva de los granos de minerales y cristales de la roca huésped.
- Permite retener la forma natural y el tamaño original de los granos minerales.
- La posibilidad de triturar rápidamente rocas de cualquier densidad y dureza mecánica.
- Es difícil la contaminación del producto final triturado, debido a que la cámara de trituración se limpia con facilidad para evitar este problema.
- Buen control de la granulometría del producto triturado.

3.2. EL HIDROSEPARADOR (HS-11)

3.2.1. INTRODUCCIÓN

El hidroseparador (HS-11), de la compañía CNT-MC, incorpora una nueva tecnología que puede ser de gran utilidad para el estudio de minerales accesorios en las rocas, minerales, productos industriales y materiales de potencial interés ambiental. El estudio de los minerales accesorios pesados en las rocas, minerales, productos industriales y materiales potencialmente contaminantes suele estar limitado por la escasez y el pequeño tamaño de grano del mineral objetivo. En consecuencia, la población de muestreo investigada con técnicas normales es muy limitada (Rudashevsky et al 2002).

Muchos estudios se basan en la investigación de solamente unos pocos granos minerales y es difícil evaluar la varianza estadística y, por lo tanto, la importancia de los resultados obtenidos. Cuando los procesos de concentración de minerales han sido aplicados, normalmente han sido limitados a las técnicas de separación en medio denso, que son ineficientes para la separación de pequeñas partículas y pequeñas concentraciones de partículas muy densas, tales como los Minerales del Grupo del Platino (MGP), o la flotación, que normalmente se limita a los accesorios de sulfuro asociados y, en consecuencia, podrían influir en la investigación. Las técnicas de separación en medio denso y de flotación tienen la desventaja añadida de lixiviación potencial y contaminación de la muestra mineral, que tiene importancia para estudios geoquímicos y de geoquímica de isótopos (en particular, el sistema isotópico Re – Os).

El HS-11 es muy eficiente en la separación de pequeñas cantidades de minerales densos desde fragmentos finos a muestras de polvo. Como tal, se puede aplicar con gran beneficio para el estudio de los minerales accesorios. En particular, da una base estadística más amplia para las conclusiones derivadas y proporciona una mayor probabilidad de descubrir especies minerales raras que de otro modo podrían pasar desapercibidas debido al limitado tamaño de las secciones pulidas normales. Al confiar en el agua como el agente separador, la lixiviación química de los granos minerales se minimiza y el riesgo de contaminación es limitada.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

El HS-11, disponible comercialmente, fue inventado para procesar las muestras de polvo sólidas, insolubles en agua, para producir concentrados minerales pesados representativos de partículas que siguen la Ley de Stokes⁴ cuando se establecen en un chorro de agua ascendente cuidadosamente controlado. Lo ideal, para ser aplicado el HS-11, es que las partículas de polvo deberían tener densidades entre 3 y 20 g/cm³ y tamaños de grano inferiores a 0,3 mm, incluyendo las fracciones de tamaño de flotación industrial (<45 μm).

Este dispositivo, está cubierto por patentes internacionales, se puede describir como un conjunto de dos piezas separadas: un **Regulador de Flujo de Agua (RFA)** y un **Tubo Separador de Cristal (TSC)**.

El RFA (Fig. 3.4a) se conecta a un suministro de agua municipal estándar a presión (aproximadamente a 3 atm) a través de una manguera de silicona suave (Fig. 3.4d). Por otro lado, se conecta al TSC (Fig. 3.4b) por otra manguera de silicona de 40 cm de longitud (Fig. 3.4c) y finalmente a la red eléctrica (220V) por unos cables eléctricos aislados (Fig. 3.4e).

⁴ Se refiere a la fuerza de fricción (F_f) experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar con números de Reynolds bajos. Esta ley se puede escribir como:

$$F_f = 6 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta \cdot v \quad \text{donde } R \text{ es el radio de la esfera, } \eta \text{ es la viscosidad del fluido y } v \text{ es la velocidad.}$$

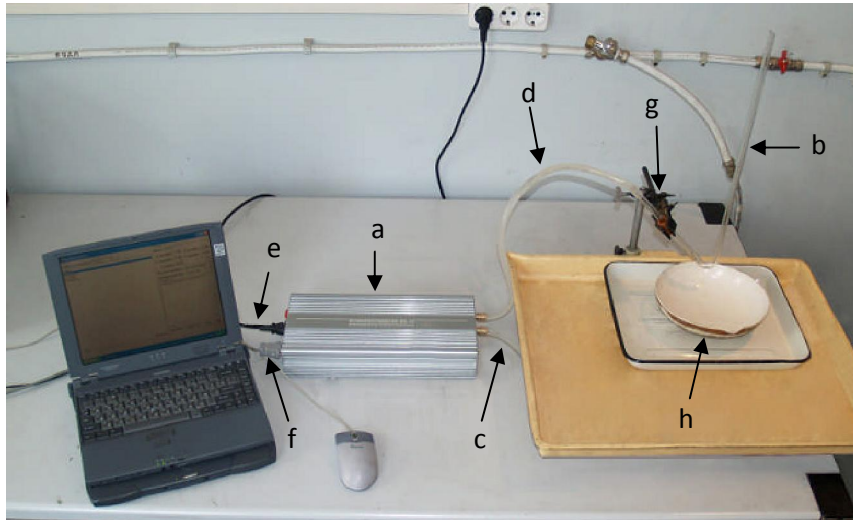


Fig. 3.4: Esquema de la composición de un HS-11 (CNT-MC corp.)

El panel de la izquierda del RFA tiene un botón de encendido (Fig. 3.5a), toma de corriente eléctrica con dos fusibles (Fig. 3.4e y Fig. 3.5b) y un puerto COM conectado a un PC (Fig. 3.4f y Fig. 3.5c). El panel de la derecha del RFA tiene un indicador luminoso (Fig. 3.5d) y dos mangueras, una para la entrada del grifo (Fig. 3.4c y Fig. 3.5e) y una para la salida para la conexión con el TSC (Fig. 3.4d y Fig. 3.5f). El TSC se sujeta con una pinza en un soporte de apoyo (Fig. 3.4g) que debe ser capaz de dejar dar vaivenes arriba y abajo al tubo.

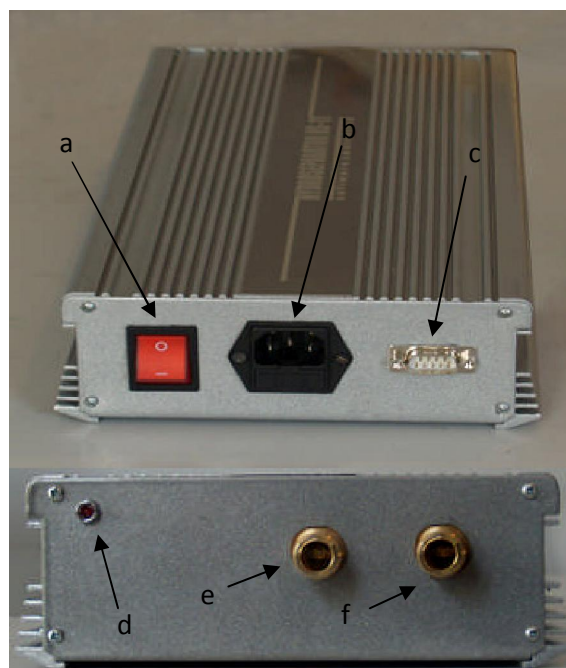


Fig. 3.5: Panel izquierdo (arriba) y panel derecho (abajo) del RFA (CNT-MC corp.)

3.2.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

La hidroseparación requiere una liberación exitosa de los granos minerales durante la etapa de trituración de las rocas/minerales. Para las muestras de rocas/minerales esto puede hacerse mediante una cuidadosa molienda. Esta molienda debe ser vigilada para garantizar un balance entre liberación máxima y fragmentación mínima de los cristales primarios. Se debe prestar especial atención al peligro de contaminación de las muestras (contaminación cruzada entre muestras y partículas del molino).

La liberación óptima de los granos se puede lograr moliendo la muestra en pequeños fragmentos usando una trituradora para periodos cortos (15 – 20 s), más tarde se tamizan las fracciones finas (por ejemplo, <45 μm) después de cada molienda de la fracción gruesa residual. Este proceso debe ser repetido hasta que toda la muestra haya alcanzado el tamaño máximo de grano deseado (por ejemplo, <300 μm). Finalmente, el material pulverizado será tamizado en diferentes tamaños para minimizar los efectos tamaño-grano durante la hidroseparación. Alternativamente, podemos usar otras técnicas especiales, como puede ser la EPD.

El criterio usual para una correcta separación por medio del HS-11 a escala de laboratorio se aplica con respecto al tamaño y número de la muestra representativa. En general, el peso de la muestra primaria es principalmente una función de la homogeneidad global de ésta y de la abundancia y tamaño de grano de los minerales pesados que se determinen.

Las muestras típicas pesan entre 10g y 2kg. Naturalmente, uno debe guiarse por la experiencia para decidir cuánto material debe usarse para la hidroseparación. Sin embargo, desde la experiencia de los autores con la técnica, se necesita tener entre 100 y 300g de cada tamaño de grano (especialmente para las fracciones finas, ya que son las más informativas para trabajar).

3.2.4. FUNCIONAMIENTO DEL HS-11

Para empezar hay que llenar el sistema con agua mediante el grifo suministrador hasta que el nivel esté un 1 cm por encima del codo del TSC, el caudal no debe ser superior a 100 ml/min y debemos evitar que existan burbujas de aire en el sistema.

En segundo lugar, añadimos la muestra, previamente suspendida en agua, por la parte superior del TSC usando un embudo (Fig. 3.6), el HS-11 requiere proporciones de muestra de 10 a 20g. Para evitar el agrupamiento de los granos, se puede agregar un antifloculante (por ejemplo, unas gotas de acetona o KMnO_4) a la suspensión o simplemente se pueden dispersar las partículas con un baño de ultrasonidos de laboratorio.



Fig. 3.6: Introducción de la muestra en el TSC (CNT-MC corp.)

Posteriormente, abrimos lentamente el grifo suministrador de agua con un caudal mínimo de 30 – 50 ml/min hasta que la columna de agua llegue hasta la parte superior del TSC, después ajustamos este caudal al tamaño óptimo para llevar a cabo la separación (ver tabla 3.1).

Tamaño de fracción (μm)	Caudal de agua (ml/min)
<40	30 – 60
40 – 80	60 – 80
80 – 125	80 – 120
125 – 200	120 – 140
200 – 400	140 – 300

Tabla 3.1: Caudal de agua conforme al tamaño de grano que se necesita para el proceso de hidrosepación (CNT-MC Corp.)

El proceso de hidrosepación mueve la fracción ligera hacia arriba en el TSC mediante el empuje del agua hasta el vertido, eventualmente se recoge en un recipiente que se encuentra por debajo del TSC, además se coloca una amplia bandeja para evitar cualquier pérdida de material y recoger el exceso de agua (Fig. 3.7). El concentrado pesado se acumula dentro del TSC en su base (Fig. 3.8), posteriormente se recogerá en otro recipiente para su tratamiento. Este proceso, si es necesario, se puede repetir hasta que consigamos un concentrado final de 5 a 20 mg.



Fig. 3.7: Figura que muestra el vertido del concentrado y la recogida en el recipiente (CNT-MC corp.)

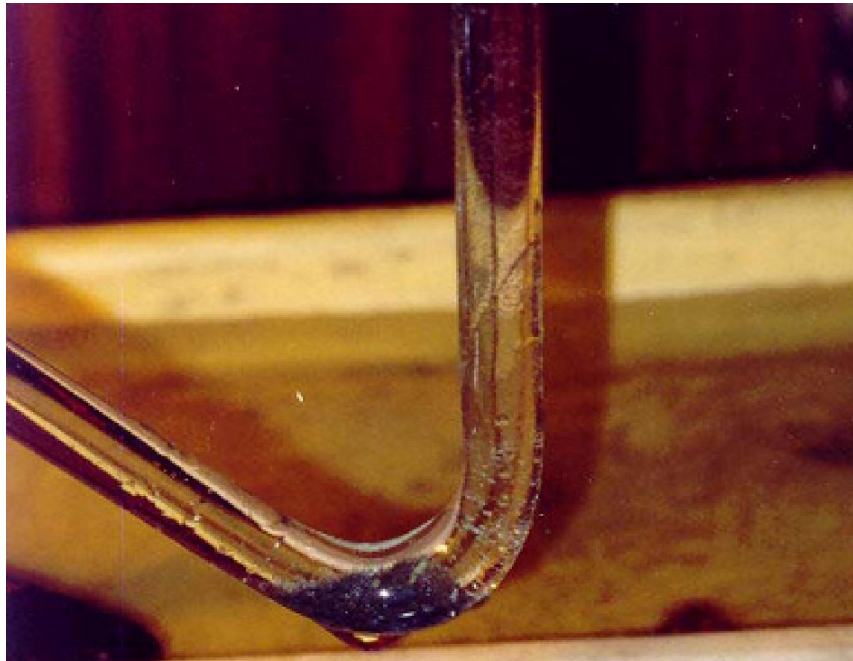


Fig. 3.8: Concentrado mineral pesado ubicado en la base del TSC (CNT-MC corp.)

Se utilizan distintos tamaños de TSC para la separación, dependiendo de la granulometría y de la productividad requerida para la transformación de la muestra cargada. El TSC largo (Fig. 3.4b) se utiliza para conseguir los concentrados minerales pesados primarios, en cambio, el TSC corto (Fig. 3.9) se utiliza para obtener el concentrado final.



Fig. 3.9: Imagen que muestra el TSC corto con el concentrado final (CNT-MC corp.)

El HS-11 está gestionado por un software que domina la separación controlada por un régimen automatizado (Fig. 3.10). Este dispositivo hace posible conseguir la separación utilizando una proporción de carga entre 20 y 50g. Sin embargo, una buena productividad (para un separador de laboratorio) se consigue por una repetición automática de regímenes de separación (una vez calibrados) y configurando una muestra particular.

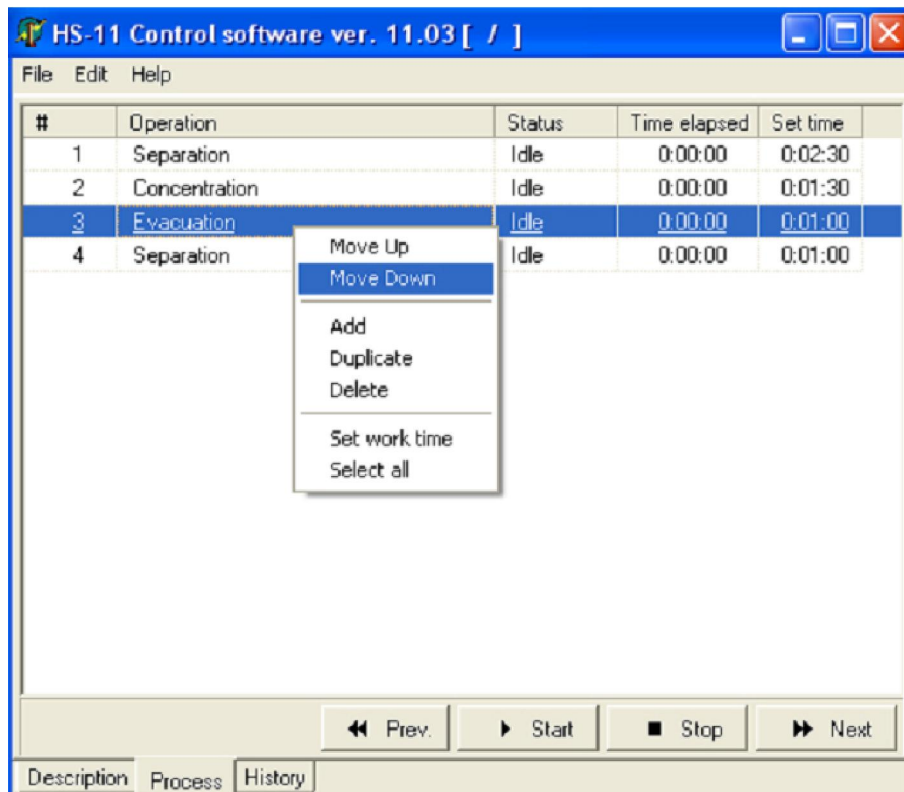


Fig. 3.10: Software utilizado para gestionar las operaciones del HS-11 (CNT-MC corp.)

Además, a la base de datos de regímenes estándar existentes elaborados para rangos fijos de tamaños de partícula y descripciones petrológicas de la muestra, es posible para el operador, programar un dispositivo en una muestra y archivar los regímenes óptimos para varios tipos de muestras, añadiéndolos a la base de datos existente. Esta opción hace que sea más fácil para el principiante hacer funcionar el dispositivo y obtener concentrados representativos para cada fase de transformación.

4. MUESTRAS ESTUDIADAS Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

4.1. MUESTRAS ESTUDIADAS

4.1.1. Concentrados pesados en placeres fluviales

Los concentrados pesados estudiados provienen de la zona de Loma Cabrera al NW de la República Dominicana. Se trata de una serie de sedimentos procedentes de dos ríos de la zona, que cortan diferentes cuerpos de rocas máficas/ultramáficas posible fuente de MGP. Se han reconocido en total de 20 cuerpos de rocas ultramáficas, incluyendo 10 cuerpos de dunitas. En el capítulo 4 se hará una explicación con más detalle de las características de los cuerpos y de los concentrados.

4.1.2. Muestras de cromititas en lateritas niquelíferas

Las muestras de cromititas estudiadas provienen del nivel saprolítico desarrollado sobre las peridotitas de Loma Peguera, localizadas en la parte central de la República Dominicana, que forman parte del macizo de peridotitas de Loma Caribe. El cuerpo ultramáfico está rodeado por fallas mayores, y se compone principalmente por harzburgitas, lherzolitas y pequeñas masas de dunitas que contienen MGP.

4.2. TÉCNICAS ANALÍTICAS

4.2.1. Procesado mediante superpanning

Se cogió un 1 kg de material representativo y se trituró hasta alcanzar un tamaño inferior a los 75 mm. Con el fin de evaluar la presencia de MGP, se determinaron dos tamaños de grano, los inferiores a 38 mm y los superiores a 38 mm. Las dos fracciones fueron procesadas mediante separación en medio denso, de $2,9 \text{ g/cm}^3$, para eliminar los minerales más ligeros, principalmente los silicatos. La fracción más pesada fue procesada mediante superpanning con el objetivo de separar los MGP de los minerales más ligeros. El procesado y recuperación de los MGP fue realizado por SGS Lakefield Research Ltd, Ontario, Canadá.

4.2.2. Preparación de probetas pulidas con los concentrados pesados obtenidos

Varias probetas pulidas (Fig. 4.1) fueron preparadas para estudiar la presencia de MGP. Estas probetas se realizaron a partir de los concentrados obtenidos el superpanning, en la SGS Lakefiels Research Ltd., Ontario, Canadá, para el caso de las muestras. También se estudian probetas pulidas a partir de los concentrados pesados obtenidos mediante EPD+HS del CNT-MC Corp.



Fig. 4.1: Probetas pulidas (CNT-MC Corp.)

4.2.3. Análisis de los concentrados

4.2.3.1. Microscopía de luz transmitida y reflejada

Las técnicas de microscopía de luz reflejada y de luz transmitida (Fig. 4.2) permiten describir la morfología, textura e identificación de algunos minerales y también establecer secuencias paragenéticas. Los cromitas de las rocas ultramáficas fueron analizadas con luz transmitida, en cambio, los sedimentos fluviales se analizaron con luz reflejada. Las muestras más representativas e interesantes fueron seleccionadas para su posterior análisis por SEM.



Fig. 4.2: Microscopio óptico de luz transmitida y de luz reflejada (Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona)

4.2.3.2. Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM-EDS)

Esta técnica se utiliza para estudiar la morfología y la microtextura de granos pequeños y minerales traza. La EDS ofrece un análisis cualitativo y semicuantitativo de los elementos existentes en un punto y proporciona pistas para un posterior análisis por EMPA. Para las muestras de placeres se utilizó el SEM del laboratorio *Eugen F. Stumpfl* de la Universidad de Leoben, Austria. Para las muestras de cromititas en lateritas se utilizó el SEM Quanta 200 FEI (Fig. 4.3) dels *Serveis Científicotècnics* de la Universidad de Barcelona.



Fig. 4.3: Microscopio electrónico de barrido Quanta 200 FEI (Serveis Científicotècnics de la Universidad de Barcelona).

4.2.3.3. Microsonda electrónica (EMPA)

Este método es el más utilizado para el análisis químico puntual de minerales. En las muestras estudiadas se utilizó para determinar la composición química de los granos de cromita presentes en los concentrados pesados, las rocas ultramáficas y en las cromititas. Estos análisis se realizaron mediante una EMPA Cameca SX-50 (Fig. 3.14), dels Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona, a una tensió de 15-20 kV e intensitat de corrent de 20 nA.



Fig. 4.4: Microsonda Electrónica Cameca SX-50 (Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona)

5. EJEMPLO I: MGP EN PLACERES FLUVIALES DEL NW DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

5.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO GEOLÓGICO

Nuestra zona de estudio se encuentra sobre el término municipal de Loma Cabrera, en la provincia de Dajabón, al NW de la República Dominicana justo en la frontera con Haití. Es un área poco montañosa, pero con una gran cantidad de ríos y arroyos todos ellos provenientes de los cerros cercanos.

Geológicamente se trata de un gran batolito, de 80 km de largo y 30 km de ancho, que aflora en dirección NW-SE a lo largo de la provincia. Este batolito está compuesto por un conjunto heterogéneo de rocas plutónicas que se pueden agrupar en cuatro unidades cartografiadas (Escuder Viruete et al 2006) (Fig. 5.1).

1. Rocas ultramáficas
2. Gabro-dioritas
3. Tonalitas con biotitas y hornblendas
4. Conjunto de diques máficos

Las rocas ultramáficas afloran en una superficie de 0,1 a 10 km² y forman pequeños y dispersos macizos lenticulares dentro de la unidad de gabro-dioritas. Estas rocas tienen un amplio rango de composición, están formadas principalmente por websteritas, wehrlitas, clinopiroxenitas, lherzolitas y hornblenditas que contienen cromitas. En general son cuerpos masivos con poca presencia de foliaciones y posible fuente de MGP.

La unidad de gabro-dioritas está compuesta por varios plutones elongados separados por afloramientos de tonalitas con hornblenda y se caracteriza por tener composición y textura heterogénea. Es una unidad que varía entre gabros con hornblenda y augita y dioritas con hornblenda. Estas litologías se caracterizan por variaciones locales en la composición modal, así como texturas que van desde el grano medio hasta los tipos pegmatíticos.

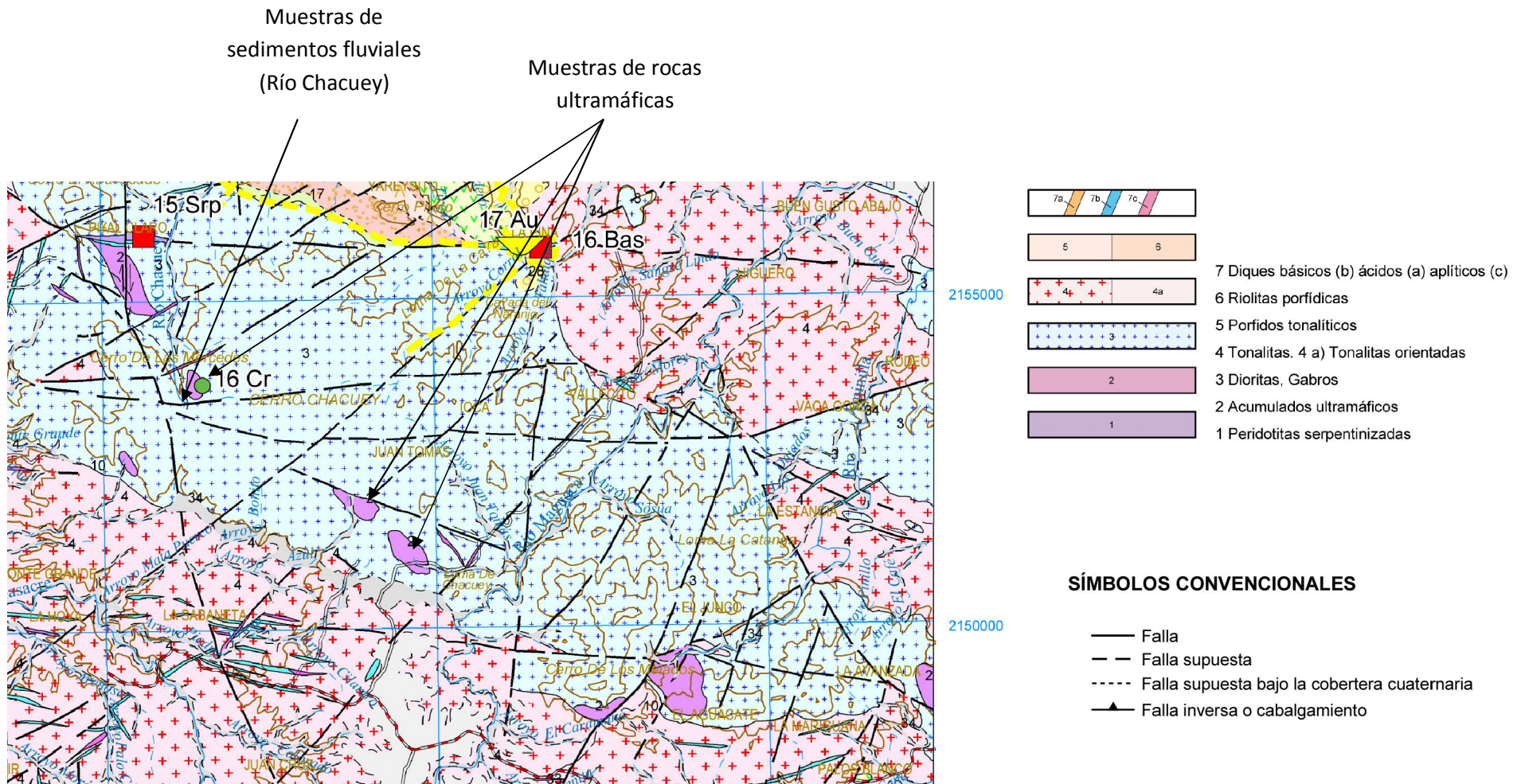


Fig. 5.1: Mapa de recursos geológicos de la zona de Loma Cabrera donde se indican los punto de recogida de las muestras de placeres fluviales y de las rocas ultramáficas (Recorte de la hoja 5874 del mapa geológico de Dajabón, Rep. Dominicana).

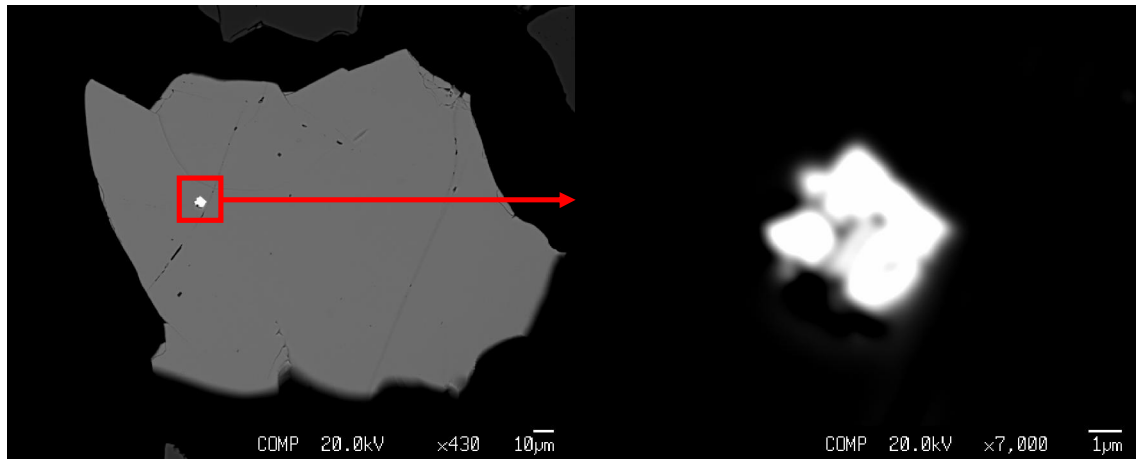
5.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS MGP Y DE LAS CROMITAS

Las muestras fueron recogidas en dos puntos específicos. En primer lugar, se recogieron varias muestras de sedimentos en los ríos y arroyos cercanos que cruzan las dos primeras unidades y, en segundo lugar, se recogieron varias muestras de rocas ultramáficas, en tercer lugar, se procesaron por superpanning y finalmente se analizaron con SEM-EDS y EMPA. La decisión de recoger muestras en estos lugares se debe a que estudiaremos si las cromitas de los placeres fluviales tienen como origen los cuerpos de rocas ultramáficas y analizaremos si estos cuerpos ultramáficos se asemejan a los complejos tipo Alaska-Ural. La existencia de estos complejos en el NW de la República Dominicana tendrá una importante connotación para la exploración de EGP en la región.

5.2.1. CONCENTRADOS PESADOS EN PLACERES FLUVIALES

En primer lugar, hemos centrado los análisis en la identificación de MGP y posteriormente se han analizado el mineral cromita, con el objeto de caracterizar los diferentes procesos en los que se ha visto involucrada, aprovechando la sensibilidad que posee esta fase para reflejar en su quimismo mineral los cambios fisicoquímicos que se producen en el ambiente. Esto permitirá reconocer la composición primaria del mineral.

Mediante el empleo del SEM se pudo observar que en dos de las muestras estudiadas (CHP1 y CHP2) existían granos de MGP, en concreto, según los análisis mediante EDS se pudo llegar a la conclusión que eran cristales de Pt nativo (figuras 5.2 y 5.3).



Group : Federica
 Sample : **CHP1**
 ID : 1
 Comment: Platinum

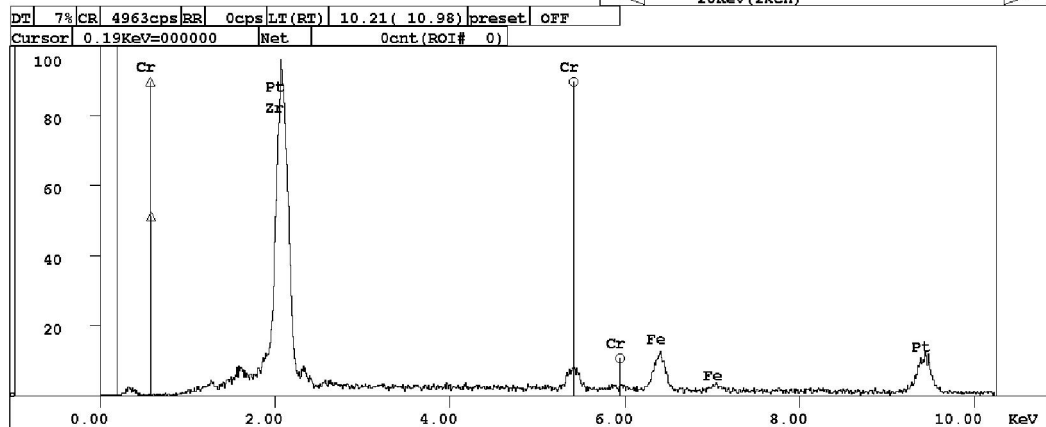
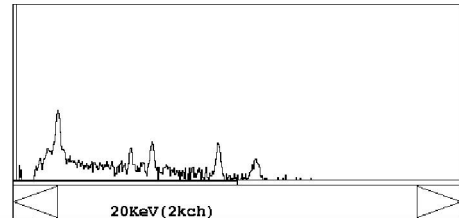
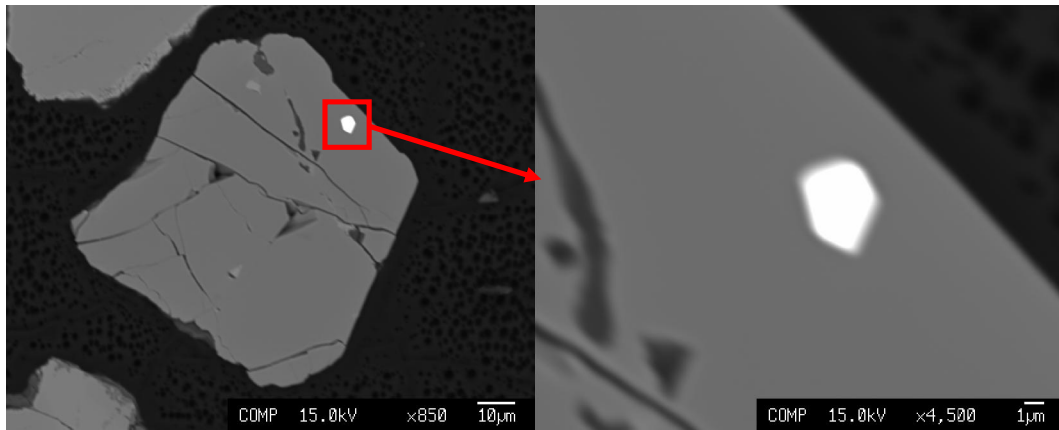


Fig. 5.2: Imágenes por SEM de un cristal de Pt en los concentrados pesados CHP1 obtenidos por superpanning (arriba) con su espectro de composición química obtenido con EDS.



Group : Federica
 Sample : CHP2
 ID : 1
 Comment : Pt

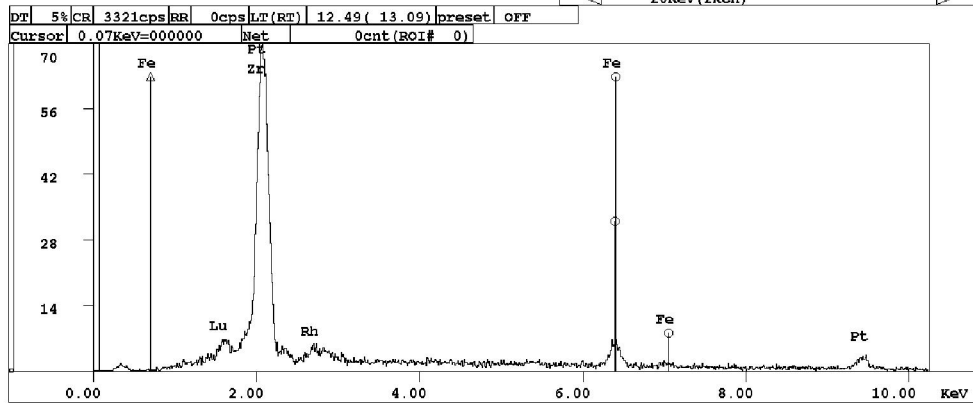
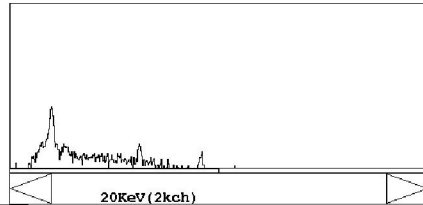


Fig. 5.3: Imágenes por SEM de un cristal de Pt en la cromita CHP2 obtenido por superpanning (arriba) con su espectro de composición química obtenido con EDS (abajo).

En los concentrados pesados estudiados se ha observado un predominio de granos de cromita. En imágenes obtenidas mediante el SEM-EDS, de las muestras de placeres, percibimos en 3 de las muestras (CHP1, CHP2 y CHP4) que muchos de los cristales presentaban algún tipo de zonación (figuras 5.4 y 5.5), esto podría ser debido a un cambio en la composición del magma durante la formación del cristal o a un proceso de alteración post-magmático.

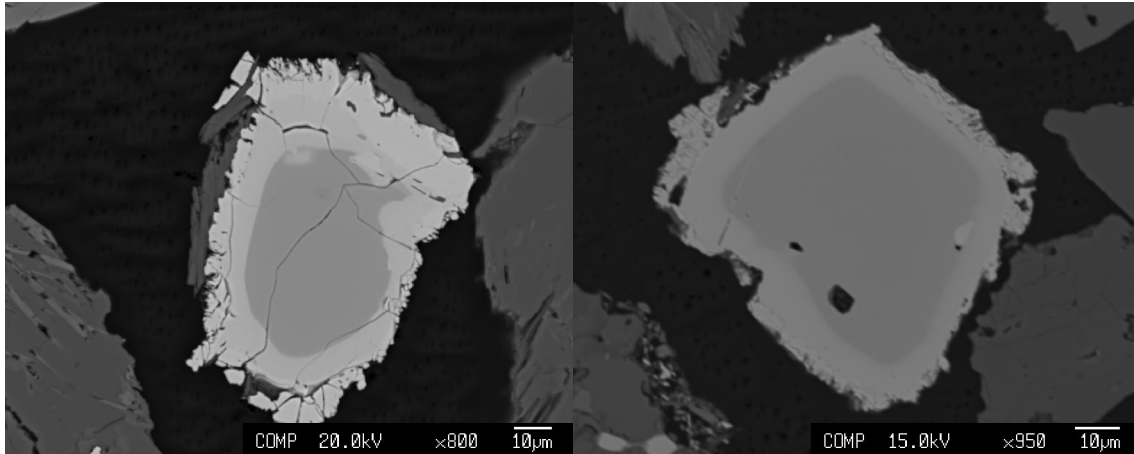


Fig. 5.4: Cristales de cromita alotriomorfos zonados (muestra CHP1 y CHP2 respectivamente).

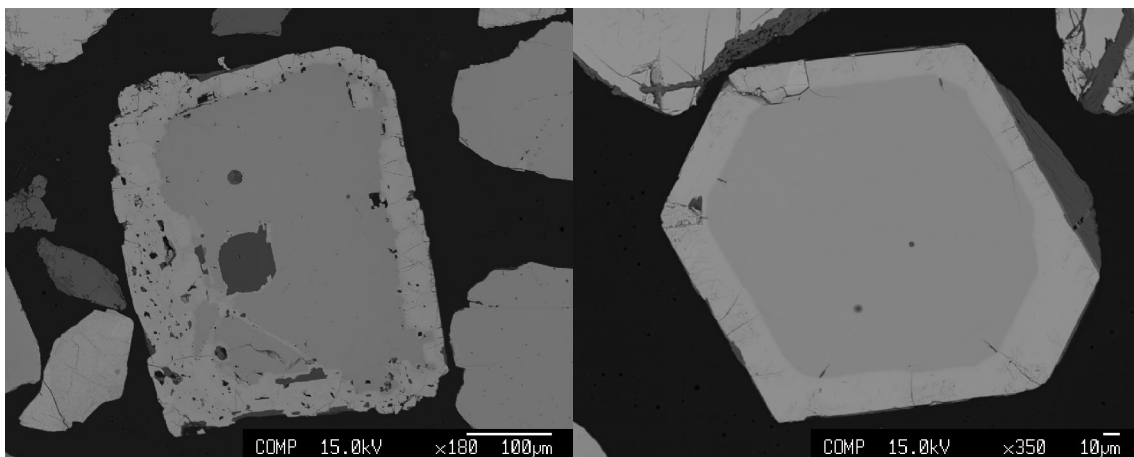


Fig. 5.5: Cristales de cromita (alotriomorfo e idiomorfo respectivamente) zonados (muestra CHP4).

En las tablas 9.1.1.1, 9.1.1.2, 9.1.2.1, 9.1.2.2, 9.1.3.1, 9.1.3.2, 9.1.4.1, 9.1.4.2, 9.1.5.1 y 9.1.5.2 del anexo y en las figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 se muestran las características composicionales de las muestras de cromitas recogidas en los sedimentos fluviales. Se recogieron un total de 6 muestras, pero sólo mostramos los resultados de 5 de ellas.

La composición de los cristales está limitada por unos valores de #Cr [$\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$] entre 0,51 y 0,83 (esto supone unos contenidos de Cr_2O_3 entre 30,74 y 56,29 % en peso, y de Al_2O_3 entre 7,74 y 22,37 % en peso) y del #Mg [$\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$] entre 0,12 y 0,41 (figuras 5.2 y 5.3). El contenido de TiO_2 es relativamente alto en la mayoría de los cristales, alcanza valores entre 0,15 y 1,82 % en peso, pero la mayoría superan el 0,25 %, esto indicará que el origen de las muestras probablemente no corresponderá con la de cromitas del tipo ofiolíticas (figuras 5.8 y 5.9).

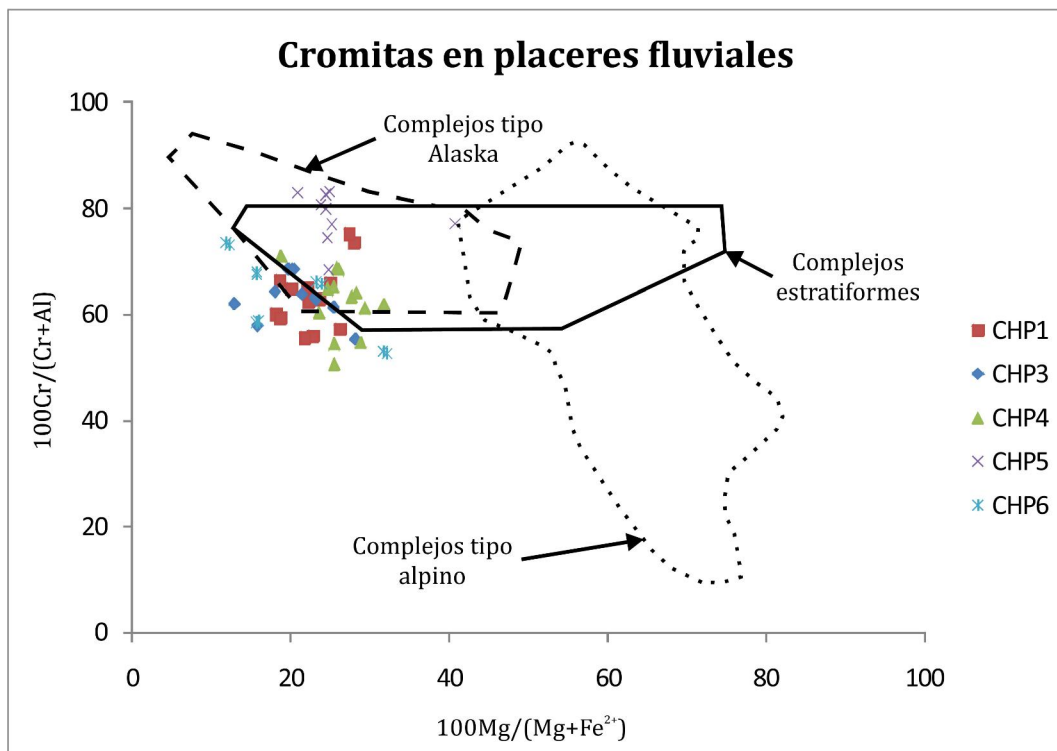


Fig. 5.6: Variación $100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ vs $100\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ en la cromita de los placeres fluviales. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo estratiforme y tipo alpino (Helmy et al 2003).

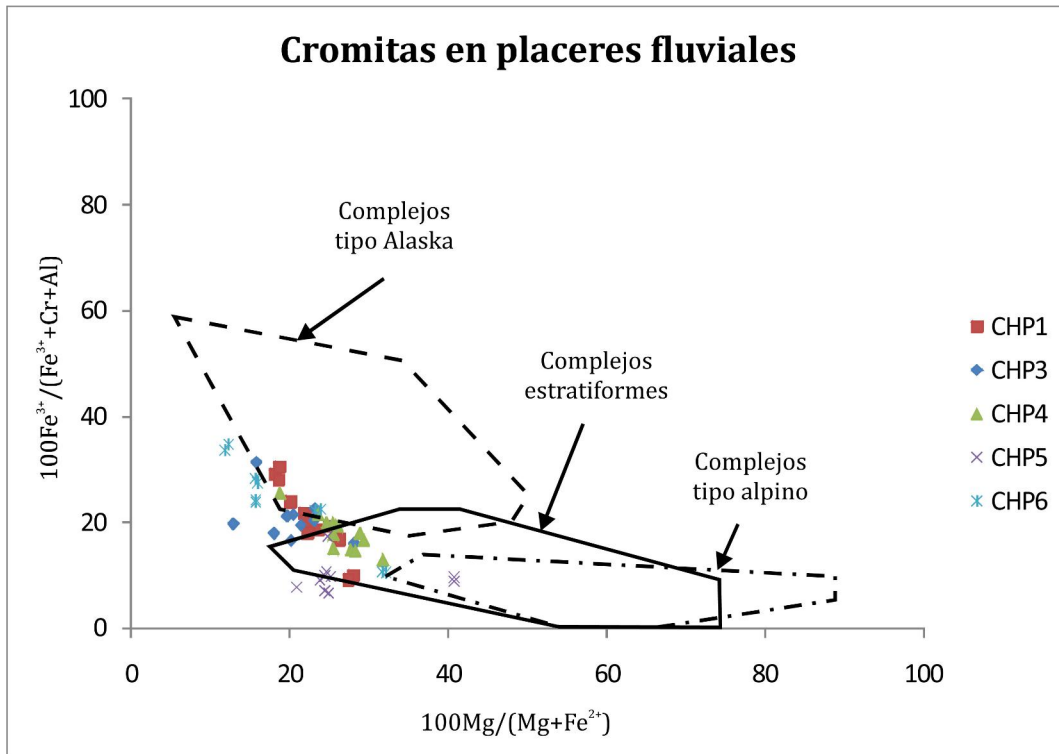


Fig. 5.7: Variación #Mg vs #Fe³⁺ de la cromita de los placeres fluviales. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo estratiforme y tipo alpino (Helmy et al 2003).

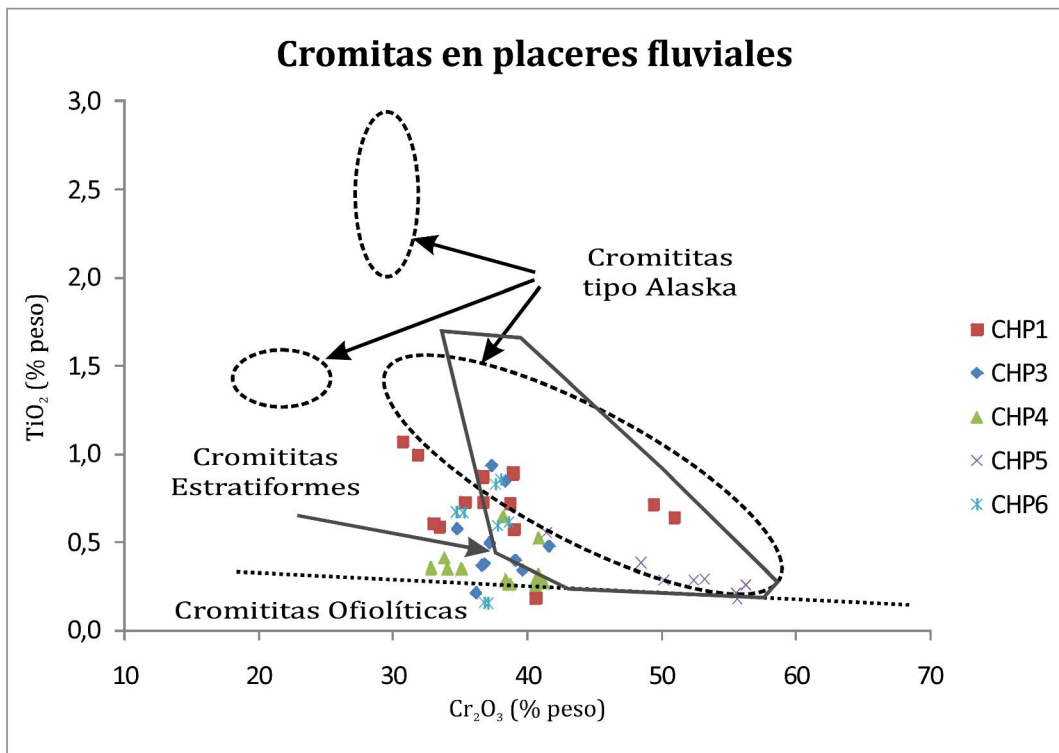


Fig 5.8: Variación Cr₂O₃ vs TiO₂ en la cromita de los placeres fluviales. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo estratiforme y tipo ofiolítico (Proenza et al 2007).

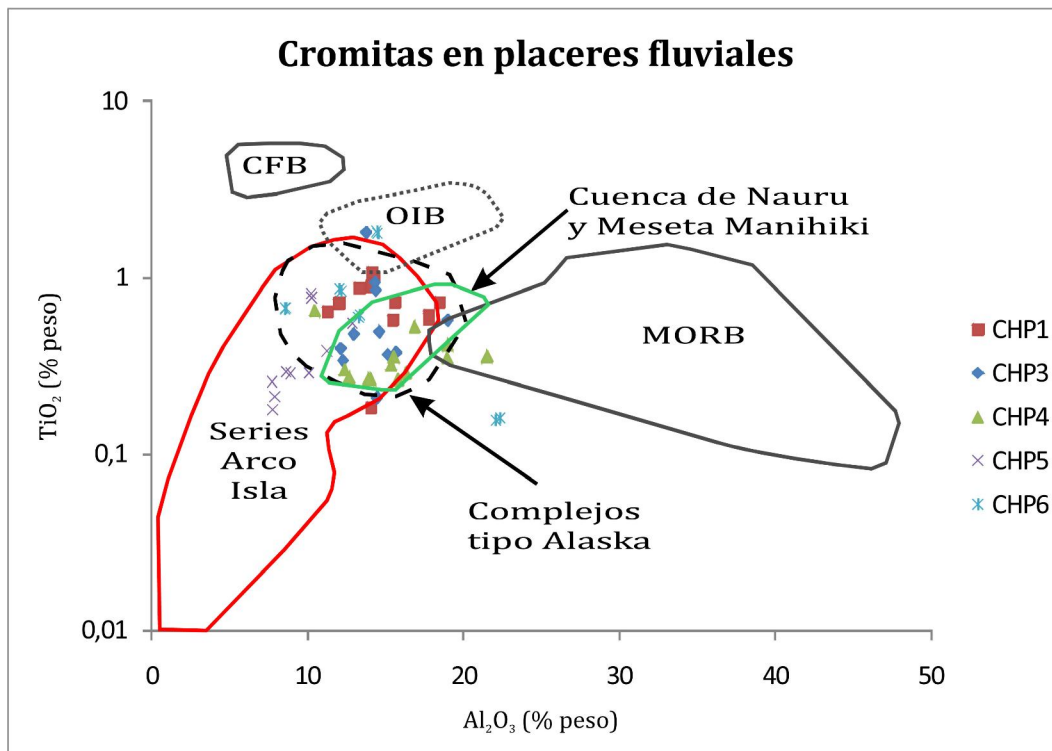


Fig 5.9: Variación Al_2O_3 vs TiO_2 en la cromita de los placeres fluviales. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo series en arco-isla, tipo OIB, tipo MORB, tipo CFB y tipo Cuenca de Nauru-Meseta Manihiki (Proenza et al 2007).

Representando los datos obtenidos por microsonda electrónica (tablas 9.1.1.1, 9.1.1.2, 9.1.2.1, 9.1.2.2, 9.1.3.1, 9.1.3.2, 9.1.4.1, 9.1.4.2, 9.1.5.1 y 9.1.5.2 del anexo) se ha observado que los granos de cromita podrían proceder de los del tipo estratiforme o del tipo Alaska-Ural y que probablemente no podrían ser del tipo alpino u ofiolítico (figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10). Estudios previos han afirmado que los complejos tipo Alaska-Ural contienen MGP (Himmelberg et al 1995).

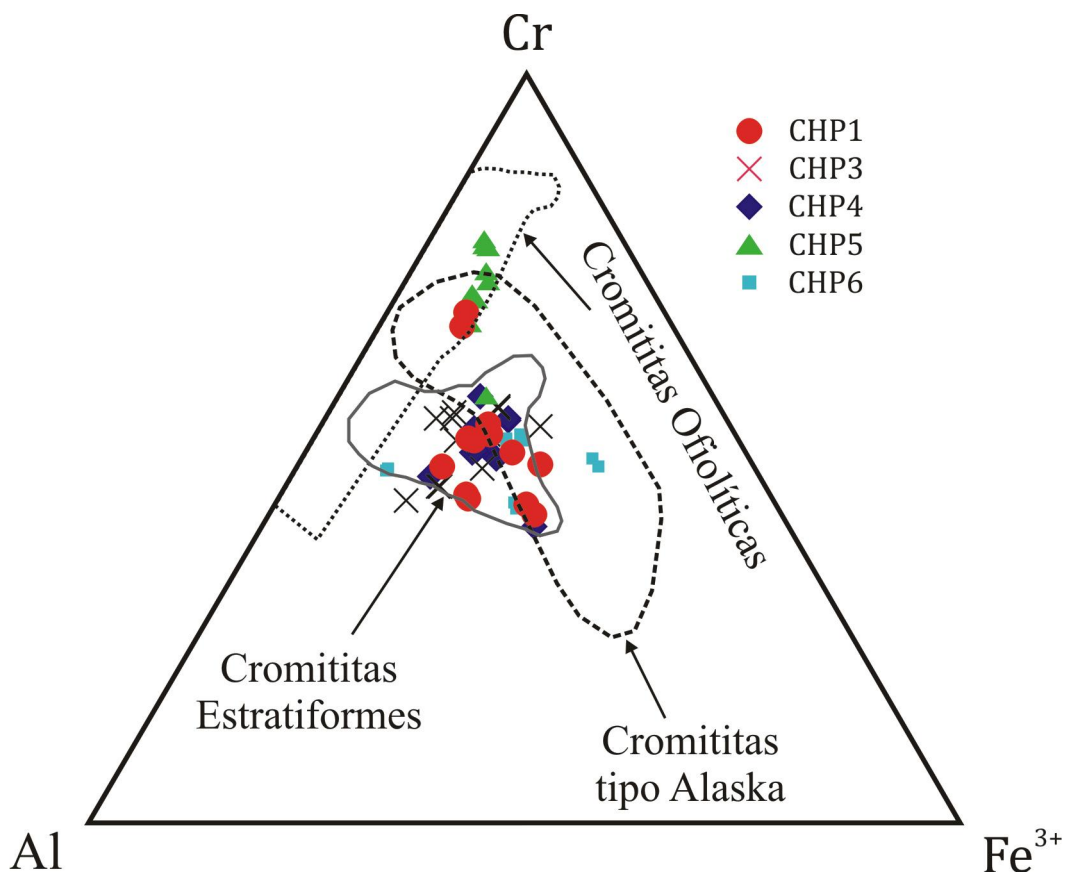


Fig. 5.10: Diagrama ternario (Al-Fe³⁺-Cr) que representa la composición de la cromita en placeres fluviales. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo estratiforme y tipo ofiolítico (Proenza et al 2007).

Para el caso de la muestra CHP5 se puede observar que los valores obtenidos difieren ligeramente de los datos de las otras muestras, esto se debe a que esta muestra tiene un alto contenido en Cr y bajo en Fe³⁺ (figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10).

5.2.2. CONCENTRADOS PESADOS EN ROCAS ULTRAMÁFICAS

Mediante el análisis con SEM observamos varios cristales de cromita que estaban incluidos en diferentes cristales de minerales característicos en rocas ultramáficas, pero en ninguna muestra encontramos partículas de MGP.

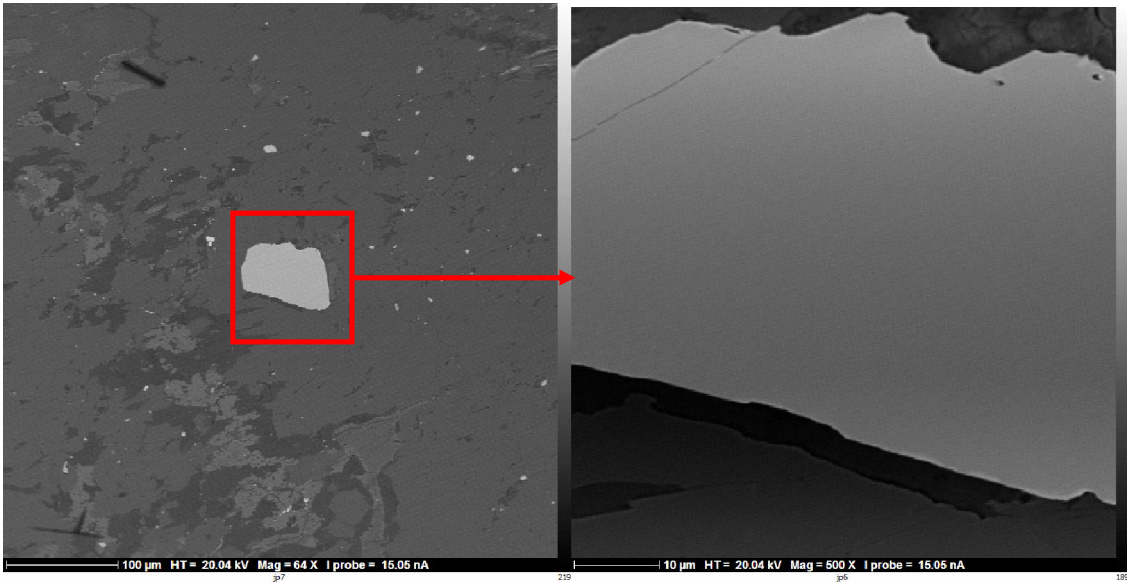


Fig. 5.11: Cristal alotriomorfo de cromita incluido en una roca ultramáfica con olivino y ortopiroxeno (muestra CH2).

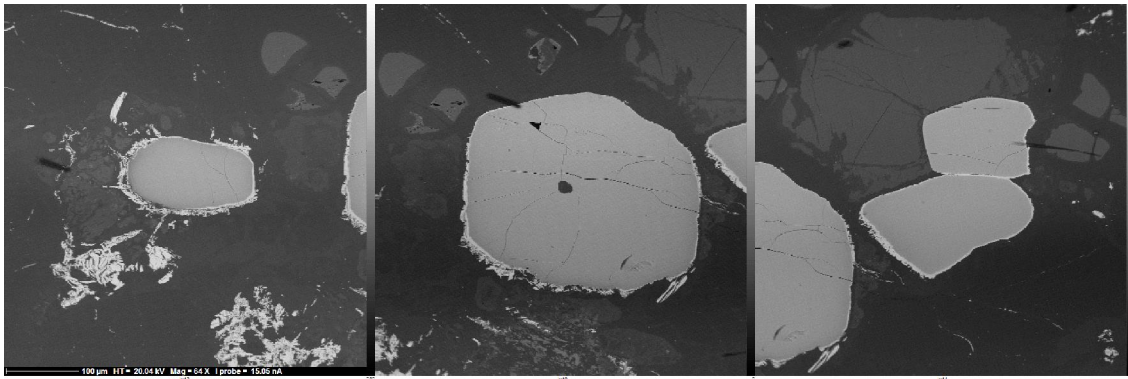


Fig 5.12: Cristales subidiomorfos de cromita (muestra CH2). La cromita es reemplazada, siguiendo los bordes de los granos, por ferricromita.

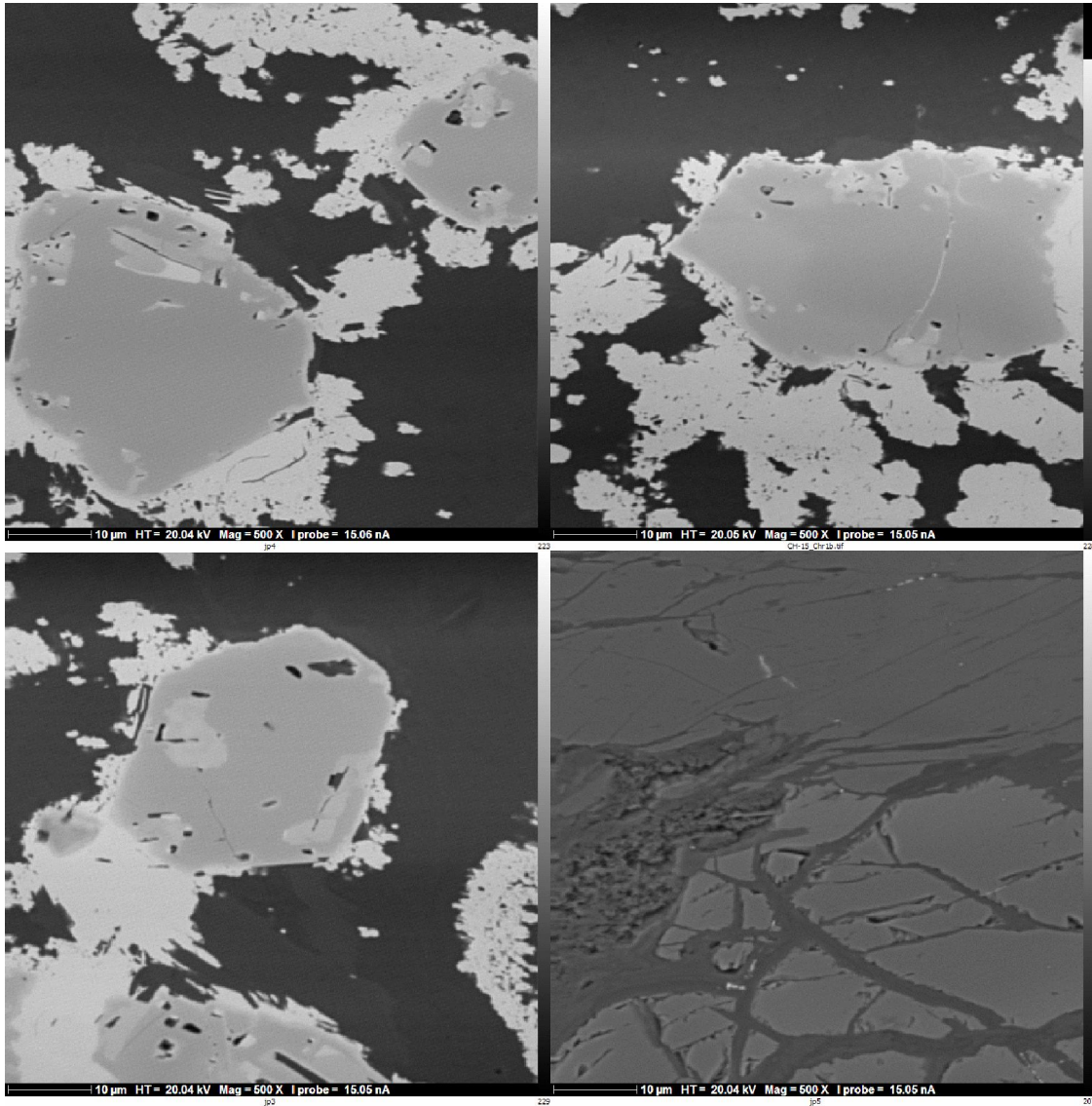


Fig. 5.13: Cristales de cromita zonados incluidos en dunitas con clinopiroxeno (muestra CH15).

Para los cuerpos de rocas ultramáficas hemos seguido el mismo procedimiento que en el caso anterior, esto se debe a que posteriormente haremos una comparación de ambas muestras para ver si los sedimentos fluviales se asemejan a los cuerpos ultramáficos y por lo tanto afirmar que los placeres se originaron en dichos cuerpos. Igualmente estudiaremos si existen partículas de MGP.

En las tablas 9.2.1.1, 9.2.1.2, 9.2.2.1, 9.2.2.2, 9.2.3.1, 9.2.3.2, 9.2.4.1 y 9.2.4.2 del anexo y en las figuras 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18 se exponen las características composicionales de las muestras de cromitas recogidas en los cuerpos ultramáficos. Se recogieron un total de 16 muestras, pero sólo mostramos los resultados de 4 de ellas.

La composición de los cristales está limitada por unos valores de $\#Cr$ [$Cr/(Cr+Al)$] entre 0,524 y 0,799 (esto supone unos contenidos de Cr_2O_3 entre 34,54 y 54,43 % en peso, y de Al_2O_3 entre 9,04 y 22,14 % en peso) y del $\#Mg$ [$Mg/(Mg+Fe^{2+})$] entre 0,229 y 0,382 (figuras 5.2 y 5.3).

El contenido de TiO_2 también es alto en la mayoría de los cristales, aunque inferior al caso anterior (alcanza valores entre 0,13 y 0,80 % en peso), pero la mayoría superan el 0,25 % (más de un 85% de los cristales), esto indicará que el origen de las muestras probablemente no corresponderá con la de cromitas del tipo ofiolíticas (figuras 5.11 y 5.12).

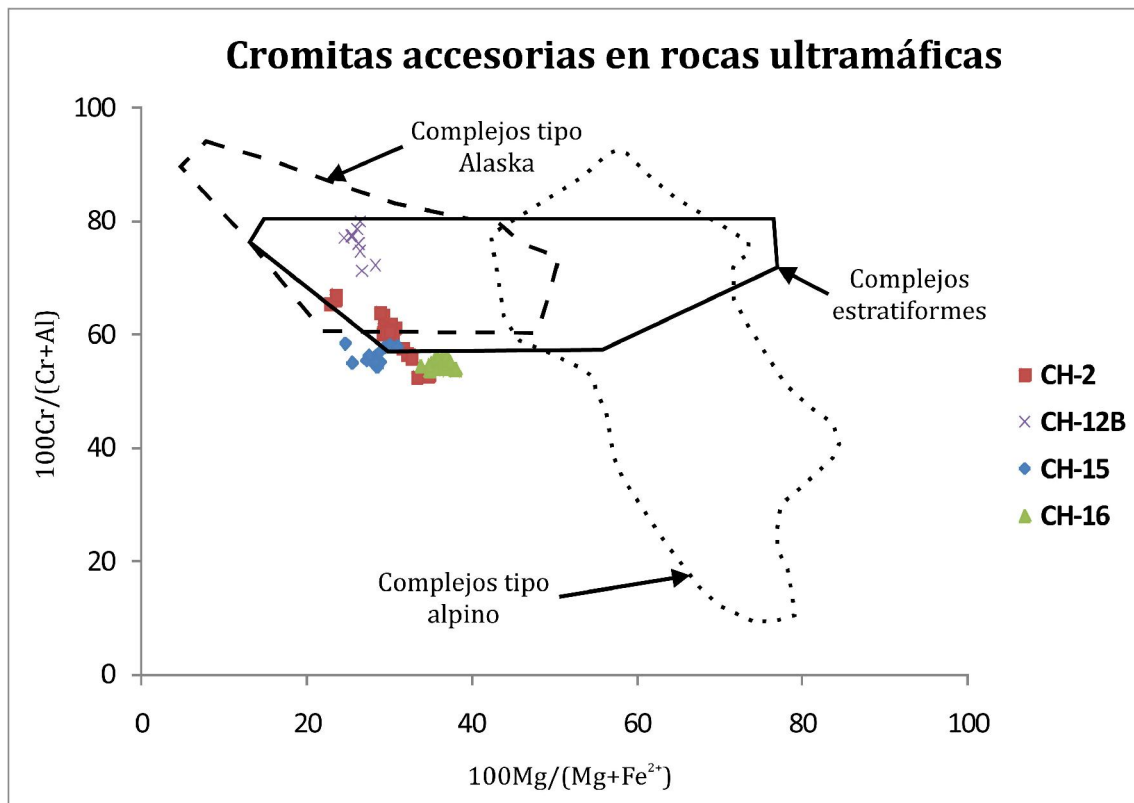


Fig. 5.14: Variación $100Mg/(Mg+Fe^{2+})$ vs $100Cr/(Cr+Al)$ en la cromita de las rocas ultramáficas de Loma Cabrera. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo estratiforme y tipo alpino (Helmy et al 2003).

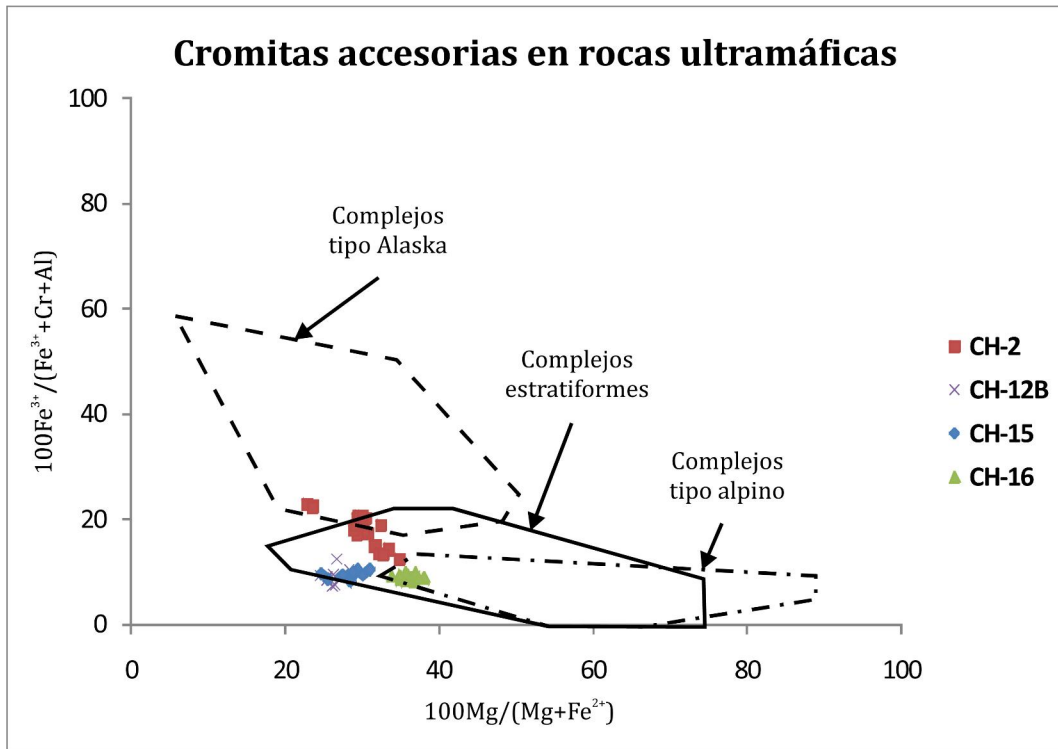


Fig. 5.15: Variación #Mg vs #Fe³⁺ de la cromita de las rocas ultramáficas de Loma Cabrera. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo estratiforme y tipo alpino (Helmy et al 2003).

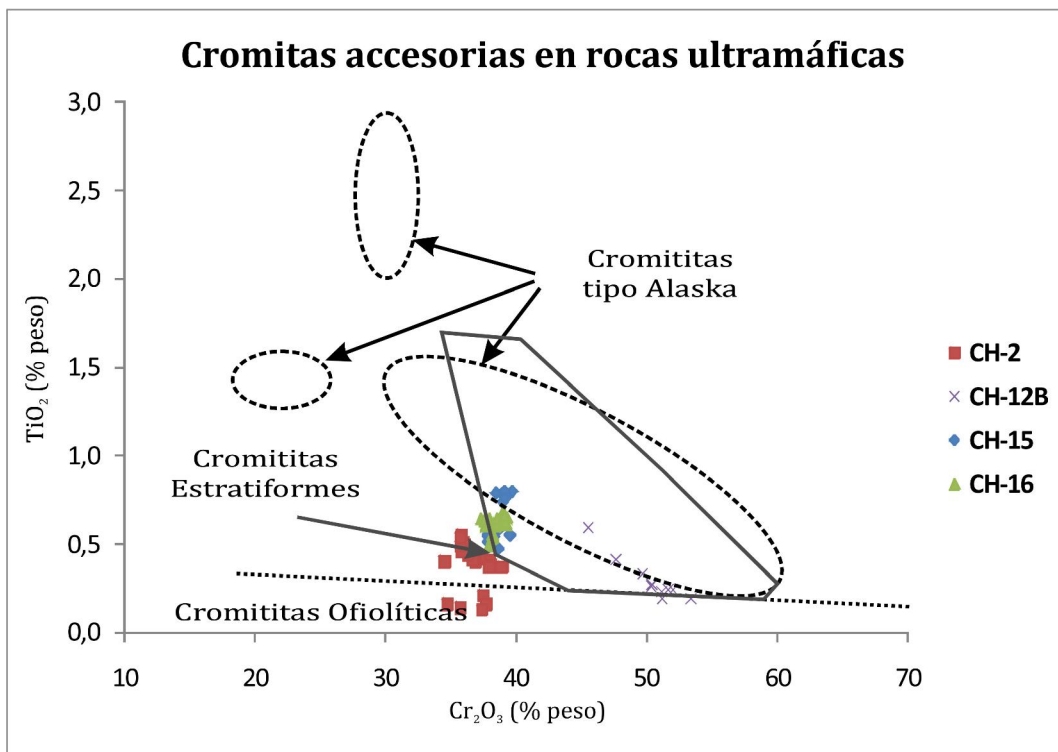


Fig. 5.16: Variación Cr₂O₃ vs TiO₂ en la cromita de las rocas ultramáficas de Loma Cabrera. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo estratiforme y tipo ofiolítico (Proenza et al 2007).

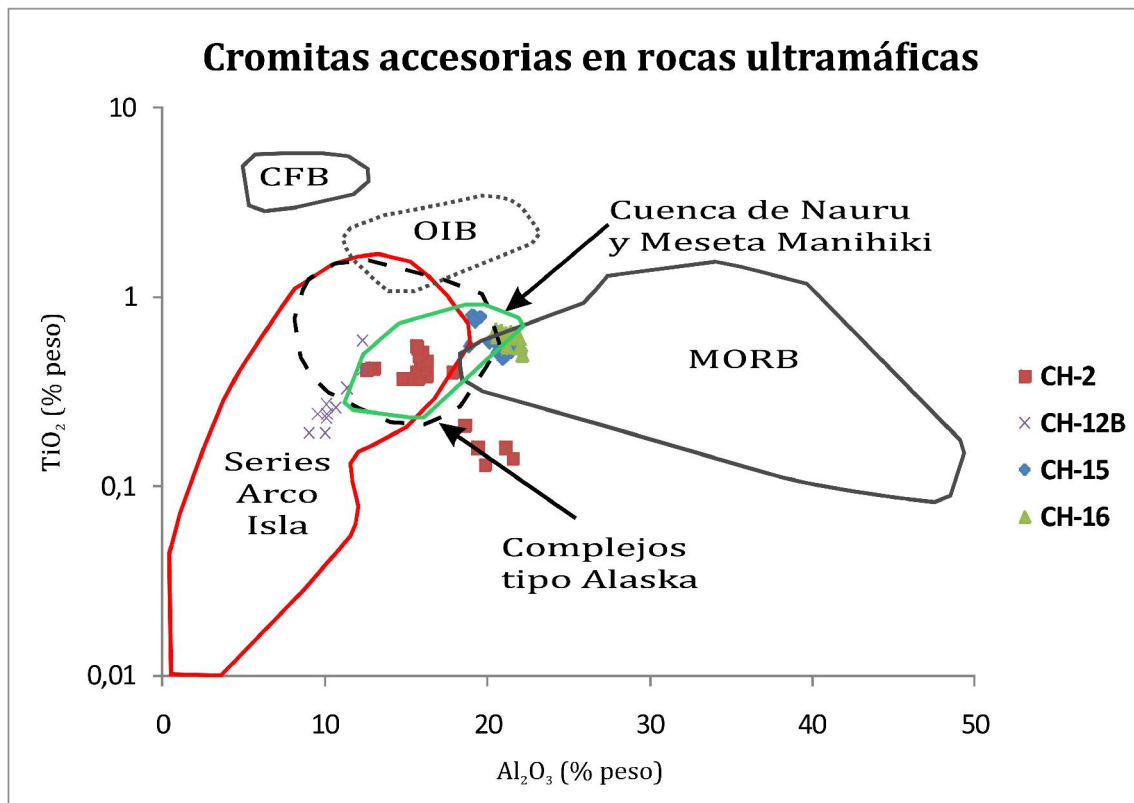


Fig 5.17: Variación Al_2O_3 vs TiO_2 en la cromita de las rocas ultramáficas de Loma Cabrera. También se muestran los campos composicionales de cromita presentes en los complejos tipo Alaska, tipo series en arco-isla, tipo OIB, tipo MORB, tipo CFB y tipo Cuenca de Nauru-Meseta Manihiki (Proenza et al 2007).

Igual que en el caso anterior se han representando los datos obtenidos por microsonda electrónica (tablas 9.2.1.1, 9.2.1.2, 9.2.2.1, 9.2.2.2, 9.2.3.1, 9.2.3.2, 9.2.4.1 y 9.2.4.2 del anexo) y se ha observado la misma tendencia que antes (figuras 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18). Probablemente estas muestras correspondan a un cuerpo ultramáfico del tipo Alaska-Ural o del tipo estratiforme, en cambio, en estas muestras no pudimos observar ninguna partícula de MGP.

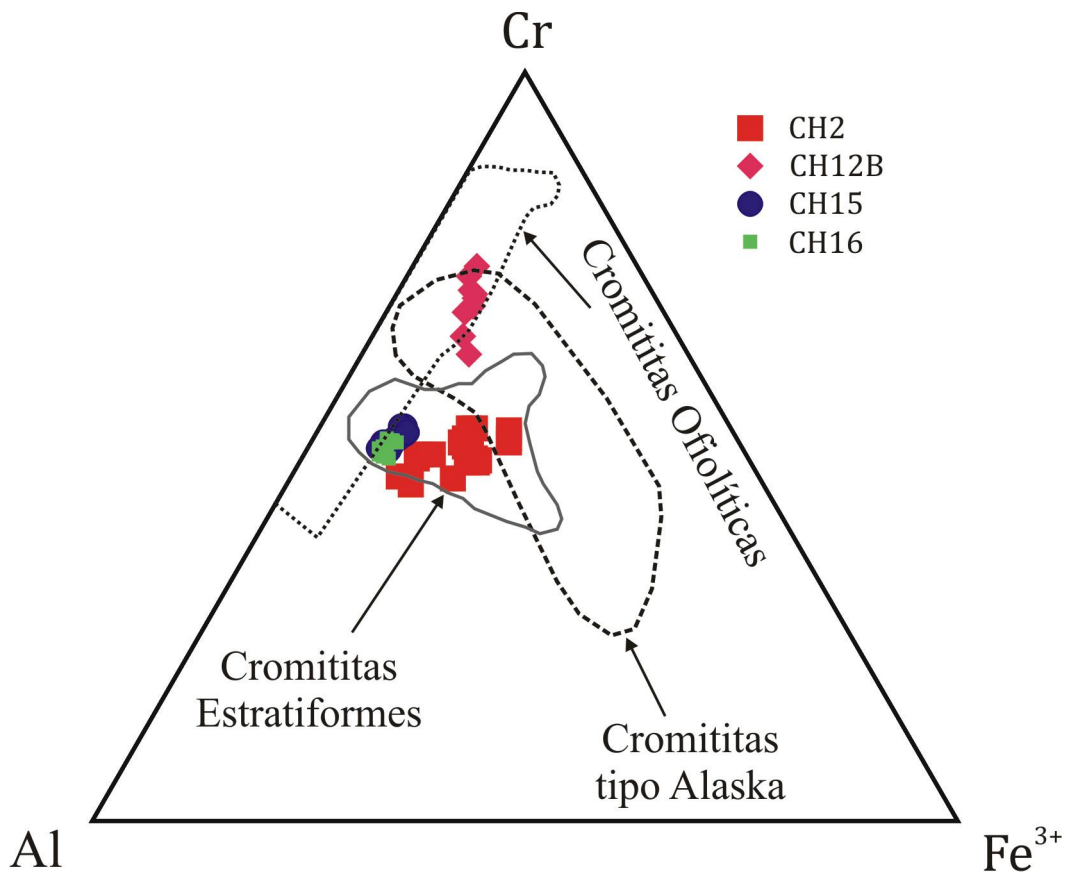


Fig. 5.18: Diagrama ternario (Al-Fe³⁺-Cr) que representa las muestras de rocas ultramáficas y su posible origen.

La muestra CH12B también difiere ligeramente de las otras, pero como pasaba antes es una muestra que contiene más Cr y menos Fe³⁺ que las otras (figuras 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18).

5.3. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS: ÁREA FUENTE DE LOS MGP

Después de haber estudiado cada uno de las muestras recolectadas las hemos comparado para observar si existían similitudes entre ellas y así poder afirmar que los sedimentos fluviales tengan relación con los cuerpos ultramáficos.

Para empezar, los datos obtenidos por microsonda electrónica son similares en ambos casos teniendo valores máximos y mínimos parecidos. Estos valores, representados en los diagramas anteriores, muestran que en ambos casos se sitúan en áreas semejantes (figuras 5.19, 5.20, 5.21, 5.22 y Fig. 5.23).

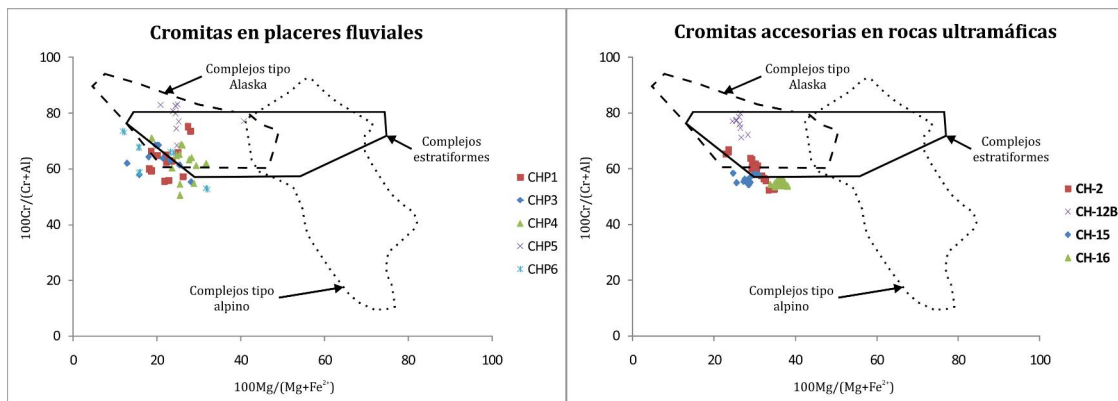


Fig. 5.19: Comparación de la composición de la cromita en los placeres fluviales y en las rocas ultramáficas para la variación #Mg vs #Cr.

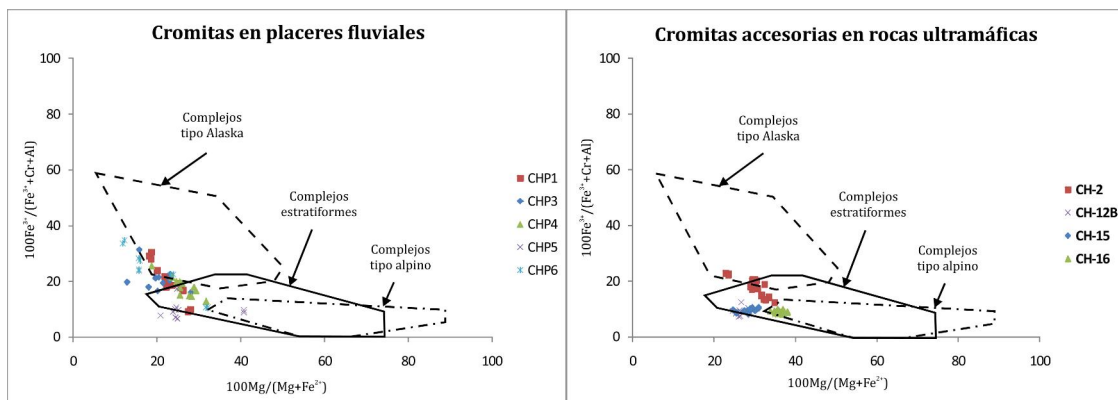


Fig. 5.20: Comparación de la composición de la cromita en los placeres fluviales y en las rocas ultramáficas para la variación #Mg vs #Fe³⁺.

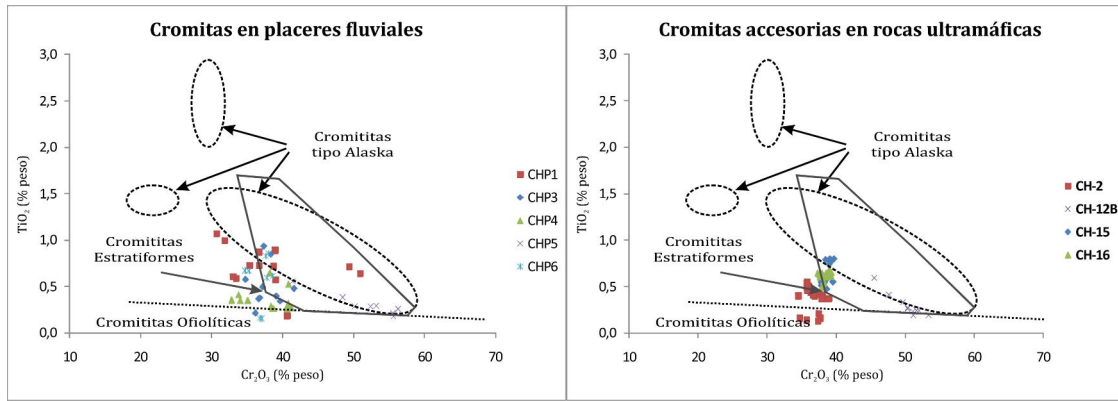


Fig. 5.21: Comparación de la composición de la cromita en los placeres fluviales y en las rocas ultramáficas para la variación Cr_2O_3 vs TiO_2 .

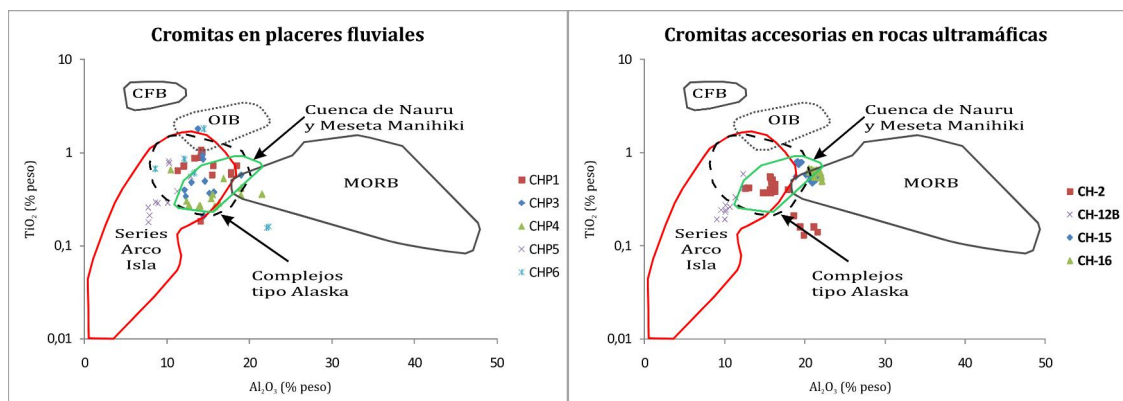


Fig. 5.22: Comparación de la composición de la cromita en los placeres fluviales y en las rocas ultramáficas para la variación Al_2O_3 vs TiO_2 .

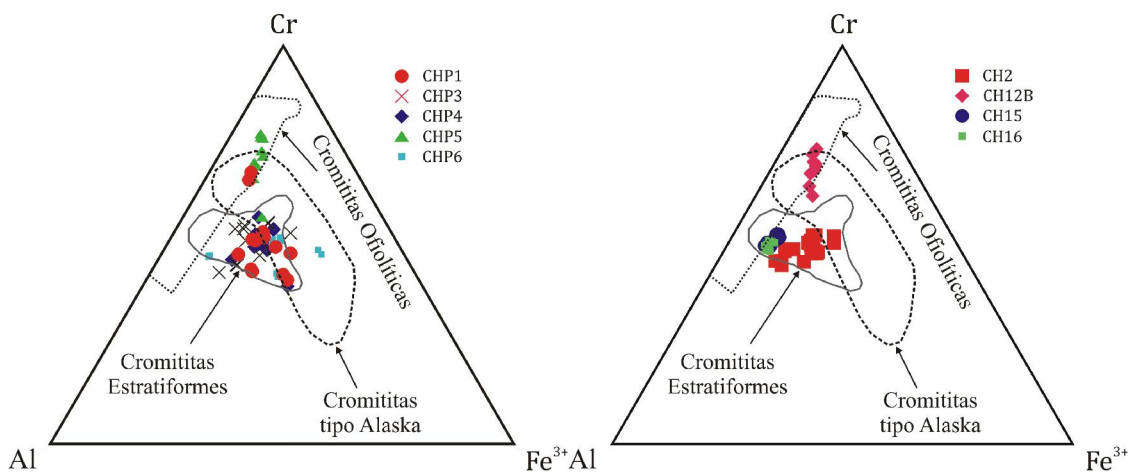


Fig. 5.23: Comparación de la composición de la cromita en los placeres fluviales y en las rocas ultramáficas para el diagrama ternario $(\text{Al}-\text{Fe}^{3+}-\text{Cr})$.

En todos los diagramas composicionales hemos observado que existían muchas similitudes. Todas las muestras se concentran en las mismas áreas, esto es debido a que la cromita presente en los placeres fluviales probablemente derive de las rocas ultramáficas que afloran al NW de la República Dominicana.

La roca ultramáfica probablemente corresponde a complejos tipo Alaska-Ural. Es poco probable, aunque se sitúen en los campos composicionales, que las rocas ultramáficas correspondan a un complejo tipo estratiforme, ya que la tectónica de formación de estos complejos no corresponde a la de la zona.

La presencia, en los placeres, de MGP dominados por Pt nativo es característico de complejos tipo Alaska (Garuti et al 2002), ya que si los granos de MGP hubieran contenido otros elementos, esta afirmación no se podría haber hecho.

6. EJEMPLO II: MGP EN CROMITITAS EN LATERITAS NIQUELÍFERAS

6.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO GEOLÓGICO

Nuestra zona de estudio se encuentra en Loma Peguera en la cordillera central de la República Dominicana en la parte central-sur del cuerpo de peridotitas de Loma Caribe. Es una región que históricamente ha explotado variedad de recursos y que actualmente están explotando las lateritas para la obtención de Ni.

A lo largo del margen norte de la Placa del Caribe existen numerosos macizos de rocas ultramáficas de afinidad ofiolítica (Lewis et al. 2006). Uno de estos macizos es el de Loma Caribe, en la Cordillera Central de la República Dominicana (Fig. 6.1a). El cuerpo de peridotitas tiene un ancho de 4-5 km y una extensión de 95 km, desde La Vega hasta Loma Sierra Prieta al norte de Santo Domingo, pero en la parte sureste sólo aflora como escamas finas limitadas por fallas (Lewis y Jiménez 1991, Lewis et al. 2006). Estas peridotitas han sido interpretadas por Lewis y Jiménez (1991) como representativas de un manto suboceánico, las cuales formarían parte de una asociación ofiolítica desmembrada tectónicamente.

Las peridotitas de Loma Caribe forman el núcleo de la denominada Faja Central de edad Mesozoica (Bowin 1966, Lewis y Draper 1990). Esta Faja incluye dos unidades metamorfizadas:

1. La Formación Maimón, predominantemente volcánica, de edad Cretácico Inferior, y con características de tholeiítas de arco de isla primitivo (Lewis et al. 2001, 2002).
2. El Complejo Duarte, Jurásico Superior-Cretácico Inferior, de afinidad E-MORB (enriched mid-ocean ridge basalts), con composiciones comparables con los basaltos de plateau oceánico relacionados con plumas del manto (Lewis et al. 2002).

Sobre las peridotitas de Loma Caribe, en la Cordillera Central de la República Dominicana, se han desarrollado extensas cortezas lateríticas ricas en Ni, las cuales han sido explotadas por *Falconbridge Dominicana* desde 1970.

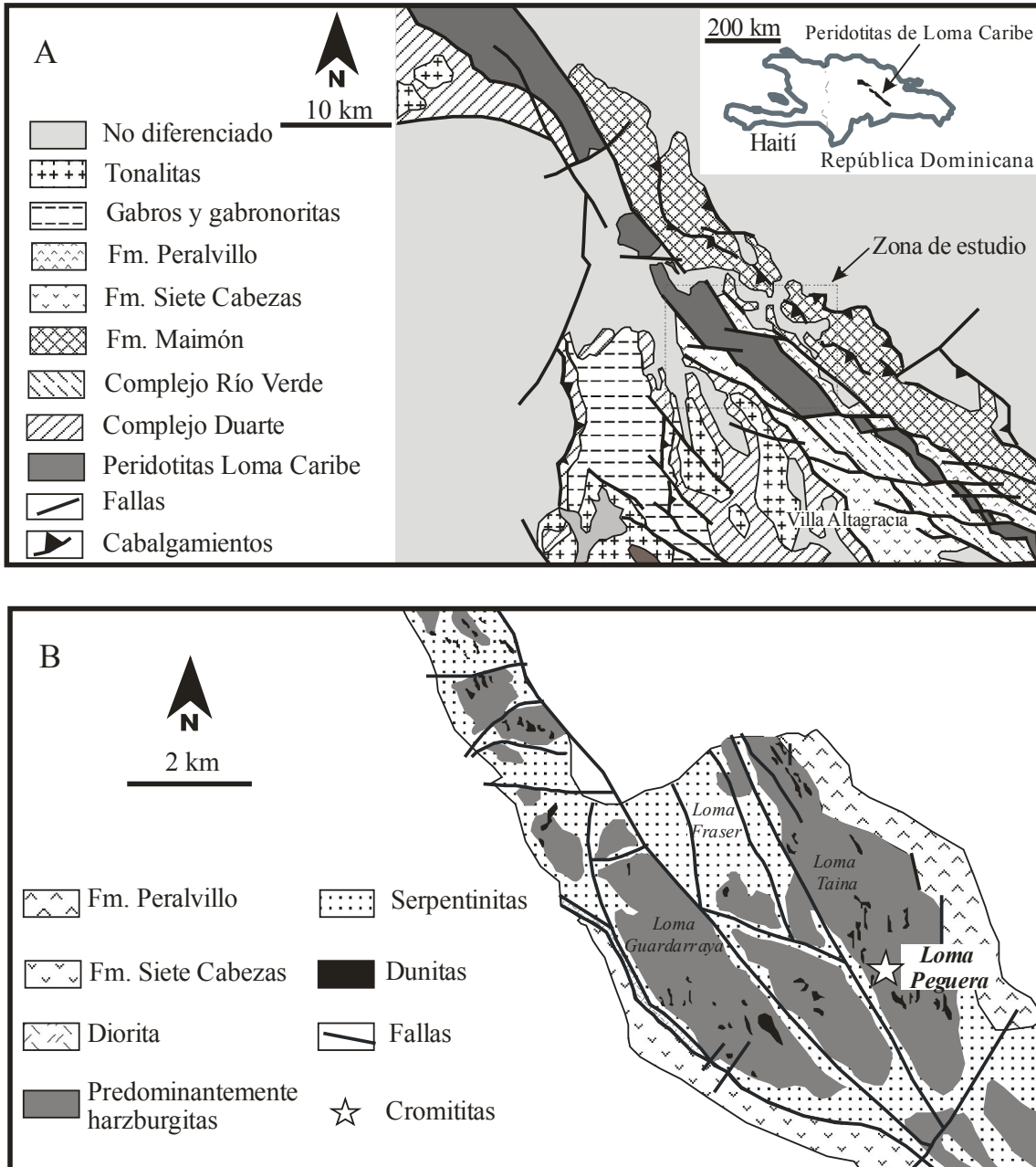


Fig. 6.1: a) Localización geográfica y mapa geológico simplificado de la parte central del cuerpo de peridotitas de Loma Caribe. b) Mapa geológico esquemático de la parte central-sur del cuerpo de peridotitas Loma Caribe, en el mismo se muestra la localización de Loma Peguera.

6.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS MGP Y DE LAS CROMITAS

Las cromititas están encajadas en cuerpos de peridotitas mantélicas. El cuerpo de cromititas es de tamaño pequeño y con textura masiva (Zaccarini et al 2009).

En nuestro estudio se ha analizado una muestra que se ha procesado mediante un superpanner para determinar si existen partículas de MGP. Nuestro objetivo es comparar los resultados obtenidos con este dispositivo con los resultados previos obtenidos por varios autores con la técnica de hidroseparación.

La muestra de cromitita está encajada en un horizonte saprolítico (Fig. 6.2). Este horizonte consiste en su mayor parte de fragmentos de serpetinita de 5 a 25 cm de diámetro en una matriz de minerales serpentina. Los fragmentos son amarillo pálido ocre o de color gris oscuro y con frecuencia muestran zonas concéntricas de alteración.

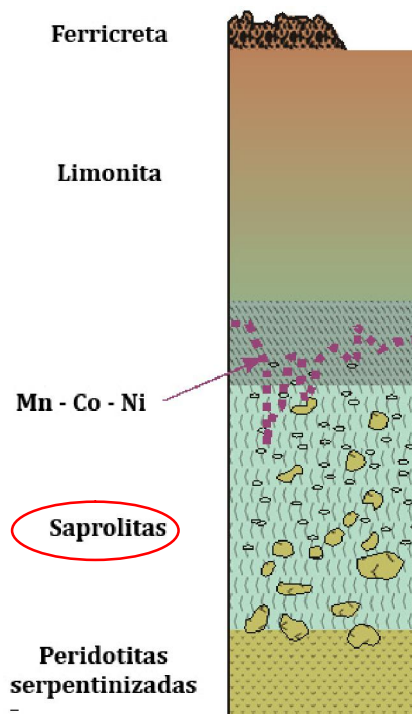


Fig. 6.2: Imagen que muestra el horizonte saprolítico desde el cual se han recogido las lateritas y donde se encuentran los minerales explotados actualmente.



Cromitita rica en EGP
(muestra LP6)

Fig. 6.3: Fotografía que muestra el lugar de obtención de la cromitita.

Los concentrados obtenidos con el superpanner del *SGS Lakefield Research Ltd.* Ontario, Canadá, fueron tomados en una probeta pulida y posteriormente analizados mediante un microscopio electrónico de barrido. Se observó la presencia de únicamente 3 MGP en las muestras LP1, LP2 y LP3 (figuras 6.4, 6.5 y 6.6).

El primer grano, de la muestra LP1 (Fig. 6.4), se trata de una cromita alotriomorfa que incluye una partícula de MGP de 5 μm , en concreto es una aleación de Ru-Os-Fe.

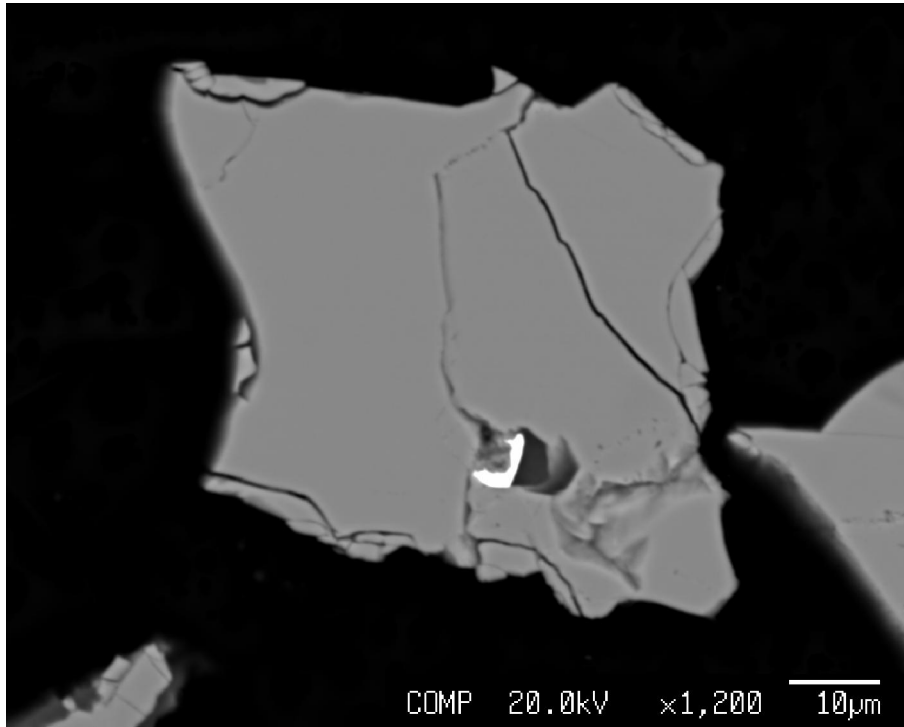


Fig. 6.4: Cristal de MGP en una cromita alotriomorfa

El segundo grano, de la muestra LP2 (Fig. 6.5), se trata de cristal grande de awarúita (Ni_3Fe), de $600\ \mu\text{m}$ de largo, rodeado por fragmentos de cromita de diversos tamaños y que incluye pequeños fragmentos de Ru nativo y pentlandita ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$).

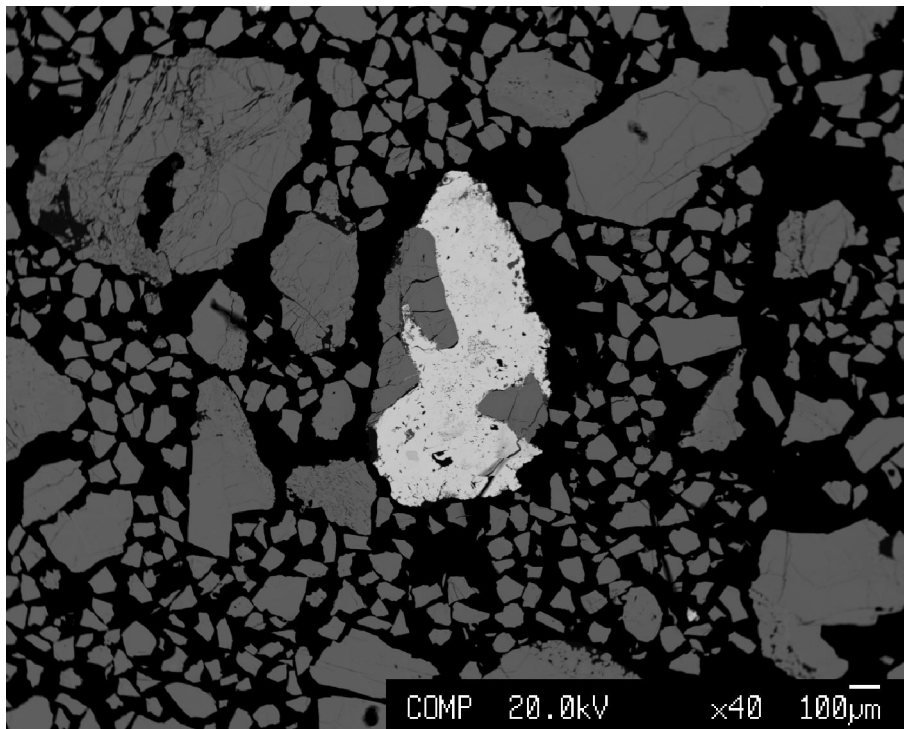


Fig. 6.5: Cristal de awarúita rodeado por granos de cromita subidiomorfos.

El tercer grano, de la muestra LP3 (Fig. 6.6), se trata de un cristal de awarúita que incluye un fragmento de Pt nativo, de 3 μm aproximadamente.

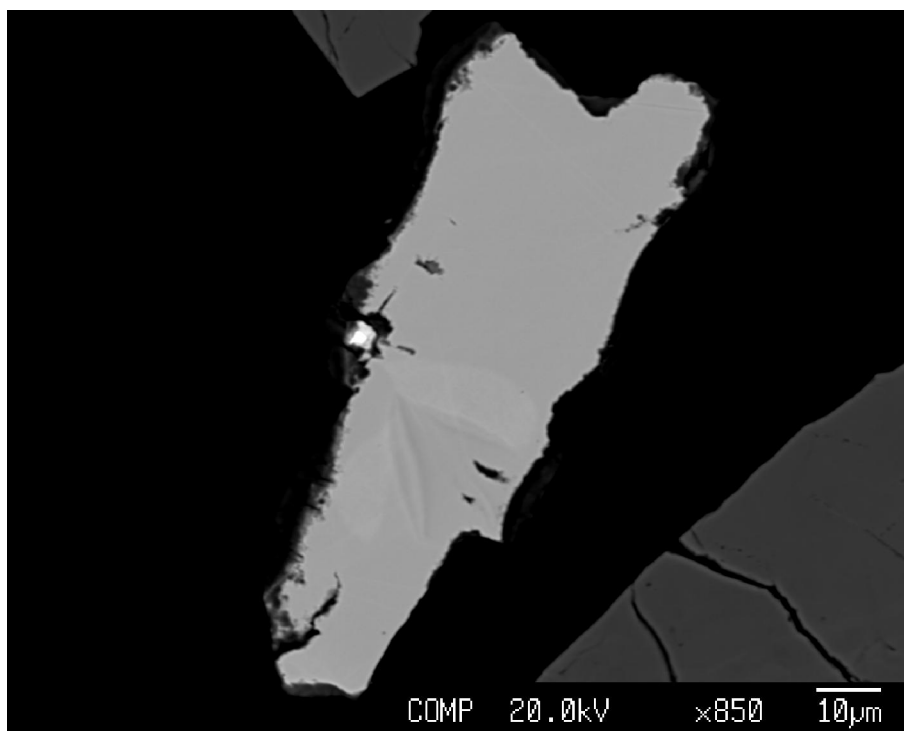


Fig. 6.6: Pt nativo incluido en un cristal de awarúita.

6.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL SUPERPANNER CON LOS DEL HIDROSEPARADOR

Según los resultados obtenidos con el superpanner hemos observado que el número de granos encontrados para la muestra de cromitita en lateritas niquelíferas es muy pequeño, esto es debido a que estos MGP tienen un tamaño de grano muy reducido (del orden de unidad de μm), esto provoca que al introducir el flujo de agua en el superpanner a parte de limpiar los fragmentos más ligeros, también elimina este tamaño de partícula por el mero hecho de su dimensión. Esta reducción en el tamaño de las partículas de MGP puede ser debido al proceso de trituración de las muestras.

Según los estudios llevados a cabo por Zaccarini et al (2009) en la misma zona de estudio obtuvieron unos resultados muy diferentes con la utilización del hidroseparador. En total obtuvieron más de 200 granos de MGP (Fig. 6.7), entre 20 y 120 μm de tamaño (Fig. 6.8). La mayoría de los MGP representaron nuevas especies minerales: (Ru,Os,Ir,Fe), (Ni,Ir,Fe,Ru), (Ir,Pt)(Fe,Ni), (Ru,Pt)(Fe,Ni), (Fe,Ni,Ru,Os,Co)₂S, y RhNiAs (Proenza et al 2008, Zaccarini et al 2009).

A través de las imágenes del microscopio electrónico de barrido se pudieron observar gran parte de estas nuevas especies minerales. Son MGP con mucha variedad en su composición (incluyen todos los elementos del grupo del platino) y con un tamaño de grano medianamente elevado (figuras 6.9 y 6.10).

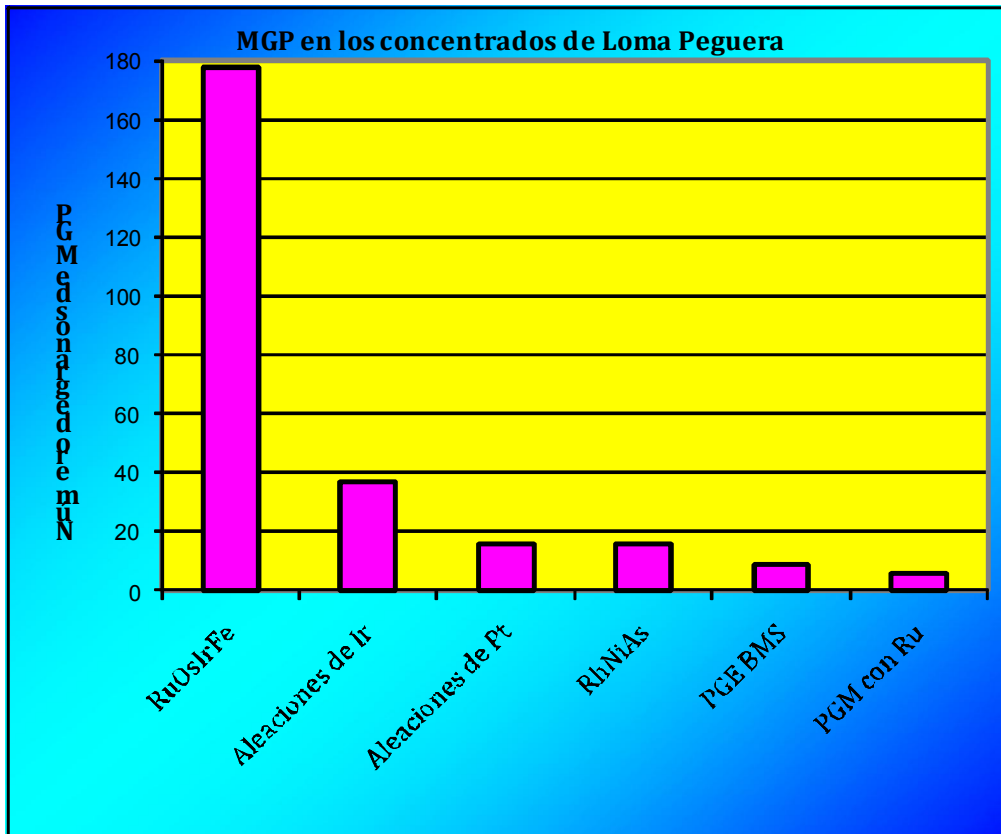


Fig. 6.7: Gráfico de barras que muestra el número de granos de MGP obtenidos con el hidroseparador y su especie mineral (Zaccarini et al 2009 – datos no publicados).

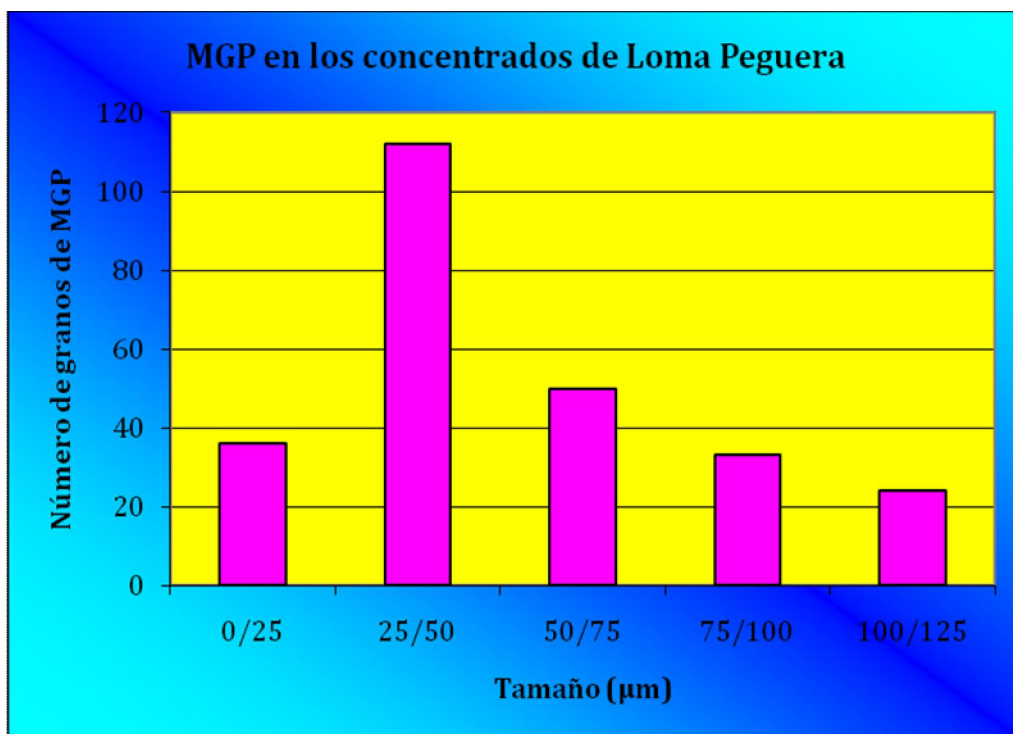


Fig. 6.8: Gráfico de barras que muestra el número de granos de MGP obtenidos con el hidroseparador y su tamaño (Zaccarini et al 2009 – datos no publicados).

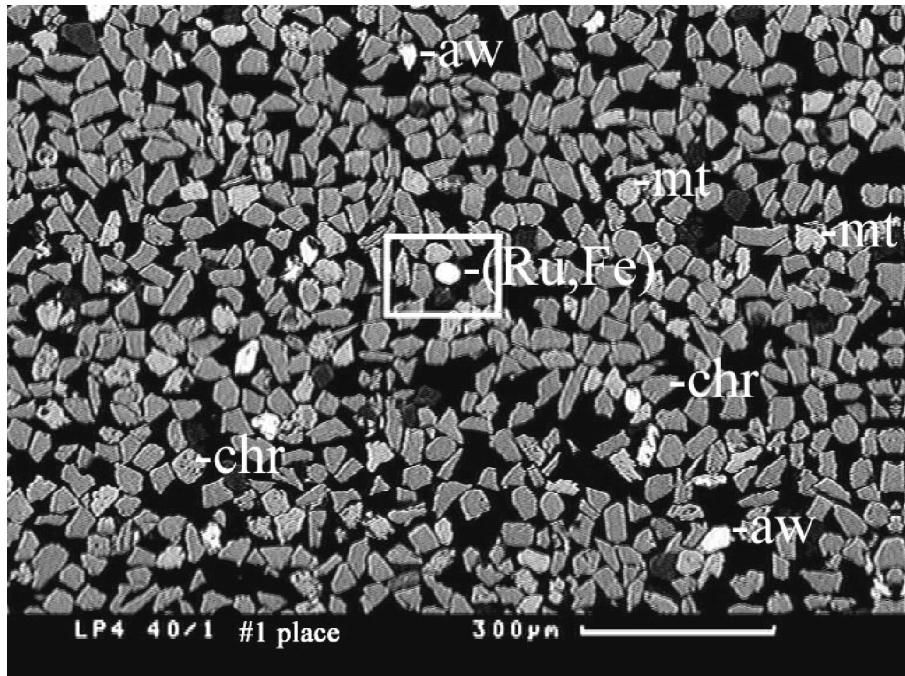


Fig. 6.9: Imagen de SEM de un grano de óxido de Ru-Fe de la muestra LP4 en una probeta pulida con cromita y awaruíta.

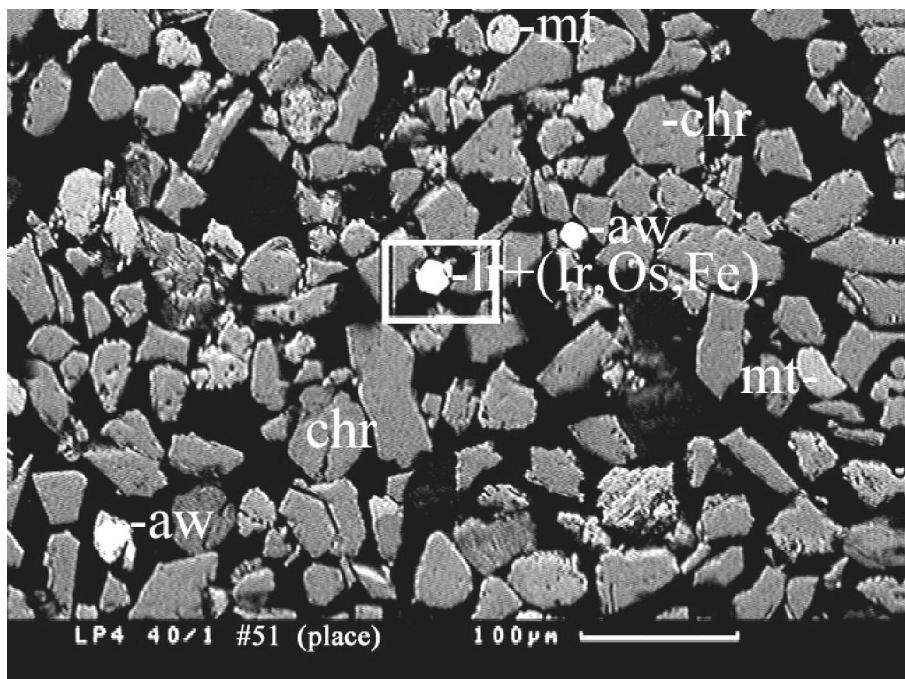


Fig. 6.10: Imagen de SEM de un grano de Laurita (RuS_2) con (Ir, Os, Fe) de la muestra LP4 en una probeta pulida con cromita y awaruíta.

7. CONCLUSIONES

En primer lugar, hemos podido comprobar que el superpanning y la EPD+HS son unas técnicas muy eficientes para la separación de MGP. El superpanning es una técnica que depende del contexto geológico en el que se encuentren las muestras. El dispositivo ha concentrado muy bien los MGP de los sedimentos fluviales de Loma Cabrera, debido a que previamente no se han triturado, en cambio, en las muestras de cromititas en lateritas níquelíferas, éstas han sido anteriormente trituradas para llevar a cabo el proceso y por lo tanto, al disminuir el tamaño de grano de los MGP, éstos han sido eliminados del dispositivo por el flujo de agua.

La combinación de las técnicas de EPD+HS da resultados muy buenos, ya que en las cromititas de Loma Peguera se han encontrado más de 200 granos minerales con un tamaño de grano entre 20 y 120 μm . Por lo que respecta al superpanner solamente ha podido concentrar un total de 3 granos, por lo que podemos afirmar que en muestras de roca este dispositivo no es recomendable. Un posible estudio futuro sería emplear la EPD en combinación con el superpanning para la concentración de MGP, ya que la EPD permite una separación de los granos minerales sin dañar la forma o el tamaño del cristal.

La existencia de MGP en placeres fluviales del NW de la República Dominicana representa la primera descripción de un depósito de estas características en toda la isla. No obstante, en las rocas ultramáficas no hemos podido encontrar ningún grano de MGP, esto se debe a que si el número de muestras recogida es muy bajo la probabilidad de obtener estos minerales es casi nula, aunque esto no quiere decir que estos cuerpos no contienen MGP.

Comparando las muestras obtenidas en los placeres fluviales con las recolectadas en los cuerpos de rocas ultramáficas, con la ayuda de los diagramas de composición química, hemos podido observar que tienen muchas similitudes. Por lo tanto, podemos afirmar que probablemente el área fuente de los sedimentos fluviales son los cuerpos de rocas ultramáficas.

Para finalizar, podemos afirmar, observando los diagramas de composición química, que las rocas ultramáficas probablemente correspondan a un complejo tipo Alaska-Ural. Esta es la primera descripción de este tipo de depósito en las Grandes Antillas, por lo que esta zona de La Española puede tener perspectivas, en un futuro, de explotación de EGP. En ningún caso correspondería a un complejo tipo estratiforme, ya que el contexto geológico de formación de la zona no concuerda con la de formación de estos complejos.

8. BIBLIOGRAFIA

- Barkov, A.Y. et al (2009) **Patterns of zonation in magnesiochromite-chromite from placers of British Columbia, Canada**, *The Canadian Mineralogist*, vol. 47, p. 953-968.
- Escuder Viruete, J. et al (2006) **Transpression and strain partitioning in the Caribbean Island-arc: Fabric development, kinematics and Ar-Ar ages of syntectonic emplacement of the Loma de Cabrera batholith, Dominican Republic**, *Journal of Structural Geology*, vol. 28, p. 1496-1519.
- Garuti, G. et al (2002) **Composition and paragenesis of Pt alloys from chromitites of the Uralian Alaskan type Kitlim and Uktus complexes, northern and central Urals, Russia**. *The Canadian Mineralogist*, vol. 40, p. 1127-1146.
- Garuti, G. et al (2003) **Chromite composition and platinum-group mineral assemblage in the Uktus Uralian-Alaskan-type complex (Central Urals, Russia)**, *Mineralium Deposita*, vol. 38, p. 312-326.
- Helmy et al (2003) **Gabbro Akarem mafic-ultramafic complex, Eastern Desert, Egypt: a Late Precambrian analogue of Alaskan-type complexes**, *Mineralogy and Petrology*, vol. 77, p. 85-108.
- Himmelberg, G. R. et al (1995) **Characteristics and Petrogenesis of Alaskan-Type Ultramafic-Mafic Intrusions, Southeastern Alaska**, *U.S. Geological Survey*. Paper 1564.
- Kapsiotis, A. et al (2006) **Platinum-group mineral characterization in concentrates from low-grade PGE chromitites from the Vourinos ophiolite complex, northern Greece**, *Applied Earth Science: IMM Transactions section B*, vol. 115, no. 2, p. 49-57.

- Kapsiotis, A. et al (2010) **Platinum-Group Mineral Characterization in Concentrates from high-grade PGE Al-rich Chromitites of Korydallos Area in the Pindos Ophiolite Complex (NW Greece)**, *Resource Geology*, vol.60, no. 2, p. 178-191.
- Kelly, E. G. and D. J. Spottiswood (1990) **Introducción al procesamiento de minerales**, México D.F., Limusa, 530 p.
- Lewis, J.F. et al (1990) **Geological and tectonic evolution of the northern Caribbean margin**, *Decade of North American Geology, Volume H: The Caribbean*, Geological Society of America, Boulder, Colorado, 77-140.
- Lewis, J.F. et al (1991) **Duarte Complex in the La Vega-Janico area, central Hispaniola: geological and geochemical features of the sea floor during early stages of arc evolution**. *Geological Society of America Special Paper 262*, p. 115-141.
- Lewis, J.F. et al (2000) **The occurrence of volcanogenic massive sulphide deposits in the Maimón Formation, Dominican Republic: The Cerro de Maimón, Loma Pesada and Loma Barbuito deposits**. In R. Sherlock, R. Barsch, A. Logan (eds.), *VMS deposits of Latin America. Geol. Soc. Canada Special Publication*, p. 223-249.
- Lewis, J.F. et al (2002) **Subdivisión geoquímica del arco de Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico**. *Acta Geologica Hispanica*, vol. 37, p. 81-122.
- Lewis, J.F. et al (2005) **New petrological and geochemical constraints on the origin of Loma Caribe Peridotite (Dominican Republic)**. Abstracts Volume of the *17th Caribbean Geological Conference*, Puerto Rico. 47-48.
- Lewis, J.F. et al (2006) **Ophiolite-related ultramafic rocks (serpentinites) in the Caribbean region: a review of their occurrence, composition, origin, emplacement and nickel laterite soils**. *Geologica Acta* vol. 4, 237-263.

- Melgarejo, J. C. et al (2010) **Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera**, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 62, no. 1, p. 1-23.
- Nixon, B. T. (1998) **Ni-Cu sulfide mineralization in the Turnagain Alaskan-type complex: a unique magmatic environment**, *British Columbia Geological Survey*, 14p.
- Proenza, J. A. et al (1998) **Las cromititas ofiolíticas del yacimiento Mercedita (Cuba). Un ejemplo de cromititas ricas en Al en la zona de transición manto-corteza**, *Acta Geológica Hispánica*, vol. 33, no. 1-4, p. 179-212.
- Proenza, J. A. et al (2007) **Chromian spinel composition and the platinum-group minerals of the pge-rich Loma Peguera chromitites, Loma Caribe peridotite, Dominican Republic**, *The Canadian Mineralogist*, vol. 45, p. 631-648.
- Rudashevsky, N. S. et al (1995) **Liberation of accessory minerals from various rocks types by electric-pulse disintegration - method and application**, *Applied Earth Science: IMM Transactions section C*, vol. 104, p. 25-29.
- Rudashevsky, N. S. et al (2002) **Separation of accessory minerals from rocks and ores by hydroseseparation (HS) technology: method and application to CHR-2 chromitite, Niquelândia intrusion, Brazil**, *Applied Earth Science: IMM Transactions section B*, vol. 111, no. 1, p. 87-94.
- Traoré, D. et al (2008) **Chemical and physical transfers in an ultramafic rock weathering profile: Part 1. Supergene dissolution of Pt-bearing chromite**. *American Mineralogist*, vol. 93, p. 22-30.
- Uysal, I., et al (2009) **Occurrence of rare Ru-Fe-Os-Ir oxide and associated Platinum Group Minerals (PGM) in the chromitite of Mugla ophiolite, SW-Turkey**, *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen*, vol. 185, no. 3, p. 323-333.

- Wills, B. A. (1994) **Tecnología de procesamiento de minerales**, Limusa, 568 p.
- Xiao, Z. et al (2004) **Characterizing and recovering the platinum group minerals—a review**, *Minerals Engineering*, vol. 17, p. 961-979.
- Zaccarini, F. et al (2009) **The Loma Peguera ophiolitic chromitite (Central Dominican Republic): a source of new platinum group minerals (PGM) specie** , *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen*, vol. 185, no. 3, p. 335-349.
- Zhou, J. et al (2006) **Establishing the process mineralogy of gold ores**, *CIM Magazine*, vol. 1, no. 2, p. Paper 14.

9. ANEXO

9.1. DATOS OBTENIDOS MEDIANTE MICROSONDA ELECTRÓNICA DE LAS MUESTRAS DE CROMITITAS DE LOS PLACERES FLUVIALES

En las siguientes tablas se muestra la composición química de la cromita en los placeres fluviales.

9.1.1. MUESTRA CHP1

Tabla 9.1.1.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	NiO
CHP1-1	0,082	0,575	15,482	39,039	27,753	14,991	0,416	4,861	0,070
CHP1-2	0,020	0,997	14,261	31,862	29,873	22,817	0,331	3,724	0,112
CHP1-3	0,025	1,067	14,158	30,744	29,523	23,891	0,251	3,822	0,281
CHP1-4	0,008	0,721	15,631	38,746	28,219	14,324	0,353	4,542	0,014
CHP1-5	0,000	0,184	14,093	40,636	26,710	15,404	0,412	5,013	0,096
CHP1-6	0,000	0,588	17,761	33,474	28,154	17,214	0,421	4,681	0,000
CHP1-7	0,023	0,608	17,758	33,037	28,483	17,423	0,409	4,455	0,107
CHP1-8	0,034	0,727	18,475	36,705	27,365	13,545	0,342	5,478	0,091
CHP1-9	0,042	0,727	12,057	35,393	28,826	21,732	0,410	3,710	0,216
CHP1-10	0,071	0,712	12,025	49,431	25,746	7,725	0,408	5,630	0,096
CHP1-11	0,000	0,641	11,311	50,959	25,921	7,180	0,352	5,511	0,134
CHP1-12	0,046	0,891	14,109	38,934	28,272	16,030	0,384	4,518	0,243
CHP1-13	0,020	0,871	13,352	36,684	28,644	18,645	0,359	4,052	0,098

Tabla 9.1.1.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ni	Zn
CHP1-1	1,008	0,014	0,596	0,368	0,758	0,012	0,237	0,002	0,007
CHP1-2	0,830	0,025	0,554	0,566	0,824	0,009	0,183	0,003	0,006
CHP1-3	0,802	0,026	0,551	0,594	0,815	0,007	0,188	0,007	0,009
CHP1-4	1,006	0,018	0,605	0,354	0,775	0,010	0,222	0,000	0,011
CHP1-5	1,060	0,005	0,548	0,383	0,737	0,012	0,247	0,003	0,007
CHP1-6	0,864	0,014	0,684	0,423	0,769	0,012	0,228	0,000	0,006
CHP1-7	0,855	0,015	0,686	0,429	0,780	0,011	0,217	0,003	0,003
CHP1-8	0,935	0,018	0,702	0,328	0,737	0,009	0,263	0,002	0,006
CHP1-9	0,938	0,018	0,477	0,548	0,808	0,012	0,185	0,006	0,007
CHP1-10	1,300	0,018	0,471	0,193	0,716	0,011	0,279	0,003	0,009
CHP1-11	1,343	0,016	0,445	0,180	0,723	0,010	0,274	0,004	0,006
CHP1-12	1,012	0,022	0,547	0,397	0,778	0,011	0,221	0,006	0,006
CHP1-13	0,965	0,022	0,524	0,467	0,797	0,010	0,201	0,003	0,011

9.1.2. MUESTRA CHP3

Tabla 9.1.2.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	NiO
CHP3-1	0,050	0,574	18,999	34,778	25,554	12,497	0,405	5,649	0,083
CHP3-2	0,118	0,209	14,455	36,202	26,693	17,654	0,477	4,551	0,028
CHP3-3	0,018	0,396	12,127	39,133	27,187	16,305	0,495	3,947	0,000
CHP3-4	0,093	0,846	14,371	38,359	28,520	13,598	0,529	3,543	0,034
CHP3-5	0,039	0,338	12,263	39,671	27,506	16,219	0,508	3,807	0,092
CHP3-6	0,134	0,936	14,336	37,365	27,462	14,768	0,531	4,224	0,223
CHP3-7	0,085	0,493	14,594	37,212	30,178	23,304	0,400	4,565	0,127
CHP3-8	0,000	0,375	15,670	36,821	26,946	15,727	0,327	5,021	0,012
CHP3-9	0,032	0,365	15,151	36,628	26,140	15,053	0,793	2,475	0,253
CHP3-10	0,106	0,478	12,971	41,642	29,540	15,182	0,498	3,916	0,173

Tabla 9.1.2.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ni	Zn
CHP3-1	0,914	0,014	0,745	0,313	0,710	0,011	0,280	0,002	0,010
CHP3-2	0,966	0,005	0,575	0,448	0,753	0,014	0,229	0,001	0,009
CHP3-3	1,065	0,010	0,492	0,422	0,783	0,014	0,202	0,000	0,011
CHP3-4	1,032	0,022	0,577	0,348	0,812	0,015	0,180	0,001	0,014
CHP3-5	1,072	0,009	0,494	0,417	0,786	0,015	0,194	0,003	0,012
CHP3-6	1,002	0,024	0,573	0,377	0,779	0,015	0,214	0,006	0,010
CHP3-7	0,756	0,046	0,554	0,598	0,861	0,010	0,163	0,006	0,007
CHP3-8	0,994	0,013	0,581	0,400	0,761	0,011	0,230	0,003	0,006
CHP3-9	0,979	0,009	0,621	0,381	0,735	0,009	0,252	0,000	0,013
CHP3-10	0,985	0,009	0,608	0,389	0,840	0,023	0,125	0,007	0,014

9.1.3. MUESTRA CHP4

Tabla 9.1.3.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	NiO
CHP4-1	0,008	0,287	16,336	38,381	0,328	0,696	0,396	5,810	0,105
CHP4-2	0,016	0,265	14,067	38,587	0,393	0,743	0,369	4,829	0,054
CHP4-3	0,000	0,265	13,932	38,759	0,391	0,733	0,447	4,946	0,054
CHP4-4	0,000	0,349	18,982	34,075	0,354	0,705	0,362	5,801	0,157
CHP4-5	0,022	0,414	19,023	33,840	0,349	0,736	0,330	5,102	0,241
CHP4-6	0,018	0,297	12,381	40,712	0,384	0,735	0,310	5,016	0,090
CHP4-7	0,008	0,270	12,688	41,216	0,381	0,731	0,323	5,108	0,050
CHP4-8	0,023	0,645	10,469	38,228	0,502	0,808	0,436	3,652	0,104
CHP4-9	0,000	0,352	15,545	35,107	0,426	0,752	0,411	4,620	0,108
CHP4-10	0,000	0,262	15,826	40,626	0,289	0,711	0,412	5,464	0,086
CHP4-11	0,000	0,316	15,378	40,805	0,288	0,707	0,371	5,552	0,066
CHP4-12	0,000	0,522	16,889	40,838	0,251	0,675	0,285	6,380	0,135
CHP4-13	0,000	0,355	21,538	32,849	0,295	0,729	0,327	5,101	0,121

Tabla 9.1.3.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ni	Zn
CHP4-1	1,014	0,007	0,644	0,328	0,696	0,011	0,289	0,003	0,008
CHP4-2	1,032	0,007	0,561	0,393	0,743	0,011	0,244	0,001	0,008
CHP4-3	1,039	0,007	0,557	0,391	0,733	0,013	0,250	0,001	0,010
CHP4-4	0,890	0,009	0,739	0,354	0,705	0,010	0,285	0,004	0,004
CHP4-5	0,887	0,010	0,744	0,349	0,736	0,009	0,252	0,006	0,006
CHP4-6	1,102	0,008	0,500	0,384	0,735	0,009	0,256	0,002	0,005
CHP4-7	1,100	0,007	0,505	0,381	0,731	0,009	0,257	0,001	0,008
CHP4-8	1,040	0,017	0,425	0,502	0,808	0,013	0,187	0,003	0,006
CHP4-9	0,938	0,009	0,619	0,426	0,752	0,012	0,233	0,003	0,009
CHP4-10	1,074	0,007	0,624	0,289	0,711	0,012	0,272	0,002	0,010
CHP4-11	1,086	0,008	0,610	0,288	0,707	0,011	0,279	0,002	0,010
CHP4-12	1,066	0,013	0,657	0,251	0,675	0,008	0,314	0,004	0,013
CHP4-13	0,853	0,009	0,834	0,295	0,729	0,009	0,250	0,003	0,018

9.1.4. MUESTRA CHP5

Tabla 9.1.4.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	NiO
CHP5-1	0,030	0,551	12,889	41,466	26,161	13,287	0,377	4,850	0,183
CHP5-2	0,000	0,382	11,270	48,499	25,968	8,095	0,398	4,774	0,042
CHP5-3	0,009	0,286	10,094	50,185	25,471	7,326	0,352	4,824	0,056
CHP5-4	0,015	0,290	8,634	53,218	26,147	6,843	0,253	4,599	0,026
CHP5-5	0,132	0,285	8,916	52,422	25,923	7,492	0,174	4,724	0,126
CHP5-6	0,015	0,210	7,910	55,549	25,672	5,316	0,281	4,679	0,142
CHP5-7	0,053	0,256	7,737	56,293	25,662	5,035	0,341	4,794	0,082
CHP5-8	0,018	0,178	7,771	55,630	26,979	5,867	0,359	4,005	0,094
CHP5-9	0,032	0,807	10,253	51,198	20,933	7,412	0,314	8,103	0,289
CHP5-10	0,000	0,766	10,276	51,420	20,975	6,786	0,188	8,110	0,273

Tabla 9.1.4.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ni	Zn
CHP5-1	1,115	0,014	0,517	0,340	0,744	0,011	0,246	0,005	0,008
CHP5-2	1,315	0,010	0,456	0,209	0,745	0,012	0,244	0,001	0,008
CHP5-3	1,380	0,007	0,414	0,192	0,741	0,010	0,250	0,002	0,005
CHP5-4	1,455	0,008	0,352	0,178	0,756	0,007	0,237	0,001	0,006
CHP5-5	1,429	0,007	0,362	0,194	0,747	0,005	0,243	0,003	0,009
CHP5-6	1,526	0,005	0,324	0,139	0,746	0,008	0,242	0,004	0,005
CHP5-7	1,540	0,007	0,316	0,131	0,743	0,010	0,247	0,002	0,005
CHP5-8	1,521	0,005	0,317	0,153	0,780	0,011	0,206	0,003	0,005
CHP5-9	1,364	0,020	0,407	0,188	0,590	0,009	0,407	0,008	0,007
CHP5-10	1,377	0,020	0,411	0,173	0,594	0,005	0,410	0,007	0,003

9.1.5. MUESTRA CHP6

Tabla 9.1.5.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	NiO
CHP6-1	0,121	0,159	22,373	36,812	24,810	8,633	0,363	6,612	0,002
CHP6-2	0,050	0,154	22,084	37,110	24,974	8,734	0,237	6,512	0,020
CHP6-3	0,042	0,611	13,370	38,657	27,672	17,605	0,315	4,705	0,163
CHP6-4	0,054	0,594	13,283	37,805	26,905	17,406	0,333	4,770	0,136
CHP6-5	0,077	0,829	12,199	37,645	29,796	18,715	0,489	3,135	0,126
CHP6-6	0,095	0,856	12,061	38,049	29,825	18,346	0,460	3,130	0,130
CHP6-7	0,001	1,775	14,511	30,861	30,532	20,854	0,402	3,267	0,230
CHP6-8	0,094	1,815	14,447	30,242	30,728	21,373	0,232	3,205	0,391
CHP6-9	0,053	0,669	8,624	34,702	30,262	26,497	0,560	2,392	0,233
CHP6-10	0,000	0,666	8,560	35,272	30,277	25,492	0,706	2,290	0,076

Tabla 9.1.5.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ni	Zn
CHP6-1	0,936	0,004	0,848	0,209	0,667	0,010	0,317	0,000	0,010
CHP6-2	0,944	0,004	0,837	0,211	0,672	0,006	0,312	0,001	0,013
CHP6-3	1,010	0,015	0,521	0,438	0,765	0,009	0,232	0,004	0,005
CHP6-4	1,004	0,015	0,526	0,440	0,756	0,009	0,239	0,004	0,007
CHP6-5	1,001	0,021	0,484	0,474	0,838	0,014	0,157	0,003	0,009
CHP6-6	1,013	0,022	0,479	0,465	0,840	0,013	0,157	0,004	0,008
CHP6-7	0,815	0,045	0,572	0,524	0,853	0,011	0,163	0,006	0,011
CHP6-8	0,800	0,046	0,570	0,538	0,860	0,007	0,160	0,011	0,009
CHP6-9	0,937	0,017	0,347	0,681	0,865	0,016	0,122	0,006	0,008
CHP6-10	0,959	0,017	0,347	0,660	0,871	0,021	0,117	0,002	0,006

9.2. DATOS OBTENIDOS MEDIANTE MICROSONDA ELECTRÓNICA DE LAS MUESTRAS DE CROMITITAS DE LOS CUERPOS DE ROCAS ULTRAMÁFICAS

En las siguientes tablas se muestra la composición química de la cromita en los placeres fluviales.

9.2.1. Muestra CH2

Tabla 9.2.1.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO
CH-2-chr1-1	0,030	0,420	13,020	36,700	17,560	26,530	0,530	4,410	0,200
CH-2-chr1-2	0,040	0,420	12,840	37,300	17,420	26,360	0,460	4,590	0,230
CH-2-chr1-3	0,030	0,410	12,610	37,940	17,030	26,440	0,430	4,590	0,140
CH-2-chr2-1	0,030	0,430	15,870	37,200	14,060	24,910	0,430	5,830	0,100
CH-2-chr2-2	0,070	0,400	15,670	37,990	13,820	25,060	0,420	5,850	0,110
CH-2-chr1-1	0,040	0,380	16,290	38,070	13,730	24,740	0,470	6,150	0,100
CH-2-chr1-2	0,020	0,370	15,770	37,940	13,920	24,710	0,430	5,990	0,110
CH-2-chr1-3	0,050	0,370	15,170	38,960	13,480	24,980	0,340	5,840	0,100
CH-2-chr1-4	0,040	0,370	14,770	38,850	14,050	25,010	0,420	5,730	0,120
CH-2-chr1-5	0,020	0,400	15,920	36,890	15,210	24,910	0,470	6,030	0,100
CH-2-chr3-1	0,010	0,400	17,890	34,540	14,920	24,130	0,520	6,510	0,090
CH-2-chr3-2	0,040	0,410	16,130	36,700	14,980	25,220	0,400	5,900	0,070
CH-2-chr3-3	0,080	0,450	16,010	36,330	14,940	24,940	0,350	6,030	0,140
CH-2-chr3-4	0,030	0,440	16,270	36,310	14,820	25,090	0,460	5,830	0,060
CH-2-chr3-5	0,000	0,460	16,300	35,870	15,400	24,930	0,420	6,000	0,110
CH-2-chr4-1	0,010	0,160	21,140	34,720	11,630	24,040	0,490	6,810	0,120
CH-2-chr4-2	0,030	0,210	18,630	37,490	12,050	24,650	0,440	6,410	0,080
CH-2-chr4-3	0,040	0,160	19,420	37,700	10,870	24,400	0,510	6,500	0,130
CH-2-chr4-4	0,110	0,130	19,860	37,400	10,800	24,460	0,400	6,690	0,100
CH-2-chr4-5	0,020	0,140	21,600	35,740	10,130	23,740	0,360	7,130	0,080
CH-2-chr5-1	0,050	0,510	15,990	35,950	15,830	24,800	0,470	6,120	0,050
CH-2-chr5-2	0,060	0,500	15,770	36,080	15,800	25,130	0,440	5,880	0,160
CH-2-chr5-3	0,070	0,550	15,650	35,830	16,140	25,180	0,450	5,940	0,080
CH-2-chr5-4	0,070	0,490	15,810	35,720	16,140	25,160	0,410	5,950	0,170
CH-2-chr5-5	0,030	0,540	15,700	35,760	16,150	24,900	0,410	6,010	0,120

Tabla 9.2.1.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg	Ni	Zn
CH-2-chr1-1	0,993	0,011	0,525	0,452	0,759	0,015	0,225	0,005	0,007
CH-2-chr1-2	1,007	0,011	0,516	0,447	0,753	0,013	0,233	0,006	0,006
CH-2-chr1-3	1,025	0,011	0,508	0,438	0,756	0,012	0,234	0,004	0,006
CH-2-chr2-1	0,986	0,011	0,627	0,355	0,699	0,012	0,292	0,003	0,006
CH-2-chr2-2	1,003	0,010	0,617	0,348	0,700	0,012	0,291	0,003	0,006
CH-2-chr1-1	0,995	0,009	0,635	0,342	0,684	0,013	0,303	0,003	0,007
CH-2-chr1-2	1,002	0,009	0,621	0,350	0,690	0,012	0,298	0,003	0,006
CH-2-chr1-3	1,031	0,009	0,598	0,339	0,699	0,010	0,291	0,003	0,008
CH-2-chr1-4	1,032	0,009	0,585	0,355	0,703	0,012	0,287	0,003	0,006
CH-2-chr1-5	0,968	0,010	0,623	0,380	0,691	0,013	0,298	0,003	0,005
CH-2-chr3-1	0,901	0,010	0,696	0,371	0,666	0,014	0,320	0,002	0,007
CH-2-chr3-2	0,963	0,010	0,631	0,374	0,700	0,011	0,292	0,002	0,006
CH-2-chr3-3	0,958	0,011	0,629	0,375	0,696	0,010	0,300	0,004	0,005
CH-2-chr3-4	0,957	0,011	0,640	0,372	0,700	0,013	0,290	0,002	0,008
CH-2-chr3-5	0,944	0,012	0,640	0,386	0,694	0,012	0,298	0,003	0,005
CH-2-chr4-1	0,891	0,004	0,809	0,284	0,653	0,014	0,329	0,003	0,005
CH-2-chr4-2	0,967	0,005	0,716	0,296	0,672	0,012	0,312	0,002	0,008
CH-2-chr4-3	0,971	0,004	0,746	0,267	0,665	0,014	0,316	0,003	0,007
CH-2-chr4-4	0,959	0,003	0,759	0,264	0,664	0,011	0,324	0,003	0,006
CH-2-chr4-5	0,915	0,003	0,825	0,247	0,643	0,010	0,344	0,002	0,005
CH-2-chr5-1	0,944	0,013	0,626	0,396	0,689	0,013	0,303	0,001	0,008
CH-2-chr5-2	0,950	0,012	0,619	0,396	0,700	0,012	0,292	0,004	0,007
CH-2-chr5-3	0,942	0,014	0,613	0,404	0,700	0,013	0,294	0,002	0,006
CH-2-chr5-4	0,939	0,012	0,619	0,404	0,700	0,011	0,295	0,005	0,004
CH-2-chr5-5	0,942	0,013	0,616	0,405	0,694	0,012	0,299	0,003	0,007

9.2.2. Muestra CH12B

Tabla 9.2.2.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO
CH-12B-Chr1-1	0,010	0,590	12,370	45,530	9,540	25,650	0,370	5,270	0,000
CH-12B-Chr1-2	0,050	0,410	12,340	47,670	8,050	25,120	0,360	5,580	0,050
CH-12B-Chr1-3	0,320	0,240	9,580	52,070	5,430	25,530	0,340	5,080	0,020
CH-12B-Chr1-4	0,110	0,190	9,040	53,430	5,640	25,230	0,300	5,120	0,000
CH-12B-Chr1-5	0,020	0,270	10,140	50,430	7,070	25,740	0,500	4,710	0,070
CH-12B-Chr2-1	0,030	0,330	11,370	49,740	6,990	25,450	0,440	5,180	0,020
CH-12B-Chr2-2	0,030	0,260	10,690	50,370	7,320	25,410	0,400	5,100	0,170
CH-12B-Chr2-3	0,040	0,190	10,040	51,200	6,640	25,490	0,400	4,900	0,030
CH-12B-Chr2-4	0,020	0,240	10,160	51,670	6,360	25,650	0,390	4,920	0,090
CH-12B-Chr2-5	0,030	0,230	10,110	51,170	6,970	25,500	0,440	4,910	0,090

Tabla 9.2.2.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg	Ni	Zn
CH-12B-Chr1-1	1,226	0,015	0,497	0,244	0,730	0,011	0,267	0,000	0,007
CH-12B-Chr1-2	1,275	0,010	0,492	0,205	0,711	0,010	0,282	0,001	0,008
CH-12B-Chr1-3	1,429	0,006	0,392	0,142	0,741	0,010	0,263	0,000	0,003
CH-12B-Chr1-4	1,463	0,005	0,369	0,147	0,731	0,009	0,264	0,000	0,005
CH-12B-Chr1-5	1,382	0,007	0,414	0,184	0,746	0,015	0,243	0,002	0,002
CH-12B-Chr2-1	1,341	0,009	0,457	0,179	0,726	0,013	0,263	0,001	0,007
CH-12B-Chr2-2	1,362	0,007	0,431	0,188	0,727	0,011	0,260	0,005	0,005
CH-12B-Chr2-3	1,402	0,005	0,410	0,173	0,738	0,012	0,253	0,001	0,003
CH-12B-Chr2-4	1,405	0,006	0,412	0,165	0,738	0,011	0,252	0,003	0,003
CH-12B-Chr2-5	1,393	0,006	0,410	0,180	0,734	0,013	0,252	0,003	0,006

9.2.3. Muestra CH15

Tabla 9.2.3.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO
CH-15-1	0,050	0,560	21,540	37,920	6,540	25,780	0,510	5,790	0,090
CH-15-Chr1_1	0,020	0,470	20,990	38,680	7,430	26,300	0,540	5,570	0,120
CH-15-Chr1_2	0,060	0,510	21,480	37,840	7,120	25,780	0,550	5,820	0,080
CH-15-Chr1_3	0,030	0,520	20,990	37,970	7,490	25,780	0,640	5,690	0,070
CH-15-Chr2_1	0,030	0,540	21,130	37,830	7,670	25,790	0,470	5,840	0,120
CH-15-Chr2_2	0,010	0,550	20,700	37,850	7,570	25,370	0,500	5,820	0,070
CH-15-Chr2_3	0,010	0,510	20,630	38,210	7,440	25,740	0,500	5,690	0,090
CH-15-Chr1_1	0,050	0,550	18,920	39,530	7,570	26,640	0,550	4,920	0,080
CH-15-Chr1_2	0,020	0,580	20,170	38,670	7,470	25,940	0,540	5,550	0,120
CH-15-Chr1_3	0,070	0,600	20,980	38,580	7,030	25,990	0,470	5,850	0,180
CH-15-Chr1_4	0,070	0,610	21,090	38,500	6,570	25,950	0,490	5,790	0,090
CH-15-Chr1_5	0,050	0,540	21,150	38,350	6,890	26,850	0,590	5,180	0,060
CH-15-Chr5-1	0,030	0,740	19,300	38,970	8,280	25,410	0,430	5,980	0,210
CH-15-Chr5-2	0,050	0,800	19,190	39,680	7,360	25,330	0,500	6,140	0,080
CH-15-Chr5-3	0,060	0,800	19,090	39,110	8,340	24,890	0,470	6,310	0,220
CH-15-Chr5-4	0,050	0,790	19,640	38,470	7,830	25,700	0,490	5,880	0,150
CH-15-Chr5-5	0,020	0,760	19,190	39,140	8,230	25,070	0,380	6,340	0,090

Tabla 9.2.3.2

Muestras	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg	Ni	Zn
CH-15-1	0,975	0,014	0,825	0,160	0,701	0,014	0,281	0,002	0,017
CH-15-Chr1_1	0,988	0,011	0,799	0,181	0,711	0,015	0,268	0,003	0,015
CH-15-Chr1_2	0,969	0,012	0,820	0,174	0,698	0,015	0,281	0,002	0,018
CH-15-Chr1_3	0,976	0,013	0,805	0,183	0,701	0,018	0,276	0,002	0,017
CH-15-Chr2_1	0,970	0,013	0,808	0,187	0,699	0,013	0,282	0,003	0,017
CH-15-Chr2_2	0,980	0,013	0,799	0,186	0,695	0,014	0,284	0,002	0,019
CH-15-Chr2_3	0,988	0,013	0,795	0,183	0,704	0,014	0,277	0,002	0,016
CH-15-Chr1_1	1,036	0,014	0,739	0,189	0,738	0,015	0,243	0,002	0,016
CH-15-Chr1_2	1,001	0,014	0,779	0,184	0,710	0,015	0,271	0,003	0,015
CH-15-Chr1_3	0,987	0,015	0,800	0,171	0,703	0,013	0,282	0,005	0,014
CH-15-Chr1_4	0,990	0,015	0,808	0,161	0,706	0,013	0,281	0,002	0,015
CH-15-Chr1_5	0,984	0,013	0,809	0,168	0,729	0,016	0,251	0,002	0,018
CH-15-Chr5-1	1,008	0,018	0,744	0,204	0,695	0,012	0,291	0,006	0,015
CH-15-Chr5-2	1,027	0,020	0,740	0,181	0,693	0,014	0,300	0,002	0,013
CH-15-Chr5-3	1,010	0,020	0,735	0,205	0,680	0,013	0,307	0,006	0,015
CH-15-Chr5-4	0,997	0,020	0,759	0,193	0,705	0,014	0,287	0,004	0,012
CH-15-Chr5-5	1,011	0,019	0,739	0,202	0,685	0,010	0,309	0,002	0,013

9.2.4. Muestra CH16

Tabla 9.2.4.1

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO
CH-16-Chr1-1	0,010	0,490	22,140	37,970	7,130	22,770	0,410	7,850	0,100
CH-16-Chr1-2	0,030	0,550	22,070	38,230	7,430	22,970	0,350	7,960	0,090
CH-16-Chr1-3	0,050	0,530	21,980	38,160	7,290	23,280	0,330	7,750	0,050
CH-16-Chr1-4	0,030	0,610	21,840	38,280	6,640	23,190	0,410	7,600	0,140
CH-16-Chr1-5	0,070	0,600	21,600	38,410	6,790	23,300	0,360	7,610	0,100
CH-16-Chr2-1	0,070	0,620	21,210	39,160	7,070	23,730	0,370	7,560	0,070
CH-16-Chr2-2	0,060	0,650	20,740	39,300	7,490	23,830	0,360	7,440	0,160
CH-16-Chr2-3	0,050	0,610	20,640	39,220	7,400	23,160	0,430	7,650	0,130
CH-16-Chr2-4	0,080	0,610	21,800	38,590	6,730	23,810	0,330	7,470	0,080
CH-16-Chr2-5	0,020	0,630	20,960	39,110	7,270	23,460	0,430	7,550	0,140
CH-16-Chr3-1	0,030	0,540	21,240	38,300	6,920	23,680	0,450	7,190	0,060
CH-16-Chr3-2	0,050	0,670	20,540	38,970	7,990	23,320	0,490	7,670	0,120
CH-16-Chr3-3	0,050	0,620	20,840	39,220	7,340	23,710	0,370	7,430	0,110
CH-16-Chr3-4	0,080	0,640	21,150	38,580	7,200	23,130	0,350	7,790	0,180
CH-16-Chr3-5	0,040	0,660	20,850	39,120	6,840	23,540	0,400	7,400	0,150
CH-16-Chr4-1	0,020	0,650	21,460	37,690	7,670	23,490	0,510	7,420	0,080
CH-16-Chr4-2	0,070	0,640	21,590	37,340	8,140	23,760	0,390	7,390	0,100
CH-16-Chr4-3	0,040	0,600	22,010	37,670	7,490	24,020	0,420	7,240	0,150
CH-16-Chr4-4	0,060	0,630	21,230	37,660	7,550	23,900	0,390	7,170	0,080
CH-16-Chr4-5	0,000	0,640	21,500	37,960	7,440	24,250	0,420	6,960	0,100

Tabla 9.2.4.2

Muestra	Cr	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg	Ni	Zn
CH-16-Chr1-1	0,962	0,012	0,836	0,172	0,610	0,011	0,375	0,002	0,014
CH-16-Chr1-2	0,962	0,013	0,827	0,178	0,611	0,009	0,377	0,002	0,014
CH-16-Chr1-3	0,963	0,013	0,827	0,175	0,621	0,009	0,369	0,001	0,014
CH-16-Chr1-4	0,974	0,015	0,828	0,161	0,624	0,011	0,364	0,004	0,013
CH-16-Chr1-5	0,976	0,014	0,818	0,164	0,626	0,010	0,365	0,002	0,013
CH-16-Chr2-1	0,990	0,015	0,800	0,170	0,635	0,010	0,360	0,002	0,010
CH-16-Chr2-2	0,995	0,016	0,782	0,180	0,638	0,010	0,355	0,004	0,011
CH-16-Chr2-3	0,998	0,015	0,783	0,179	0,623	0,012	0,367	0,003	0,011
CH-16-Chr2-4	0,977	0,015	0,823	0,162	0,638	0,009	0,356	0,002	0,012
CH-16-Chr2-5	0,993	0,015	0,793	0,176	0,630	0,012	0,361	0,004	0,009
CH-16-Chr3-1	0,983	0,013	0,813	0,169	0,643	0,012	0,348	0,002	0,009
CH-16-Chr3-2	0,988	0,016	0,776	0,193	0,625	0,013	0,367	0,003	0,009
CH-16-Chr3-3	0,995	0,015	0,788	0,177	0,636	0,010	0,355	0,003	0,012
CH-16-Chr3-4	0,980	0,015	0,801	0,174	0,622	0,010	0,373	0,005	0,009
CH-16-Chr3-5	0,999	0,016	0,794	0,166	0,636	0,011	0,356	0,004	0,010
CH-16-Chr4-1	0,960	0,016	0,815	0,186	0,633	0,014	0,356	0,002	0,012
CH-16-Chr4-2	0,947	0,015	0,816	0,196	0,637	0,011	0,353	0,003	0,014
CH-16-Chr4-3	0,952	0,014	0,829	0,180	0,642	0,011	0,345	0,004	0,014
CH-16-Chr4-4	0,964	0,015	0,811	0,184	0,647	0,011	0,346	0,002	0,011
CH-16-Chr4-5	0,965	0,015	0,815	0,180	0,652	0,012	0,334	0,003	0,015