



Caracterización Petrográfica y Clasificación Textural del Meteorito de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá), Colombia

Santa Rosa de Viterbo Meteorite: Petrographic characterization and textural classification (Boyacá), Colombia

JAVIER GIL-RODRÍGUEZ¹

ANA ELENA CONCHA-PERDOMO²

^{1,2}Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

¹E-mail: javigeologo@hotmail.com

²E-mail: aeconchap@unal.edu.co

GIL-RODRÍGUEZ, J. & CONCHA-PERDOMO, A.E. (2006): Caracterización Petrográfica y Clasificación Textural del Meteorito de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá), Colombia.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 31, pp. 91-85, 14 Figs., Bogotá.

RESUMEN

Se realizó la caracterización petrográfica del fragmento del Meteorito de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá) que pertenece al Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá).

Esta pieza meteorítica se clasificó como un Meteorito Metálico Anómalo debido a la presencia de líneas de Neumann en todas las superficies de las secciones estudiadas y a la textura Widmanstätten observada tan sólo en algunas zonas de su superficie pulida. Se encontraron inclusiones elipsoidales de troilita (FeS) de hasta 1.4cm de longitud, cristales de schreibersita ((Fe,Ni,Co)₃P) y cristales de cohenita ((Fe,Ni,Co)₃C) con texturas de exsolución caracterizadas por la presencia de pequeñas esferas (~2µm de diámetro) dispuestas en ordenamiento espacial, que muestran fenómenos de coalescencia. Se identificaron zonas que al acidificar se tornan oscuras debido principalmente a la presencia de grafito como producto de alteración de la cohenita.

Palabras Clave: *Boyacá, Clasificación textural, Metalografía, Meteorito, Petrografía, Santa Rosa de Viterbo.*

ABSTRACT

The fragment of the Santa Rosa de Viterbo Meteorite belonging to the Department of Geosciences of the National University of Colombia (Bogotá) was petrographically characterized.

This meteoritic sample was classified as an Anomalous Iron Meteorite due to the presence of Neumann lines in all the surfaces of the studied sections and to a Widmanstätten pattern observed only in some places of its polished surfaces. The meteorite has ellipsoidal inclusions of troilite (FeS) up to 1.4cm large, schreibersite ((Fe,Ni,Co)₃P) crystals and cohenite ((Fe,Ni,Co)₃C) crystals with exsolution textures, characterized by the presence of small spheres (~2µm of diameter) in spatial arrangements that show coalescence. Dark zones appear when the sample is acidified due to the presence of graphite (alteration product of cohenite).

Key words: *Metallography, Meteorite, Petrography, Santa Rosa de Viterbo, Textural Classification.*

INTRODUCCION

Se tiene información sobre el descubrimiento de varias piezas meteoríticas metálicas en los alrededores del municipio de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá) desde principios del Siglo XIX, que han sido mencionadas por BOUSSINGAULT & ROULIN (1849), WARD (1907), RAMÍREZ (1950, 1951), FORERO (1953), BUCHWALD & WASSON (1968), INGEOMINAS (1993) y REYES (2005). Uno de los fragmentos más representativos es el ejemplar perteneciente al Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, que será el objeto del presente trabajo.

Debido a que la información existente acerca de la clasificación mineralógica y textural del Meteorito de Santa Rosa de Viterbo (MSRV), presenta inconsistencias, éste se estudia utilizando nuevas técnicas que permiten caracterizarlo petrográficamente y clasificarlo desde el punto de vista textural.

METODOLOGIA

Se estudiaron las características físicas de la muestra tales como: morfología externa, color, textura, brillo y densidad.

Los fragmentos del MSRV utilizados para hacer las secciones pulidas fueron cortados manualmente. Posteriormente se pulieron con lijas de malla 280, 360, 500, 600, 1000 y 1200. Finalmente se llevaron a brillo de espejo con alúmina de 1 μm sobre un paño de billar.

Se utilizó microscopio de luz reflejada con el objeto de estudiar las características microscópicas de las secciones pulidas, antes y después del proceso de acidificación (con ácido nítrico al 6%), el cual permite determinar las texturas presentes en las piezas.

Después de realizadas las descripciones microscópicas de las secciones pulidas, se hicieron análisis con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) en los Laboratorios Petrográficos de Ingeominas utilizando un equipo marca PHILIPS ESEM XL30, con un detector de análisis EDAX y en el laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del CEIF (Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá), con un Microscopio Electrónico marca FEI, modelo Quanta 200 con detector de análisis EDAX.

Se llevaron a cabo análisis químicos con un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos-X Pw 2440 marca PHILIPS, equipado con tubo de Rh y potencia máxima de 4 KW. El análisis se realizó en un pequeño fragmento de la pieza, de manera semicuantitativa no destructiva. Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos-X del CEIF de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá).

Con base en los análisis petrográficos y químicos, se

clasificó la muestra de acuerdo con los criterios utilizados en la sistemática de meteoritos que sigue NORTON (2002).

CLASIFICACION DE METEORITOS

Los meteoritos son cuerpos de roca, metal o mixtos, que caen a la superficie terrestre procedentes del espacio exterior (Norton 1998). Poseen diversas formas, colores, tamaños, texturas y composiciones. Pueden clasificarse, desde un punto de vista genético, en dos supergrupos: los meteoritos primitivos o no diferenciados y los meteoritos diferenciados. Composicionalmente se clasifican en tres grupos: pétreos (formados por silicatos), metálicos (formados por aleaciones de FeNi) y pétreo-metálicos (con silicatos y FeNi en iguales proporciones). Los meteoritos no diferenciados, conocidos como condritas, son meteoritos pétreos que no han sufrido cambios significativos desde los inicios del Sistema Solar. Los meteoritos diferenciados incluyen a las acondritas, pétreo-metálicos y metálicos, como es el caso del MSRV. Se considera que en los diferentes cuerpos-fuente, los meteoritos metálicos representan el núcleo, los pétreo-metálicos la zona límite núcleo-manto y las acondritas el manto y corteza (NORTON 2002).

Clasificación textural meteoritos metálicos

Los meteoritos metálicos poseen una mineralogía mucho más simple que la de los meteoritos pétreos y pueden ser clasificados textural o químicamente.

Las superficies pulidas de un meteorito metálico ocultan unas texturas que se hacen visibles al atacar las superficies con ácido nítrico diluido. La llamada textura Widmanstätten (descubierta por el conde Alois von Widmanstätten en 1808) es exclusiva de meteoritos y corresponde al intercrecimiento de dos minerales de FeNi: kamacita (4-7% de Ni) y taenita (20-45% de Ni). Un tercer componente de FeNi, plesita, ocurre en áreas limitadas por las láminas de kamacita y taenita, y no es un mineral sino un intercrecimiento fino de estos dos minerales. En esta textura, láminas anchas de kamacita son bordeadas por láminas delgadas de taenita y están dispuestas paralelamente a las ocho caras de un octaedro, razón por la cual los meteoritos que presentan esta textura son denominados octaedritas (NORTON 2002).

La clasificación textural está basada en el espesor de las láminas de kamacita en la textura Widmanstätten. Su espesor depende del contenido de Ni del meteorito (Tabla 1).

La otra textura presente en los meteoritos metálicos, se caracteriza por presentar varios patrones de líneas paralelas, con 1 a 10 μm de espesor, que representan las líneas de macla sobre los planos de la kamacita. Esta textura fue descubierta por Franz Ernst Neumann en 1848 y conserva su nombre, líneas de Neumann. Los

Tabla 1. División textural de los meteoritos metálicos basada en el porcentaje de Ni y espesor de las láminas de kamacita. Tomado de NORTON (2002).

CLASE	SIMBOLO	ESPESOR DE BANDA (mm)	% NI
Hexaedrita	H	> 50	4.5 - 6.5
Octaedritas	O		
Muy Gruesa	Ogg	3.3 - 50	6.5 - 7.2
Gruesa	Og	1.3 - 3.3	6.5 - 7.2
Media	Om	0.5 - 1.3	7.4 - 10.3
Fina	Of	0.2 - 0.5	7.8 - 12.7
Muy Fina	Off	< 0.2	7.8 - 12.7
Plesítica	Opl	< 0.2	12.7 - 16.0
Ataxita	D	Ausente	> 16.0

meteoritos metálicos que sólo presentan esta textura, son esencialmente grandes cristales isométricos hexaédricos de kamacita, por lo cual han sido llamados hexaedritas (NORTON 2002).

La última clase de meteoritos metálicos son las ataxitas, que carecen de texturas. Las octaedritas plesíticas gradan suavemente a ataxitas a medida que el contenido de Ni alcanza y sobrepasa el 16% (Tabla 1). En este punto, la textura Widmanstätten es microscópica y tiende a desaparecer. El meteorito se convierte básicamente en pura taenita.

Cuando un meteorito metálico no se "ajusta" a ninguna de las clases mencionados anteriormente, debido a que presenta texturas inusuales y/o su contenido de níquel se encuentra por fuera de los rangos determinados, es considerado un Meteorito Metálico Anómalo (NORTON 2002).

ESTUDIOS PREVIOS DEL MSR/V

Estudiado por primera vez por Jean Baptiste Boussingault y Mariano Eduardo De Rivero en el año 1823 (BOUSSINGAULT & ROULÍN 1849). Descrito por estos autores como maleable, cavernoso, con estructura granujienta, brillo blanco de plata, peso específico de 7.3, volumen de 102 dm³ y masa de 1500 libras. Reportan la composición química de 3 muestras diferentes (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados obtenidos de los análisis químicos realizados al MSR/V por BOUSSINGAULT & DE RIVERO en 1823 (BOUSSINGAULT & ROULÍN 1846).

MUESTRA	DENSIDAD	% Fe	% NI	RESIDUO	TOTAL
Muestra 1	7.3	91.41	8.59	----	100.00%
Muestra 2	7.6	91.23	8.21	0.28	99.72%
Muestra 3	----	91.76	6.36	----	98.12%

En su trabajo mencionan el hallazgo de otros cuerpos en Rasgatá, inmediaciones de Zipaquirá. Uno de los cuerpos pesaba 82 libras, no tenía cavidades, era difícil de limar, maleable, de brillo de plata y con peso específico de 7.6, compuesto por 90.76% de Fe y 7.87% de Ni. El otro cuerpo pesaba 44 libras, de forma casi esférica, de estructura porosa, maleable y de brillo de plata, con Ni de 7 a 8%.

WARD (1907) considera que el MSR/V está formado por

unidades de kamacita de 2 a 3 cm de largo, con distinta orientación y separadas por fracturas rellenas de magnetita o schreibersita. Encuentra inclusiones de troilita en el meteorito y lo relaciona con meteoritos metálicos brechados.

RAMÍREZ (1950) reporta el siguiente análisis químico realizado por el profesor Woehler (Universidad de Göttingen): 92.35% de Fe, 6.71% de Ni, 0.25% de Co, 0.37% de P, Fe y Ni, 0.35% de P y 0.08% de olivino y otros minerales (transcrito textualmente).

RAMÍREZ (1951) describe todos los análisis mencionados anteriormente y también hace referencia a los siguientes estudios realizados en Europa:

- En 1859 el profesor Reichenbach (Universidad de Tübingen) considera distintos los meteoritos de Santa Rosa (con textura Widmanstätten) y Rasgatá (carácter homogéneo).

- El Dr. G. Rose, en 1864, describe a los ejemplares de Santa Rosa y Rasgatá como semejantes entre sí: Con gran dureza, granos finos y al ser tratados con ácido nítrico dejan ver manchas y unas protuberancias pequeñas y alargadas en las que se incrustan pequeñas partículas.

- El Dr. Lasaulx en 1884 describe las siguientes características de un fragmento del meteorito principal de Santa Rosa: Posee estructura granular, muy dura y al ser atacado por los ácidos no deja ver la textura Widmanstätten, por el contrario, aparecen manchas y pequeños discos redondos o alargados. Al realizar un análisis químico obtiene: 96.48% de Fe, 8.20% de Ni, 0.32% de silicatos; P y Ni en parte con el Fe y los silicatos; Co, Cu y C como trazas y un residuo de 7.6% (transcrito textualmente).

- Meunier, en 1884, clasificó el meteorito de Rasgatá como de los que mostraban la textura Widmanstätten.

- E. Cohen, en 1895, divide los meteoritos colombianos en tres grupos: (1) Santa Rosa, hierro octaédrico brechado con estructura de grano grueso; (2) Tocavita, hierro octaédrico más fino; y (3) Rasgatá, hierro con ataxita (transcrito textualmente).

- El Dr. Aristides Brezina, en 1895, describe el ejemplar de Ward, tomado del MSR/V, como: consistente de granos de 2 a 3cm de diámetro orientados diferentemente unos de otros, separados por fisuras llenas de schreibersita. Los granos están formados por placas octaédricas de kamacita, casi libre de taenita y plesita, pero rica en esqueletos de cristales de schreibersita. Lo clasifica como octaedrita brechada.

- E. P. Henderson en 1940, del Instituto Smithsonian, clasifica al MSR/V como ataxita.

HEIDE (1964) referencia al MSR/V como una ataxita, en

Tabla 3. Resultados de los análisis químicos realizados a dos fragmentos del MSRV y a uno de Rasgatá. Tomado de INGEOMINAS (1993).

MUESTRA	DENSIDAD	% Fe	% Ni	% Co	% C	% P	% S	% Cr	TOTAL
Santa Rosa 1	7.70	93.0	6.0	0.7	0.2	0.1			100%
Santa Rosa 2	7.80	89.9	9.4	0.4	0.1	0.2	0.1	---	100%
Rasgatá	7.65	92.8	6.3	0.5	0.1	0.2	0.1	---	100%

una tabla de retención de He en meteoritos metálicos.

BUCHWALD & WASSON (1968) describen textural y petrográficamente distintas piezas del MSRV, pero no lo clasifican debido a la gran complejidad de sus texturas. A partir de análisis químicos obtienen los siguientes resultados: 6.7% de Ni, 0.3% de P, 0.2% de C, 51ppm de Ga, 221ppm de Ge y 0.08ppm de Ir. Consideran que el MSRV no pertenece a ninguna de las 9 clases químicas de meteoritos metálicos definidas hasta ese entonces. Estos autores también analizan al meteorito de Tocavita, clasificándolo como una octaedrita plesítica del grupo químico IIC y de composición: 9.7% de Ni, 0.1% de P, 0.03% de C, 39ppm de Ga, 96ppm de Ge y 7.6ppm de Ir.

INGEOMINAS (1993) menciona los resultados de los análisis realizados a dos fragmentos del MSRV y a uno de Rasgatá (Tabla 3). Son clasificados como octaedritas, al presentar textura Widmanstätten.

GRADY (2000) reporta al MSRV como una ataxita pobre en Ni y perteneciente a la clase química IC.

En el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana reposan actualmente, dos meteoritos provenientes de la región de Santa Rosa de Viterbo. Uno, es el encontrado en 1927, de 38.4 Kg; el otro, es el de 100.5 Kg encontrado cerca de la población de Floresta (Boyacá), cuya composición química es: 92.3% de Fe, 6.52% de Ni, 0.78% de Co, 0.36% de P, 0.18% de C, 0.04% de S, 0.02% de Cu y Cr como traza.

El cuerpo principal del MSRV se encuentra en el Museo Nacional de Bogotá; su masa es de 411Kg, clasificado por el Instituto Smithsoniano en 1940 como ataxita con: 93% de Fe, 6% de Ni, 0.7% de Co, 0.2% de C y 0.1% de P, S y Cr.

En el año 1969, en una salida de campo de la carrera de Geología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, se reporta y se colecta una muestra de meteorito metálico, con masa aproximada de 120 Kg, en cercanías de Santa Rosa de Viterbo (J. Mendoza, com. pers.). Fue clasificado por Manuel Rubiano, profesor del Departamento de Geociencias, como un Siderito, clase Octaedrito y de composición Fe y Ni.

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

El fragmento del MSRV que se exhibe en el Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de

Colombia posee una forma irregular, caracterizada por la presencia de cavidades que le dan una apariencia ondulosa. Estas depresiones corresponden a los regmagliptos formados por la ablación cuando el meteorito penetraba la atmósfera terrestre (Fig. 1).



Fig. 1. Pieza meteorítica de Santa Rosa de Viterbo perteneciente a la Universidad Nacional de Colombia. Se observan claramente los regmagliptos formados por la ablación. Lado del cubo 5cm.

La superficie es de color negro (formada por magnetita), con tonos rojizos y cafés hacia algunas de las depresiones (óxidos e hidróxidos de alteración). Posee brillo mate y tiene vestigios de una corteza de fusión, representada por un tipo de escoria que recubre pequeñas partes.

Su densidad fue calculada en 7.9g/cm³. Este valor se encuentra dentro de la densidad promedio de los meteoritos metálicos (7.5–7.9g/cm³) (NORTON 2002).

En superficie fresca es brillante y de color gris plata (Fig. 2). Al cortar manualmente con segueta, en toda la superficie aparecen protuberancias del mismo color y brillo, con formas subesféricas a alargadas que ofrecen mayor resistencia al corte, correspondiendo con cambios mineralógicos y/o composicionales.

La pieza se encuentra bastante fracturada. Dichas fracturas permiten que alrededor de ellas el material se meteorice y altere más rápidamente (Fig. 2). En algunas superficies de la pieza se observan inclusiones doradas de troilita (FeS) con formas alargadas, que en los cortes transversales tienden a tener formas esféricas y muestran

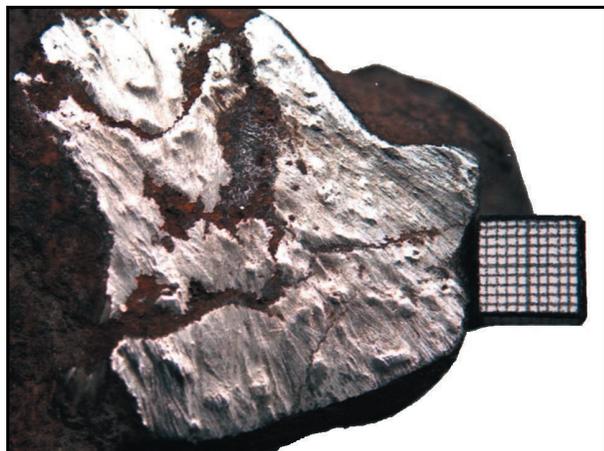


Fig. 2. Fracturamiento que se presta para provocar una alteración más rápida de la pieza del MSRV. Lado del cubo 1cm.

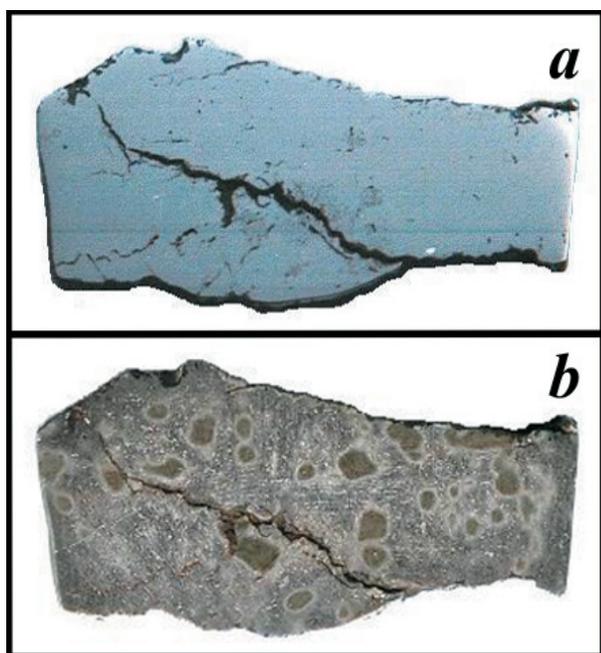


Fig. 3. Sección SRV-001. *a.* Antes de acidificar. Se observa gran homogeneidad en la sección, interrumpida por fracturas y pequeñas zonas con menor brillo. *b.* Después de acidificar. Se observan manchas oscuras y líneas de Neumann. Largo de la sección 2.6 cm.

ser bastante susceptibles a la alteración.

Secciones pulidas SRV-001 y SRV-002

Las secciones pulidas del MSRV, SRV-001 (Fig. 3) y

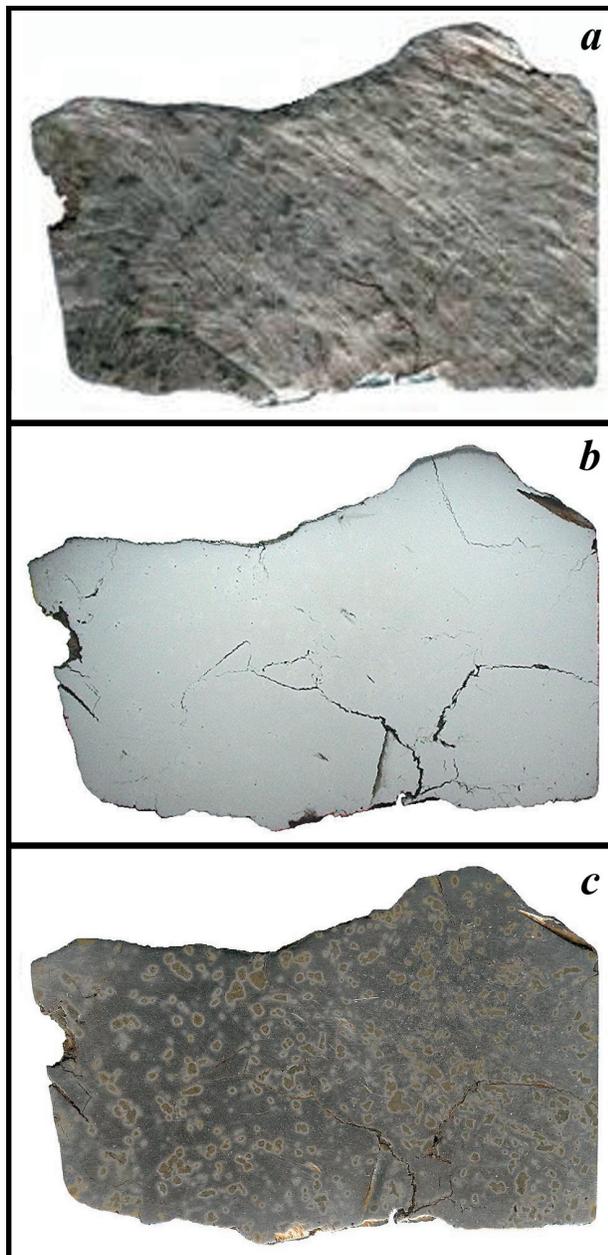


Fig. 4. Sección SRV-002. *a.* Se observan numerosas protuberancias y fracturas en la sección antes de ser pulida. *b.* Después del pulido, se pueden reconocer algunos de los lugares donde se encontraban las protuberancias, mostrando un brillo menos fuerte. *c.* Manchas oscuras y líneas de Neumann que aparecen al acidificar la muestra. Largo de la sección 7.5cm.

SRV-002 (Fig. 4), presentan grietas que alcanzan espesores de hasta 1mm. En algunos bordes se observa magnetita como resultado de la alteración de las aleaciones de FeNi. La magnetita es el mineral de alteración más común en esta clase de meteoritos.

En sección pulida las superficies son bastante homogéneas (Fig. 3a y 4b). Algunos de los lugares donde se encontraban las protuberancias presentan un brillo menos fuerte y pequeñas fracturas.

La característica más notable al acidificar las secciones pulidas, fue la aparición de manchas oscuras en los mismos lugares donde se encontraban las pequeñas zonas con diferencia de brillo, ocupando el 10% de la superficie de la sección. Presentan diversas formas (redondeadas, prismáticas, cuadradas), son opacas y con tamaños de hasta 2mm, siendo las de ~1mm las más comunes (Fig. 3b y 4c). Dentro de estas manchas se observan minerales de formas alargadas e irregulares, que muestran un alto brillo y que debido a su pequeño tamaño no pudieron ser identificados macroscópicamente. Se reconocen pequeños minerales aislados en la aleación de FeNi, que se asemejan a los que se encuentran dentro de las manchas.

También es de mencionar la aparición de líneas de Neumann (Fig. 3b y 4c). Los minerales alargados, mencionados anteriormente, se disponen paralelamente a ellas.

El meteorito no presenta zona de alteración termal en su superficie externa, por lo tanto se considera que la magnetita que lo recubre no corresponde a la corteza de fusión, sino a simple alteración terrestre.

Sección pulida SRV-003

Su característica macroscópica más notable es la presencia de una inclusión de troilita (FeS) de color dorado en el centro de la sección, con dimensiones de 1.4 x 0.4cm (Fig. 5). Junto a ésta, se encuentran otras inclusiones menores del mismo mineral, que alcanzan los 3mm de largo.

El resto de la superficie se muestra homogénea, con numerosas facturas que rodean la inclusión y pequeñas zonas donde el brillo es menos fuerte y donde convergen pequeñas fracturas.

Después del proceso de acidificación, aparecen manchas amarillas donde se observan minerales pequeños y brillantes que no pudieron ser identificados microscópicamente. La ubicación de las manchas coincide con las zonas que presentaban diferencias de brillo con respecto al resto de la sección. Dichas manchas son resultado de la reacción química ocurrida entre el ácido y el ó los minerales que se encuentran en ellas.

Es notable la aparición de líneas de Neumann con diversas orientaciones (Fig. 5b). La sección está conformada por pequeñas unidades; cada una de ellas muestra un patrón diferente de líneas de Neumann y el mismo brillo al inclinarla. Paralelos a estas líneas se observan minerales alargados de alto brillo y tamaño inferior a 2mm.

Se identificó kamacita envolvente (swathing kamacite) con espesores de hasta 1.5mm alrededor de todas las inclusiones de troilita; esta clase de kamacita se distingue en la sección debido a que es menos afectada por el ácido y por presentar líneas de Neumann bastante claras.

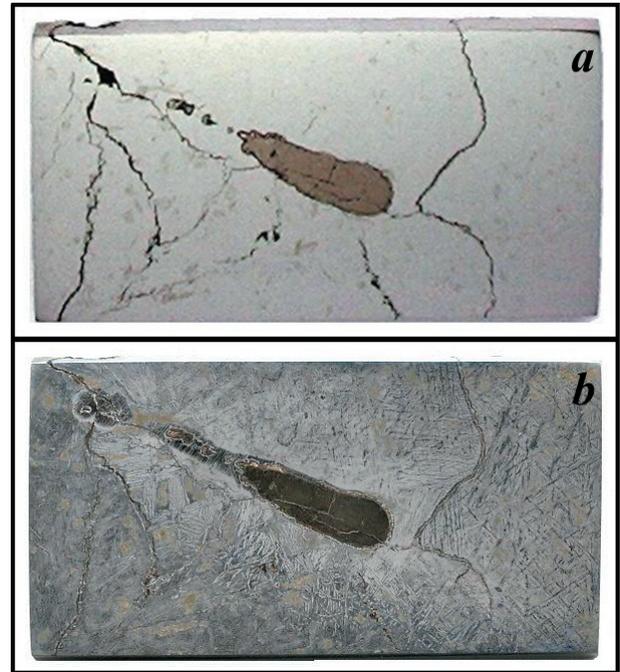


Fig. 5. Sección SRV-003. Inclusión de troilita de 1.4cm de largo y pequeñas inclusiones del mismo mineral. a. Antes de acidificar. Se reconocen pequeñas zonas con distinto brillo. b. Después de acidificar. Se aprecian manchas amarillas, líneas de Neumann y kamacita envolvente. Largo de la sección 5cm.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Secciones pulidas SRV-001 Y SRV-002

Se observa gran homogeneidad en las secciones, la aleación de FeNi se ve esporádicamente interrumpida por fracturas. En los pequeños sectores donde macroscópicamente se veían diferencias de brillo, se aprecian agrupaciones de fracturas donde se reconoce magnetita (evidenciando la alteración interna que éstas propician) y pequeños cúmulos de minerales oscuros, que no pudieron ser determinados petrográficamente (Fig. 6a).

En la parte externa de las secciones aparece una envoltura delgada e intermitente de magnetita con espesores de hasta 0.8mm, resultado de la alteración superficial del meteorito, que ha impedido la conservación de la corteza de fusión de la pieza (Fig. 6b).

Al analizar la sección microscópicamente antes de ser acidificada, se establecieron las siguientes concentraciones porcentuales de los minerales presentes: 97% de FeNi, 2% de Magnetita y 1% de minerales oscuros.

Al acidificar las secciones se identificaron cristales pequeños y amarillentos de schreibersita ((Fe,Ni,Co)₃P) dentro del FeNi (determinado como kamacita por sus características ópticas). Se observan anillos delgados de cohenita ((Fe,Ni,Co)₃C), de ~0.01mm de espesor, alrededor de la schreibersita. Algunos de estos cristales son anhedral y otros euhedral (prismáticos), estos últimos tienden a ser los más grandes, pero a su vez los más escasos (Fig. 7a). La variedad prismática de schreibersita, denominada rabdita, se presenta tanto en cortes longitudinales de hasta 2.5mm, como transversales con solo 0.5mm.

Dentro de las manchas oscuras se diferenciaron algunos cristales de cohenita (determinada por análisis de SEM), generalmente anhedral, que no alcanzan a sobrepasar 1mm de longitud. La cohenita presente en estas manchas se caracteriza por tener en su interior unas pequeñas formas redondas y alargadas de color negro, presentando cierto orden (Fig. 7b).

La magnetita que era observada antes de acidificar, todavía puede reconocerse tanto en los bordes de la sección como en las fracturas.

Las líneas de Neumann siguen hasta cuatro patrones distintos. La rabdita en corte longitudinal se dispone en gran medida, paralela a ellas (Fig. 7c).

Las proporciones porcentuales de los minerales presentes son: 95% de kamacita, 2% de schreibersita, 2% de magnetita y 1% de cohenita.

Sección pulida SRV-003

La sección presenta gran homogeneidad, interrumpida esporádicamente por fracturas. En los sectores donde se observó macroscópicamente una diferencia de brillo, se presentan pequeños cúmulos de minerales oscuros que no pueden ser identificados debido a su diminuto tamaño (Fig. 8a). Se reconocieron cristales de schreibersita, tanto anhedral como euhedral (rabdita); presentándose estos últimos en corte longitudinal y transversal, con dimensiones de hasta 2.5mm que en algunas zonas tienden a formar lineamientos paralelos a las fracturas (Fig. 8b).

La inclusión principal de troilita presenta un anillo de schreibersita (determinada por análisis de SEM) de ~0.3mm de espesor, así como pequeños cristales anhedral de schreibersita en su interior (Fig. 8c). Se identificó magnetita en algunas fracturas y alrededor de la troilita. Bajo nicols cruzados, se observa que las inclusiones de troilita son policristalinas.

Al analizar la sección microscópicamente antes de ser

acidificada, se establecieron los siguientes porcentajes de minerales presentes: 89 % de FeNi, 6% de troilita, 2% de schreibersita, 2% de magnetita y 1% de minerales oscuros.

Posterior al proceso de acidificación, la característica más sobresaliente es la aparición de líneas de Neumann que siguen distintos patrones (Fig. 9a). Las líneas de Neumann en la kamacita envolvente, tanto de la troilita como de algunos de los cristales de schreibersita, son más fáciles de distinguir (Fig. 9b).

Al perder brillo la sección, se pueden diferenciar mejor los cristales de schreibersita, observándose una proporción similar entre cristales anhedral y euhedral. Los cortes transversales de rabdita usualmente siguen los patrones de las líneas de Neumann (Fig. 9a).

En algunas zonas de la muestra, se observa una textura Widmanstätten fina, con láminas de kamacita de ~0.2mm de espesor. Estas láminas, en la mayoría de los casos, terminan unas contra otras pero en ocasiones se encuentran separadas por minerales laminares muy delgados, identificados como taenita con el microscopio electrónico. Algunas de las láminas de kamacita presentan en su interior una zona más oscura que fue determinada por medio del SEM como intercrecimientos plesíticos (Fig. 9c).

La magnetita que era observada antes de acidificar, todavía puede reconocerse tanto en las fracturas como en algunos bordes de la troilita.

Después de acidificar se obtuvieron los siguientes porcentajes de minerales presentes: 89% de kamacita, 6% de troilita, 2% de schreibersita, 2% de magnetita y 1% de cohenita.

ANÁLISIS QUÍMICOS

Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

Los análisis con Microscopio Electrónico de Barrido se realizaron para identificar los minerales oscuros de los cúmulos, que no pudieron ser determinados petrográficamente. Del mismo modo, estos análisis se llevaron a cabo para estudiar las texturas particulares observadas en las secciones pulidas y para obtener la composición química más exacta de los minerales presentes.

En la sección SRV-001 se observaron texturas caracterizadas por la presencia de formas redondeadas y alargadas de color negro, que muestran cierto orden dentro de los cristales de cohenita. El SEM permitió comprobar que los cristales que se encuentran dentro de las manchas negras y que presentan estas texturas internas corresponden a cohenita (Fe,Ni,Co)₃C. Con un aumento de 1500X se reconocieron claramente cristales de este mineral con formas irregulares y caras cóncavas (Fig. 10). Po-

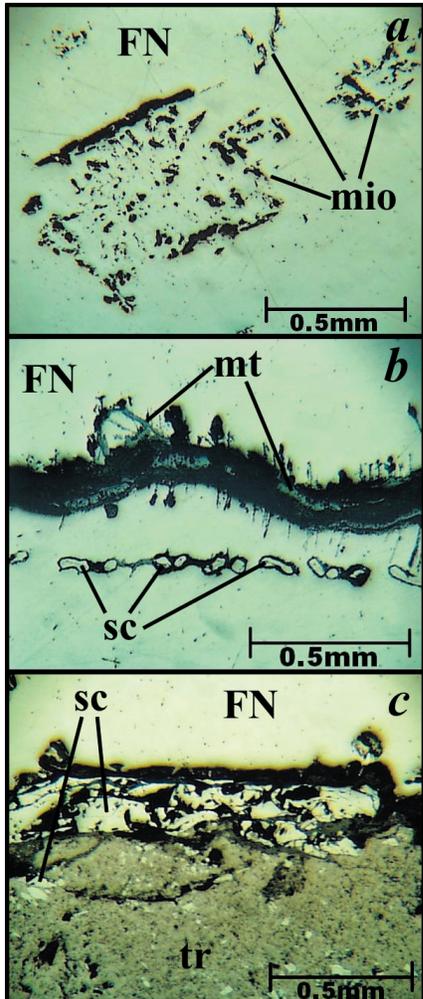
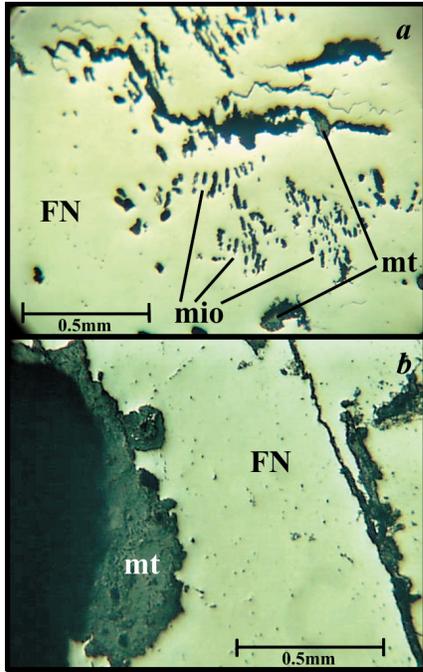
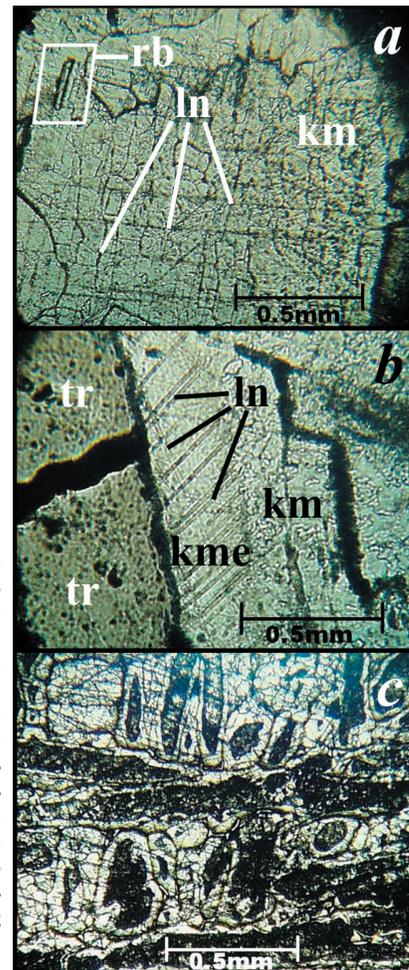
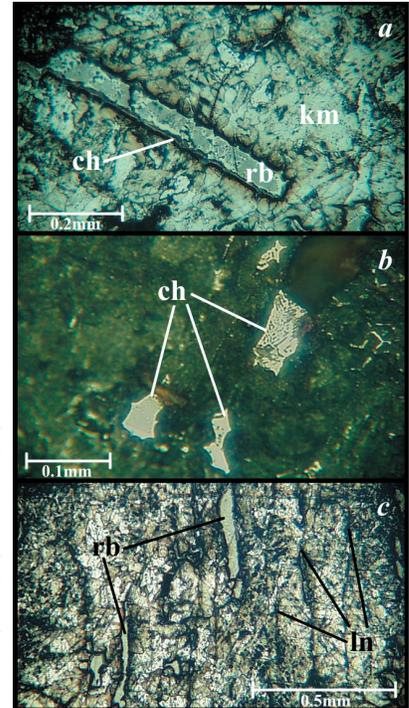


Fig. 6. Sección SRV-001. a. Conjuntos de pequeñas fracturas que se encuentran dispersos por toda la sección. Se observan diminutos minerales oscuros (mio) en la aleación de FeNi (FN) y magnetita (mt) en algunas de las fracturas. b. Se aprecia una parte de la envoltura de magnetita en un borde de la sección. Fotografías tomadas con luz reflejada y nicols paralelos.

Fig. 7. Sección SRV-001 después del proceso de acidificación. a. Cristal de rabdita (rb) en corte longitudinal, con un anillo de cohenita (ch) y dentro de la kamacita (km). b. Formas redondas y alargadas que se encuentran en los cristales de cohenita de las manchas. c. Cristales de rabdita que siguen una de las direcciones de las líneas de Neumann (ln). Fotografías tomadas con luz reflejada y nicols paralelos.

Fig. 8. Sección SRV-003. a. Cúmulos de minerales oscuros (mio) que se encuentran dispersos en el FeNi (FN). b. Cristales de schreibersita (sc) que forman lineamientos paralelos a las fracturas, donde se observa magnetita (mt). c. Schreibersita alrededor y dentro de la troilita (tr). Fotografías tomadas con luz reflejada y nicols paralelos.

Fig. 9. Sección SRV-003 después del proceso de acidificación. a. Líneas de Neumann (ln) que siguen distintos patrones dentro de la kamacita (km). En la parte superior izquierda se observa un cristal de rabdita (rb) que sigue uno de estos patrones. b. Líneas de Neumann bastante notorias de la kamacita envolvente (kme) en el centro de la foto. A la izquierda, troilita (tr) y a la derecha, kamacita. c. Textura Widmanstätten identificada en algunas zonas de la sección. Se distingue el centro oscuro de las láminas de kamacita. Fotografías tomadas con luz reflejada y nicols paralelos.



seen en su interior un arreglo geométrico de formas esféricas negras de $\sim 2\mu\text{m}$ de diámetro, que por coalescencia entre ellas forman estructuras alargadas. Estos cristales se encuentran embebidos en un arreglo acicular de FeNi. El análisis químico puntual realizado en la parte más clara del cristal, revela que se trata de cohenita con 74.48% de Fe, 7.86% de Ni, 8.91% de P y 8.75% de C.

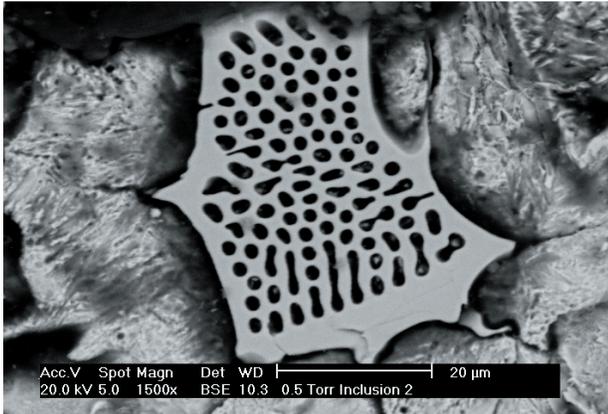


Fig. 10. Cristal de cohenita presente en una de las manchas oscuras de la sección SRV-001. Posee unas formas esféricas y alargadas como resultado de procesos de exsolución y coalescencia. Fotografía tomada con SEM. Aumento de 1500X.

Del mismo modo se realizaron dos análisis en las estructuras esféricas, que mostraron que las más oscuras poseían la misma composición del mineral alojante, mientras que las más claras mostraron una ligera diferencia composicional (81.21% de Fe, 8.22% de Ni, 4.34% de P y 6.23% de C). Las variaciones entre las dos son muy pequeñas y relacionan exactamente los mismos elementos. Sin duda alguna, estas esferas representan un estado de exsolución incoherente (MALVICINI & SAULNIER 1979) o de exsolución con textura de emulsión (RAMDOHR 1980), donde la fase de desmezcla (cohenita relativamente rica en Fe y Ni y pobre en P) crece en forma de esferoides que se orientan según ciertas direcciones del mineral hospedante (cohenita relativamente pobre en Fe y Ni y rica en P). Esta textura, llamada esferoidal, se produce generalmente cuando las dos fases tienen estructura y espaciados de redes similares. Las formas alargadas que se encuentran junto a las esféricas, representan fenómenos de coalescencia.

En la misma sección se analizó un cristal de schreibersita, que se encuentra rodeado por otra fase mineral (Fig. 11). La composición del cristal (65.58% de Fe, 11.35% de Ni, 19.41% de P y 3.66% de C) es diferente a la del borde (83.25% de Fe, 8.30% de Ni, 2.32% de P y 6.13% de C). El borde corresponde a un anillo de cohenita de $\sim 0.01\text{mm}$ de ancho. Probablemente la schreibersita y la cohenita son los responsables de la aparición de las protuberan-

cias al cortar las muestras, dado que tienen una dureza mayor (6.5) que la del FeNi (5.5).

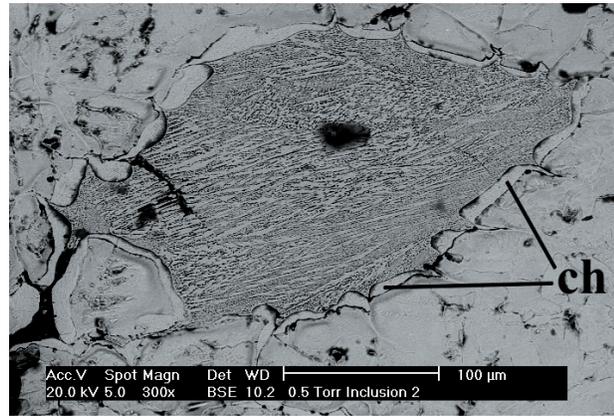


Fig. 11. Cristal de schreibersita en la sección SRV-001. Posee un borde delgado de cohenita (ch). Fotografía tomada con SEM. Aumento de 300X.

De esta sección, también se analizaron los pequeños minerales oscuros que se observaron al realizar la descripción microscópica antes del proceso de acidificación (Fig. 12a). Al realizar un acercamiento a uno de estos minerales, se observó que están conformados por más de una fase, distinguibles por las diferentes tonalidades que presentan (Fig. 12b).

Se obtuvo la composición química de varias de estas fases. La fase m1, de color gris oscuro, está constituida por: 81.55% de Fe, 6.71% de Ni y 11.74% de C, correspondiendo a cohenita relativamente rica en C. La fase m2, de color negro tiene: 51.96% de Fe, 4.10% de Ni y 46.96% de C. La concentración de carbono presente en esta fase, de casi 50%, se debe a una reacción química en la cual la cohenita se descompone en C (grafito) y FeNi (MUELLER & SAXENA 1977; MCSWEEN 1999). La presencia de grafito es la responsable de la aparición de las manchas oscuras cuando se acidifican secciones.

La fase m3, de color gris claro, está compuesta por: 77.95% de Fe, 7.40% de Ni, 8.14% de P y 6.50% de C, correspondiendo a una cohenita con P. Del análisis realizado en la fase m4 se obtuvieron los siguientes resultados: 88.79% de Fe, 5.59% de Ni y 5.62% de C, tratándose de cohenita.

De los resultados anteriores se puede concluir que las manchas oscuras son zonas de productos de alteración de cohenita, constituidas por cohenita (con distintas cantidades de P), FeNi y grafito.

En la sección SRV-003 se confirmó la presencia de schreibersita alrededor de la inclusión de troilita y dentro de ella, con una composición de 63.71% de Fe, 14.60%

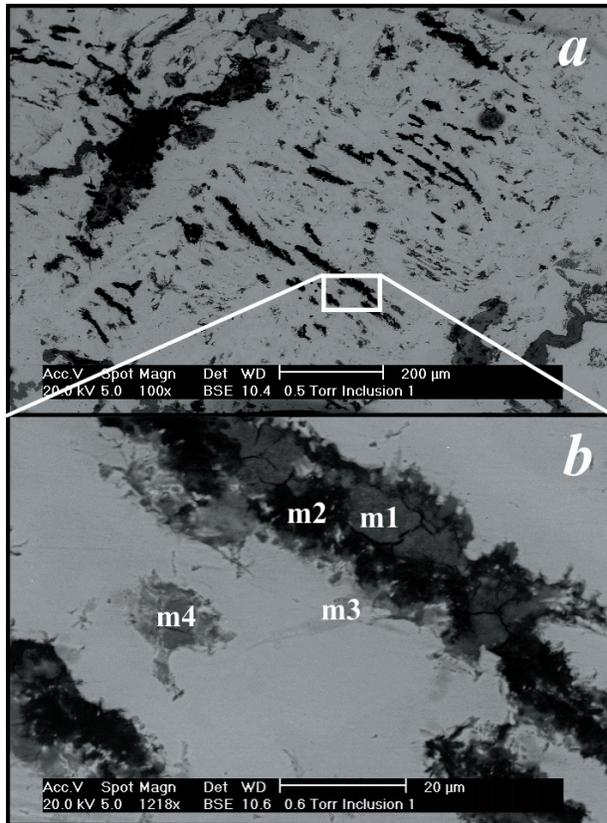


Fig. 12. Sección SRV-001. a. Imagen aumentada en 100X de uno de los cúmulos de minerales negros. b. Distintas fases presentes en los cúmulos. Aumento de 1218X. Fotografías tomadas con SEM.

de Ni y 21.70% de P. También se determinó la composición de la troilita, 54.49% de Fe, 42.43% de S y 3.08% de Cr. Esta cantidad tan alta de Cr seguramente corresponde a la presencia de cromita dentro de la troilita, reportada en otros meteoritos metálicos, donde este elemento alcanza concentraciones de hasta 5% (BUCHWALD 1977).

Se analizó la kamacita envolvente, obteniéndose la siguiente composición promedio: 94.33% de Fe y 5.67% de Ni. Al realizar mapas de distribución elemental en este mineral se determinó que las líneas de Neumann tan sólo representan planos de macla y no discontinuidades composicionales o minerales.

En esta misma sección se analizó la textura Widmanstätten obteniéndose la composición tanto de la parte periférica clara y lisa, como de la parte central oscura y rugosa de las láminas de kamacita (Fig. 13a). La parte clara está constituida por: 93.46% de Fe y 6.54% de Ni, mientras que la oscura por 92.72% de Fe y 7.28% de Ni.

Un acercamiento con 1199X a una de las zonas oscuras y rugosas de las láminas de kamacita, permitió de-

terminar que se trata de intercrecimientos muy finos de láminas de este mineral de ~1µm de espesor (intercrecimientos plesíticos), dispuestas en 3 direcciones diferentes (Fig. 13b). Los pequeños minerales laminares que en algunas partes separan las láminas de kamacita entre sí, corresponden a taenita pobre en Ni con 90.82% de Fe y 9.18% de Ni.

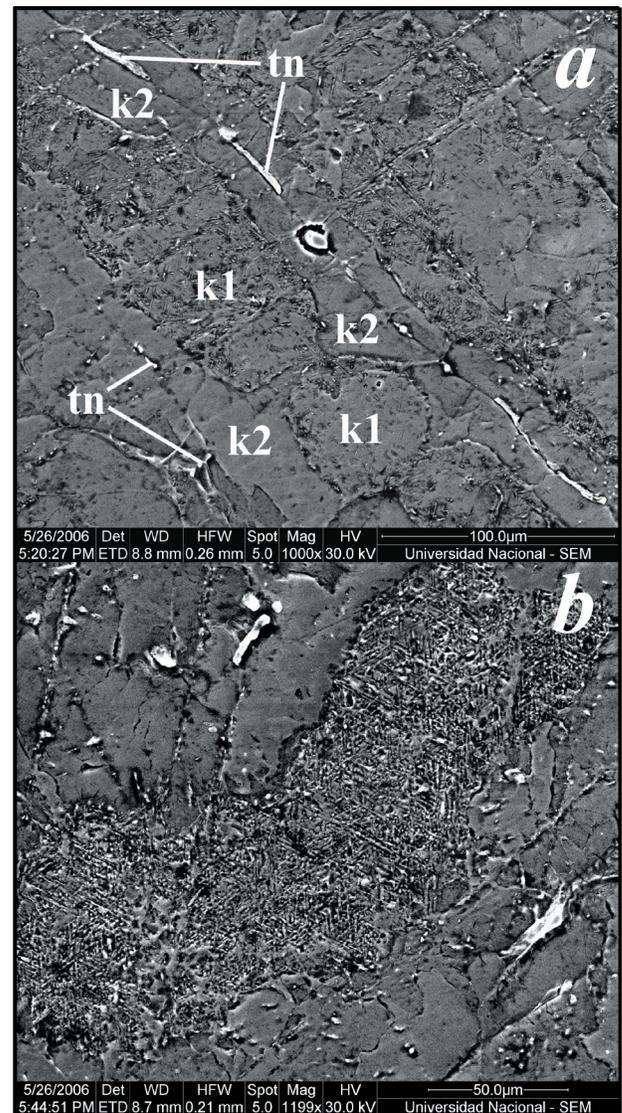


Fig. 13. Sección SRV-003. a. Lámina de kamacita presente en la textura Widmanstätten, caracterizada por tener una parte central más oscura y rugosa (k1) que la parte periférica (k2). La lámina se encuentra limitada por láminas discontinuas de taenita (tn). Aumento de 1000X. b. Intercrecimientos plesíticos en la parte central de las láminas de kamacita en la textura Widmanstätten. Aumento de 1199X. Fotografías tomadas con SEM.

Espectrometría por Fluorescencia de Rayos-X

Se seleccionó un fragmento del MSR/V que muestra una homogeneidad mineralógica en su superficie. Este fragmento fue cortado de forma circular hasta obtener un disco de 37mm de diámetro, obteniendo así la mayor superficie posible para ser analizada en el espectrómetro utilizado.

Tabla 4. Resultados de los análisis de Fluorescencia de Rayos-X realizados a un fragmento del MSR/V.

ELEMENTO	CONC. (%)
Fe	92.26
Ni	6.95
Co	0.48
P	0.40
Al	0.07
Si	0.04
Cl	0.02
Ge	0.02
S	0.02
Zn	0.02
Ga	0.01

Después de cortar y pulir la muestra, ésta se sometió a análisis de Espectrometría por Fluorescencia de Rayos-X, de forma semicuantitativa no destructiva obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 4.

El Fe y Ni conforman casi la totalidad del meteorito debido a que no sólo constituyen la aleación de FeNi, sino a que también hacen parte de algunos minerales accesorios (schreibersita y cohenita) y de las inclusiones (troilita). El contenido de Ni es concordante con los contenidos de Ni en los meteoritos metálicos (5-30%) (NORTON 2002).

El Co es un elemento bastante común, en pequeñas cantidades, en este tipo de meteoritos, donde reemplaza al Fe o al Ni en las estructuras cristalinas de las aleaciones de FeNi y minerales accesorios (BUCHWALD 1977).

El P está principalmente relacionado con la presencia de schreibersita, (Fe,Ni,Co)₃P, pero también fue detectado con el SEM en algunos cristales de cohenita.

Es posible que el Al y Si estén haciendo parte de pequeñas inclusiones de silicatos, que a veces se presentan en los meteoritos metálicos. Según BUCHWALD (1977) es común encontrar silicio disuelto en la kamacita, aunque la presencia de estos elementos también puede corresponder a contaminación de la muestra por los procesos de corte y pulido.

La presencia de Cl se debe principalmente a la alteración y contaminación terrestre que experimenta la muestra. Este elemento es reportado en muchos meteoritos

metálicos y pétreo-metálicos (NORTON 2002), haciendo parte de un cloruro de Fe y Ni (laurencita), que es un mineral de alteración.

El Ge y Ga son elementos comunes en pequeñas cantidades, utilizados, junto al Ir, para clasificar químicamente este tipo de meteoritos (NORTON 2002).

Es bastante probable que la ocurrencia de S y Zn se deba a la existencia de cristales de esfalerita, que son comunes en meteoritos metálicos. Petrográficamente la troilita (FeS) fue identificada en forma de inclusiones con distribución aleatoria dentro de la aleación de FeNi; sin embargo, macroscópicamente, no se observaron inclusiones de este mineral en la muestra analizada, lo que conlleva a la baja concentración de S. Este hecho sugiere que el S reportado está principalmente limitado a las inclusiones de troilita y a pequeñas cantidades que se encuentran disueltas en la kamacita (BUCHWALD 1977).

CLASIFICACIÓN

En todas las publicaciones nacionales en que se reporta el meteorito de Santa Rosa, se le ha denominado Aerolito (RAMÍREZ 1950, 1951; FORERO 1953; REYES 2005). En la nomenclatura antigua de meteoritos, la palabra aerolito agrupaba a todos aquellos meteoritos que estaban conformados principalmente por silicatos; es decir, los que actualmente son llamados meteoritos pétreos. En esta nomenclatura, los sideritos corresponden a los meteoritos metálicos. En Colombia se ha utilizado el término aerolito como sinónimo de meteorito sin tener en cuenta el sentido estricto de este término.

El MSR/V ha sido clasificado con anterioridad como una ataxita (HENDERSON en RAMÍREZ 1951; HEIDE 1964; GRADY 2000) perteneciente a la clase química IC (GRADY 2000). También ha sido definido como una octaedrita, o al menos, se ha descrito la aparición de la textura Widmannstätten al acidificar (WARD 1907, REICHENBACH *et al.* en RAMÍREZ 1951, BUCHWALD & WASSON 1968, INGEOMINAS 1993).

GRADY (2000) clasifica el MSR/V como una ataxita pobre en Ni y perteneciente a la clase química IC. Muchas de las ataxitas pobres en Ni descubiertas, resultan ser octaedritas gruesas, muy gruesas o hexaedritas que experimentaron un recalentamiento secundario, perdiendo sus texturas originales (MASON 1962, HEIDE & WLOTZKA 1995, MCSWEEN 1999, NORTON 2002).

Por otro lado, BUCHWALD & WASSON (1968) consideran que el MSR/V no pertenece a ninguna de las clases químicas definidas hasta ese entonces. Posteriormente BUCHWALD (1977) se refiere al MSR/V como un meteorito metálico anómalo.

GIL-RODRÍGUEZ (2005) clasifica al MSR/V, basado en su textura (líneas de Neumann) y composición química (4.9% de Ni), como una hexaedrita.

En el diagrama de estabilidad de las diferentes fases del FeNi (Fig. 14), se puede observar que es posible que existan las ataxitas pobres en Ni cuando experimentan un enfriamiento muy rápido en su cuerpo-fuente. La difusión del Ni en la taenita (primera en cristalizar) tendría que cesar antes que la temperatura descienda hasta llegar al campo de taenita+kamacita, donde la taenita se convertiría lentamente en kamacita. Para el caso del MSRV con un contenido de 6.95% Ni, la temperatura a la cual debió cesar la difusión del Ni en la taenita sería de ~730°C. Sin embargo, MCSWEEN (1999) propone una tasa de enfriamiento bastante lenta (2–9°C por millón de años) para los meteoritos de la clase química IC en cuerpos-fuente de 200 a 1000Km de diámetro. Con esta tasa de enfriamiento, no se podría formar una ataxita pobre en Ni a partir del fundido original.

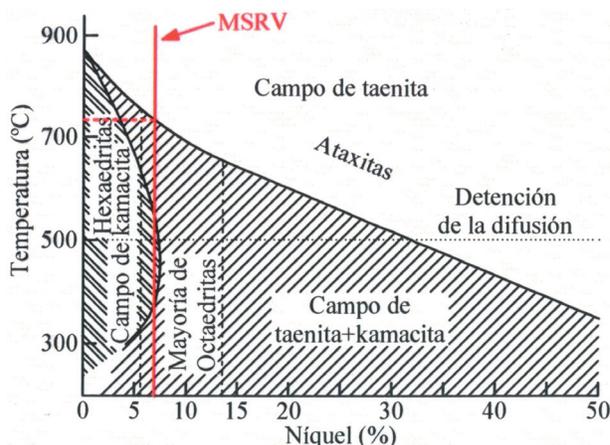


Fig. 14. Diagrama de estabilidad de las diferentes fases del FeNi. Se señala la posición que ocupa el MSRV según su contenido de Ni (6.95%). Tomado de NORTON (2002).

Según la clasificación química de los meteoritos metálicos (ver NORTON 2002), la clase IC se limita a octaedritas gruesas y meteoritos metálicos anómalos; es decir, si el MSRV pertenece a la clase química IC, tendría que ser una octaedrita gruesa, una octaedrita gruesa con alteración termal o un meteorito metálico anómalo.

En este trabajo se identificaron claramente líneas de Neumann en las tres secciones estudiadas del MSRV; paralelas a estas líneas se encontraron cristales de rabdita en corte transversal, que típicamente siguen los patrones de las líneas de Neumann (HEIDE 1964; NORTON 2002), confirmando así su presencia. Con este criterio y con base en la concentración de Ni de la pieza (6.95%), el MSRV se clasificaría como una hexaedrita. Sin embargo, la presencia de la textura Widmanstätten en algunas zonas de la sección SRV-003, irían en contra de dicha clasificación.

Según su contenido de Ni (6.95%), el MSRV podría ser una ataxita pobre en Ni, una octaedrita, una hexaedrita, un meteorito metálico anómalo o cualquiera de los anteriores con alteración termal. Si el MSRV fuese una ataxita pobre en Ni, tendría que estar conformada casi en su totalidad por taenita, pero este mineral se encuentra estrictamente restringido y en muy pequeñas cantidades, en la textura Widmanstätten.

El MSRV tampoco puede ser una octaedrita, puesto que las octaedritas están conformadas totalmente por intercrecimientos de kamacita y taenita (textura Widmanstätten), textura que solo se encuentra parcialmente en el meteorito.

Todas las características analizadas y discutidas anteriormente (minerales presentes, relaciones texturales, texturas y composición química) permiten clasificar al MSRV como un Meteorito Metálico Anómalo.

CONCLUSIONES

- El MSRV se ha clasificado como un Meteorito Metálico Anómalo, dado que presenta líneas de Neumann en todas sus superficies pulidas y una textura Widmanstätten tan sólo en algunos lugares. Tiene un contenido de Ni de 6.95% y está conformado mineralógicamente por 94% de Kamacita, 2% de Schreibersita, 2% de Magnetita (como producto de alteración), 1% de Troilita (como inclusiones elipsoidales) y 1% de Cohenita (con zonas de productos de alteración). Otros minerales que se encuentran en mínimas cantidades son Taenita y Grafito (como producto de alteración).

- En la sección SRV-003 se encontraron cristales de schreibersita bordeando la inclusión principal de troilita y dentro de ella. La schreibersita se presenta en variedades anhedrales y euhedrales (prismas de rabdita), caracterizadas en su mayoría por una envoltura de ~0.01mm de cohenita y por disponerse paralelamente a las líneas de Neumann.

- Algunos cristales de cohenita presentan texturas de exsolución, caracterizadas por la presencia de esferas de ~2µm de diámetro en ordenamiento espacial y con fenómenos de coalescencia.

- Las protuberancias que presentan las piezas en el momento de su corte son el resultado de la presencia de cohenita y schreibersita, que poseen mayor dureza (6.5) que la aleación de FeNi (5.5).

- Las zonas de productos de alteración de la cohenita son las responsables de la aparición de manchas al acidificar las secciones del MSRV.

- La kamacita envolvente muestra los patrones de líneas de Neumann más claros y fue identificada alrededor de las inclusiones de troilita y de algunos cristales de

schreibersita.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por la valiosa ayuda y comentarios durante la elaboración de la presente investigación a los profesores del Departamento de Geociencias Analía del Valle Pantorrilla, Juan Carlos Molano, José María Jaramillo y Luis Jorge Mejía. Al profesor Gustavo Martínez, coordinador del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Sistema Nacional de Laboratorios (CEIF), por su orientación en los análisis de SEM. A Armando Sánchez, técnico operativo del Departamento de Geociencias por su colaboración en la realización de las secciones pulidas analizadas.

Así mismo, agradecemos a los funcionarios del INGEOMINAS Elizabeth Cortes y Joel Rivas, por su apoyo en la realización de las mediciones en el microscopio electrónico de esta institución.

BIBLIOGRAFÍA

- BUCHWALD, V. F. (1977): The Mineralogy of Iron Meteorites. - Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, v.286, No.1336, p. 453-491, Great Britain.
- BUCHWALD, V. F. & WASSON, J. T. (1968): The Two Colombian Iron Meteorites, Santa Rosa and Tocavita. - *Analecta Geologica*, No.3, p. 5-29, Mineralogisk Museum, Copenhagen, Denmark.
- BOUSSINGAULT, J. B. & ROULÍN, F. D. (1849): Viajes Científicos a los Andes Ecuatoriales. -364p., Lasserre Editor, París. Traducción de Joaquín Acosta, Reimpresión del Instituto Colombiano de Cultura Hispánica, Bogotá, 1991.
- FORERO, M. J. (1953): Los Aerolitos de Santa Rosa. - *Vida*, No.59 (Octubre – Noviembre), p. 40-41, 64, Bogotá.
- GIL-RODRÍGUEZ, J. (2005): Caracterización Petrográfica y Geoquímica de Meteoritos (Trabajo de Grado). -92p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- GRADY, M. (2000): The Catalogue of Meteorites (5th Edition). -615p., Cambridge University Press, United Kingdom.
- HEIDE, F. (1964): Meteorites. -144p. The University of Chicago Press, United States.
- HEIDE, F. & WLOTZKA, F. (1995): Meteorites: Messengers from Space. -231p., Springer-Verlag, Germany.
- INGEOMINAS (1993): Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, Tomo XIV, p. 34-44, 99-100, 378-390, Bogotá.
- MALVICINI, L. & SAULNIER, M. E. (1979): Texturas de Depósitos Minerales. -68p., Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología, Serie Didáctica No.3, Argentina.
- MASON, B. (1962): Meteorites. -215p., John Wiley & Sons Inc, United States.
- MCSWEEN, H. Y. (1999): Meteorites and Their Parent Planets. -310p., Cambridge University Press, United States.
- MUELLER, R. F. & SAXENA, S. K. (1977): Chemical Petrology: With Applications to the Terrestrial Planets and Meteorites. -394p., Springer-Verlag, United States.
- NORTON, O. R. (1998): Rocks from Space: Meteorites and Meteorite Hunters (2nd Edition). -447p., Mountain Press Publishing Company, Montana.
- NORTON, O. R. (2002): The Cambridge Encyclopedia of Meteorites. -354p., Cambridge University Press, United Kingdom.
- RAMDOHR, P. (1980): The Ore Minerals and Their Intergrowths. -1207p., Pergamon Press, Berlin.
- RAMÍREZ, J. E. (1950): Santa Rosa de Viterbo y su famoso Aerolito. - *Juventud Bartolina*, Año 28, No.188, p. 153-155, Bogotá.
- RAMÍREZ, J. E. (1951): Historia del Aerolito de Santa Rosa de Viterbo, Boyacá. - *Eclesiástica Xaveriana*, v.1, p. 278-293, Bogotá.
- REYES, J. J. (2005): Legado a Santa Rosa de Viterbo. -216p., Fundación Interdisciplinaria Internacional FIN, Santa Rosa de Viterbo, Boyacá.
- WARD, H. A. (1907): Colombian Meteorite Localities: Santa Rosa, Rasgata, Tocavita. - *The American Journal of Science*, v.XXIII, No. 133, p. 1-8, United States.

Manuscrito recibido Mayo 2006; aceptado Octubre 2006.

