



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Petrología y mineralogía de
las meteoritas africanas
NWA**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Tania Itzel Trejo Nava

DIRECTORA DE TESIS

Dra. María Dolores Maravilla Meza



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a mi directora de Tesis, Dra. María Dolores Maravilla Meza por su esfuerzo y dedicación. Por sus conocimientos, su orientación, paciencia y motivación, ya que estos aspectos han sido fundamentales para mi formación profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, alma mater de la ciencia y la tecnología porque me brindo los conocimientos que ahora poseo, por darme una educación integral y permitirme usar sus instalaciones para realizar este trabajo.

A mis sinodales por brindarme su tiempo y conocimiento para la realización de esta Tesis.

A mis padres por inculcarme el sentido de seriedad, responsabilidad, motivación y confianza, pero sobre todo por apoyarme en el transcurso de mi carrera. A ellos les debo todos mis logros, ya que sin su ayuda incondicional nada de esto hubiera sido posible.

A mi hermano por estar junto a mí y brindarme su apoyo, fortaleza, por sus enseñanzas, cariño, por brindarme ese sentido de superación, porque a pesar de que os educamos juntos guiaste mis pasos pero sobre todo por nunca dudar de mí.

A mi novio por estar siempre a mi lado, por darme tu cariño, confianza, por impulsarme hacer lo que me gusta, por encontrarle el lado dulce a lo amargo, por estar conmigo en los buenos y malos momentos y por motivarme a seguir en el transcurso de este proceso.

A mi familia mis abuelos, mis tíos y mis primos por ser parte fundamental de mi desarrollo personal, cada uno de ustedes destino tiempo para enseñarme cosas que me servirán para toda mi vida.

RESUMEN

En esta tesis se presenta un estudio petrográfico de las meteoritas africanas NWA 4502, NWA 6568, NWA 6867, NWA 7043 así como de la meteorita Allende. Estas meteoritas han sido clasificadas como condritas carbonosas y por su composición geoquímica y clasificación, se relacionan con el origen del sistema solar, ya que contienen información que proviene de la nube protoplanetaria.

Los estudios petrográficos que se llevaron a cabo permitieron la identificación de minerales y de texturas en estas meteoritas. Aunado a estos estudios, se realizaron estudios con microsonda electrónica para corroborar los resultados de identificación mineralógica, e identificar minerales que no se pudieron detectar con microscopio petrográfico.

Los resultados obtenidos posteriormente fueron analizados, comparados y discutidos para mostrar las semejanzas y diferencias entre las meteoritas y poder inferir los posibles procesos de formación de estos cuerpos con base en las teorías actuales de formación del sistema solar.

La tesis está estructurada de la siguiente manera:

- a) Índice
- b) Introducción
- c) Capítulo I – Meteoritas - Clasificación y descripción de las meteoritas.
- d) Capítulo II – Condritas - Clasificación y descripción de las Condritas.
- e) Capítulo III – Meteoritas NWA.
- f) Capítulo IV – Análisis petrográfico – Análisis de las meteoritas NWA 4502, NWA 6568, NWA 6867, NWA 7043 y Allende.
- g) Capítulo V – Análisis de Resultados y Discusión– Presentación de los resultados obtenidos tanto de petrografía como aquellos obtenidos con la microsonda electrónica. Discusión de los resultados.
- h) Conclusiones
- i) Apéndice A Resultados de Análisis por SEM.
- j) Glosario
- k) Bibliografía

ÍNDICE

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Índice	iv
Introducción	1
Capítulo I Meteoritas	5
1.1 Meteoritas Condriticas (No diferenciadas)	6
Condritas Rumuruti	7
Condritas Kakangari	7
Condritas Ordinarias	7
Condritas Enstatitas	7
Condritas Carbonosas	7
1.1.1 Origen	11
1.2 Meteoritas No Condriticas o Diferenciadas	11
Sideritas	12
Siderolitas	13
Acondritas	15
Formacion de las meteoritas	19
Capítulo II Condritas	21
2.1 Cóndrulos	21
2.1.1 Clasificación composicional	21
2.1.2 Clasificación textural	22
2.2 Bordes	23
2.3 Inclusiones Refractarias CAI's	24
2.4 Granos metálicos y sulfuros	25
2.5 Cuerpos ameboidales AOA's	25
2.6 Matriz	26
2.7 Carbón Orgánico	26
2.8 Condritas tipo CV3	27
2.9 Origen de los cóndrulos y de las condritas	28
2.9.1 Cóndrulos de Planetesimales	28
2.9.2 Nebulosa solar caliente	29
2.9.3 Modelo del viento X	30
2.9.4 Impacto de Nebulosa	32
Capítulo III Meteoritas NWA	34
3.1 Costra de ablación de las meteoritas	34
3.2 Clasificación de las meteoritas NWA	35
3.3 Ejemplares únicos de las meteoritas NWA	37
Capítulo IV Análisis petrográfico	38
4.1 Preparación de muestras	38

4.2 Resultados de los análisis	39
4.2.1 Meteorita NWA4502	39
4.2.1a Matriz	39
4.2.1b Cóndrulos	41
4.2.1c Bordes	45
4.2.1d Cuerpos ameboidales (AOA's)	46
4.2.2 Meteorita NWA6567	47
4.2.2a Matriz	47
4.2.2b Cóndrulos	47
4.2.2c Bordes	51
4.2.2d Cuerpos ameboidales (AOA's)	51
4.2.3 Meteorita NWA7043	51
4.2.3a Matriz	51
4.2.3b Cóndrulos	52
4.2.3d Bordes	55
4.2.3c Cuerpos ameboidales (AOA's)	55
4.2.4 Meteorita NWA7678	56
4.2.4a Matriz	56
4.2.4b Cóndrulos	57
4.2.4c Bordes	59
4.2.4d Cuerpos ameboidales (AOA's)	60
4.2.5 Allende	61
4.2.5a Matriz	61
4.2.5b Cóndrulos	62
4.2.5c Bordes	64
4.2.5d Cuerpos ameboidales AOA's	65
4.3 Análisis con Microsonda Electrónica	65
4.3.1 Preparación de muestras	66
4.3.2 Resultados Microsonda Electrónica	66
Capítulo V Análisis de resultados y Discusión	69
5.1 Cóndrulos y Cuerpos Ameboidales	69
5.1.1 Porfídicos	70
5.1.2 No porfídicos	70
5.2 Matriz	71
5.3 CAI's	72
5.4 Sulfuros y Aleaciones de Fe-Ni	73
5.5 Discusión	73
Conclusiones	75
Apéndice	78
Glosario	86
Bibliografía	88

INTRODUCCIÓN

EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

El universo, bajo las leyes físicas que se conocen, es el conjunto de toda la materia y energía que existe en el espacio. El modelo más aceptado del origen del universo es el del Big Bang (*“la gran explosión”*), el cual está sustentado por observaciones con telescopios infrarrojos que muestran que las galaxias se están alejando entre sí, lo que indica que, el universo se está expandiendo.

Debido a que no se puedan recrear las condiciones iniciales del Big Bang, los procesos que le sucedieron a la gran explosión solo son teóricos y dentro de estos procesos, el origen de la materia es uno de los más estudiados. En particular, las galaxias son un medio para estudiar el origen de la materia porque están formadas principalmente de hidrógeno y helio y se cree que ellas nacieron en los primeros mil millones de años de vida del universo (Weiss, A., 2007). Tanto el hidrógeno como el helio son los elementos más simples del universo y su origen se relaciona con la creación de partículas subatómicas (como los quarks) y los protones y los neutrones que precedieron a la creación de los átomos más simples, como es el caso del hidrógeno, el deuterio y el helio (nucleosíntesis primordial).

La nucleosíntesis del Big Bang supone que la formación del deuterio y del helio se llevó a cabo en los primeros 300,000 años de vida del universo cuando la temperatura había descendido lo suficiente como para que el calor no pudiera romper los enlaces entre protones y neutrones. Estas partículas, formaron asociaciones cada vez más complejas gracias a la fuerza nuclear fuerte y, debido al decremento de la temperatura en el medio, las asociaciones se hicieron inestables y no fue posible que se generaran elementos más pesados que el berilio (Be), (Alpher, R., 1948). La aparición de elementos más pesados se asocia con el nacimiento, evolución y muerte de las estrellas y por ende con la formación de sistemas planetarios. En el caso del sistema solar que habitamos, su origen y formación está asociado con la formación de los primeros cuerpos rocosos en la nube protoplanetaria, como es el caso de aquellos cuerpos que forman parte de las meteoritas más antiguas: las condritas.

El estudio del origen del sistema solar se basa en observaciones hechas con telescopios que funcionan en el rango del infrarrojo y en otras longitudes de onda. Estas observaciones han permitido obtener imágenes de alta resolución de un sin fin de lugares en la Vía Láctea, desde nebulosas hasta estrellas en distintas etapas de su vida.

Junto con los radiotelescopios, actualmente se hace uso de las meteoritas para indagar el origen de los cuerpos masivos, ya que ellas, contienen información de las distintas etapas de formación de los cuerpos planetarios así como de los cuerpos menores del sistema solar. Gracias a las meteoritas y a los estudios isotópicos realizados en algunas condritas, actualmente se sabe que el sistema solar nació hace aproximadamente 4567 Ma (Woolfson, M., 2000).

Formación del disco protoplanetario

Las primeras etapas del sistema solar se remontan a una nebulosa formada por gas y polvo, de la cual surgió el protosol por colapso gravitacional y reacciones termonucleares (Trigo-Rodriguez, J., et al., 2006). A la formación del protosol, le sucedió la creación anular del disco proto-planetario por rotación del material circundante al protosol y por conservación de momento angular (Wood, J., 1988).

Una vez formado el disco, el material pasó por un proceso de diferenciación geoquímica, el material refractario se ubicó en regiones cercanas al protosol, mientras que, en la región intermedia quedaron cúmulos de materiales diferenciados y en la región más alejada se concentraron los elementos más ligeros como el nitrógeno, hidrógeno y oxígeno, los cuales a temperaturas más bajas tuvieron la posibilidad de congelarse.

Importancia de las meteoritas en el sistema solar

Las meteoritas juegan un papel de suma importancia en la formación del sistema solar, ya que ellas pueden provenir de distintas partes del disco protoplanetario y contener partículas de polvo cósmico presolar, lo que las hace objetos de estudio tan complejos como fascinantes.

Dentro de las meteoritas, sobresalen las condritas carbonosas porque son los cuerpos más antiguos, junto con las inclusiones de calcio-aluminio (CAI's, por sus siglas en inglés), del sistema solar y pueden tener información de los procesos que dieron origen a la formación de cuerpos masivos. Las condritas carbonosas están formadas por una matriz, por las inclusiones refractarias (CAI'S), por los cuerpos ameboidales, por sulfuros y por los cóndrulos. Se cree que cada una de estas componentes se formó en condiciones muy diferentes respecto a las otras y actualmente se sabe que los CAI's fueron los primeros cuerpos que se formaron en el disco protoplanetario, seguidos de los cóndrulos.

Modelos del origen del sistema solar

Actualmente existen cuatro teorías importantes que tratan de explicar la formación de los cuerpos del sistema solar a partir de la existencia de una nube primigenia de polvo y gas (nube protoplanetaria), posterior a la génesis del Sol (protosol). Estas teorías serán descritas en el capítulo II y sucintamente se conocen como:

a) *Modelo de los Cóndrulos de Planetesimales*

En el disco protoplanetario primitivo, las partículas más pequeñas preexistentes llamadas cóndrulos, se fueron uniendo hasta formar cuerpos más grandes, conocidos como planetesimales (Libourel, G y Krot, A., 2007).

b) *Teoría de la Nebulosa Solar Caliente*

Propone que después del colapso de la nebulosa, el material remanente formó un disco, y a diferentes distancias del protosol, se formaron distintos materiales (Sears, D., 2004).

c) *Teoría del Viento X*

Una vez formado el disco protoplanetario, se formó una región en la llamada zona X. En esta zona, los materiales estuvieron sometidos a muy altas temperaturas, y a un campo magnético intenso. Este campo ocasionó que los materiales fueron expulsados hacia fuera de esta zona o hacia el protosol (McSween, H., 1999).

d) *Modelo de Impacto de Nebulosa*

Este modelo propone que en la nube protoplanetaria se generó una onda de choque responsable de la cristalización de algunos componentes y de la acreción de los elementos circundantes (Grossman y Steele, I., 1976)

Formación de los planetas

En general, la posible secuencia de formación de cuerpos del sistema solar pudo ser la siguiente, una vez que se formó el protosol y en el disco (protoplanetario) se empezaron a formar los primeros embriones planetarios por colisiones (protoplanetas):

a) Las reacciones termonucleares alcanzaron un punto crítico, tal que, empezó la ignición del hidrógeno y se convirtió el protosol en una verdadera estrella: el Sol (100 Ma después del nacimiento del protosol de acuerdo a Zanda, B y Rotaru, M, (2001)). Posteriormente, con el descenso de la temperatura, las partículas existentes se condensaron, dando pie a la acreción de los planetas (Modelo de cóndrulos de planetesimales).

b) Se formaron los planetas gaseosos 40 Ma después de que se formara el Sol, y en un campo gravitacional no proximal, la formación planetaria se llevó a cabo por choques de alta velocidad y los procesos de acreción generaron cuerpos masivos rápidamente (Modelo de la nebulosa solar caliente).

- c) En la región interna del disco protoplanetario, los planetas rocosos tardaron 10 veces más tiempo en formarse que los planetas gaseosos. 75 millones de años después de la formación de planetas gaseosos y rocosos, el proceso de formación de cuerpos masivos entró en su etapa final y es aquí que, el cinturón de asteroides y el cinturón de Kuiper¹ quedaron formados por restos de material planetesimal conteniendo más materia que la que tienen actualmente (Modelo de impacto de nebulosa).
- d) Con el paso del tiempo, la densidad del cinturón de asteroides y del de Kuiper disminuyó debido a la influencia gravitacional de Júpiter, que fue la responsable que, de estas regiones, salieran eyectados cuerpos a zonas mas lejanas del sol y a regiones cercanas a él (Modelo del viento X).

Los modelos que se tienen actualmente sobre el origen del sistema solar ayudan a explicar algunos de los procesos que se produjeron después de haber ocurrido la creación del disco protoplanetario, sin embargo el conocimiento que se tiene de ello, solo es teórico, ya que no se tiene evidencia , ni material ni visual para poder corroborar estos modelos.

Por otro lado, el descubrimiento de algunos sistemas planetarios (exoplanetas) nos permitirá en el futuro conocer las diferentes etapas de evolución de los cuerpos que los constituyen y así, comprender cómo se formaron cuerpos masivos a partir de una nube de polvo y gas proveniente de la muerte de las estrellas. De aquí que, el estudio de meteoritas primitivas, como es el caso de las condritas carbonosas, sea de gran importancia para comprender la génesis de los cuerpos que forman el sistema solar.

Este trabajo se centrará en el estudio petrográfico de las condritas carbonosas NWA6567, NWA7043, NWA7678, NWA4502 y en la famosa meteorita de Allende. Con base en los resultados que se obtengan, éstos se relacionarán con las teorías principales de formación del sistema solar.

La tesis ha sido estructurada de la siguiente forma: en el capítulo I se presenta la clasificación de las meteoritas, el capítulo II está dedicado exclusivamente a las Condritas. El capítulo III contiene una descripción general de las meteoritas africanas NWA. El capítulo IV presenta las técnicas de análisis utilizadas y los estudios llevados a cabo en las meteoritas NWA6567, NWA7043, NWA7678, NWA4502 y en la de Allende. El capítulo V presenta los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. Las conclusiones se presentan al final.

¹ El cinturón de Kuiper es un disco circumestelar que orbita alrededor del sol a una distancia entre 30 y 55 ua, cuyos cuerpos tienen inclinaciones bastantes altas y sus tamaños rondan entre 100 y 1000 km.

CAPÍTULO I

METEORITAS

1.- Meteoritas

La palabra meteorita o meteorito proviene de la palabra griega *Meteoron* que quiere decir: *fenómeno en el cielo* y que los griegos usaron para describir la estela de luz que se observa cuando estos cuerpos cruzan la atmósfera de la Tierra.

La llegada de una meteorita a nuestro planeta está asociada con tres etapas de la dinámica de estos cuerpos. Estas etapas son conocidas como: a) meteoroide, b) meteoro y c) meteorita. Un meteoroide, de acuerdo a Krot, et al. (2014) es un cuerpo que se encuentra en el medio interplanetario, un meteoro describe la estela de luz que deja un meteoroide cuando atraviesa la atmósfera terrestre y una meteorita es un cuerpo sólido, de material extraterrestre, que ha alcanzado e impactado la superficie de la Tierra (Figura 1).



Figura 1. Diferencia entre Meteorito, Meteoro y Meteoroide Fuente: Nasa.gov

A principios del siglo XX, las meteoritas fueron clasificadas en tres grandes grupos con base en el contenido proporcional de metal y/o roca: Metálicas, Rocosas y Metal-rocosas. Con el surgimiento de nuevas técnicas analíticas de laboratorio, actualmente existe otra clasificación que incluye la composición química, la mineralógica y la fuente posible de la cual provienen (Figura 2).

Esta nueva clasificación se basa principalmente en las texturas y se divide en dos categorías: Meteoritas diferenciadas y Meteoritas no diferenciadas (Krot et al., 2014). Las primeras poseen una textura no diferenciada, indicando que no hubo una fusión de los minerales que las componen, mientras que las segundas tienen una textura diferenciada, indicando que el material que las formó tuvo cierto grado de fusión.

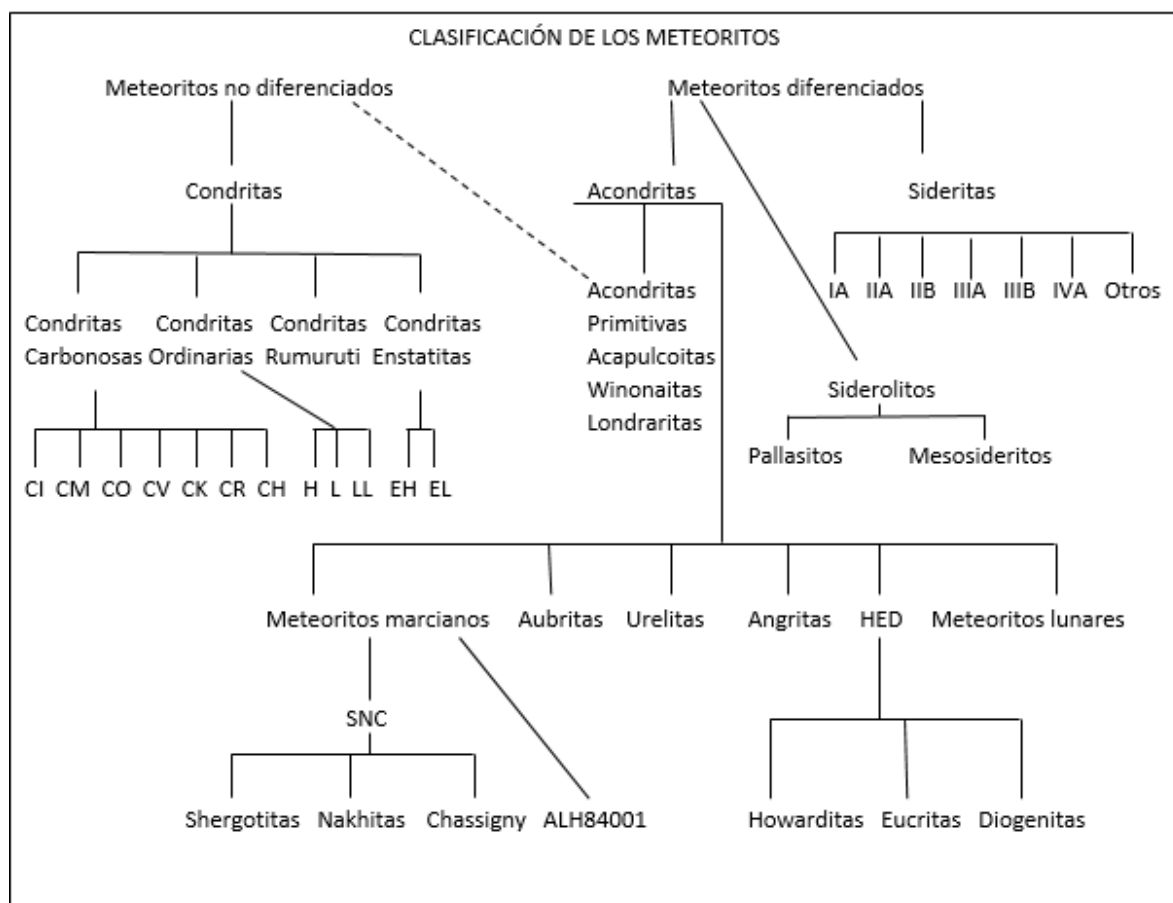


Figura 2. Clasificación de las Meteoritas (Krot, et al., 2014)

1.1 Meteoritas Condriticas (No diferenciadas)

Estas meteoritas son aquellas que no presentan ningún grado de fusión del cuerpo original, formalmente son llamadas *Condritas*, y se les llama así, porque presentan unas estructuras esféricas llamadas cóndrulos, generalmente compuestos por silicatos del grupo del Olivino y Piroxeno. Las *Condritas* se dividen en cinco clases principales: *Carbonosas*, *Ordinarias*, *Enstatitas*, *Rumurutis* y *Kakangari*. Las *Condritas Carbonosas*, *Ordinarias* y las *Enstatitas* recibieron este nombre con base en su composición química, mientras que las

Rumuruti y las *Kakangari* llevan el nombre del lugar donde fueron halladas (MacFadden, et al., 2006).

Las condritas *Rumuruti* fueron encontradas en Rumuruti, Kenia; contienen plagioclasas, silicatos y olivinos y hasta el momento solo se han encontrado cinco ejemplares pertenecientes a esta clase (MacFadden, et al., 2006).

Las condritas *Kakangari* fueron halladas en Kakangari, India, contienen silicatos en gran proporción tales como Plagioclasas, Olivinos y Piroxenos. Este grupo no es muy reconocido en el ámbito científico porque solo existe un ejemplar (MacFadden, et al., 2006).

Las condritas *Ordinarias* se clasifican según la cantidad de Hierro que contengan y se dividen en tres grupos: el H (High Iron- por sus siglas en inglés), el L (Low Iron – por sus siglas en inglés) y el LL (Very Low Iron – por sus siglas en inglés) (Figura 2). El grupo H está formado de minerales de Olivino y Broncitas; el grupo L contiene minerales como el Olivino, Hiperstena y Pigeonita y; el grupo LL contiene minerales como el Olivino, Broncita, Hiperstena y Plagioclasa (Krot, et al., 2014) .

Las condritas *Enstatitas* contienen principalmente Enstatita, también tienen un porcentaje bajo de Fe y Ni y, al igual que las *Ordinarias*, se clasifican de acuerdo a su contenido en Fe. Sus grupos son: el EH (High Iron) que contiene mayor cantidad de Fe, el EL (Low Iron) que contiene poco Fe y el ELL (very Low Iron) que contiene Fe en partes por millón (ppm) (Krot et al., 2014).

Las condritas *Carbonosas* tienen un alto porcentaje de carbono (Ward y Brownlee, 2000), contienen Olivino y Serpentina así como Fe y Ni en gran proporción, pueden contener hasta un 20 wt % de agua y hasta un 7 wt % de componentes orgánicos. Se dividen en nueve grupos de acuerdo con la cantidad de cóndrulos que presentan: CO, CI, CM, CV, CR, CK, CB, CH y C. Las CO reciben su nombre de acuerdo al lugar de hallazgo (Ornans, Francia) y contienen entre un 35 % a 40 % wt de cóndrulos de tamaño entre 0.2-0.3 mm; los CI (Ivuna, Tanzania) son los que tienen menor cantidad de cóndrulos y pueden llegar a carecer de éstos; los CM (Mighei, Ucrania) contienen 15 % wt en cóndrulos de ~0.3 mm de diámetro (Figura 3); Los CV (Vigaramo, Italia) contienen un porcentaje de 35 % a 40 % wt de cóndrulos de ~1 mm de tamaño (Figura 4); los CR (Renazzo) contienen entre 40 a 60 % wt de cóndrulos milimétricos, inclusiones refractarias y matriz de grano fino; los CK (Karoonda, Australia) contiene elementos del grupo del Platino, Teluros y Arseniuros y sus cóndrulos son menores a 10 µm; los CB (Bencubbin, Australia) tienen una relación de metal/cóndrulos mayor a todas las condritas carbonosas; la CH (High Iron) contienen Olivino con altas cantidades de Cromo y su contenido en Fe es muy alto; y las C o CC son las que no tienen un grupo definido (Krot et al., 2014).



Figura 3. Meteorita Murchinson, tipo CM. Fuente: meteoritepanspermia.com

Las Condritas Carbonosas también se dividen de acuerdo al tipo petrológico que presentan con base en su grado de alteración. Los tipos petrológicos son seis y se nombran con los números: 1, 2, 3, 4, 5, y 6. Los grupos 1 y 2 presentan alteración acuosa (solamente en la condritas con contenido de agua) mientras que el grupo 3 corresponde a las que no presentan alteración acuosa. A su vez, estos tres grupos tienen una clasificación adicional basada en diez categorías que indican el grado de alteración acuosa desde un mínimo (3.0) hasta un máximo (3.10). Los tres grupos restantes (4, 5 y 6) corresponden a las meteoritas carbonosas que presentan metamorfismo térmico (Krot et al., 2014).



Figura 4. Meteorita Allende, Tipo CV. Fuente: meteoritepanspermia.com

Para determinar el grado de alteración acuosa (del 1 al 10) es necesario apoyarse en una tabla de propiedades que puede presentar una muestra, con base en los estudios petrográficos que se hagan de la misma (Figura 5 y 6), (Scott y Krot, 2003); (Figura 6), (Scott y Krot, 2003).

Clasificación numérica de las condritas						
TIPO	Alteración acuosa		No alterado	Metamorfismo térmico		
	←				→	
	1	2	3	4	5	6
Carbonáceas	CI1					
		CM2				
		CR2				
			CV3			
			CO3			
				CK4		
Ordinarias			H3	H4	H5	H6
			L3	L4	L5	L6
			LL3	LL4	LL5	LL6
Enstatitas			EH3	EH4	EH5	EH6
			EL3	EL4	EL5	EL6
Kakangari			K3			
Rumurutis			R3			
T (°C)	?	?	<600	600-700	700-750	750-950

Figura 5. Clasificación numérica de las condritas que representa el grado de metamorfismo presente en estas meteoritas. Fuente: Wikipedia.org

Tipo	1	2	3	4	5	6
Homogeneidad entre Ol - Py (-Ca)		>5% media de desviación		<5%	Homogénea	
Estado estructural Py(-Ca)		Predominantemente Monoclínico		>20% Mon.	<20% Mon	Ortorrómico
Feldespatos		Solo granos Min principales % bajos		Secundarios <2 µm	Secundarios 2-50 µm	Secundarios >50 µm
Cóndrulos		Alterados, mayormente ausente	Transparentes, isotrópicos, abundantes	-----Devitrificado, ausentes-----		
Contenido de Ni en Metales		<20% Taenita	-----<20% Kamacita - Taenita-----			
Promedio de Ni en Sulfuros		>0.5%	-----0.5-----			
Matriz	Todo Grano Fino Opacos	Mayormente Fino Opaco	Clástica opaca	Transparente, Recristalizado Engrosamiento		
Integración Cóndrulos - Matriz	No hay Cóndrulos	Cóndrulos Bruscamente Definidos		Cóndrulos Bien definidos	Cóndrulos poco Definidos	Cóndrulos pobremente definidos
% Carbón	3-5	0.8-2.6	-----1.5-----			
% Agua	18-22	2-16	0.3-3	-----1.5-----		

Figura 6. Propiedades mineralógicas para identificar el tipo de metamorfismo. Adaptado de: Scott R. D. y Krot A. N. (2003).

Existe otra clasificación basada en el estado de oxidación de los sulfuros presentes en las meteoritas estudiadas. Para indicar dicho grado de oxidación se utilizan los subíndices: a, b, A, B y RED, tal y como se muestra en las figuras 7, 8 y 9. Los subíndices a, b, A y B indican que el cuerpo contiene magnetita (fórmula en el glosario) mientras que el subíndice RED significa que la meteorita contiene millerita (fórmula en el glosario). La presencia de magnetita está asociada con los sulfuros de Fe o aleaciones Fe-Ni que tienen mayor concentración de Fe, mientras que la presencia de millerita indica que existe aleación Fe-Ni con mayor concentración de Ni (Krot et al., 2014).

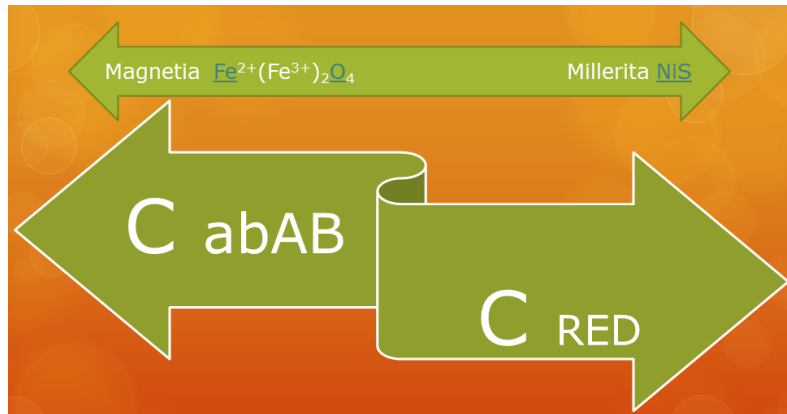


Figura 7. Diferencia entre las condritas con grado de oxidación a, b, A, B (Presencia de magnetita) con las RED (Presencia de Millerita). Tomado de: Scott, R y Krot, A., (2003).

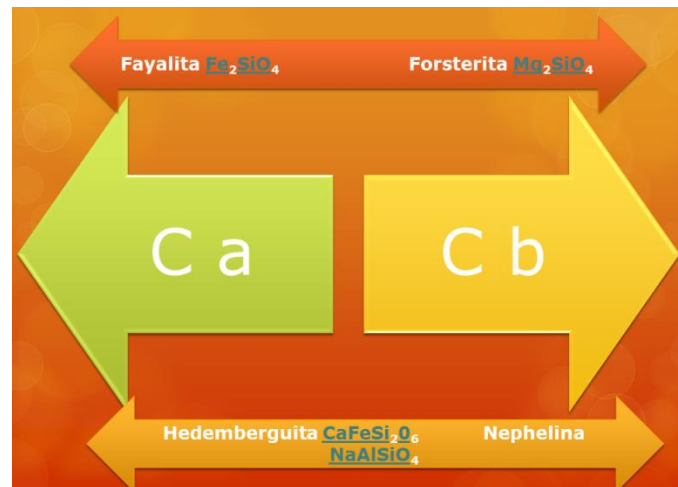


Figura 8. Diferencia entre el tipo de oxidación a (Olivino tipo Fayalita con presencia de Hedemberguita) y el b (Olivino tipo Forsterita y presencia de Nephilita). Información tomada de Scott R. y Krot A, (2003).

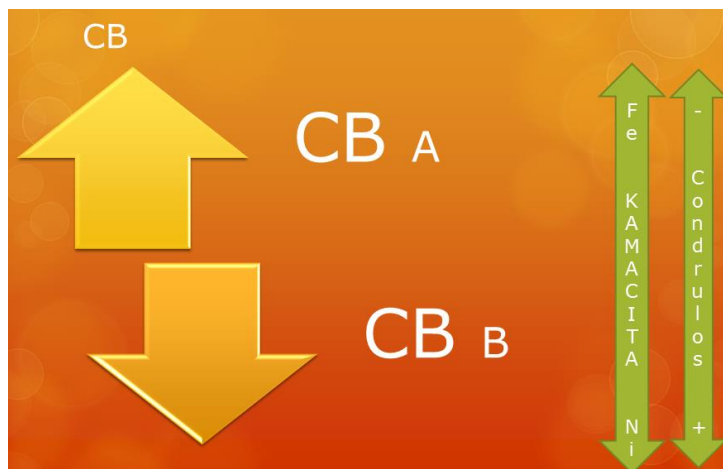


Figura 9. Diferencia entre el tipo de oxidación A (Kamacita rica en Fe y menor cantidad de cóndrulos) y el B (Kamacita rica en Ni y mayor cantidad de cóndrulos). Información tomada de: Scott, R y Krot, A., (2003).

1.1.1 Origen

La diversidad en texturas, en composiciones químicas y en las propiedades mineralógicas de las meteoritas sugiere que su origen así como su fuente no son las mismas, es así que, las meteoritas encontradas o halladas en la Tierra, han sido asociadas con la Luna, Marte o el cinturón de asteroides. Por otro lado, el grado de diferenciación (grado de fundido) que presente una meteorita es una guía para saber cuál es su origen (Figura 10), la época de cristalización y/o su fuente más probable (MacFadden, et al., 2006).



Figura 10. Comparación de las texturas que existen entre las meteoritas diferenciadas y no diferenciadas. Adaptado de Madiedo, J. (23 de marzo de 2016).

1.2 Meteoritas No Condriticas o Diferenciadas

Estas meteoritas tienen una textura diferenciada donde se puede apreciar que los materiales presentan diferentes grados de fusión, de manera que pudo haber una fusión parcial o total de los materiales originales. Para su estudio estas meteoritas se clasifican en: Sideritas, Siderolitas, Acondritas y Primitivas.

Las Sideritas son meteoritas que se componen principalmente por metal y se clasifican principalmente por su composición química o por su estructura atómica. En cuanto a la estructura, ésta se puede apreciar cuando se hace un corte en la meteorita, se pule y se le da un tratamiento químico con distintos ácidos, de tal manera que se puedan apreciar y resaltar ciertas estructuras (Figura 11) de la meteorita (MacFadden, et al., 2006).

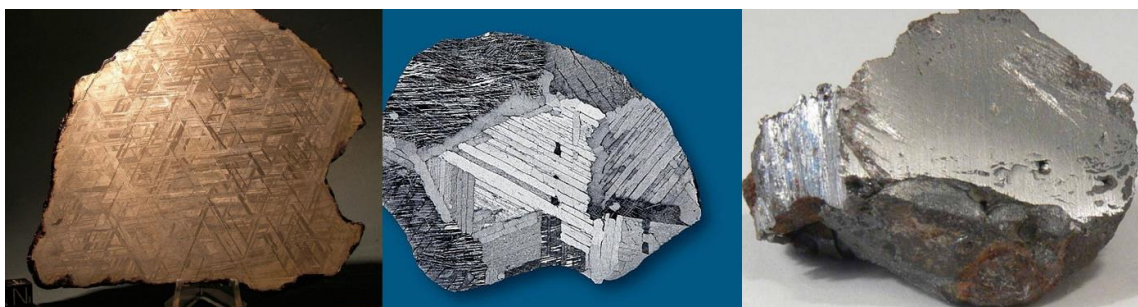


Figura 11. Clasificación estructural de las Sideritas. Hexaedrita, Octaedrita y Ataxita Adaptado de Journalingclub.blogspot.mx, SuperStock.com, Meteorite-recone.com

Con base en su composición química, la estructura de las Sideritas puede ser clasificada en alguno de los tres grupos siguientes: *Hexaedritas*, *Ataxitas* y *Octaedritas* (Figura 11).

En general, las meteoritas presentan aleaciones de Kamacita (Fe, Ni) y Taenita (Ni, Fe). La Kamacita tiene un contenido menor de Ni, con un porcentaje entre 4 y 7 % respecto a otros minerales y la Taenita contiene un porcentaje de Ni mayor, entre 27 y 65 % respecto a los minerales que forman la meteorita. Dependiendo del contenido de Kamacita o Taenita, la meteorita presentará las estructuras de Widmanstätten² las cuales se muestran en la Figura 11, esto implica que las *Ataxitas* carecen de estructuras de Widmanstätten porque están formadas principalmente por Taenita, mientras que las *Hexaedritas*, donde predomina la Kamacita, contienen las figuras de Widmanstätten. Las *Octaedritas* son el punto intermedio entre las *Ataxitas* y las *Hexaedritas* ya que las figuras de Widmanstätten pueden aparecer como bandas y puntos (Figura 11), dependiendo del corte que se haga en la meteorita así como del lugar donde se genere la superficie de pulido (Krot et al., 2014).

² Estructuras de Widmanstätten son el resultado del intercrecimiento de bandas de Taenita y Kamacita, producidas por un enfriamiento muy lento y se presentan en algunas sideritas.

Cuando las *Octaedritas* presentan bandas, a éstas se les suele medir el ancho, para poder hacer otra sub-clasificación, donde las gruesas son mayores a 3.3 mm, las medianas entre 3.3 mm y 0.5 mm y las finas son menores a 0.5 mm (Krot et al., 2014).

La clasificación con respecto a sus composición química también se basa en la presencia de Níquel (Ni) y contenido de elementos traza en las distintas meteoritas metálicas. Los elementos traza dominantes son Germanio (Ge), Galio (Ga), Iridio (Ir), Antimonio (Sb), Ástato (At), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Oro (Au), Talio (Tl) y Wolframio (Wo). Esta clasificación está dividida en 13 grupos: I, AB, IC, IIAB, IID, IIE, IIF, IIIAB, IIICD, IIIE, IIIF, IVA y IVB donde se encuentra el 85 % de las meteoritas metálicas, el 15 % restante se divide en otros dos grupos (McSween., 1999). Si se hiciera un diagrama de los grupos químicos con respecto al Ge y al Ni y se realizara otro diagrama del Ir con respecto al Ni, se obtendrían en cada uno de los gráficos dos regiones restringidas (Figura 12), estas regiones pertenecen a los dos grupos restantes (Krot, et al., 2014).

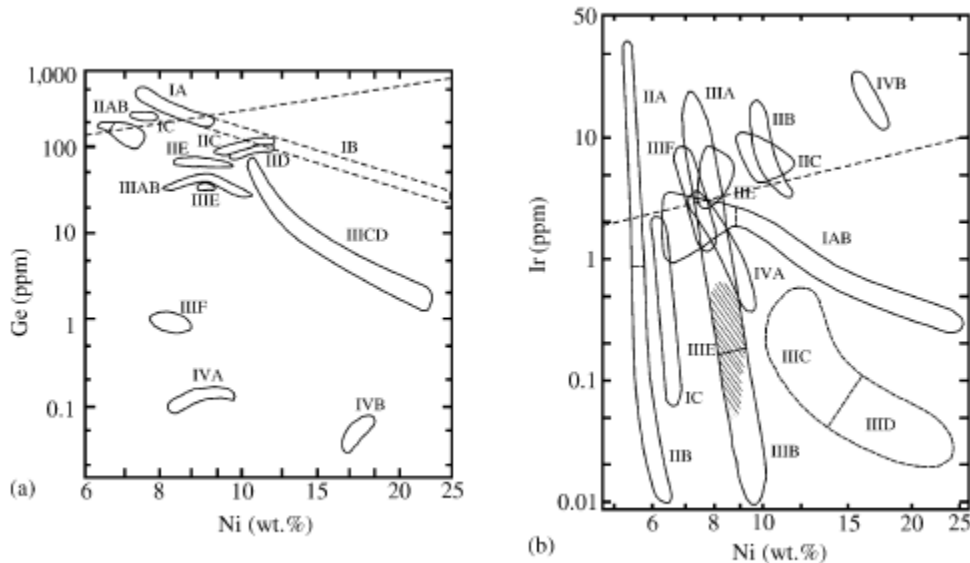


Figura 12. Diagramas donde se representan los grupos químicos de las Sideritas con respecto a su composición. a) Diagrama de Ge vs Ni, b) Diagrama de Ir vs Ni. Fuente: Krot et al., (2014).

Las *Siderolitas* son meteoritas que están formadas por 50 % de elementos metálicos y 50 % de silicatos. Las sub-clasificaciones se basan en la proporción de metal/silicatos y están constituidas por dos grupos que son las *Pallasitas* y las *Mesosideritas* (MacFadden, et al., 2006).

Las *Pallasitas* están conformadas por una gran abundancia de silicatos (Figura 13), en su mayoría Olivinos y Piroxenos; el metal que contienen suele ser Kamacita o Taenita, este mineral también se clasifica con respecto a la cantidad de Ni que presenta y

dependiendo de su abundancia, pueden estar presentes o no, las figuras de Widmanstatten (MacFadden, 2007; Wissman et al., 2007).

Las *Pallasitas* se dividen en tres grupos: las PMG (Pallasite Main Group - por sus siglas en inglés) las cuales presentan las figuras de Widmanstatten en su matriz metálica. Con base en la cantidad de metal que contienen, la clasificación es similar a la del grupo IIIAB y los cristales que contienen están compuestos por Olivino rico en Mg; las ESP (Eagle Station Pallasites - por sus siglas en inglés) presentan una gran cantidad de Olivino rico en Fe y el metal de su matriz tiene un alto contenido en Ni, en su mayoría, del tipo Taenita. También contienen una gran abundancia de Ir y pertenecen al grupo metálico IIF; el tercer grupo es el PXP (Piroxeno - por sus siglas en inglés) el cual debe su nombre a la presencia de Piroxeno, ya sea, como granos o como inclusiones dentro de los Olivinos, el metal que contienen rodeando los cristales, varía mucho en la cantidad de níquel (Ni) que posee (Krot et al., 2014).

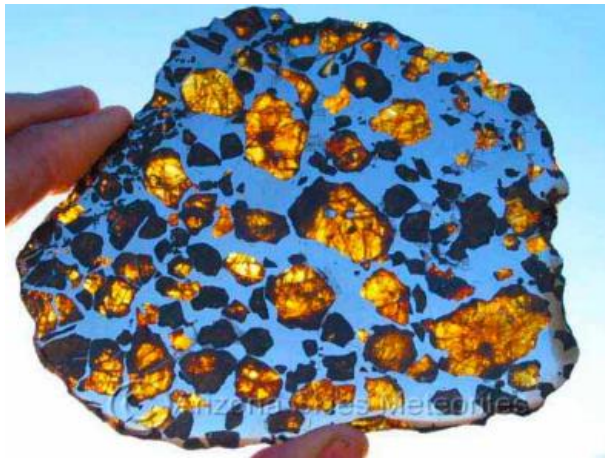


Figura 13. Pallasita Imilac rescatada en el desierto de Atacama, Chile Fuente: arizonaskiesmeteorites.com

En cuanto a las *Mesosideritas* son el tipo de Siderolitas que tienen mayor proporción de metal que cristales de silicatos (Figura 14). Se dividen en tres clases, con base en la composición química de los cristales. La Clase A está formada materiales basálticos ya que los cristales son de Piroxeno rico en Calcio (Ca), Plagioclasas, y los sulfuros y aleaciones son ricos en Hierro (Fe); la Clase B son llamados Últramáficos, contienen Piroxeno rico en Ca, Plagioclasa y Ortopiroxeno y los sulfuros y aleaciones son ricas en hierro (Fe) y la Clase C son de Ortopiroxenos, ya que contienen principalmente este mineral (Krot et al., 2014).



Figura 14. Mesosiderita Clase A, Meteorita NWA 1242 (Teilscheibe), encontrada en 1985 en Nahe Gillio, Libia Fuente: strahlen.org

En la Figura 15 se muestra un diagrama de la clasificación de las Siderolitas de acuerdo a su composición química y mineralogía.

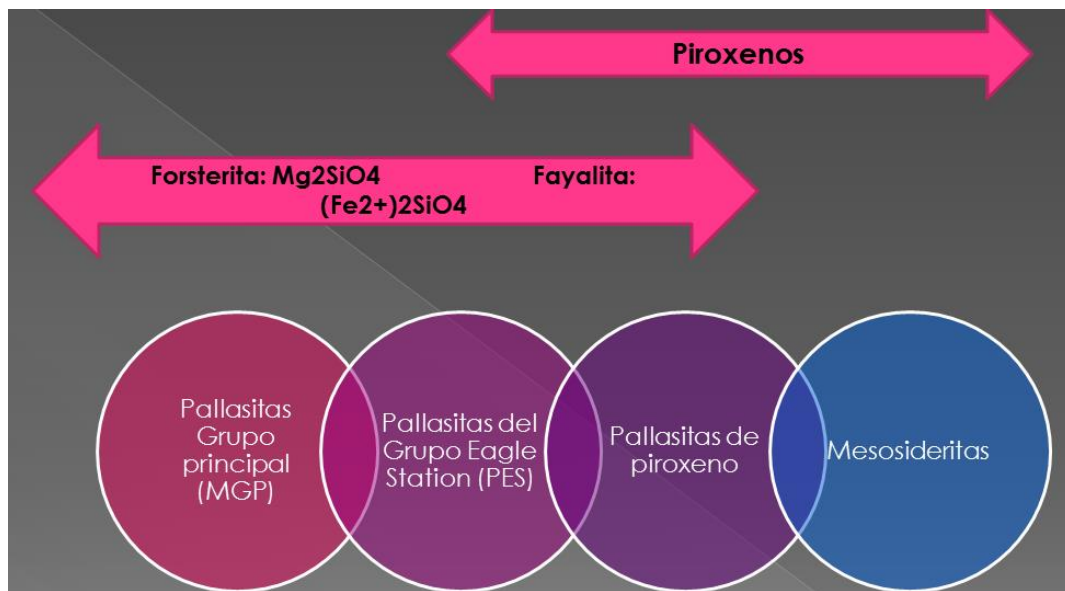


Figura 15. Representación de las Siderolitas con respecto a su contenido en Olivino (Fe, Mg) y de Piroxeno. Información obtenida de Krot, A., et al., (2014).

Las *Acondritas* son rocas, en su mayoría pétreas y consideradas incluso como rocas ígneas. Llegan a presentar texturas similares a éstas y pueden tener bajo contenido en metales, no mayor al 1 %. Se dividen en 4 grupos: a) *HED* (*Howarditas*, *Eucritas* y *Diogenitas*), b) *Lunares*, c) *Marcianas* y d) *Pertenecientes a otros Asteroides* (MacFadden et al., 2007).

En el grupo HED, las Eucritas contienen Piogenita y Plagioclasa; las Diogenitas contienen como mineral principal la Hiperstena y en cantidad poco abundante la broncita; y las Howarditas son una mezcla de las dos; anteriores (MacFadden, et al., 2006) (Figura 16).

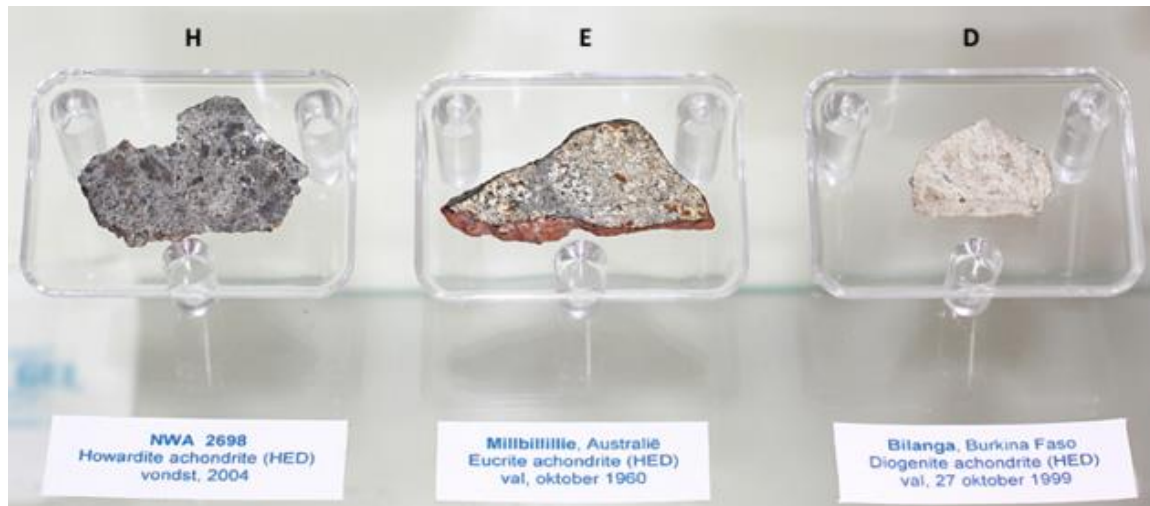


Figura 16. Muestras de los tres tipos de Acondritas HED (Howarditas, Eucritas y Diogenitas). Fuente: Wikipedia.org

De acuerdo con los estudios llevados a cabo por la misión espacial Dawn, actualmente se sabe que el origen de las *HED* es el asteroide Vesta. Del análisis de los datos tomados por los múltiples instrumentos de esta misión espacial se ha concluido que las Diogenitas proceden de la corteza de Vesta y que las Howarditas y las Eucritas proceden del manto del asteroide (Figura 17).

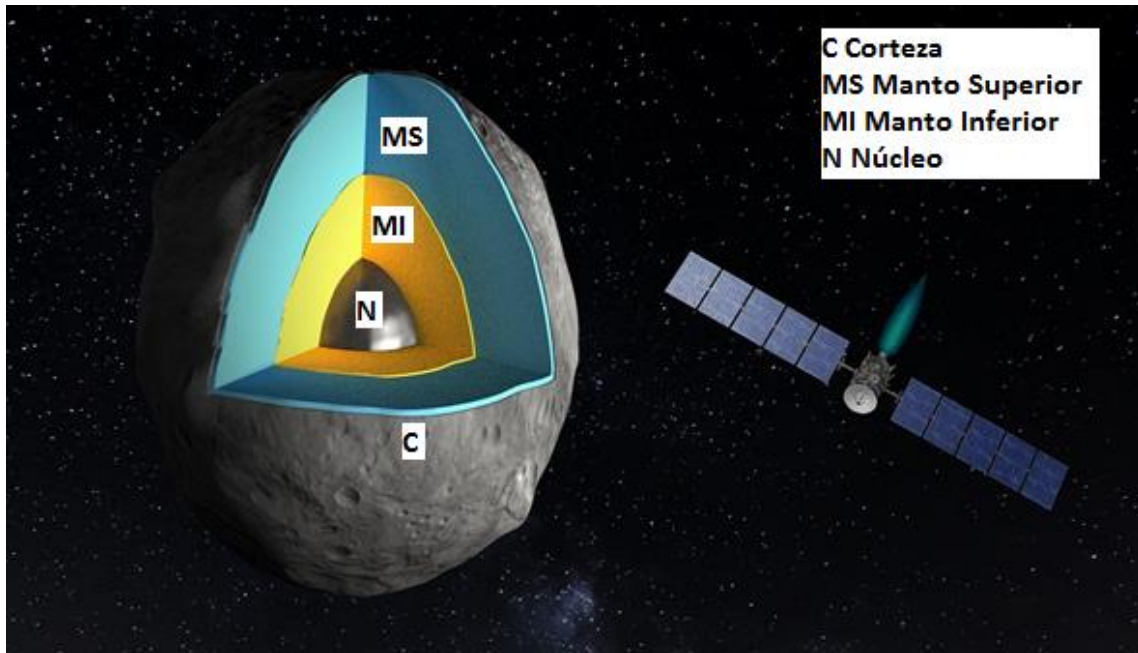


Figura 17. Estructura interna de Vesta. Fuente: cosmosup.com

Las meteoritas *Lunares* como su nombre lo indica provienen de la Luna de acuerdo con los estudios comparativos que se han llevado a cabo con los hallazgos en la Tierra, particularmente de las meteoritas encontradas en la Antártida y de las muestras traídas por las misiones espaciales Apolo (McSween., 1999).

Las meteoritas lunares han sido clasificadas de acuerdo a Norton y Chitwood., (2008) como LUN A, LUN B, LUN G y LUN N. Las LUN A tienen un alto contenido de Anostorsita, las LUN B tienen una composición basáltica, las LUN G tienen una composición Gabrónica (Figura 18) y las LUN N tienen alto contenido de Olivino (McSween, 1999).



Figura 18. Muestra recolectada en la Antártida, la meteorita ALH 81005 pertenece a las Acondritas Lun G. Fuente: vientosdelsurestacion.blogspot.mx

Las acondritas *Marcianas* son aquellas meteoritas procedentes de Marte y se dividen en 4 grupos que son: las Shergottitas, las Nakhlitas, las Chassignitas y las Ortopyroxenitas. A los tres primeros se les dio ese nombre de acuerdo con la primer meteorita encontrada en determinada localidad, es decir, meteoritas que fueron encontradas en las regiones de Shergotty (India), Nakhla (Egipto) y Chassigny (Francia), sin embargo, de los estudios mineralógicos y químicos realizados posteriormente se descubrió que estas meteoritas provenían de Marte por lo que, las meteoritas con composición química similar a las marcianas, fueron asignadas a alguno de los tres primeros grupos. En el caso de las Ortopyroxenitas (Figura 19) se les dio este nombre porque tienen un alto contenido de Ortopyroxenos (MacFadden, et al., 2006).



Figura 19. Meteorita ALH 84001 Meteorita marciana del grupo Ortopyroxenita Fuente: astroseti.org

Las Acondritas del grupo denominado *Pertenecientes a otros Asteroides*, proceden en su mayoría de asteroides que se encuentran en el cinturón principal de asteroides y han sufrido un alto grado de diferenciación en el cuerpo de origen. Éstas se dividen en: *Angritas*, compuestas principalmente de Augita y *Aubritas* formadas principalmente de Enstatita, Forsterita y bajo contenido en metal. Las *Angritas* provienen de los asteroides 239 Nenetta o 3819 Robinson y las *Aubritas* provienen del asteroide 3103 Eger (McSween, 1999).

El último grupo de las acondritas diferenciadas son las *Primitivas*, éstas se consideran como la transición entre las meteoritas diferenciadas y las no diferenciadas, han sufrido un alto grado de diferenciación y probablemente proceden de pequeños asteroides que se fundieron tras impactos meteoríticos, su composición es ultramáfica con cantidades mayores a 90 % en minerales que contienen Fe y Ni.

Las meteoritas Primitivas se clasifican en *Acapulcoitas*, *Londranitas*, *Brachinitas*, *Winonaitas* y *Urelilitas*, las cuales reciben su nombre de acuerdo al lugar de caída o

hallazgo. Las *Acapulcoitas* (Acapulco, México), presentan gran cantidad de Olivino (Ol) y Piroxeno (Px), con menor cantidad de Plagioclasas y dentro de los metales que contienen hay Fe, Ni y Troilita (fórmula en el glosario). Las *Londranitas* (Londran, Pakistán) tienen la misma relación isotópica de Oxígeno (O) que las *Acapulcoitas*, contienen cristales más gruesos de Olivino y Piroxenos y en menor cantidad, aparecen las Plagioclasas. Las *Brachinitas* (del meteorito Brachina, encontrado en Australia) son las meteoritas con mayor cantidad de Olivino (93 %), también contienen Piroxeno, Cromita, Sulfuros, Fosfatos y metales y algunas presentan Plagioclasas. Las *Winonitas* (Winona, EUA) presentan cóndrulos formados por pedazos de cóndrulos previos (más antiguos) y están formadas por Piroxeno (Px) y Olivino (Ol), y contienen Plagioclasas, Troilita y metales de Fe y Ni. Las *Ureilitas* (Novo Urei, Rusia) son pobres en Calcio (Ca) y ricas en Grafito, Clinobroncita, Olivinos, Diamantes y Silicatos (ver apéndice A), (McSween et al., 1999).

1.3 Formación de las meteoritas

Para comprender cómo se formaron las meteoritas diferenciadas, se hace una analogía con lo que sucede en la Tierra, sobre todo con los procesos de diferenciación en las rocas ígneas. Este fenómeno se presenta cuando existen temperaturas y presiones apropiadas para que el cuerpo parental se cristalice por etapas (Figura 20), lo que genera que haya texturas contrastantes, tal y como se aprecia en los distintos tipos de meteoritas (Krot et al., 2014).

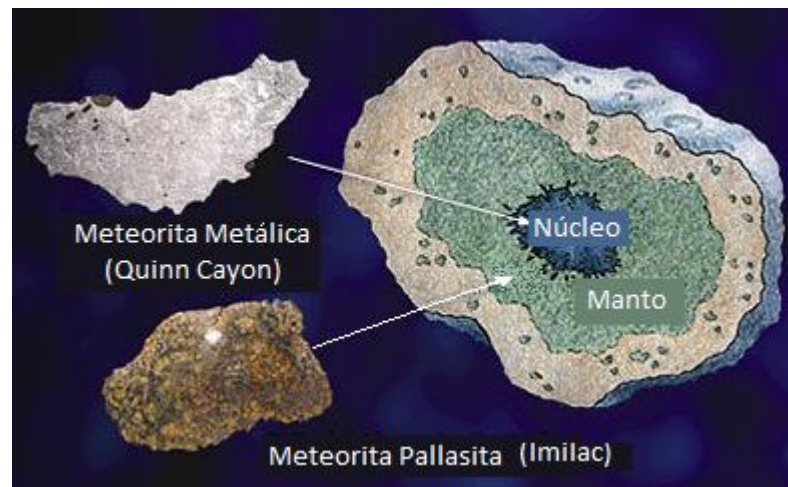


Figura 20. Representación un planetesimal y de las zonas en que las meteoritas diferenciadas formaron parte de este. Adaptado de Casanova, V., (14 de marzo de 2016).

De acuerdo con las teorías de formación de las meteoritas no diferenciadas, se cree que las Sideritas formaron parte del núcleo de un protoplaneta; en el caso de la Pallasitas y Mesosideritas, las teorías postulan que ellas pudieron ser parte del límite de manto y núcleo en formación, o antes de que se completara la diferenciación en el protoplaneta del cual provienen, éste colisionó con algún asteroide, lo que provocó que se fraccionara y no pudiera completar su diferenciación, mientras que en el caso de las Angritas se cree que el protoplaneta (o protoplanetas) en el cual se formó, se diferenció y quedó siendo parte de su corteza (MacFadden, et al., 2006).

CAPÍTULO II

CONDRIAS

Las condritas son meteoritas no diferenciadas y su importancia, en diversos campos del conocimiento no solo está vinculada con su origen, sino también con el origen y formación del sistema solar e incluso del agua y la vida en la Tierra.

Las condritas cuentan con distintas componentes y características que las distinguen de las demás meteoritas, no solo sus texturas aportan información de su posible origen y formación, sino que están constituidas por diversos cuerpos o estructuras más pequeñas llamadas: cóndrulos, inclusiones de calcio/aluminio (CAI's) por sus siglas en ingles, cuerpos amiboidales (AOA's), granos metálicos de sulfuros y aleaciones Fe- Ni, y matriz.

2.1 Cóndrulos

Los cóndrulos, fundamentalmente, son cuerpos en forma de esferas (McSween et al, 1999) que pueden estar contituidos por una mezcla de nesosilicatos e inosilicatos, principalmente Olivino y Piroxeno, que en su interior pueden contener inclusiones de óxidos, metales y sulfuros (Krot et al., 1995).

Existen varios tipos de cóndrulos, siendo los más importantes los cóndrulos “Ígneos” y los cóndrulos “Gota” (Muñoz, Espadas, et al., 2003). Los primeros tienen textura ígnea, normalmente con cristales de grano grueso y alguna parte de éstos pareciera que no se fundió completamente; los segundos son más bien clásticos o líticos, lo que significa que son fragmentos de cóndrulos preexistentes. Estos últimos (tipo Gota) pueden ser vidrio puro de composición silíceo o pueden tener texturas relictas que apuntan a que alguna vez estuvieron completamente fundidos y después tuvieron una cristalización diferenciada, ya que presentan zoneamiento (Muñoz Espadas, et al., 2003).

Para su estudio, los cóndrulos se clasifican con base en su composición química y/o composición mineralógica así como en su textura.

2.1.1 Clasificación composicional

Esta clasificación está basada en el contenido de Óxido de Hierro que presentan los cristales de Olivino y Piroxeno que forman los cóndrulos. Aquellos que tienen alto contenido de Óxido de Hierro se clasifican como cóndrulos Tipo I mientras que los que

contienen menor cantidad de este compuesto se conocen como cóndrulos Tipo II (Muñoz Espadas, et al., 2003).

A esta clasificación se han agregado otras subdivisiones: los cóndrulos tipos A y B, donde los A son ricos en Olivino y los B en Piroxeno. De estas subdivisiones resultan las sub-clasificaciones IA, IB, IIA, IIB. Las IAB y IIAB, indican que los fenocristales³ tiene cristales tanto de Ol como de PX (Muñoz Espadas, 2003) (Figura 2.1).

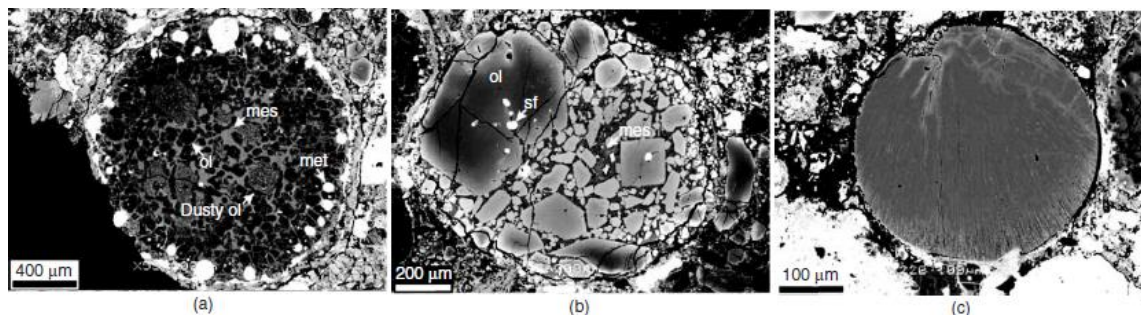


Figura 2.1. Imagen de SEM de tres cóndrulos pertenecientes a la condrita Tierschitz. A) Tipo IA compuesto mayormente por Olivino forsterítico, B) Tipo IIA contiene Olivino de tipo Fayalita y con inclusiones de FeO, C) Cóndrulo No Porfídico con composición de Piroxeno radial. Fuente: Scott y Krot, (2003).

2.1.2 Clasificación Textural

Esta clasificación se divide en dos tipos principales “Porfídicos” y “No porfídicos”. Los cóndrulos porfídicos (P) contienen fenocristales rodeados de abundante mesostacia⁴ de composición variable. Según la proporción en que predominan los minerales, se les conoce como porfídicos de Olivino (PO), de Piroxeno (PP) o de ambos (POP). Este tipo de cóndrulos son los más comunes (Muñoz Espadas, et al., 2003).

Los no porfídicos muestran texturas uniformes de grano fino, y contienen cristales criptocristalinos (C), radiales de Piroxeno (RP), granulares de Olivino y/o Piroxeno (GO, GP, GOP) y con barras de Olivino (BO). En el caso de los BO, las barras se forman porque contienen más de un grupo de minerales de Olivino y forman cristales prismáticos muy elongados, en el caso de los RP se forman agujas de Piroxenos que salen de un mismo punto de origen, los C se forman por intercrecimientos de grano fino de Piroxeno y vidrio, y las granulares (GO, GP, GOP) se forman de granos finos y uniformes (Krot et al., 2014), que aparentan tener una textura de brecha (Figura 2.2).

³ Fenocristal: Cristal grueso y con frecuencia idiomorfo embebido en una matriz de menor tamaño cristalino.

⁴ Mesostacia: Material intersticial que aparece entre los cristales.

Conocer la textura de los cóndrulos puede ayudar a conocer cuál fue su origen y los procesos físico-químicos que los formaron, por ejemplo, se piensa que los cóndrulos P se formaron a partir de gotas intensamente fundidas, pero que tuvieron puntos de cristalización heterogénea (Krot et al., 2014).

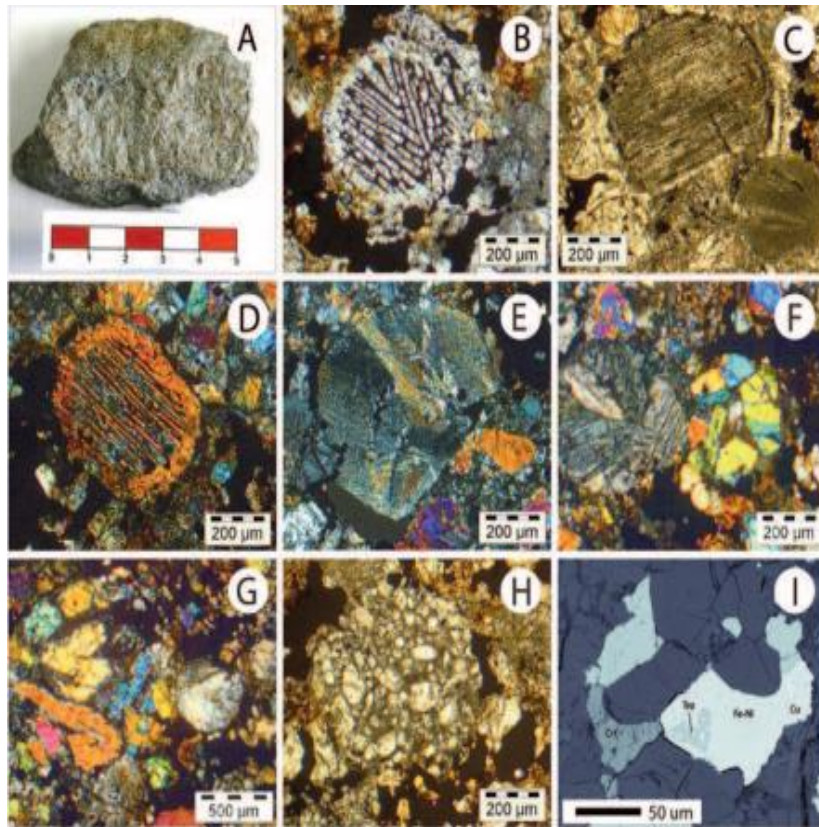


Figura 2.2. A) Ejemplar de condrita de nombre Bechar 002. Diferentes texturas de cóndrulos: B), C) y D) barrados de Olivino, E) radial de Piroxeno, F) porfídico de Piroxeno (izda.) y porfídico de Olivino (dcha.). G) porfídico de Olivino y Piroxeno (izda.) y criptocristalino (dcha.), H) porfídico de Olivino. I) Imagen de electrones retrodispersados de la fase metálica. C, H nicoles paralelos. D-G nicoles cruzados.. Fuente: Campanero et al., (2015).

2.2 Bordes

Los cóndrulos también pueden ser diferenciados con respecto al contorno o borde que presentan. Estos bordes se componen de granos de polvo cósmico, pedazos de otros cóndrulos e incluso pueden contener cóndrulos completos de tamaño micrométrico por lo que se les divide en bordes de grano grueso o bordes de grano fino (Krot et al., 2014) (Figura 2.3).

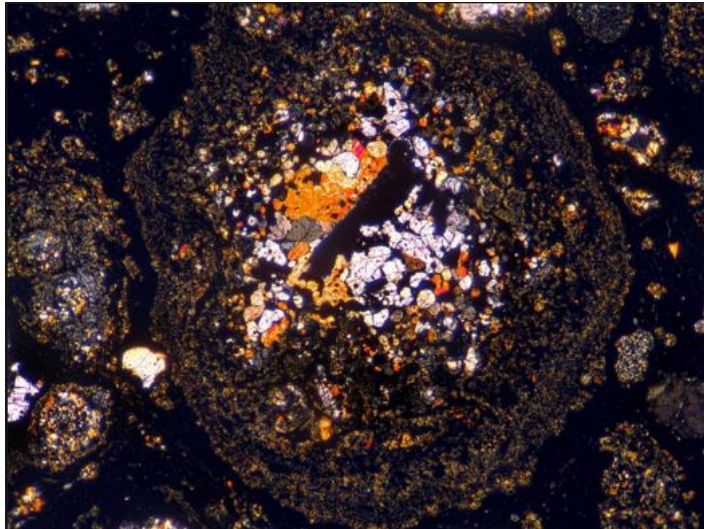


Figura 2.3. Imagen de microscopio de luz transmitida, donde se muestra un cóndrulo de borde de grano grueso, con pedazos de cristales de Olivino y Piroxeno. Fuente: <http://www.meteorite-times.com/microvisions/layered-chondrules-in-allende-cv3/>.

Los bordes también pueden tener distinto espesor, generalmente en los bordes de grosor pequeño solamente se pueden encontrar granos de polvo pre-solar y en algunos casos puede haber pequeños cristales de Ol y Px (Scott y Krot., 2003), sin embargo, en el caso de los bordes de grano grueso, éstos pueden contener inclusiones refractarias, fragmentos de cóndrulos, cóndrulos y metales como Cr, Na y Mn (Scott y Krot, 2003).

2.3 Inclusiones refractarias (CAI's)

Las inclusiones refractarias son uno de los componentes más importantes de las condritas. De acuerdo con estudios de datación, son los cuerpos más antiguos del sistema solar, i.e. fueron los primeros cuerpos que se formaron en la nube protoplanetaria una vez que se formó el Sol por lo que, también se les considera como los fósiles de la creación del sistema solar.

Las CAI's reciben este nombre debido a que están compuestas en su mayoría por Ca y Al, elementos que se encuentran en la mayoría de los minerales refractarios como es el caso de la Espinela, la Melilita y la Hibonita. Estos minerales que fueron condensados a partir de gas, en la nube protoplanetaria (Scott, E y Krot, A., 2003), (Figura 2.4).

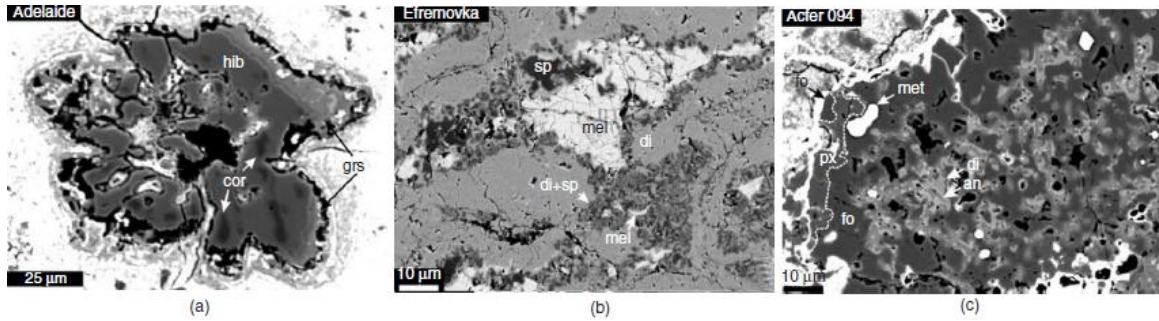


Figura 2.4. Imagen de SEM (microsonda electronica de barrido) por sus siglan en ingles, de Inclusiones refractarias A) Condrita Adelaide: Corindon remplazado por Hibonita, rodeado por Grossita. B) Condrita Efremovka: Remplazamiento de Melilita por Espinela y Diópsido. C) Condrita Acfer: Remplazamiento de Forsterita por Piroxeno rico en Ca. Hib= hibonita, cor=corindon, grs= grosularita, sp= espinela, mel=melilita, di=diópsido, an=antofilita, fo= forsterita, px= piroxeno. Fuente: Scott y Krot. (2003).

2.4 Granos metálicos y Sulfuros

La mayoría de los granos metálicos que se encuentran en los cóndrulos, son principalmente aleaciones de Fe-Ni, aunque también pueden contener Ga, Ge e Ir en cantidades menores. Los granos más abundantes son los formados de sulfuros como es el caso de los granos de Troilita (FeS). Se piensa que la presencia de estos granos se originó por la condensación de estos elementos en condiciones reductoras (Scott y Krot, 2003), (Figura 2.5).

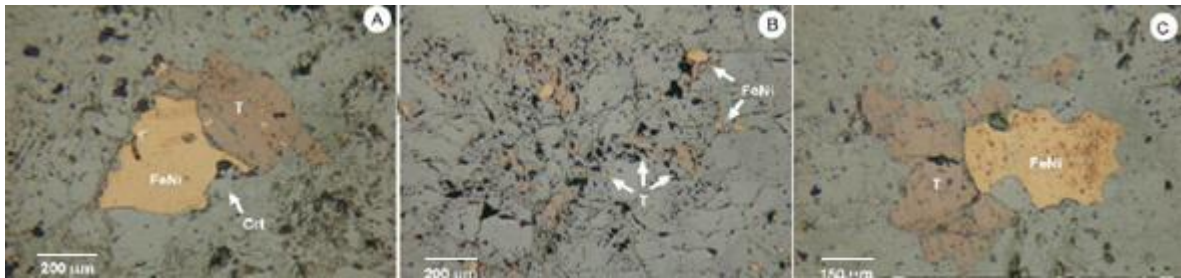


Figura 2.5. Imágenes de Microscopio de luz Reflejada, donde se muestran pequeños granos de metales de Titanio y aleaciones de Hierro y Niquel. T=titanio, FeNi=Aleacion FeNi, Crt= cromita Fuente: Muñoz-Espadas et al, (2003).

2.5 Cuerpos Ameboidales AOA's

Los cuerpos ameboidales estan formados de grano fino (5-20 μm) y como su nombre lo indica, son cuerpos en forma de amiba (Krot et al., 2014). Generalmente son

agregados de granos pequeños formados de cristales de tamaño micrométrico, estos cristales son principalmente de Olivino y contienen Piroxeno y Feldespatoides en menores cantidades (Scott y Krot, 2003), (Figura 2.6).

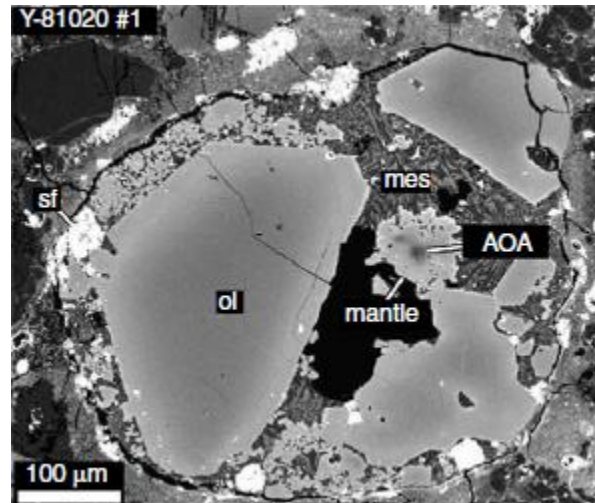


Figura 2.6. Imagen de SEM. Cuerpo Ameboidal (AOA) dentro de un cóndrulo, de tamaño micrométrico. Fuente: Scott, R y Krot, A., (2003).

2.6 Matriz

La matriz es la region en donde se encuentran sumergidos los elementos anteriores, está formada principalmente por polvo de la nube proto-planetaria y puede contener también fragmentos de cóndrulos. En general las condritas primitivas y las CI tiene una composición como la inferida para el Sol y también contienen Feldespatos, Cuarzo y Plagioclasa de granulometrías muy finas (Krot et al., 2014).

2.7 Carbono Orgánico

Una gran variedad de condritas son ricas en carbono (C) que se encuentra presente como grafito en la matriz o formando parte de aminoácidos (carbono orgánico).

La mayoría de los estudios que se han llevado a cabo en algunas condritas, como es el caso de la meteorita Murchinson (condrita tipo CM), indica que aproximadamente el 30 % de carbono detectado es de origen orgánico y se encuentra formando compuestos como: los hidrocarburos alifáticos, los hidrocarburos aromáticos, los aminoácidos, los ácidos carboxilos, las aminas alifáticas y los heterociclos de nitrógeno (Ehrenfreund, et al., 2001).

2.8 Condritas tipo CV3

Las condritas tipo Vigarano o mejor conocidas como CV, están caracterizadas por:

1. Contener cóndrulos de tamaño milimétrico con textura porfídica, además de contener silicatos ricos en Magnesio, con bordes de grano grueso.
2. Ser únicos en la presencia de nódulos en la matriz de composición Salita - Hedembergita \pm Ándradita.
3. Tener una alta densidad de cóndrulos en la matriz.
4. Tener una alta abundancia de CAI's y AOAs de tamaño variable (milímetros a centímetros).
5. Contener Melilita – Espinela – Piroxeno \pm Anorthita.

Es un grupo muy variado de meteoritas dividido en los subgrupos: Oxidadas (CV_{OX}) y Reducidas (CV_R), los cuales se determinan por la composición de sus sulfuros. En cuanto a la cantidad de Magnetita y Níquel que poseen, también se pueden diferenciar en los subtipos OX y R con base en los isótopos de oxígeno ¹⁶O, ya que éstos son mayores en las del tipo OX que en las del tipo R (Scott y Krot, 2003).

Estos subgrupos se crearon para poder diferenciar los grados de alteración de este tipo de condritas, ya que generalmente las condritas CV tienen un tipo petrológico 3 o 4, lo que indica que, prácticamente no están alteradas.

Las tipo OX están divididas en A y B, donde las B tiene los cóndrulos reemplazados por filosilicatos, magnetita, sulfuros ricos en Níquel, Fayalita y Hedembergita, mientras que en las tipo A, los cóndrulos están reemplazados por, magnetita, sulfuros ricos en Níquel, Olivino tipo Fayalita, Nephelita y Sodalita. En el caso de las R se les considera virtualmente inalteradas (Scott y Krot, 2003).

En el caso de las CV3, las matrices de las CV_{OXB} contienen abundantes filosilicatos, mientras que en las CV_R, los filosilicatos son raros al igual que en las CV_{OXA}, además en la matriz se puede notar que domina el Olivino y el Piroxeno rico en Fe (Fayalita), en cristales de formas planares que tienen un tamaño entre 100 nm y 20 μ m; los Olivinos pueden contener inclusiones de sulfuros y Grafito. En las meteoritas CV3 se puede observar que el

borde de los cóndrulos es bastante grueso y su volumen, puede ser aproximadamente igual al del cóndrulo (Scott y Krot, 2003).

Como estas meteoritas se encuentran dentro de los tipos petrológicos menos alterados, pueden contener abundantes CAI's y gran cantidad de granos de metales de Fe, Ni y FeS (Figura 2.7) (Scott y Krot, 2003).

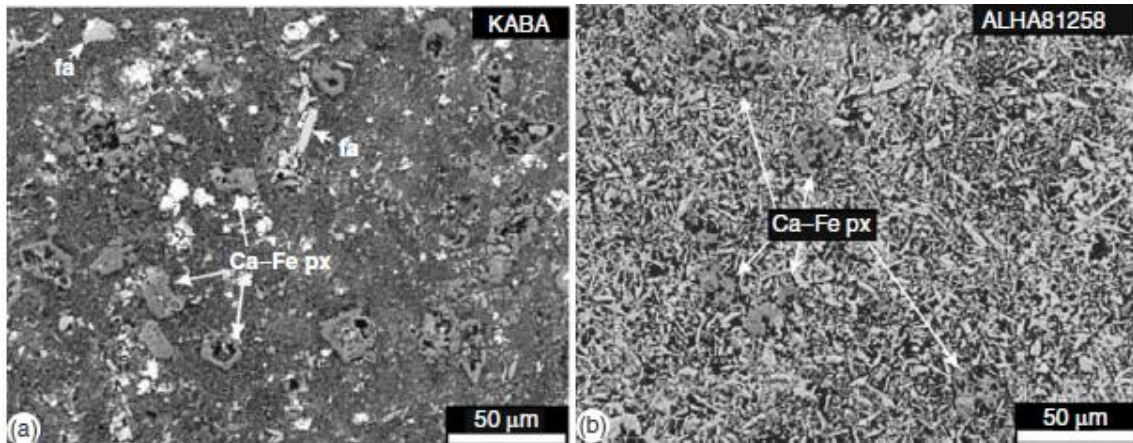


Figura 2.7 Imágenes de SEM, en las que se muestran las matrices de dos condritas tipo CV₃ (KABA y ALHA811558) en las cuales se identifican Piroxenos ricos en Fe y Ca. Fuente: Scott, R y Krot, A., (2003).

2. 9 Origen de los cóndrulos y de las condritas

El origen de las condritas está estrechamente vinculado con la formación de cóndrulos. Ya que los cóndrulos fueron los segundos cuerpos que se formaron en la nube protoplanetaria y son los cuerpos que identifican a las condritas, a continuación se presentan las cuatro teorías principales de formación de cóndrulos, que están estrechamente vinculadas con la formación del sistema solar.

2.9.1 Cóndrulos de Planetesimales

Los planetesimales son la parte más pequeña de la cual se forma un planeta, es decir los primeros cuerpos sólidos que formaron protoplanetas y posteriormente planetas. Estos primeros cuerpos pudieron crearse a partir de cóndrulos por lo que éstos pudieron ser fuente de nucleación de los planetesimales.

De hecho, el rol que la formación de planetesimales juega a partir de la formación de cóndrulos se debe a que el tamaño, peso y volumen de éstos, en las primeras etapas del origen del sistema solar, eran mínimos. Se cree que durante la época de formación de los planetesimales, hubo muchas colisiones y grandes cantidades de volátiles, a partir de los cuales se crearon las primeras gotas de fundido que dieron origen a los cóndrulos. Estos

cóndrulos también pudieron haberse formado entorno a un grano de polvo pre-solar, que sirvió como punto de nucleación, a partir del cual, se formaron cuerpos mayores con material similar o con pedacería proveniente de las colisiones que se produjeron en la nube protoplanetaria (Figura 2.8) (Sears, 1998).

Actualmente se tienen muchos modelos físico-matemáticos con los cuales se ha demostrado teóricamente la formación de planetas a partir de pequeños granos que a lo largo del tiempo fueron creciendo por colisiones o por fundido de materiales circundantes. Estos modelos son validados por las texturas de brechas que se observan en numerosos cóndrulos, las cuales demuestran que hubo colisiones durante su creación (Krot, Scott, 1995).

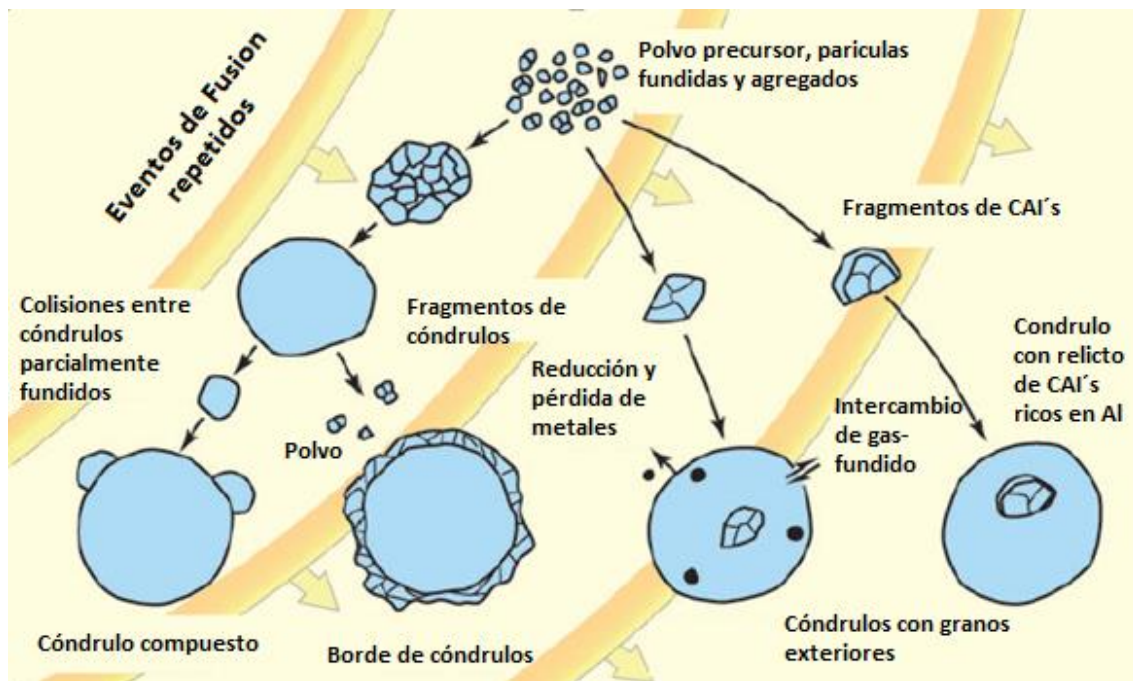


Figura 2.8. Imagen que muestra los procesos de formación de cóndrulos a partir de material fundido y polvo preexistente. . Adaptado de Scott, R y Krot, A., (2003).

2.9.2 Nebulosa Solar Caliente

En este modelo teórico no se explica el origen de todas las componentes de las condritas, pero responde a las incógnitas de los componentes más interesantes como los CAI's y los cóndrulos, de hecho, el modelo propone que en una nube gigante compuesta de gas y polvo, la materia circundante se funde dentro de ella o en las cercanías, formándose cúmulos pequeños y densos a pocos km del centro de la nube alrededor del cual, estos cúmulos empiezan a girar. Este modelo también propone que la probabilidad de que

ocurran las colisiones entre cúmulos se incrementa y por ende, la formación de cuerpos más grandes (Krot, et al, 1995) .

Dentro de este modelo la formación de CAI's se da en las regiones internas de la nube como resultado de la condensación de los elementos refractarios que se encuentran en zonas cercanas al sol, posteriormente existe un empobrecimiento relativo de estos elementos por lo que se forman pequeñas fracciones de metales de Fe y Ni, y con el Fe restante se forman los cóndrulos en zonas un poco más alejadas de la nube, pero no tanto como para alejarse de la zona donde predominan los elementos refractarios (Cassen, 2001). Es decir, en este modelo se plantea el hecho de que los componentes de las condritas se forman a distintas distancias de la nube (Figura 2.9).

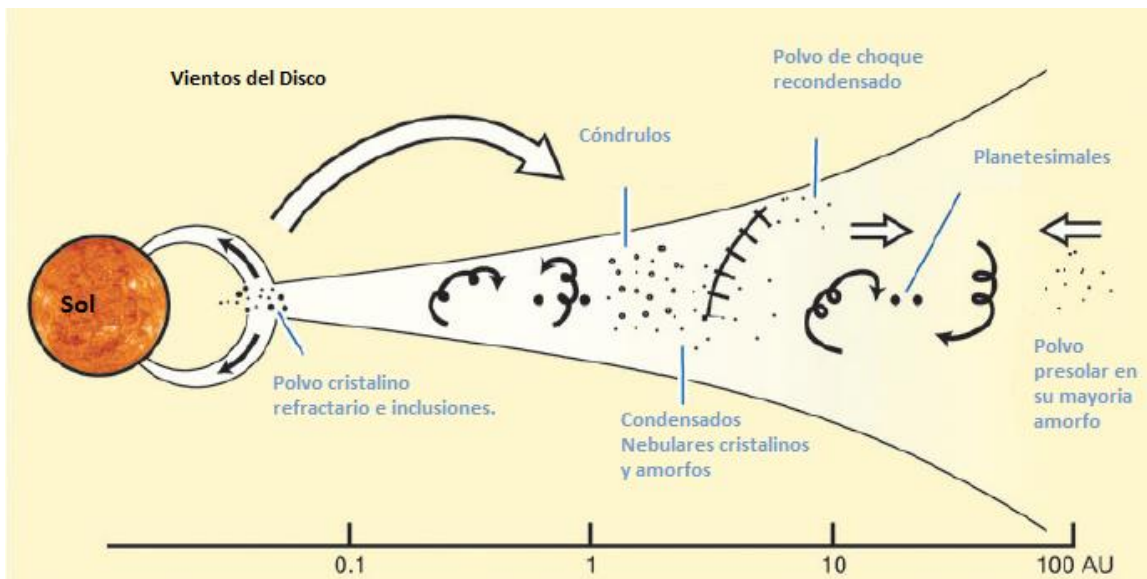


Figura 2.9. Diagrama que se muestran los procesos que se llevaron a cabo en el disco nebuloso, donde se indican las distintas regiones del disco donde se formaron los distintos componentes de las condritas. Adaptado de Scott, R y Krot, A., (2003).

2.9.3 Modelo del Viento X

Este modelo propone que el protosol, los cóndrulos y los CAI's se formaron en las regiones internas del disco protoplanetario. En esta región existieron materiales en estado gaseoso, los cuales estuvieron ionizados y a altas temperaturas. Dentro de esta zona, el campo magnético jugó un papel muy importante, ya que la fuerza magnética arrastró el material que se encontraba en la vecindad de la protoestrella a regiones aún más cercanas a ella, para arrastrarlo después, a la región donde se encontraba inicialmente, creando con

esto, un ciclo de ida y vuelta. En este ciclo, según el modelo, el grado de ionización del gas, es cada vez mayor creándose, en consecuencia, los elementos refractarios, de los cuales están formados los CAI's (Krot, et al., 1995).

El modelo plantea también que las regiones del disco protoplanetario se encontraban divididas en interna, media y externa siendo la parte interna, la región donde se formaron los CAI's y los cóndrulos. Esta región es llamada la región X y a los “vientos” magnéticos que reconectan el material con el protosol en esta región, se les llamó *viento X* (Chaussidon y Gounelle, 2006).

Esta teoría también se basa en que los diversos componentes de las condritas se formaron en distintas zonas del disco protoplanetario y el hecho de que los materiales se encontraran juntos es debido a que, en esa etapa, el protosol era inestable, por lo que había fluctuaciones dentro del campo magnético y estas fluctuaciones arrojaron periódicamente a los cóndrulos y los CAI's, a las otras regiones del disco proto-planetario (media y externa), donde colisionaron con polvo nebular o con pequeños granos de silicatos (Krot, et al., 1995) que consecutivamente formaron la matriz de las condritas (Figura 2.10) (Chaussidon, Gounelle, 2006).

Aunque este modelo es uno de los más aceptados actualmente, no puede explicar, a ciencia cierta, la existencia de cóndrulos de tamaño micrométrico ni los vínculos entre la química y la mineralogía entre cóndrulos y matriz. Por otro lado, se han llevado a cabo varios experimentos de laboratorio para saber cuál fue el papel de la radiación en la formación de cóndrulos y los resultados indican que las componentes condriticas se verían dañadas con la radiación a la que estarían expuestas, a las distancias que se mencionan, en el disco proto-planetario.

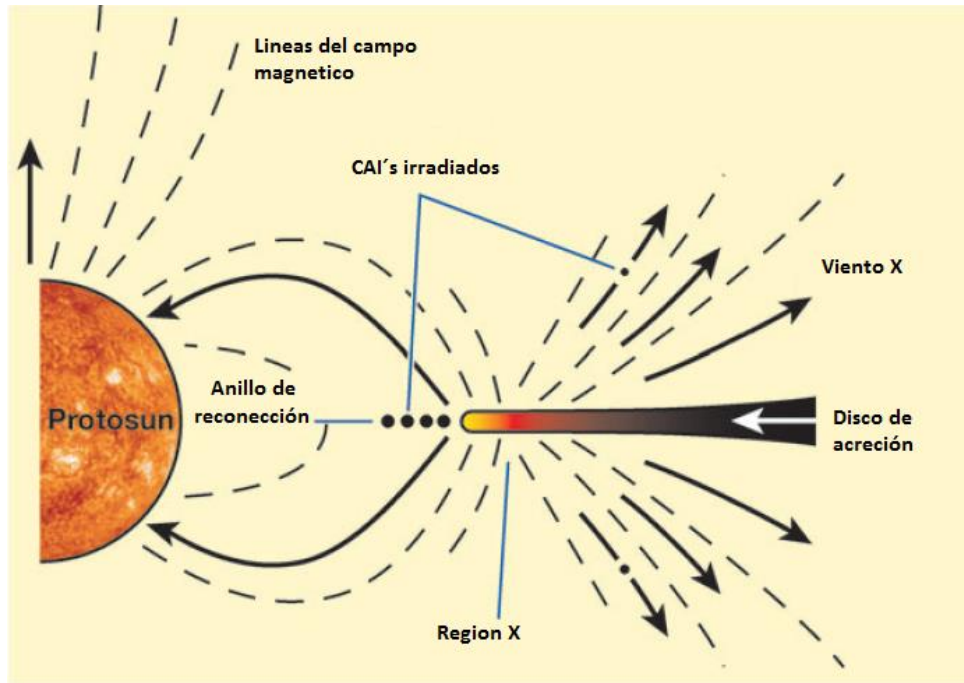


Figura 2.10 Diagrama en el que se muestran las distintas regiones del modelo del Viento X y la formación de CAI's. Adaptado de Scott, R y Krot, A., (2003).

2.9.4 Impacto de Nebulosa

El modelo que explica el origen de cada uno de los componentes de las condritas es el modelo conocido como *impacto de nebulosa*.

Lo que este modelo plantea es que en algún momento existió una onda de choque que provocó que el polvo del disco protoplanetario se concentrara en ciertas regiones. Esta concentración propició que la temperatura se elevara y en consecuencia, el polvo se fundiera, para posteriormente, cristalizarse dando lugar al nacimiento de los cóndrulos (Krot, et al, 1995).

En el caso de los CAI's, éstos se formaron porque el polvo nebular, que fue arrastrado por la onda de choque, se evaporó y se condensó en pequeños agregados dentro de la matriz de silicatos y no solo dentro de cóndrulos (Conolly y Desch, 2004).

Esta onda de choque no solo explica la formación de estos cuerpos, sino también las texturas que se han encontrado no solo en las condritas y en distintos cóndrulos, sino también en la textura de la matriz, ya que existen distintos tipos de silicatos que pudieron haber sido arrastrados por la onda de choque, lo cual se ve reflejado en la textura porfídica que contienen casi todas las condritas (Conolly y Desch, 2004).

A pesar de que esta teoría explica muchas etapas de la formación de las condritas, no existe evidencia observacional de que existan impactos nebulares semejantes por inestabilidades gravitacionales hasta la fecha.

CAPÍTULO III

METEORITAS NWA

Las meteoritas NWA reciben este nombre porque fueron halladas en el Noroeste de África (North West Africa) por cazadores de meteoritas que han recolectado muchos ejemplares en el vasto desierto africano debido a que en tal sitio es muy fácil reconocer rocas extraterrestres. Lo común es que éstos tengan una capa o costra de fusión de coloración oscura que cubre su superficie y que resalta sobre el color que presentan las rocas desérticas que, generalmente, son de color claro.

En la comunidad científica, las meteoritas NWA han sido poco estudiadas aunado al hecho de que la búsqueda indiscriminada de meteoritas en el desierto propicia que se pierda información de las coordenadas del lugar del hallazgo y no se haga un mapeo de la zona donde se recolecten meteoritas del mismo tipo, aun así, muchas de ellas han sido clasificadas como condritas lo que nos permite emprender estudios relacionados con la modelación de la formación y evolución del sistema solar a partir de una nube de polvo y gas.

3.1 Costra de ablación de las meteoritas

Muchas meteoritas africanas presentan una costra de fusión que se forma cuando el cuerpo entra en contacto con la atmósfera terrestre. Este proceso ocurre debido a que la superficie del cuerpo se funde al incrementarse su temperatura cuando cruza la atmósfera terrestre y debido a la fricción entre la superficie del cuerpo y la atmósfera terrestre a alta velocidad.

A simple vista, el material fundido se ve homogéneo, pero a microescala, se pueden distinguir diferentes minerales. Por otro lado es importante puntualizar aquí que si bien la costra de fusión está formada por diferentes minerales, hay que tomar en cuenta si la meteorita bajo estudio, fue hallada o caída, porque de ser hallada, la roca pudo haber estado sobre la superficie terrestre mucho tiempo y ser sometida a los embates del clima (viento, humedad, lluvia, etc.) creándose sobre su superficie, una corteza o costra por intemperismo. Esta capa está formada generalmente por Limonita, Goethita, Millerita o Hidruros de Óxido de hierro (cuando la meteorita tiene un contenido significativo de agua).

En algunas meteoritas también es posible observar brechas que son estructuras formadas por impactos con otras meteoritas o asteroides o se forman en el momento del impacto con la superficie terrestre. En particular, los cóndrulos y cristales presentes en las meteoritas del

tipo condritico pueden romperse y/o fracturarse y/o fundirse. El material que se funde puede inundar las fracturas formadas durante el proceso del impacto y permanecer ahí.

Tanto el rompimiento de los materiales, así como la generación de fracturas y fundidos se debe a que las meteoritas pasaron por un proceso muy energético originado por la gran velocidad a la que viajaron cuando ingresaron en la atmósfera terrestre y al impacto que causó el fundido de los materiales. Estos eventos pueden apreciarse en las meteoritas porque presentar brechamiento (Figura 3.1) y en algunos casos también pueden presentarse ondas de choque producidas por el impacto, que se manifiestan, de acuerdo a Stinchcomb., (2011) de la siguiente manera:

- a) Se pierde parte de la superficie de la meteorita y se generan pequeñas brechas.
- b) Parte de la estructura cristalina es removida de los límites entre cristales.
- c) La estructura original de los cóndrulos está parcial o completamente borrada.
- d) Existe una gran cantidad de material granular.
- e) Se producen muchos cristales y clastos irregulares.



Figura 3.1 Especímenes para clasificar de meteoritas NWA de clasificación L, la foto de la izquierda tiene una costra de ablación en toda su superficie y el segundo en la mitad de su costra ha sido atacada por el intemperismo terrestre. Imágenes tomadas de Stinchcomb, B., (2011).

3.2 Clasificación de las meteoritas NWA

En el año 2011, Stinchcomb propuso una clasificación empírica de las meteoritas NWA basada solo en la observación a simple vista y considerando los tipos: L, H y C. El tipo L son las que tienen bajo contenido de metales, las H, son las que tienen alto contenido de metales y las C son las condritas. Estas últimas se diferencian de los otros dos tipos

porque son las únicas que contienen Hidruros de Óxido de Hierro en su superficie de fusión (Stinchcomb, 2011).

En el caso de las condritas NWA, Stinchcomb (2011) propuso la siguiente clasificación:

-NWA-I L 3,4 Condrita baja en Fe, muy intemperizada

Son de color café, con un grado de oxidación que va de la escala moderada a muy oxidado, pueden mostrar cóndrulos vagos.

-NWA- II L 3,4 Condrita poco intemperizada

Muy parecidas a las primeras, pero su interior contiene más clastos y cóndrulos y tienen muy poco contenido de metales de hierro.

-NWA-III L 4,5 Condrita sin intemperismo en el interior

En ellas se pueden ver clastos y cóndrulos, pero no tan bien definidos como en las meteoritas recién caídas, en los cuales se puede ver hasta la textura de las meteoritas.

-NWA-IV L 5,6 Condrita sin intemperismo en el interior

El interior no está intemperizado y se pueden ver cóndrulos vagos, que normalmente esta deformados por el impacto.

-NWA-V H 3,4 Condrita intemperizada, con clastos distintivos

Tienen un alto contenido de metales el cual puede estar convertido en Hidruros de Hierro y se pueden observar algunos cóndrulos.

-NWA-VI H 4,5 Condrita poco intemperizada, con pocos clastos

Tienen muy poca evidencia de cóndrulos en su superficie, la cual pudo haber cambiado en el impacto o por el metamorfismo térmico al momento de entrar en la atmósfera de la Tierra.

-NWA-VII H 4,5 Condrita con poca oxidación, con cóndrulos presentes

Los cóndrulos en estas meteoritas no son tan obvios debido a que sufrieron los procesos de metamorfismo térmico e intemperismo terrestre.

-NWA-VIII H 4,5 (Noche estrellada) Condrita sin intemperismo, con pocos clastos

El contenido en metal de estas meteoritas se encuentra diseminado y en abundancia, formando pequeñas pecas, estos metales diseminados le dieron la apariencia de noche estrellada.

Aun cuando esta clasificación incluye múltiples características de las meteoritas NWA, es necesario llevar a cabo estudios petrográficos y geoquímicos para validarla, razón por la cual, no se usará para llevar a cabo el estudio de las meteoritas que atañe a este trabajo de tesis.

3.3. Ejemplares únicos de meteoritas NWA

Las meteoritas NWA son muy variadas, y pueden ser de muchos tipos, sin embargo existen especímenes únicos que han sido clasificados como lunares o marcianos alcanzando un precio muy alto en el mercado científico (Figura 3.2) (Stinchcomb, 2011):

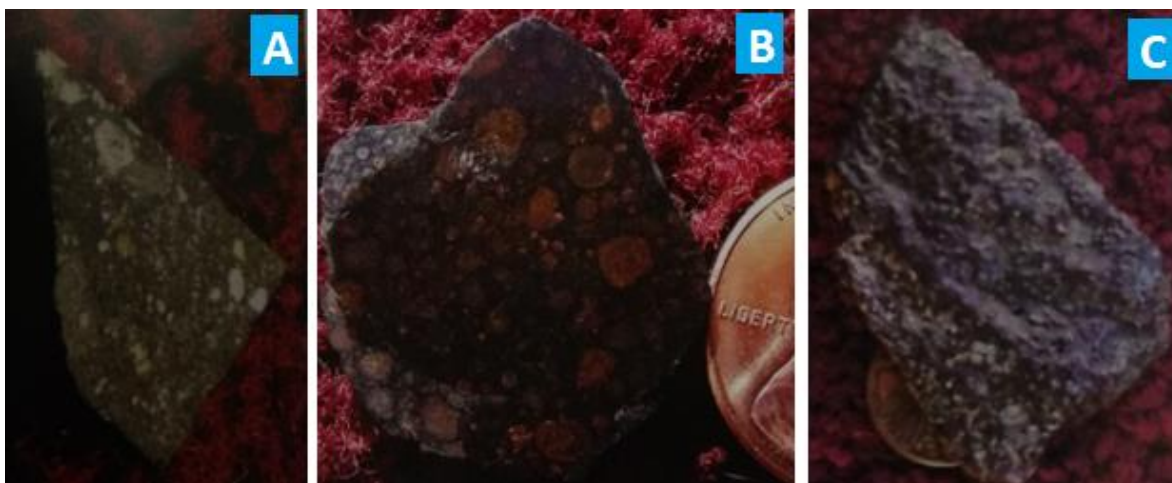


Figura 3.2. Imagen 1 y 2 NWA-2995 Meteorito Lunar, brecha de basalto con clastos de anortosita, espécimen encontrado en Algeria en 2005, Imagen 3 espécimen NWA proveniente de Marte, de composición riolítica. Imagen tomada de Stinchcomb (2011), Meteorites, Schiffer Publishing HD, USA .

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS PETROGRÁFICO

En este capítulo se presenta el estudio petrográfico de 4 meteoritas africanas nombradas por la Meteoritical Society como: NWA 7043, NWA 6567 y NWA 4502, NWA 7678. Todas ellas han sido clasificadas como condritas carbonosas CV3 y fueron adquiridas en el Gem, Fossils and Mineral Show, en la ciudad de Tucson, AZ, EUA en febrero de 2013 (Krot, et al., 2014), por la Dra. Dolores Maravilla.

Para validar nuestros resultados, se hicieron estudios similares a una muestra de la meteorita carbonosa Allende, que también es una meteorita CV3 y se realizó una comparación entre los resultados obtenidos para las meteoritas NWA estudiadas y aquellos obtenidos para Allende.

El estudio petrográfico se realizó en el Laboratorio Universitario de Petrología (LUP) que se encuentra en el Instituto de Geofísica UNAM. El equipo utilizado fue un microscopio motorizado para estudio de materiales, modelo Carl Zeiss Axio Imager.M2m, que cuenta con una cámara AxioCam ICc 5 con dos objetivos: el de luz transmitida N-ACHROPLAN y el de luz reflejada EC EPIPLAN que operan con un sistema de iluminación MicroLED. Las imágenes fotográficas fueron obtenidas usando el software AxioVision.

Con este equipo se hicieron los estudios petrológicos de 5 láminas delgadas, cada una proveniente de las meteoritas NWA7043, NWA6567, NWA2086, NWA5257 y Allende. Se estudió principalmente la textura de los cóndrulos y la mineralogía de las distintas componentes de las muestras. Este equipo también se utilizó para determinar cuáles elementos deberían ser estudiados con la Microsonda Electrónica.

4.1 Preparación de las muestras

La preparación de cada lámina delgada se realizó en la empresa Petroanálisis S. A., donde las muestras fueron obtenidas a través del siguiente proceso:

- Se cortó una sección, de 1 cm de grosor, de cada roca meteorítica bajo estudio, con una cortadora KM.
- Cada sección fue cortada y devastada hasta alcanzar el espesor de 30 μm . El corte se realizó en húmedo con un disco de rim de diamante.
- Posteriormente se pulio una de las caras de cada sección para adherirla a un porta objetos mediante adhesivo óptico de curado de violeta que soporta un

rango de temperatura de -100 °C a 125 °C y tiene un índice de refracción de 1.56.

- Finalmente se realizó la adhesión de la muestra al portaobjetos de vidrio.

4.2 Resultados de los análisis

4.2.1 METEORITA NWA 4502

4.2.1a Matriz

El porcentaje de matriz de esta meteorita respecto a los cóndrulos en la muestra analizada, fue del 25 %. En general, la matriz es de grano muy fino y oscuro y en algunas regiones se observaron granos de cristales con formas ovaladas de bien definidas a irregulares, estas partes de matriz dan la apariencia de ser pedazos de cristales o cóndrulos con tamaños que varían de 10 a 200 μm .

La composición mineralógica de la matriz en su mayoría es de Olivino y Piroxeno, entre los que sobresale la Enstatita; también se detectaron cristales escasos de Feldespato y Cuarzo.

Estudio a Detalle

En la sección delgada bajo estudio, se eligieron dos zonas (las cuales se muestran en la Figura 4.1) para poder identificar los minerales que forman la matriz que, en su mayoría, resultaron ser Piroxenos de los tipos: Enstatita y Augita. En estas zonas se observaron cristales de Feldespato, Cuarzo e incluso Plagioclasa en cantidades menores.

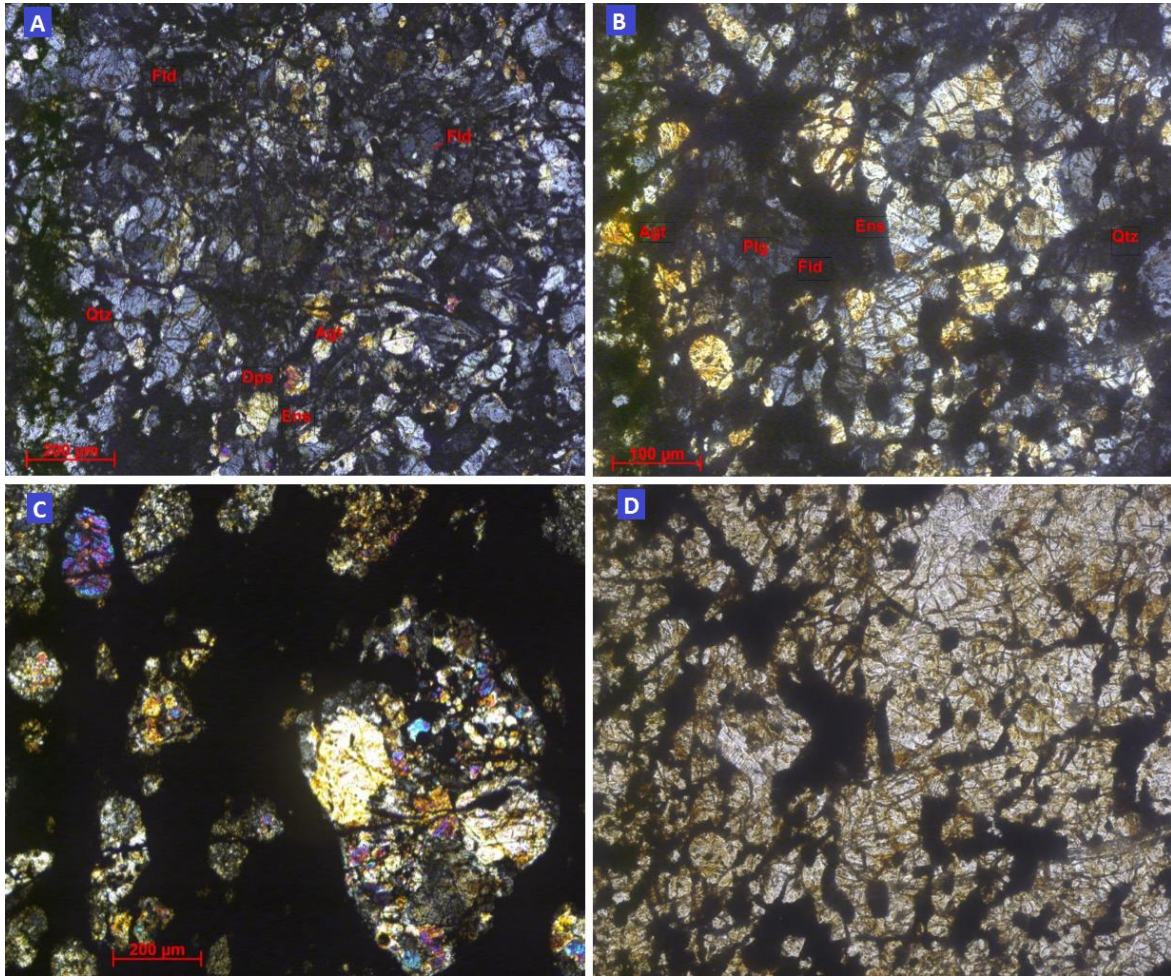


Figura 4.1 A) Imgen mostrando una matriz formada por cristales irregulares y ovalados de dimensiones similares, con una composición mineralógica principalmente de Diópsido, Augita y Enstatita siendo esta última, el mineral más abundante, también se encontraron cristales de Feldspato y Cuarzo. Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados. B) Parte de matriz compuesta de cristales de distintos tamaños, que van de irregulares a ovalados, cuya composición mineralógica es de Augita y Enstatita principalmente. Existen cristales vagos de Feldspato, Plagioclasa y Cuarzo. Fotografía tomada con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados. C) Sección de matriz en la que solo se ven estructuras parecidas a granos muy finos y oscuros. Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados. D) Esta imagen es la misma que aparece en la imagen B pero tomada con luz natural. En ella se aprecia una matriz fina en las secciones entre los intersticios de los cristales. Esta imagen fue tomada con Microscopio Petrográfico con luz natural. Agt= Augita, Dps= Diópsido, Ens= Enstatita, Fld= Feldspato, Qtz= Cuarzo, Plg= Plagioclasa.

4.2.1b Cóndrulos

En esta meteorita se detectaron 231 cóndrulos en una lámina de 2.4 cm por 1.6 cm. Los cóndrulos corresponden a 2 tipos: Porfídicos y No-porfídicos. De los 231 cóndrulos, el 54 % corresponden a los Porfídicos mientras que el 46 % corresponden a los No-Porfídicos. La composición y textura de estos cuerpos se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Clasificación textural de los cóndrulos de la meteorita NWA4502.

NWA 4502								
Clasificación Textural								
Porfídico			No Porfídico					
PO	PP	POP	C	RP	GO	GP	GOP	BO
25	61	54	0	0	9	27	53	2

PO = Pórfidos de olivino, PP= Porfídicos de Piroxeno, POP= Porfídicos de Olivino y Piroxeno, C= Criptocristalinos, RP= Radiales de Piroxeno, GO= Granulares de Olivino, GP= Granulares de Piroxeno, GOP= Granulares de Olivino y Piroxeno, BO= Barrados de Olivino (Krot, 2014).

Como se puede observar en la tabla 4.1, existe una cantidad semejante de cóndrulos de POP y GOP de composición similar, solo cambia la forma de los cristales. La composición mixta entre Olivino y Piroxeno en cóndrulos es la que predomina en esta meteorita.

Aunado a lo anterior, dos aspectos importantes de esta meteorita son: a) la cantidad de cóndrulos de Olivino es menor que la de cóndrulos de Piroxeno y b) existe una mayor cantidad de cóndrulos Porfídicos que No Porfídicos. En la Figura 4.2 se pueden observar los distintos tipos de cóndrulos encontrados en esta meteorita.

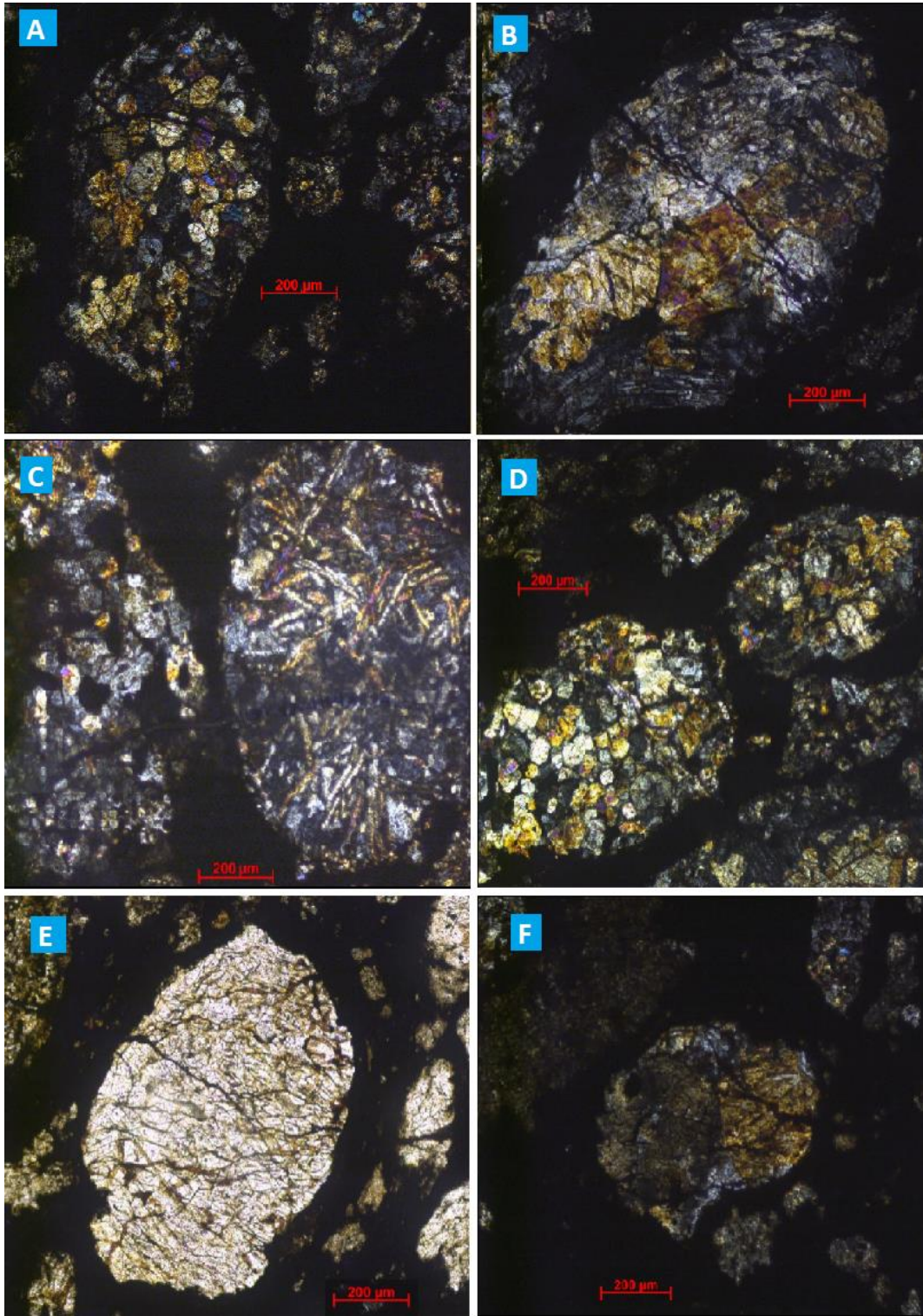


Figura 4.2 En esta imagen se muestran los distintos tipos de cóndrulos encontrados en la meteorita NWA 4502. A) Cóndrulo GOP de aproximadamente 400 x 800 µm. B) Cóndrulo POP DE 1100 X 600 µm. C) Cóndrulo BO de 1200 x 900 µm. D) Cóndrulo GP de 800 x 700 µm. E) Cóndrulo PP de 1100 x 700 µm. F) Cóndrulo formado por dos cóndrulos PO de 600 x 600 µm. Fotografías tomadas con Microscopio Petrográfico con nicoles cruzados.

Estudio a Detalle

Los cóndrulos elegidos para realizar un estudio más preciso fueron los que tienen una gran variedad de minerales y texturas con la finalidad de tener una mayor cobertura en la muestra total (Figura 4.3). Con base en este criterio, se observaron algunos cóndrulos que no pertenecen a una sola clasificación textural como es el caso del cóndrulo E de la Figura 4.3, el cual fue clasificado como BO debido a que el olivino es el mineral que se encuentra en mayor proporción, sin embargo, desde el punto de vista textural, parece tener también, cristales radiales que contienen Piroxenos como Piogenita, Enstatita, Augita y Diópsido.

Otro cóndrulo que presenta esa característica es el cóndrulo B de la Figura 4.3 el cual posee, en parte, una textura como los cóndrulos GOP aunque otra parte de él es POP, las dos texturas tienen composición de Olivino y Piroxeno, sin embargo se le ha catalogado como un cóndrulo GOP debido a que el mayor porcentaje de él es granular. Este cóndrulo es comparable con el cóndrulo D de la Figura 4.3 ya que éste es un claro ejemplo de un cóndrulo tipo GOP formado por una gran cantidad de cristales granulares con una composición diversa de Piroxenos como la Piogenita, la Enstatita y el Diópsido y con un contenido menor de Olivino.

Los cóndrulos C y F de la Figura 4.3 tienen la misma composición mineralógica, sin embargo, su textura es diferente, mientras que el cóndrulo C es un cóndrulo GP, el F es un cóndrulo PP. Algo recalable de los cóndrulos PP es que la mayoría están compuestos de Enstatita, como es el caso del cóndrulo F el cual contiene Enstatita junto con Pigeonita y Diópsido en el borde del cóndrulo. En el cóndrulo C se tienen dos minerales, el Diópsido y la Enstatita bastante comunes en los cóndrulos GP.

Por último, el cóndrulo A de la Figura 4.3 es de tipo GP, este cóndrulo tiene una asociación de Piroxenos inusual, ya que es el único de la lámina delgada en el que solo se presentaron los Piroxenos, la Enstatita, el Diópsido, la Augita, la Pigeonita y la Hiperstena.

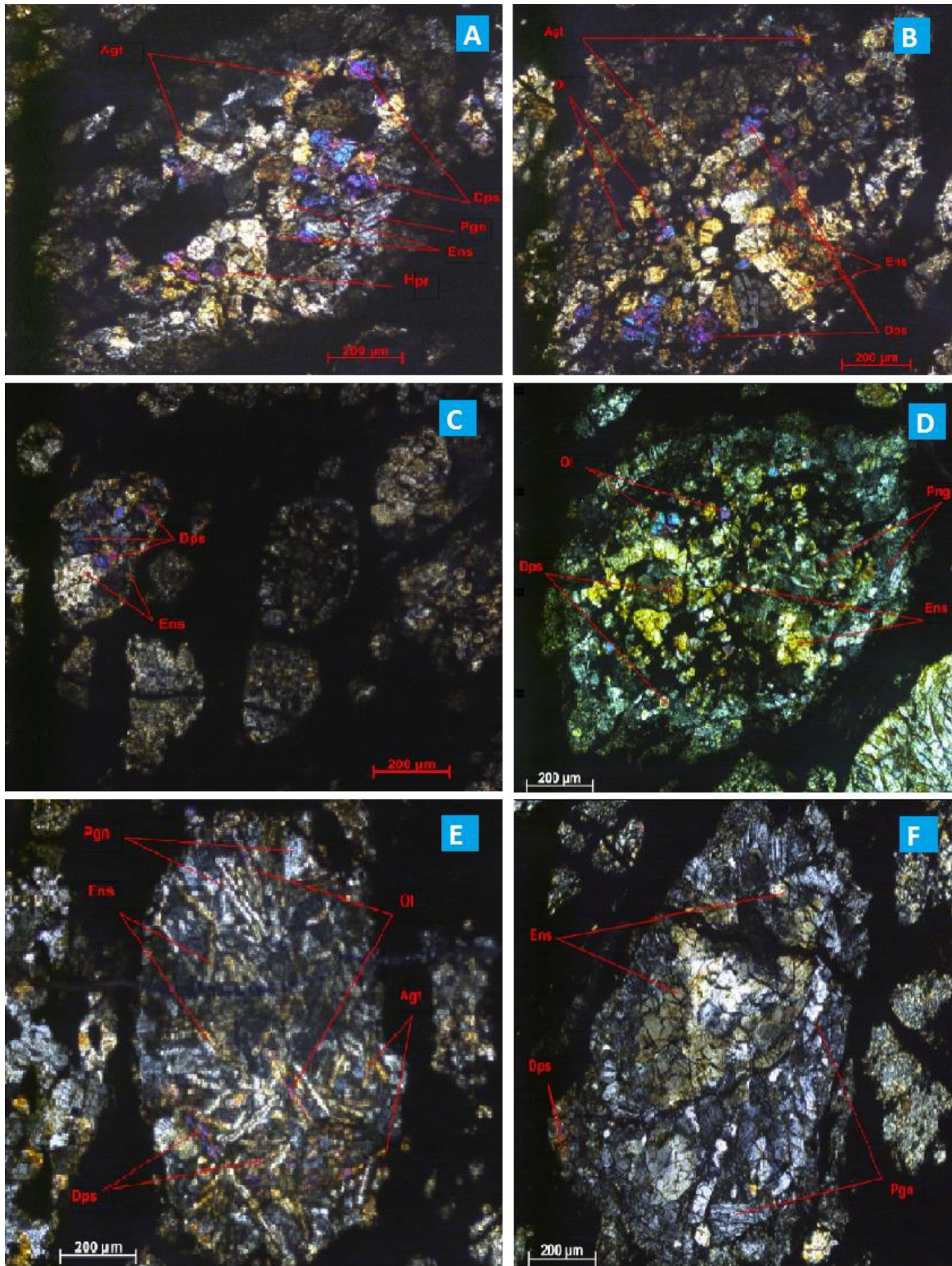


Imagen 4.3 Imágenes de los cóndrulos estudiados a detalle. Todas las fotos fueron tomadas con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados. Agt= Augita, Dps= Diópsido, Ens= Enstatita, Pgn= Pigeonita, Ol=Olivino, Hyp= Hyperstena.

4.2.1c Bordes

Esta meteorita contiene cóndrulos con bordes de grano fino y con bordes de grano grueso de diferente espesor (aproximadamente 150 μm). Los bordes de grano grueso están formados principalmente de Olivino, con pequeñas porciones de Piroxenos y metales diseminados. La composición mineralógica de los bordes de grano fino se determinó mediante técnicas analíticas. En la Figura 4.4 se presentan algunos ejemplos de los cóndrulos con borde de grano fino y con borde de grano grueso.

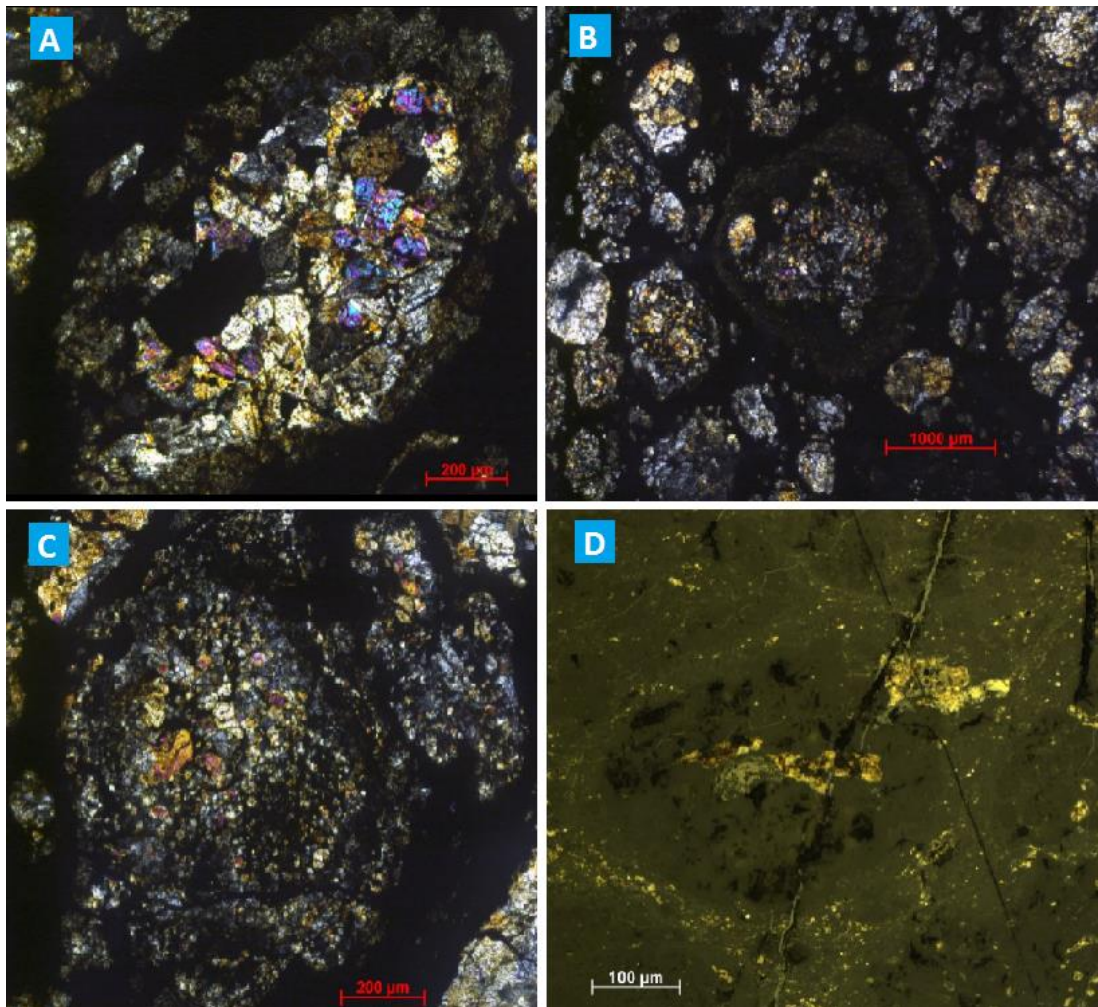


Figura 4.4 En esta imagen se aprecian los bordes de grano fino y los bordes de grano grueso que se observaron en los cóndrulos de la meteorita NWA 4502. A) Cóndrulo GP con borde de grano fino, borde variable de 30 a 150 μm . Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con nicoles cruzados. B) Cóndrulo POP con borde de grano fino con un ancho constante de 100 μm . Fotografía tomada con Microscopio Petrográfico con nicoles cruzados. C) Cóndrulo GOP con borde de grano grueso de ancho variable de 20 a 230 μm . Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con nicoles cruzados. D) Cóndrulo con metales

diseminados de composición de Sulfuro de Hierro y Titanio, este cóndrulo es el mismo de la imagen A. Imagen tomada con Microscopio Minerográfico con Luz Natural.

4.2.1d Cuerpos ameboidales (AOA's)

De los 13 cuerpos ameboidales detectados en la muestra, 9 de ellos tienen una composición mixta de Olivino y Piroxeno, secundados por los que son completamente de Piroxeno (3) y por los formados únicamente de Olivino(1). Su textura es similar a la de los cóndrulos granulados, donde los cristales tienen, en su mayoría, una forma ovalada (Figura 4.5).

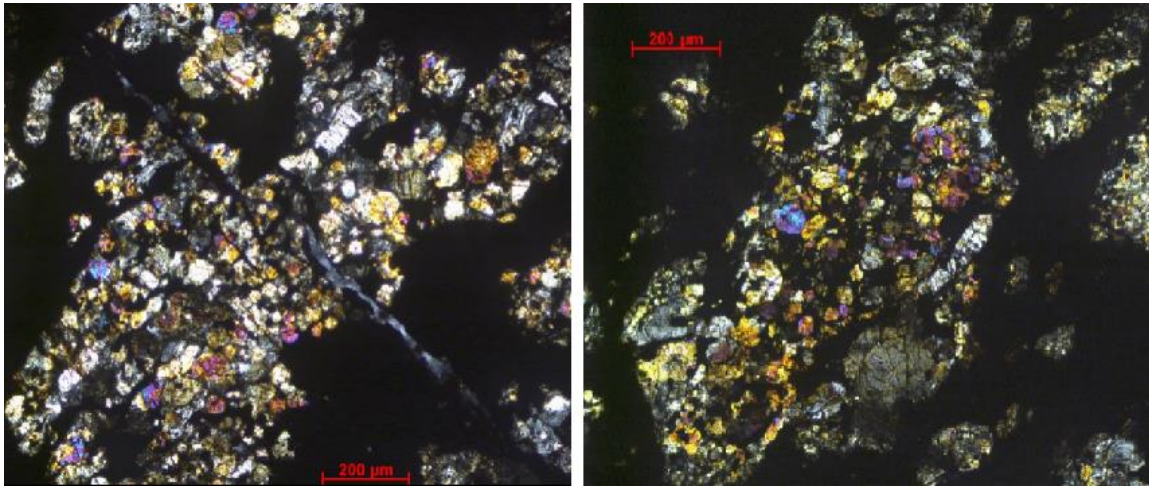


Figura 4.5 Cuerpos ameboidales (AOA's) con una composición mixta de Olivino y Piroxeno. El tamaño del primer AOA (lado izquierdo de la figura) es de 1000 x 600 µm mientras que la del segundo (lado derecho de la figura) es de 800 x 500 µm. Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados.

Estudio a Detalle

En la elección de la zona a estudiar se eligió el cuerpo ameboidal (AOA) más grande de la muestra (Figura 4.6) ya que por su tamaño, permitió que se obtuvieran mejores resultados en el análisis petrográfico.

El AOA tiene un tamaño de 1050 x 400 µm con una composición de Piroxenos (Augita, Piogenia y Enstatita) y en menor cantidad de Olivino. La textura de este AOA es granular, así como la de todos los AOA que se observaron en esta lámina delgada.

Una característica adicional observada en los AOA, es que existe una gran concentración de metales, que se presentan como distintos agregados, encontrándose como granos o entre los espacios intergranulares (Figura 4.6)

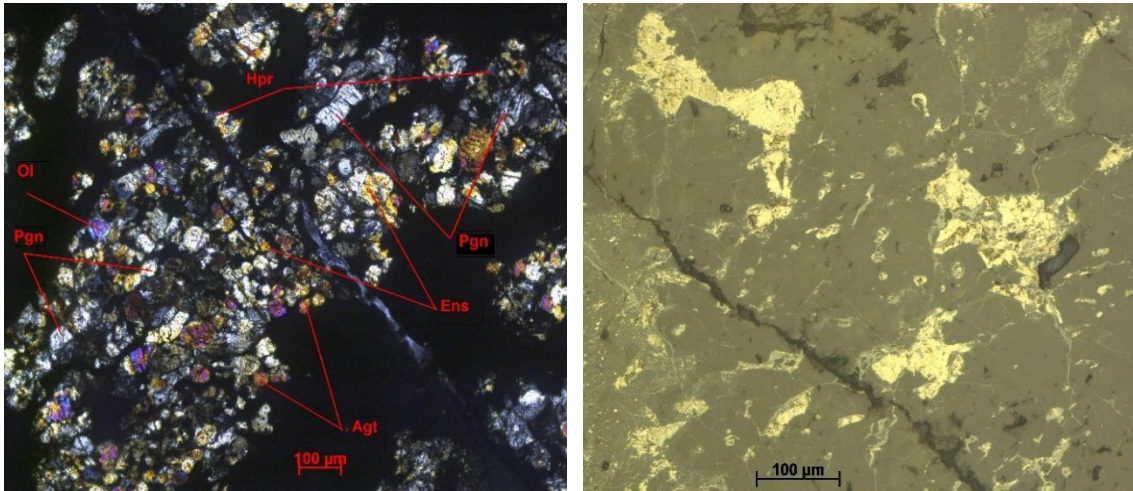


Figura 4.6 Sección del cuerpo ameboidal (AOA) de composición Olivino, Hiperstena, Pigeonita, Enstatita y Augita (imagen izquierda de la figura). Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con nicoles cruzados. En la imagen de la derecha se muestra la misma zona que aparece en el lado izquierdo y en la que se aprecian los metales diseminados de manera intergranular y otros como agregados granulares. Imagen tomada con Microscopio Minerográfico con Luz Natural. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Pgn= Pigeonita, Ol= Olivino, Hpr= Hyperstena.

4.2.2 Meteorita NWA 6567

4.2.2a Matriz

En esta meteorita no se detectaron áreas donde la matriz se pudiera estudiar petrográficamente porque es demasiado fina y oscura, debido a eso, se eligieron algunas zonas para ser estudiadas por métodos analíticos. El porcentaje de matriz de esta condrita respecto al porcentaje de cóndrulos está en proporción 30 % / 70 %.

4.2.2b Cóndrulos

Esta meteorita tiene principalmente cóndrulos de tipo porfídico (Tabla 4.2), siendo los PO, los más abundantes (52), a diferencia de los GO, de los cuales solo existe uno en la muestra estudiada. Los GP y PP abundan en proporciones similares, así como los GOP y los POP los cuales también tienen la misma composición mineralógica.

Es importante resaltar que en esta muestra se encontraron cóndrulos tipo BO y BP en cantidades sustanciales, lo cual es poco común en las otras meteoritas estudiadas, aunado al hecho de que tienen una forma inusual que depende, seguramente, de las condiciones termodinámicas en las que se formaron. También fueron observados cóndrulos tipo C que aparecen muy raramente en estas meteoritas. En la Figura 4.7 se pueden observar algunos de los tipos de cóndrulos encontrados en esta muestra

Tabla 4.2 Clasificación textural de los cóndrulos de la meteorita NWA 6567.

NWA 6567								
Clasificación Textural								
Porfídico			No Porfídico					
PO	PP	POP	C	RP	GO	GP	GOP	BO
52	38	10	3	10	1	34	10	28

PO = Pórfidos de olivino, PP= Porfídicos de Piroxeno, POP= Porfídicos de Olivino y Piroxeno, C= Criptocristalinos, RP= Radiales de Piroxeno, GO= Granulares de Olivino, GP= Granulares de Piroxeno, GOP= Granulares de Olivino y Piroxeno, BO= Barrados de Olivino (Krot, 2014).

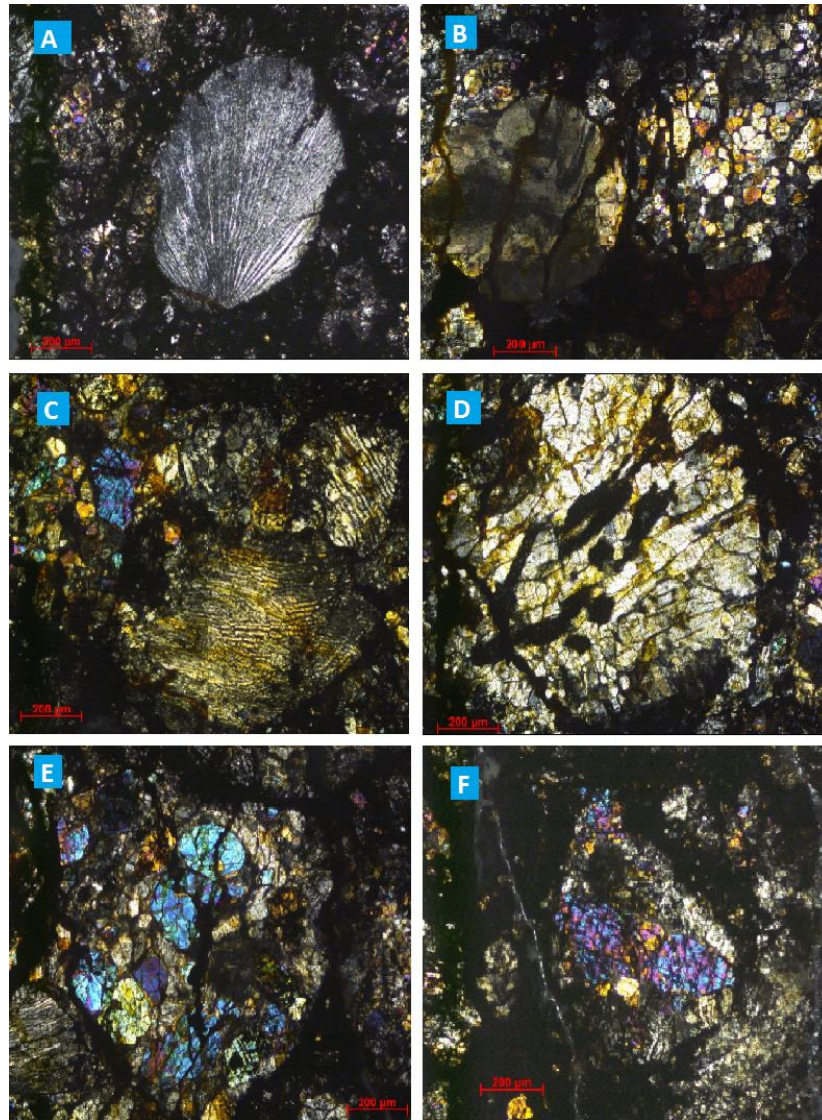


Figura 4.7 Imágenes de los distintos tipos de cóndrulos de la meteorita NWA6567, A) Cóndrulo RP. B) Cóndrulo C de lado izquierdo y cóndrulo GOP de lado derecho. C) Cóndrulo POP de lado superior izquierdo y cóndrulo BO de lado inferior derecho. D) Cóndrulo PO. E) Cóndrulo GP. F) Cóndrulo PP. Las imágenes de la A) a la F) fueron tomadas con Microscopio Petrográfico con nicoles cruzados.

Estudio a Detalle

Los cóndrulos que se eligieron para su estudio fueron aquellos que tenían más variedad de minerales, así como aquellos cuyas texturas son poco comunes, como los C, BO y los RP (Figura 4.8).

En el caso de los cóndrulos A y B de la Figura 4.8 se tiene que el A presenta una textura PP mientras que el B posee una textura GP; por su apariencia parece que ambos tienen la misma composición, su textura cambia a pesar de tener características semejantes, ya que en los dos se pueden apreciar los cristales perfectamente delimitados y casi completos, solo que en el cóndrulo A, los cristales son completamente euedrales y de forma hexagonal mientras que los del cóndrulo B, están muy bien definidos aunque los granos tienen formas ovaladas y algunos están fracturados. Ambos tienen una composición mineralógica similar constituida por Piroxenos como la Enstatita, el Diópsido, la Pigeonita, la Hyperstena y la Augita, y en el cóndrulo A, también existe la Hedemberguita y la Augita, se presenta como Augita-Aegirina.

En el caso del cóndrulo del recuadro C de la Figura 4.8, que es un cóndrulo tipo RP, éste está formado de Hyperstena, con unas medidas de 900 x 500 μm , siendo por otro lado, el único cóndrulo detectado en lámina delgada con esta textura ya que el resto de los cóndrulos estudiados están formados por Enstatita o Augita.

Otro tipo de cóndrulo, poco común, son los tipo C, como es el caso del cuerpo que se observa en el lado derecho de la Figura 4.8 D que tiene una composición mineralógica de Augita con medidas 800 x 800 μm . Los cóndrulos del tipo C, tienden a ser círculos perfectos.

El cóndrulo de la Figura 4.8 E es del tipo BO, tiene un tamaño considerable ya que sus medidas son 3250 x 2500 μm y presenta una estructura barrada perpendicular al borde.

En la imagen F de la Figura 4.8 se aprecian dos cóndrulos que son de tipo BO, con una composición, casi en su totalidad, de Olivino porque en algunas regiones existen alteraciones químicas por Iddingsita. Estos cóndrulos miden 2500 x 2500 μm (inferior) y 600 x 700 μm (superior) respectivamente.

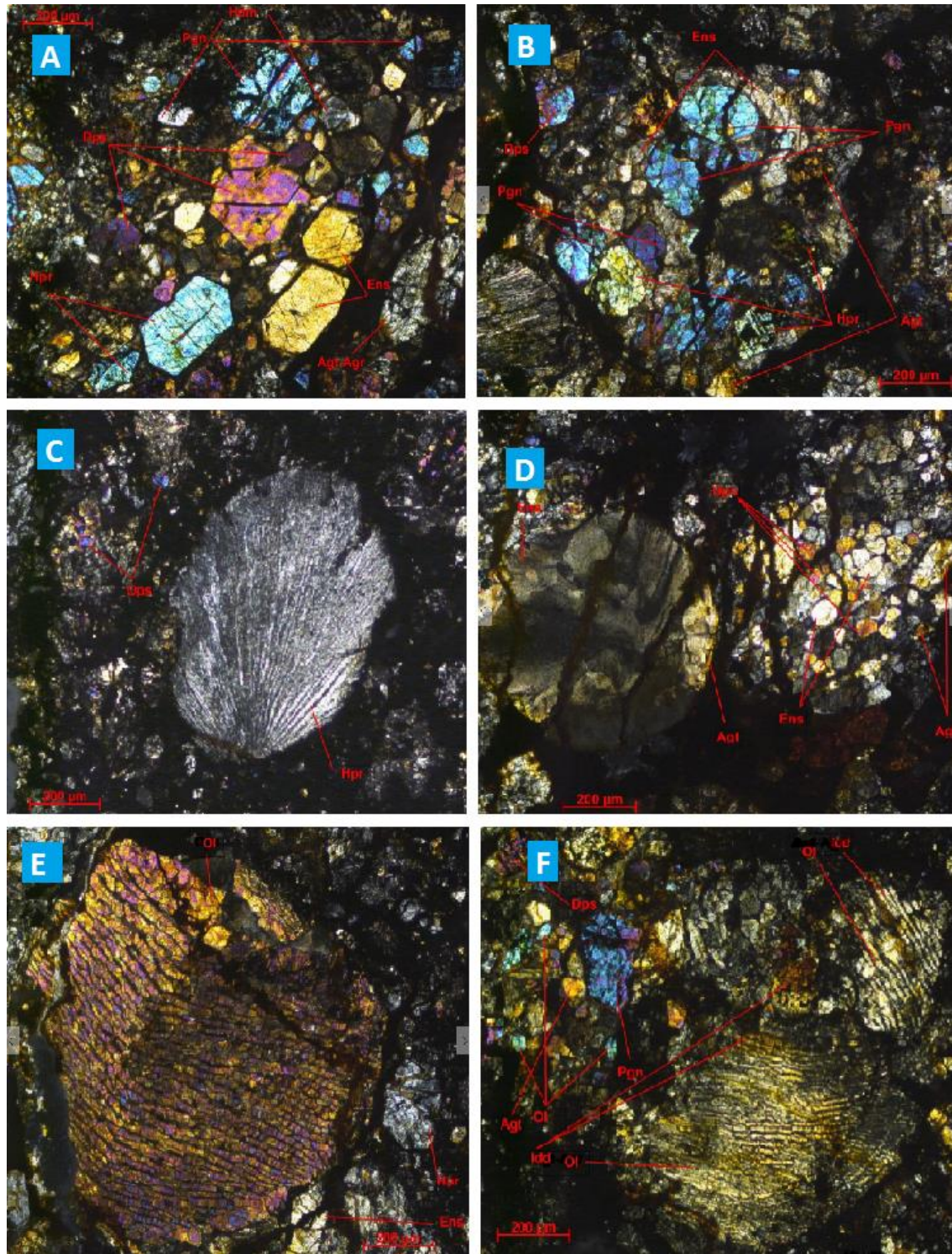


Figura 4.8 A) Cóndrulo tipo PP. B) Cóndrulo tipo GP. C) Cóndrulo tipo RP. D) Cóndrulo tipo C a la izquierda y tipo GOP a la derecha. E y F) Cóndrulos tipo BO. Las imágenes de la A) a la F) fueron tomadas con Microscopio Petrográfico con nicóles cruzados. Agt= Augita, Agt-Agr= Augita-Aegirina, Dps= Diópsido, Ens= Enstatita, Pgn= Pigeonita, Ol=Olivino, Hyp= Hyperstena, Hdm= Hedemberguita, Idd= Indignita.

4.2.2c Bordes

En esta meteorita, los cóndrulos prácticamente carecen de borde, de hecho, los únicos que tienen bordes son los cóndrulos E y F (Figura 4.8). Estos bordes parecen ser fragmentos del mismo cóndrulo y por eso se ven como si fueran barrados, en el caso del cóndrulo E parecen incompletos. En el cóndrulo F se pueden apreciar tres secciones de borde de distintos tamaños (20 a 100 μm) en la parte inferior derecha, hecho que en el cóndrulo E no pasa porque solo aparece una sección de borde alrededor de él. Los bordes de estos cóndrulos son de grano grueso y de composición de Olivino.

2.2.2d Cuerpos ameboidales (AOA's)

En la lámina delgada de esta condrita carbonosa (NWA6567) no se encontraron cuerpos ameboidales.

4.2.3 Meteorita NWA 7043

4.2.3a Matriz

La meteorita NWA 7043 tiene un porcentaje mayor de matriz (35 %) respecto al porcentaje encontrado en las otras meteoritas NWA (NWA 4502 (25 %), NWA 6567 (30 %), NWA 7678 (30 %)). La matriz, en su mayor parte, está formada de polvo fino, aunque también existen algunas regiones formadas por pedacería de cristales provenientes de los cóndrulos, (imagen A de la Figura 4.9) y otras, por cristales bien formados como los que se observan en la imagen B de la misma figura. Debido al tamaño de los cuerpos que forman principalmente la matriz, ésta se estudió usando métodos analíticos.

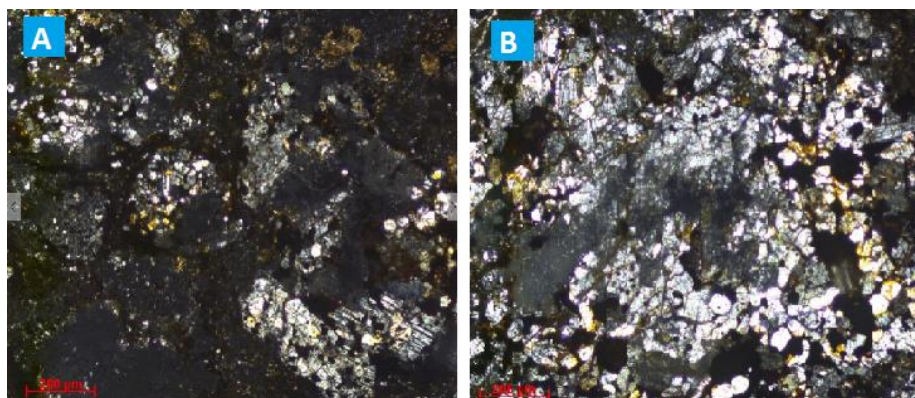


Figura 4.9 En estas imágenes se muestran las formas en que se presenta la matriz de la meteorita NWA 7043. En la imagen A, la matriz está formada de partículas muy finas y oscuras existiendo regiones formadas por pedacería de cristales. En la imagen B se aprecian los cristales, bien definidos, que forman la matriz. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados.

Estudio a Detalle

Para llevar a cabo este estudio, se eligió la sección de matriz formada por cristales bien definidos para apreciar mejor sus propiedades ópticas. La matriz está formada por un 35 % de Enstatita, un 44 % de Olivino (Figura 4.10), un 6 % de Feldespato, un 6 % de Augita, un 5 % de Plagioclasas y un 4 % de Cuarzo.

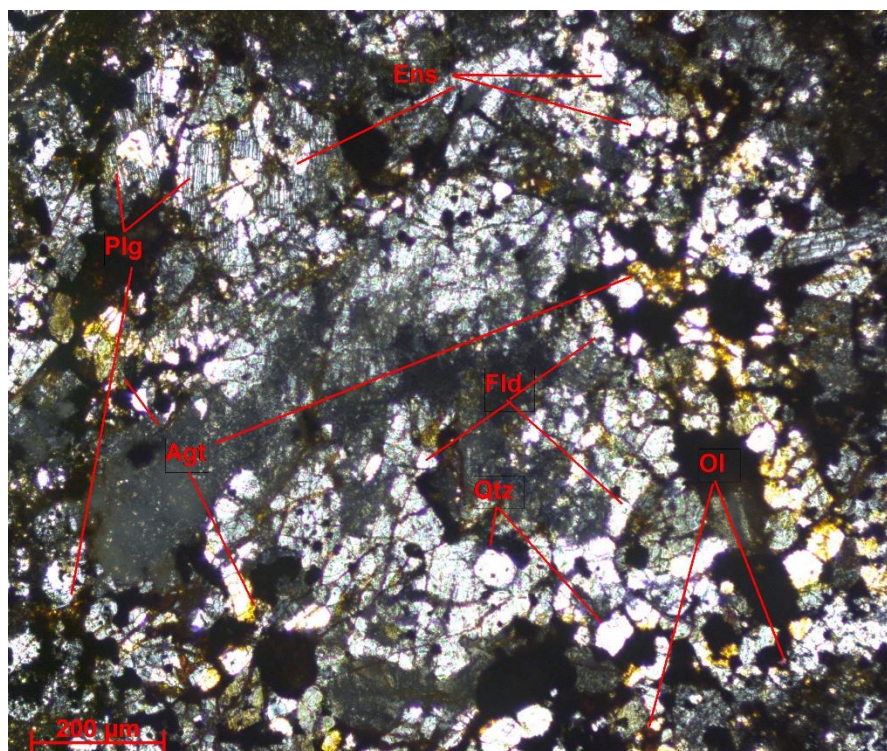


Figura 4.10 en la que se pueden observar los cristales que forman la matriz así como las regiones en donde se indica su composición mineralógica. Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Ol=Olivino, Plg= Plagioclase, Qtz= Cuarzo, Fld= Feldespato.

4.2.3b Cóndrulos

En esta lámina delgada se encontraron menos cóndrulos que en las láminas analizadas para las otras meteoritas NWA, porque la muestra estudiada es muy pequeña y los cóndrulos que se encontraron están en menor proporción respecto a la proporción de los cóndrulos observados en las otras muestras. En total fueron 44 cóndrulos detectados siendo los más abundantes los del tipo BO (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Clasificación textural de los cóndrulos de la meteorita NWA 7043.

NWA 7043								
Clasificación Textural								
Porfídico			No Porfídico					
PO	PP	POP	C	RP	GO	GP	GOP	BO
0	13	0	0	0	0	2	0	29

PO = Pórfidos de olivino, PP= Porfídicos de Piroxeno, POP= Porfídicos de Olivino y Piroxeno, C= Criptocristalinos, RP= Radiales de Piroxeno, GO= Granulares de Olivino, GP= Granulares de Piroxeno, GOP= Granulares de Olivino y Piroxeno, BO= Barrados de Olivino (Krot, 2014).

Los cóndrulos BO presentan una combinación de texturas relacionadas con los tipos BO y GO y con los tipos GP y GOP. En la Figura 4.11 se aprecian algunos de los cóndrulos observados en la muestra, así como las texturas que presentan.

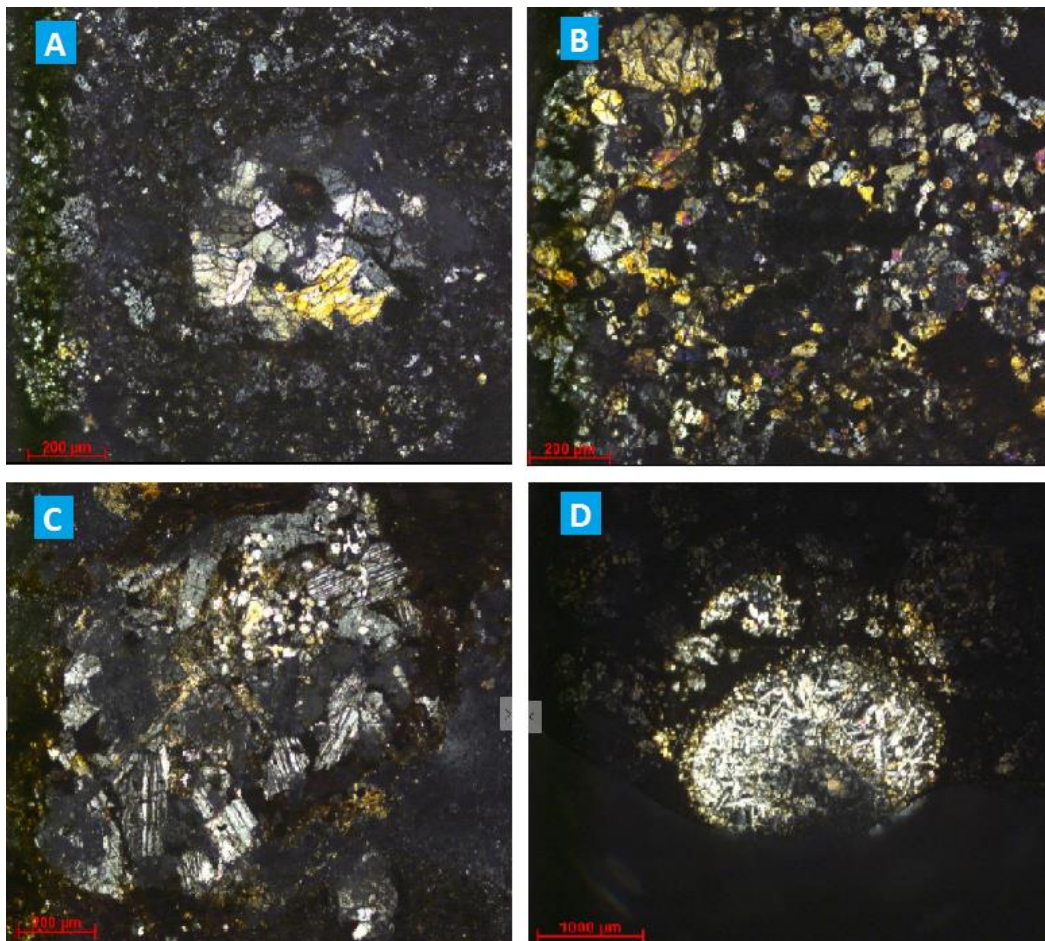


Figura 4.11 A) Cóndrulo tipo PP. B) Cóndrulo tipo GOP. C) Cóndrulo tipo BO, aunque su textura parece estar formada por partes de cóndrulos tipos PP y GP. D) Cóndrulo tipo BO, con textura mezclada con tipo GOP. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con nicóles cruzados.

Estudio a Detalle

En esta meteorita se seleccionaron varios cóndrulos que contienen más de una clasificación textural, ya que son especímenes raros en otras meteoritas. En la imagen A de la Figura 4.12 se observa un cóndrulo que fue clasificado como BO porque parece estar formado por cristales de cóndrulos tipo BO (olivino), también presenta texturas del tipo GP con Enstatita como mineral en forma granular, así como cristales tipo PP formados de Hiperstena.

En el caso del cóndrulo de la imagen C (Figura 4.12), éste fue clasificado como BO, donde las estructuras barradas están formadas de Olivino y las partes granulares están formadas por Piroxenos, Augita y Enstatita, dando la mezcla de BO y GP.

En las imágenes B y D de la misma Figura (4.12) se presentan los dos únicos cóndrulos tipo GP que fueron encontrados en la lámina delgada. Ambos están formados de Augita, Diópsido y Enstatita.

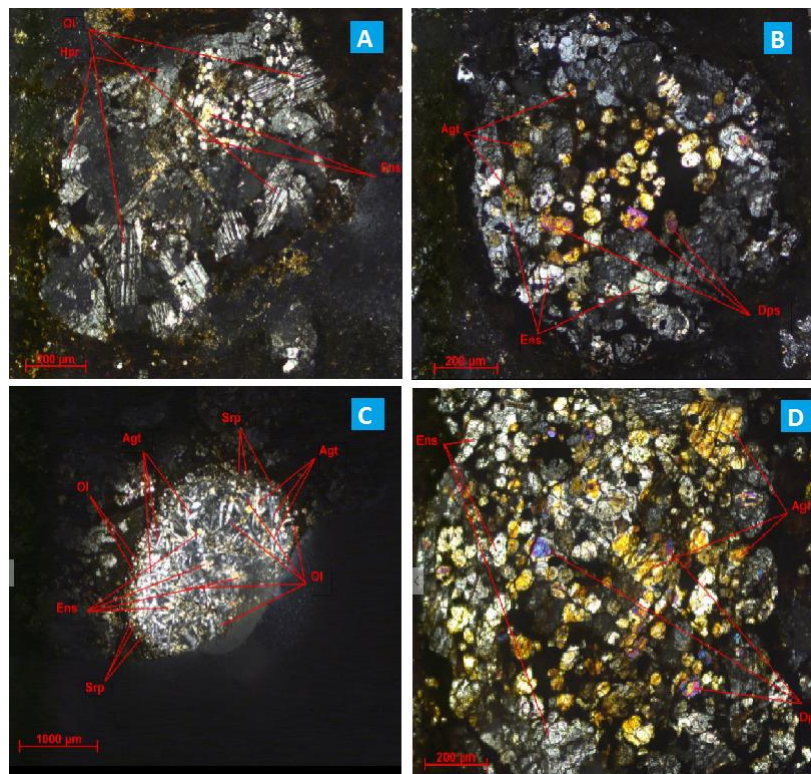


Figura 4.12 Tipos de cóndrulos observados en la lámina delgada de la muestra NWA 7043. En las imágenes A y C, los cóndrulos son de tipo BO mientras que en las imágenes B y D, los cóndrulos pertenecen al tipo GP. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Ol=Olivino, Hpr= Hyperstena, Dps= Diópsido, Srp= Serpentina.

4.2.3c Bordes

Esta meteorita contiene cóndrulos con bordes de grano fino y con bordes de grano grueso. La imagen A, de la Figura 4.13, muestra un cóndrulo con borde de grano fino mientras que en la imagen B se observa un cóndrulo con borde de grano grueso. La composición mineralógica del borde formado de grano fino no se pudo determinar debido al tamaño de grano, que dificulta su identificación pero, en el caso del borde de grano grueso (imagen B), los granos están formados principalmente de Olivino con algunos cristales de Augita. Particularmente, el cóndrulo de la imagen C contiene Serpentina en su borde formado de grano grueso.

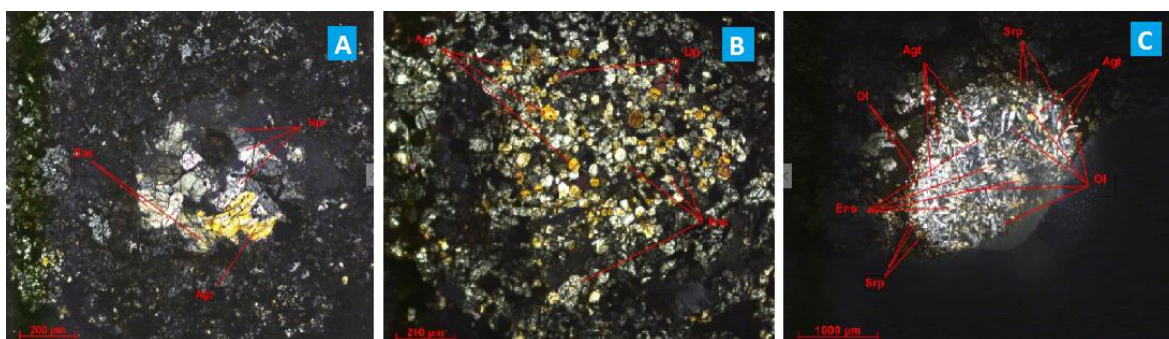


Figura 4.13 Imágenes que muestran los dos tipos de bordes. La imagen A presenta un cóndrulo tipo PP con borde de grano fino. Las imágenes B y C muestran cóndrulos de grano grueso. El cóndrulo mostrado en B es de tipo GP, mientras que el cóndrulo en C, es de tipo BO. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con nicols cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Ol=Olivino, Hpr= Hypersthene, Dps= Diópsido, Srp= Serpentina.

4.2.3d Cuerpos ameboidales (AOA's)

Todos los cuerpos ameboidales que se observaron en esta condrita están formados principalmente de Piroxeno y en menor proporción, contienen Olivino. Los piroxenos detectados son Enstatita, Diópsido y Augita y solo existe un caso donde también está presente la Hypersthene. La mayoría de estos cuerpos presentan una estructura de granos ovalados como se aprecia en la imagen del lado izquierdo de la Figura 4.14 y en algunos casos, los AOA's están formados por pedazos de otros cristales como se observa en la imagen del lado derecho de la misma figura (4.14).

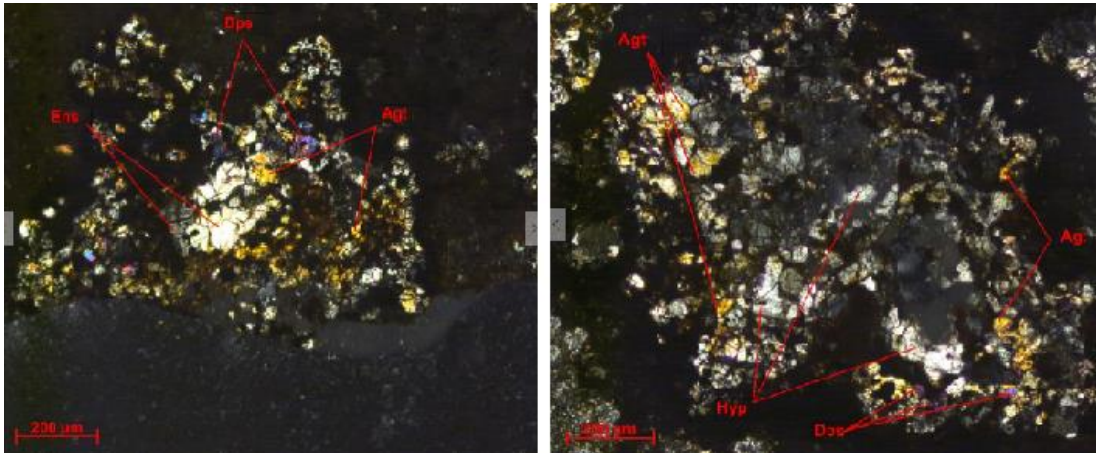


Figura 4.14 La imagen del lado izquierdo muestra un cuerpo ameboidal (AOA) con cristales de formas ovaladas y en la imagen del lado derecho aparece un AOA formado por pedacería de otros cristales. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con nicoles cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Hpr= Hyperstena, Dps= Diópsido.

4.2.4 METEORITA NWA 7678

4.2.4a Matriz

En esta meteorita fue muy difícil encontrar zonas en las cuales se pudieran identificar los minerales que forman la matriz y solo se detectó una zona en la cual se pudo hacer la identificación correspondiente, el resto de la composición de la matriz, se infirió por otra zona de la muestra que fue estudiada con la técnica SEM (Scanning Electron Microscopy por sus siglas en inglés). Por otro lado, la identificación de los minerales fue muy difícil porque la matriz, en general, está formada por granos muy finos (Figura 4.15). La razón del porcentaje de matriz respecto al porcentaje de cóndrulos es 35 % / 65 %.

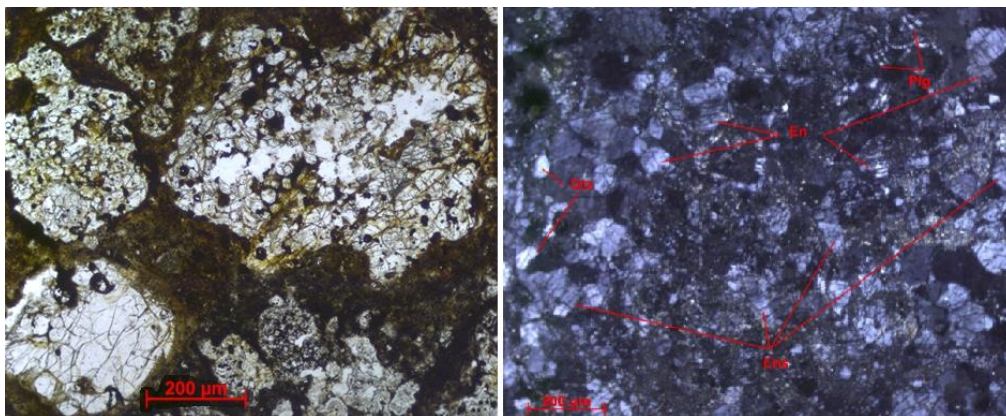


Figura 4.15 En la imagen de la izquierda se muestra una zona donde la matriz (zonas oscuras) está formada por cristales que tienen un tamaño promedio de 50 μm . En ella están sumergidas un cuerpo ameboidal (AOA) y un cóndrulo. La imagen del lado derecho muestra la composición mineralógica de la misma zona. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico, la imagen del lado izquierdo se tomó con luz natural y la del lado derecho es una imagen tomada con nicoles cruzados. Ens= Enstatita, Qtz= Cuarzo, Plg= Plagioclasa.

Estudio a Detalle

La zona que aparece en la imagen del lado izquierdo de la Figura 4.15 contiene cristales de tamaños entre 10 y 100 μm de longitud. Estos cristales están formados principalmente de Enstatita, aunque también existen algunos formados de Cuarzo y Plagioclasa. La muestra de esta meteorita (NWA7678) contiene otras zonas en donde existen algunos cristales formados por Olivino y Augita.

4.2.4b Cóndrulos

El número de cóndrulos encontrados, en esta meteorita, fue de 99. El tipo de textura que abunda en esta meteorita es la GOP secundada por la PO, la GO y la BO lo que nos da a entender que existe una mayor composición de cóndrulos formados por Olivino, ya sea de textura porfídica o de textura granular. En la tabla 4.4 se presenta la clasificación de los cóndrulos que contiene esta condrita y se pueden ver los tipos de cóndrulos encontrados (Figuras 4.16 y 4.17) .

Tabla 4.4 Clasificación textural de los cóndrulos de la meteorita NWA 7678.

NWA 7678								
Clasificación Textural								
Porfídico			No Porfídico					
PO	PP	POP	C	RP	GO	GP	GOP	BO
16	3	7	9	1	14	7	21	21

PO = Pórfidos de olivino, PP= Porfídicos de Piroxeno, POP= Porfídicos de Olivino y Piroxeno, C= Criptocristalinos, RP= Radiales de Piroxeno, GO= Granulares de Olivino, GP= Granulares de Piroxeno, GOP= Granulares de Olivino y Piroxeno, BO= Barrados de Olivino (Krot, 2014).

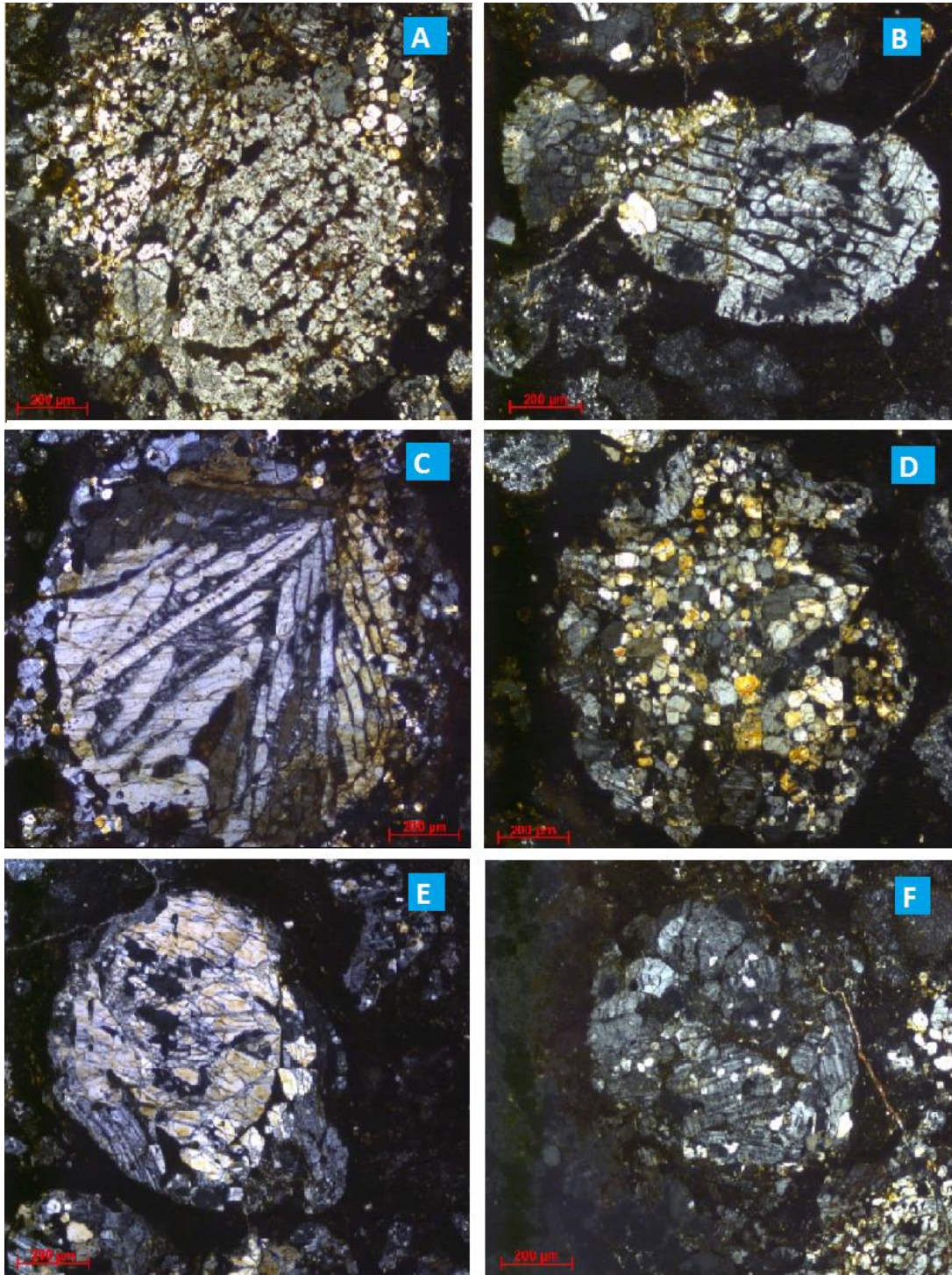


Figura 4.16 A) Cóndrulo tipo GO de 1400 μm de diámetro, B) Cóndrulo tipo BO de 1200 μm de diámetro, C) Cóndrulo RP de 1100 μm de diámetro, D) Cóndrulo GOP de 1000 μm de diámetro, E) Cóndrulo PO de 900 μm de diámetro, F) Cóndrulo con una combinación de los tipos GO y BO aunque prevalece el tipo GO porque los granos están formados por pedazos de cóndrulo BO. Este cóndrulo tiene un diámetro de 850 μm . Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados.

Estudio a Detalle

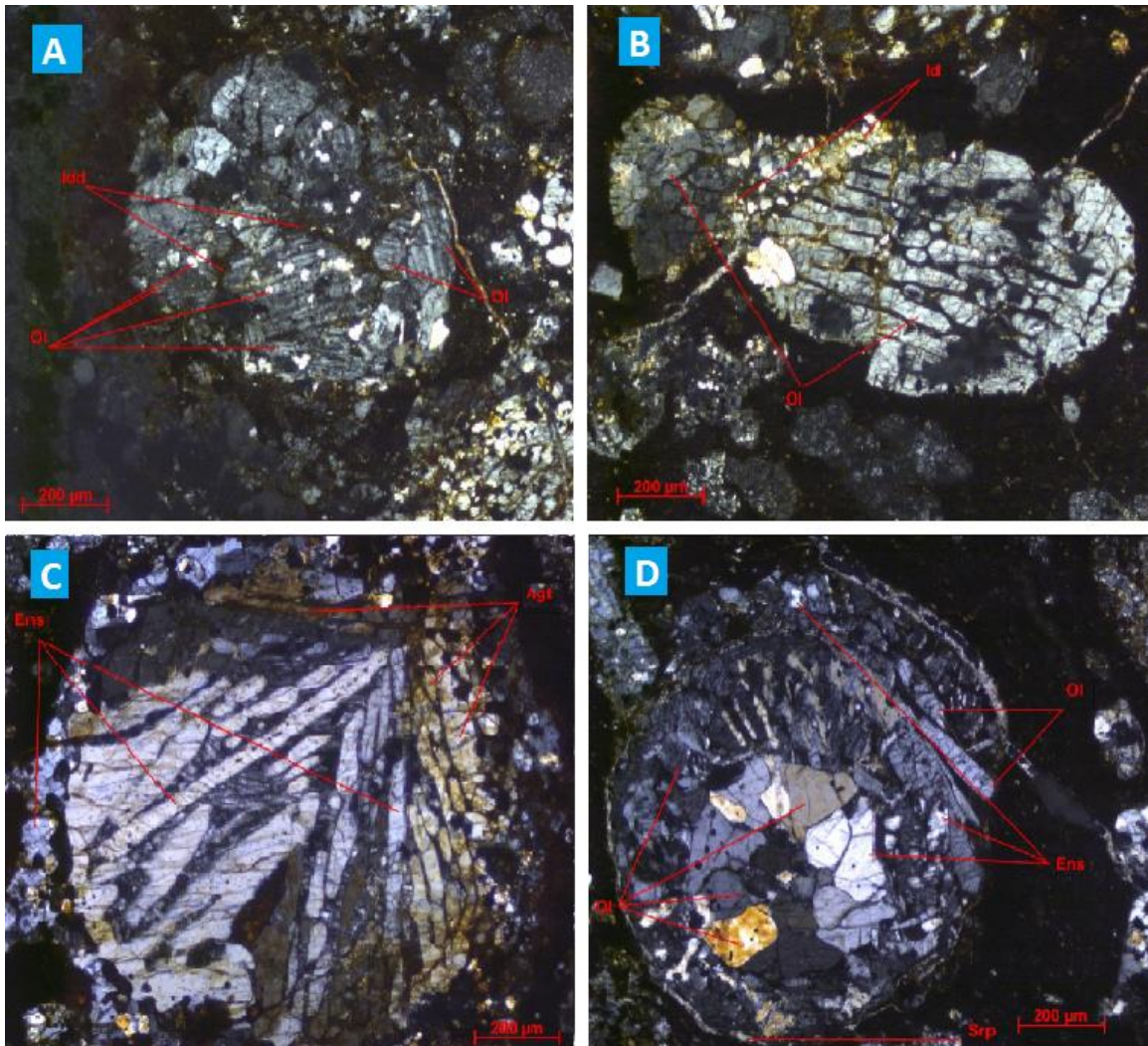


Figura 4.17 A) Cóndrulo GO mezclado con BO además de contener Idd (Iddingsita) y Ol (olivino), B) Cóndrulo BO con alteración de Ol a Idd, C) Cóndrulo RP con borde de grano grueso compuesto de Ol, D) Cóndrulo mezclado de POP y BO con borde de grano grueso. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Ol=Olivino, Idd= Iddingsita.

Algo que se pudo apreciar en la muestra de la meteorita NWA7678 es que contiene muchos cóndrulos que no solo tienen una clasificación textural específica sino que comparten la clasificación de BO y GO, sin embargo, estos cóndrulos son considerados principalmente como cóndrulos GO porque su textura principal es granular y estos granos están formados por Olivino barrado.

4.2.4c Bordes

Los cóndrulos observados presentan un borde de grano grueso o un borde de grano fino, i.e. existen los dos tipos de bordes en esta meteorita. En el caso de la fotografía C de la Figura 4.17, se nota que el borde está completamente separado del cóndrulo aunque el borde está compuesto de partículas muy finas que no pudieron ser identificadas.

El único borde de grano fino que se observó, fue el de la imagen D de la Figura 4.17, el cual mide en su parte más ancha, 10 μm y en la más angosta 7 μm , en este cóndrulo también se observa que tiene añadido, un pedazo de cóndrulo el cual también contaba con borde de grano fino de 12 μm de ancho.

En la Figura 4.18, las fotografías A y C presentan cóndrulos con borde de grano grueso, en particular, el cóndrulo de la imagen C tiene un borde cuyo ancho es aproximadamente, de los granos que lo forman.

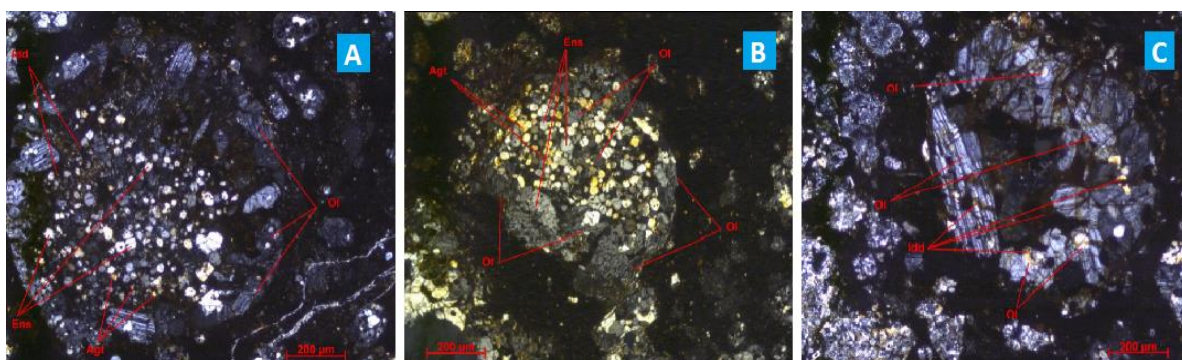


Figura 4.18 A) Cóndrulo GP con un borde de grano grueso con estructura de Ol barrado, B) Cóndrulo GOP con bode de grano grueso compuesto de granos de Olivino barrado, C) Cóndrulo combinado de GO y BO con borde de grano grueso. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados.

4.2.4d Cuerpos ameboidales (AOA's)

En la muestra estudiada solo se detectaron 3 cuerpos ameboidales de forma distinta entre sí y de composición mineralógica similar. Particularmente dos de ellos, tienen una composición de Olivinos y Piroxenos (imágenes A y B, Figura 4.19) y el tercero tiene una composición completamente de Olivino y varios granos de forma de barras (imagen C, Figura 4.19).

Estudio a detalle

En este estudio se analizaron los cristales que componen los primeros dos cuerpos ameboidales (AOA's) detectados en la muestra (imágenes A y B, Figura 4.19); en la imagen A se aprecia un AOA formado principalmente de Olivino y en baja proporción, de Iddingsita (mineral formado como producto de la alteración del Olivino), el resto del AOA está compuesto por Enstatita. En el cóndrulo de la imagen B, se encuentra sumergido un AOA's con una composición similar a la del cuerpo de la imagen A, i.e. es un cuerpo de Olivino, que contiene también Enstatita y Augita en proporciones menores.

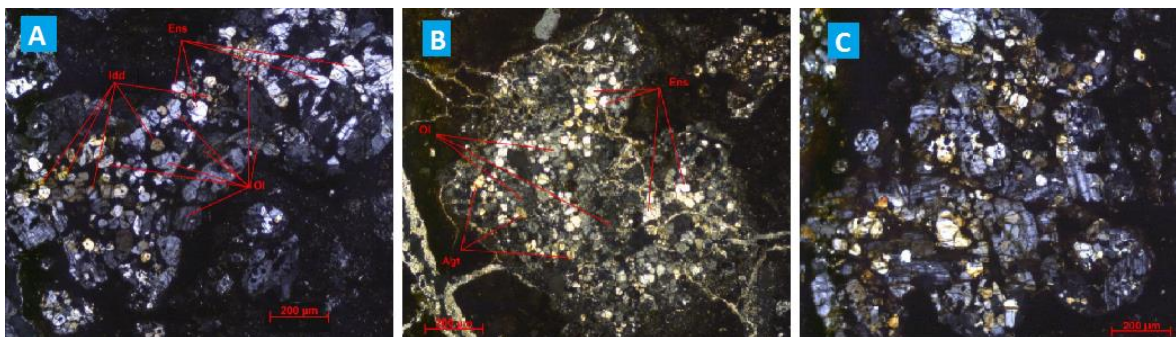


Figura 4.19 A) AOA de composición de Ol, Idd y Ens de 2000 µm de longitud, B) AOA formado por Agt, Ol y Ens de 1300 µm de tamaño, C) AOA de 1200 µm de longitud compuesto de Ol, algunos granos son barrados. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Ol=Olivino, Idd= Iddingsita.

4.2.5 METEORITA ALLENDE

4.2.5a Matriz

Esta meteorita tiene una matriz que está formada por partículas opacas muy finas principalmente de Olivino, con una alteración tendiente a Iddingsita (imagen C, Figura 4.20) aunque existen zonas en las que la matriz está formada por varios cristales, ya sea en forma de granos o como fragmentos angulosos (imágenes A y B, Figura 4.20). La muestra tiene una proporción de 40 % matriz contra 60 % cóndrulos.

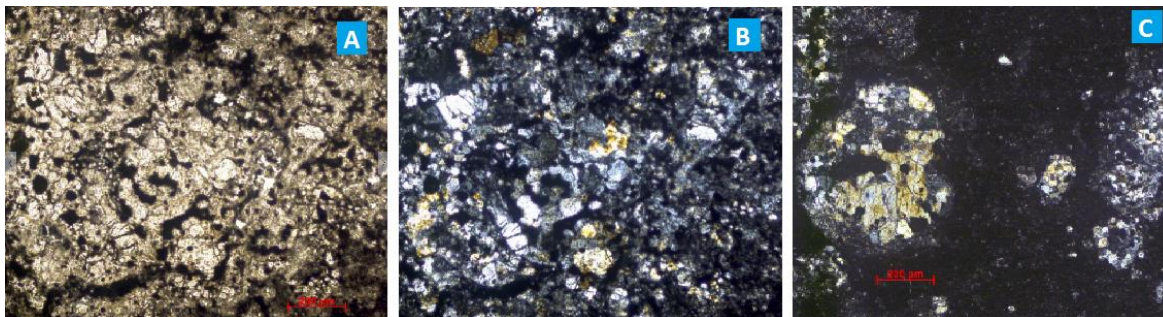


Figura 4.20 A) Zona de la matriz donde se puede apreciar que está formada por cristales gruesos. Fotografía tomada con Microscopio Petrográfico con luz natural. B) La misma zona que la de la imagen A. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados. C) Zona de la matriz formada de partículas finas. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados.

Estudio a Detalle

Este estudio se realizó en las zonas donde los cristales son de mayor tamaño para poder identificarlos; en el caso de esta muestra, la única zona que permitió hacer este tipo de análisis es la que se muestra en la Figura 4.21 tomada con luz natural y con luz polarizada. Del análisis se sabe que hay Enstatita en grandes cantidades, Augita y Diópsido en cantidades menores y algunos cristales de Cuarzo y Feldespato.

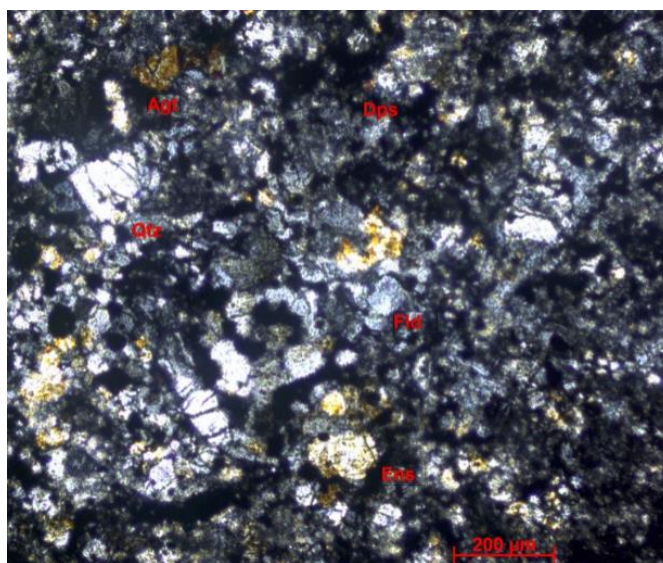


Figura 4.21 Parte de la matriz de grano grueso de composición Enstatita, Augita, Diópsido, Cuarzo y Feldespato. Imagen tomada con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Dps= Diópsido, Fld= Feldespato, Qtz= Cuarzo.

4.2.5b Cóndrulos

En la lámina delgada de la meteorita Allende se encontraron un total de 61 cóndrulos, la mayoría están compuestos de Olivino como es el caso de los PO y los GO, secundados por los que tienen una composición de Piroxeno como los son los tipos PP y GP. En esta muestra se encontraron pocos cóndrulos con una constitución mixta como se puede ver en la tabla 4.5, donde se aprecia que la cantidad de POP y GOP es mínima. En la Figura 4.22 se pueden ver algunos de los tipos de cóndrulos observados en esta meteorita.

Tabla 4.5 Clasificación textural de los cóndrulos de la meteorita ALLENDE.

Allende								
Clasificación Textural								
Porfídico			No Porfídico					
PO	PP	POP	C	RP	GO	GP	GOP	BO
17	9	0	1	1	15	8	4	6

PO = Pórfidos de olivino, PP= Porfídicos de Piroxeno, POP= Porfídicos de Olivino y Piroxeno, C= Criptocristalinos, RP= Radiales de Piroxeno, GO= Granulares de Olivino, GP= Granulares de Piroxeno, GOP= Granulares de Olivino y Piroxeno, BO= Barrados de Olivino (Krot, 2014).

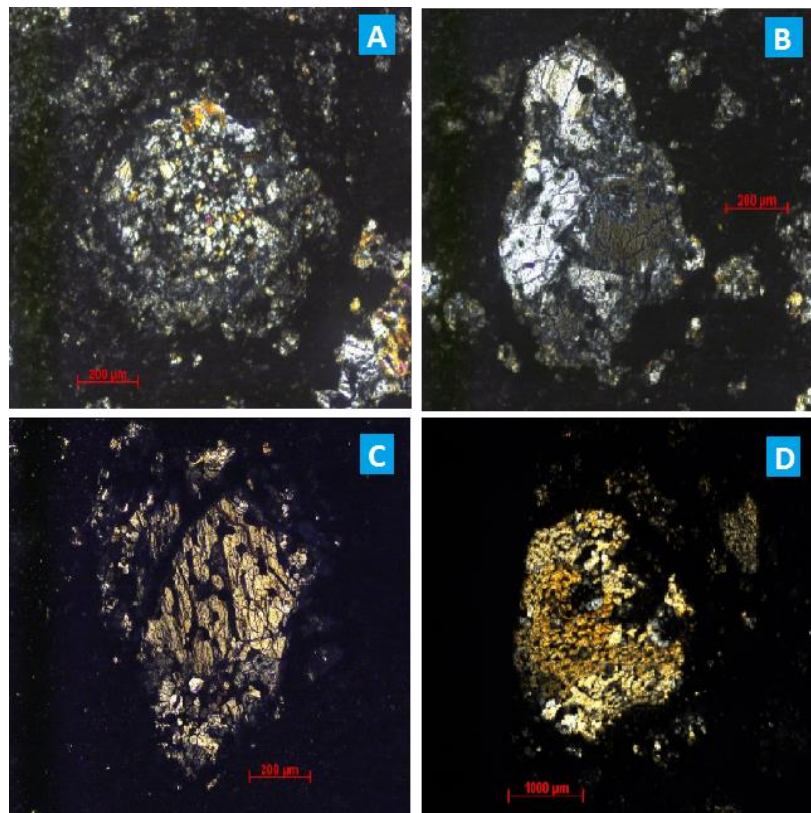


Figura 4.22 A) Cóndrulo tipo GOP de 800 µm de diámetro. B) Cóndrulo tipo PP que mide 800 X 1000 µm. C) Cóndrulo de tipo PO de 900 µm de diámetro. D) Cóndrulo de tipo BO con un diámetro de 4000 µm. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados.

Estudio a Detalle

Debido a que la mayoría de los cóndrulos detectados son casi de la misma composición mineralógica, los cóndrulos que se analizaron son los que se encontraron en menor proporción, como los GOP, los BO y un cóndrulo tipo GOP el cual tiene una textura diferente a la de los demás cóndrulos de su tipo.

El cóndrulo A de la Figura 4.23 es un cóndrulo tipo BO, tiene una composición completamente de Olivino y su borde está compuesto por cristales de Diópsido. El cóndrulo B de la Figura 4.23 es del tipo GOP formado de piroxenos como la Augita, el Diópsido y la Enstatita, el resto del cuerpo está formado de cristales de Olivino. El cóndrulo C de la misma figura es uno de los pocos cóndrulos GP que se diferencia de los demás ya que éste contiene Hiperstena, el resto son cristales de Enstatita y Augita. Por último, el cóndrulo D de la Figura 4.23, está constituido totalmente de Olivino alterado a Iddingsita incluyendo su borde. Todo el cuerpo (cóndrulo y borde) presenta una estructura barrada.

4.2.5c Bordes

En esta muestra se encontraron los dos tipos de bordes asociados a los cóndrulos, los bordes de grano fino y los bordes de grano grueso, un ejemplo de ellos son los cóndrulos que parecen en las imágenes A y B de la Figura 4.23. El cóndrulo de la imagen A presenta un borde de grano grueso, mientras que el cóndrulo de la imagen B tiene un borde de grano fino. Normalmente en los bordes de grano fino no se puede obtener la composición mineralógica a partir de un análisis petrográfico, debido a su grosor cosa que no sucede para los bordes de grano grueso. En la muestra analizada de la meteorita Allende, la mayoría los cóndrulos tienen bordes de grano grueso formados de Olivino, exceptuando al cóndrulo A de la Figura 4.23 que está formado completamente de Diópsido.

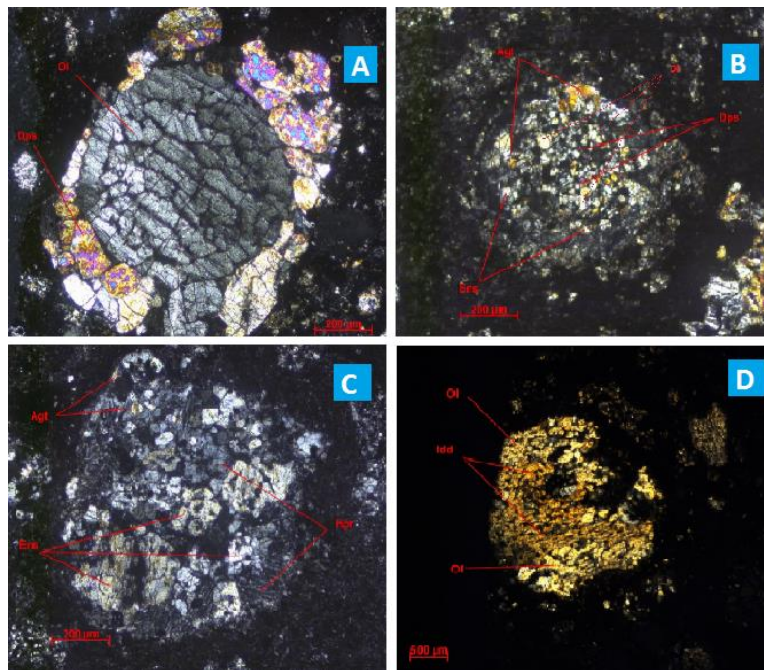


Figura 4.23 A) Cóndrulo de 700 μm de diámetro del tipo BO compuesto de Ol y con un borde constituido de Dps. B) Cóndrulo GOP compuesto por Ol, Dps, Agt y Ens de 900 μm de diámetro. C) Cóndrulo PP compuesto por Agt, Hpr y Ens de 900 μm de diámetro. D) Cóndrulo tipo BO compuesto de Idd y Ol de 800 μm de diámetro. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Dps= Diópsido, Ol= Olivino, Hpr= Hiperstena, Idd= Iddingsita.

4.2.5d Cuerpos ameboidales (AOA´s)

Los cuerpos ameboidales que se encontraron en esta muestra (Allende) son de tamaños y formas diversas, y aunque la mayoría presenta forma de amiba, existen algunos con forma de riñón, tal y como se ve en la imagen C de la Figura 4.24. La mayoría de los AOA´s observados son de tamaños similares, entre los 300 y 500 μm , a excepción de los que aparecen en la Figura 4.24 que tienen un tamaño promedio de 1000 μm .

Estudio a Detalle

El cuerpo ameboidal (AOA) que aparece en la imagen A de la Figura 4.24 presenta una forma caprichosa con textura granular formada solamente de piroxenos, del tipo Enstatita y Augita. De los tres cuerpos ameboidales estudiados, dos de ellos (Imágenes B y C, Figura 4.24), tienen composiciones de Olivino e Iddingsita y presentan una textura similar en forma de barras discontinuas.

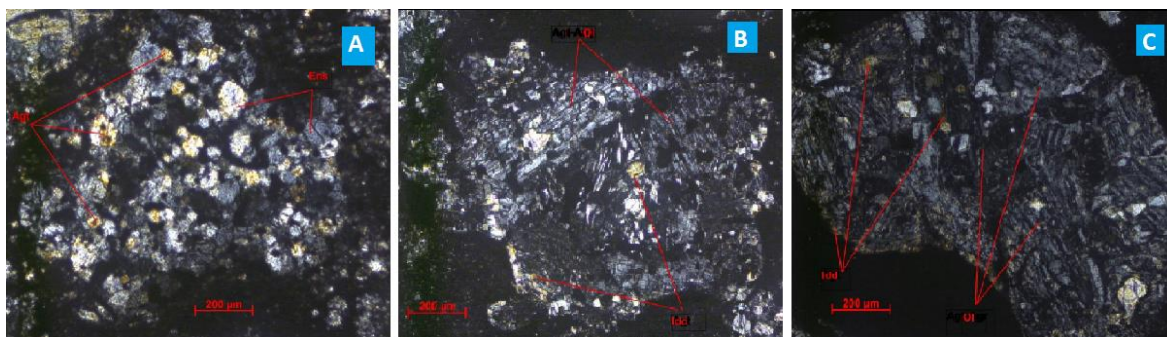


Figura 4.24 Imágenes de cuerpos ameboidales (AOA´s) en la muestra estudiada de la meteorita Allende. El cuerpo AOA de la imagen A tiene una composición de Ens y Agt; los que aparecen en las imágenes B y C tienen una composición de Ol e Idd. Imágenes tomadas con Microscopio Petrográfico con Nícoles cruzados. Agt= Augita, Ens= Enstatita, Dps= Diópsido, Ol= Olivino, Idd= Iddingsita.

4.3 Análisis con Microsonda electrónica

Las estructuras de grano fino y los minerales no identificados con el microscopio petrográfico, fueron analizadas con la microsonda electrónica, marca JEOL modelo JXA-8900R, del Laboratorio de Petrología (LUP) ubicado en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Este equipo opera en condiciones no mayores a 15 Kv y 20 nA, con un diámetro de haz de electrones de 5 μm .

Con la microsonda electrónica se hicieron los análisis puntuales de los elementos seleccionados en el análisis petrográfico, los cuales también se llevaron a cabo en las

láminas delgadas que se utilizaron en el estudio de luz transmitida. La cuantificación se realizó por medio del sistema de energía dispersiva EDX, el cual hace que un haz de electrones ionice los átomos del mineral que se está analizando en forma de rayos X que después son detectados por electrodos, posteriormente la corriente que fluye entre los electrodos es referida a un analizador multicanal, que envía los resultados en forma de espectro, histograma y tablas, a un monitor. Para fines cuantitativos se han aceptado aquellos análisis en los que la suma total de elementos y óxidos es $100 \pm 1 \%$.

4.3.1 Preparación de las muestras

Las muestras analizadas con el microscopio petrográfico fueron recubiertas con una capa de grafito para llevar a cabo los análisis con la microsonda electrónica. El recubrimiento de las muestras se realizó en el Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Química utilizando un Vaporizador de Carbono.

El procedimiento para agregar la capa conductora es muy sencillo, primero se limpia la muestra con agua destilada, después se rocía el grafito en estado de vapor sobre la muestra y se deja reposar media hora para que el mineral se adhiera por completo a la superficie de la muestra.

4.3.2 Resultados Microsonda Electrónica

Para fines de este trabajo, los puntos que se estudiaron con la microsonda (Scanning Electron Microscopy – SEM) son aquellos en los cuales no se pudo identificar el mineral por medio de análisis petrográfico. Muchos de estos puntos fueron localizados en inclusiones de calcio-aluminio (CAI's) y en matriz, esto se debe a que la mayoría de los minerales que pertenecen a los CAI's son minerales opacos, como sulfuros y óxidos poco comunes y sus propiedades ópticas no están documentadas en la literatura científica (manual o libro). En el apéndice A (pg. 77), se encuentran las tablas de todos los análisis realizados con la microsonda electrónica. En las tablas A6 y A7 de este apéndice, se muestran los metales que fueron identificados, ya sea Troilitas (Tabla A6 del apéndice A) o como aleaciones de Fe- Ni (Tabla A7 del apéndice A).

Los estudios relacionados con los Olivinos y los Piroxenos se muestran en las tablas A8 y A9 del apéndice A, presentándose las distintas composiciones químicas de los cristales que forman y que aparecen en los cóndrulos y AOA's estudiados.

En el caso de la matriz, al ser un material tan fino y tener tantos metales diseminados hace que este material se torne de color oscuro en los análisis de luz transmitida. En la tabla A10 del apéndice A se muestran los resultados que se obtuvieron

de las matrices de todas las meteoritas estudiadas, a esta parte se le aplicó la norma CIPW, esta norma funciona a partir del análisis químico de una roca a la que se le quiere conocer su composición mineralógica, cuyo procedimiento se trata de una serie de simplificaciones en los procesos de cristalización de un magma, tal norma sirve como guía para saber cuál es la asociación mineralógica hipotética de los minerales normativos que las componen, además se utiliza para hacer distinción entre rocas sílice-sobresaturadas y sílice-subsaturadas.

La norma CIPW nos permitió identificar los minerales normativos que constituyen la matriz en las distintas zonas estudiadas de las muestras, ya que todas las meteoritas analizadas pertenecen al grupo de las condritas carbonosas, y la matriz de todas ellas contiene minerales similares predominando la Hyperstena, la Hematita y el Olivino.

En particular, la meteorita NWA4502 fue la más estudiada en este trabajo debido a la riqueza de texturas, materiales y estructuras observadas en ella. El cóndrulo clasificado como C4502-75 (meteorita NWA4502, cóndrulo 75) fue analizado petrográficamente y con SEM (Scanning Electron Microscopy) fueron corroborados los minerales detectados mediante el estudio petrográfico. Este cóndrulo tiene, al menos, un piroxeno que no se pudo diferenciar con análisis petrográfico (Punto 8 de la tabla A1), contiene metales disueltos (Puntos 4 y 5, Tabla A1) y el resto de material que lo forma, son Olivinos, en su mayoría, de composición forsterítica.

El cuerpo identificado como AOA 4502-98 (NWA4502, cuerpo ameboidal 98), que corresponde a un cuerpo ameboidal (AOA), está formado de piroxenos y olivinos. Preponderantemente el punto 1 corresponde a Piroxeno y el resto del cuerpo está formado de Olivinos con una gran cantidad de Mg.

Los metales detectados con SEM (Scanning Electron Microscopy), en el punto CAI4502-04 (meteorita NWA4502, CAI, punto 04) de la meteorita NWA4502, están compuestos por sulfuros de Fe.

En la meteorita NWA 6567, el cóndrulo C6567-72 (meteorita NWA6567, cóndrulo 72) contiene principalmente Olivino (puntos 1 y 3) y en menor cantidad, piroxenos (punto 2); el resto de esta estructura está formado de metales disueltos de troilita; el cóndrulo C6567-76 (meteorita NWA6567, cóndrulo 76) está formado solo de piroxeno (punto 1) y el CAI 6567-20 (meteorita NWA6567, inclusión de calcio-aluminio 20) está compuesto por una aleación Fe-Ni y por troilita.

La meteorita 7043 no tiene gran cantidad de metales así que se realizó una medición de éstos en los sulfuros disueltos en los cóndrulos y en el cuerpo ameboidal (AOA) observado. En el cóndrulo C7043-65 (meteorita NWA7043, cóndrulo 65), los Olivinos se encuentran en los puntos 1, 2, y 3 y en el cóndrulo C7043-12 (meteorita NWA7043, cóndrulo 12), los Olivinos están en los puntos 2 y 3. Los Piroxenos aparecen solo en los puntos 1 y 4 del segundo cóndrulo mientras que el punto 5 del mismo cóndrulo es una aleación de Fe-Ni.

Para la meteorita 7678, los puntos analizados de los cóndrulos corresponden a regiones formadas de olivino. Los puntos analizados en el cuerpo ameboidal (AOA), corresponden a regiones de olivino a excepción del Punto 4, que presenta una región formada de Piroxeno. No se realizó un análisis de metales de la muestra de esta meteorita porque no contiene una gran cantidad de ellos y los que contiene están disueltos en la matriz y tienen un tamaño ínfimo que impide obtener buenos resultados con las técnicas utilizadas.

En la meteorita Allende se analizó una estructura de cada una, es decir un cóndrulo, un cuerpo ameboidal (AOA) y metales. El cóndrulo analizado tiene una composición puramente de Olivino en los puntos 1 y 2, el punto 3 es una aleación de Fe-Ni; el cuerpo ameboidal AOA ALLENDE-23 (meteorita Allende, cuerpo ameboidal 23) esta formado de olivino, a excepción del punto 1 que contiene otro mineral de Fe- Ni y finalmente los metales que se detectaron en los dos puntos del cuerpo CAI ALLENDE-203 (meteorita Allende, inclusión de calcio-aluminio 203) son una aleación de Fe- Ni y Troilita.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las meteoritas estudiadas se obtuvo información valiosa en muchos sentidos, ya que no solo se tiene la composición mineralógica de los distintos elementos de las meteoritas condriticas, sino que también se obtuvieron texturas, las cuales nos dan información sobre los procesos que las meteoritas pudieron haber sufrido desde su creación en la nube solar primitiva, hasta los procesos secundarios vividos por ellas, como la meteorización, el metamorfismo térmico, el metamorfismo de choque o la alteración acuosa desde su fuente, hasta su descubrimiento en la faz de la Tierra.

5.1 Cóndrulos y Cuerpos Ameboidales

En el caso de los cóndrulos y los cuerpos ameboidales (AOA's), se les englobó en el mismo análisis ya que en el estudio petrológico que se llevó a cabo en todas las muestras, se encontraron texturas semejantes entre cóndrulos y cuerpos ameboidales, si bien no existe una clasificación de las texturas de los AOA's, para fines de esta tesis se propone una clasificación de cóndrulos que solo toma en cuenta las texturas encontradas en las meteoritas estudiadas, ya que solo se observaron AOA's con tres texturas: porfídica, granular y barrada. En esta clasificación también se toma en cuenta el tamaño de los granos: si son mayores a 30 μm , corresponden a los AOA's granulares de grano grueso, de lo contrario, son AOA's granulares de grano fino, (Ver tabla 5.1).

Tabla 5.1 Comparación de las texturas de los cóndrulos y los cuerpos ameboidales.

Muestra	Clasificación Textural de los Cóndrulos								
	Porfídica			No Porfídica					
	PO	PP	POP	C	RP	GO	GP	GOP	BO
NWA 4502	25	61	54	0	0	9	27	53	2
NWA 6567	52	38	10	3	10	1	34	10	28
NWA 7043	0	13	0	0	0	0	0	2	29
NWA 7678	16	3	7	9	1	14	7	21	21
ALLENDE	17	9	0	1	1	15	8	4	6
Muestra	Clasificación Textural de los AOA's								
	Porfídica	Granular	Grano	Granular	Grano	Porfídica	con	Barrado	
		Grueso	Fino	Grueso	Fino				
NWA 4502	1	3	4	1	0	0	0		
NWA 6567	0	0	0	0	0	0	0		
NWA 7043	0	1	0	1	0	0	0		
NWA 7678	0	1	1	1	0	0	0		
ALLENDE	1	2	3	1	2	0	2		

PO = Pórfidos de olivino, PP= Porfídicos de Piroxeno, POP= Porfídicos de Olivino y Piroxeno, C= Criptocristalinos, RP= Radiales de Piroxeno, GO= Granulares de Olivino, GP= Granulares de Piroxeno, GOP= Granulares de Olivino y Piroxeno, BO= Barrados de Olivino (Krot, 2014).

Para llevar a cabo un estudio petrográfico, se tomaron en cuenta las texturas que tienen las rocas, en este caso, las meteoritas, ya que el efecto del enfriamiento sobre las texturas es totalmente directo, por ejemplo si se tiene un enfriamiento lento, los cristales serán más gruesos que si se tiene un enfriamiento rápido.

Como se cree que las componentes de las condritas se formaron en etapas diferentes entonces las temperaturas de formación varían en estas distintas etapas ; y como las texturas de formación de las meteoritas no se pueden analizar como si fueran rocas terrestres, entonces se analizó solo la parte textural de cada una de sus componentes. En particular, solo la textura de los cóndrulos y los AOA's fue analizada por tener composiciones mineralógicas similares (casi idénticas) y texturas equivalentes.

5.1.1 Porfídicos

Los cóndrulos porfídicos de composición completamente de Olivino o de Piroxeno tienen una textura muy simple, ya que solo se observa un solo cristal fracturado o en algunos casos se ve como si fuera un agregado de varios cristales de la misma composición, y los cristales son de tamaños iguales. Este tipo de textura es indicativa de que hubo un fundido original con una composición de solo Sílice, Hierro y Magnesio para el caso de los Olivinos y para los Piroxenos de Sílice, Aluminio, Sodio, Magnesio y Hierro.

En el caso de los cóndrulos y AOA's porfídicos que están compuestos de una mezcla de Olivino y Piroxeno se puede decir que el fundido inicial que los compone es un agregado de Sílice, Magnesio, Hierro, Calcio, Sodio, Titanio y Aluminio tal y como se puede apreciar en las tablas A8 y A9 del apéndice A, donde están las composiciones químicas de los Olivinos y Piroxenos analizados. Pero nótese que esta textura porfídica de los cóndrulos, es muy diferente a la textura porfídica que se maneja comúnmente en petrología, ya que la textura porfídica de las rocas terrestres se da cuando se encuentran cristales gruesos en una matriz de cristales de menor granulometría; sin embargo en el caso de los cóndrulos, la textura que se aprecia es similar a una textura equigranular (Figura 5.1) formada por Olivino y Piroxeno.

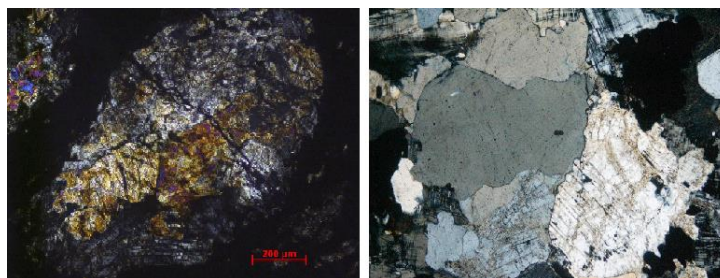


Figura 5.1 La imagen de la izquierda es un cóndrulo de textura POP, la figura de la derecha es una muestra de roca con textura equi-granular. <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-plutonicas/texturas-de-tendencia-equigranular/>.

5.1.2 No Porfídicos

Para los Cóndrulos y Cuerpos Ameboidales (AOA's) no porfídicos es más difícil proponer solo una forma de cristalización, ya que existen distintas texturas como las

Barradas, Radiales y Granulares, indicando que los procesos de formación de cada una de estas texturas son diferentes, y lo que tienen en común es que, en las texturas presentes se alcanza a percibir un procesos de recristalización, producto del metamorfismo. En el caso de la textura granular (Figura 5.2), no existe una orientación, lo cual nos indica que hay una textura no foliada producto de un grado de metamorfismo alto o, de un metamorfismo de contacto, en las colisiones asteroidales.

Para los cóndrulos barrados puramente de Olivino y para los cóndrulos radiales formados solo de Piroxeno, se podría decir que el grado de presión y de temperatura a la que fueron sometidos, están asociados con una dirección preferencial de cristalización.

También se observó la textura criptocristalina dentro de la clasificación de las texturas no porfídicas, sin embargo no hay una textura en la cual se aprecie recristalización, ya que el cóndrulo en general se ve como un mineral amorfo, el cual se pudo haber formado por un enfriamiento rápido.

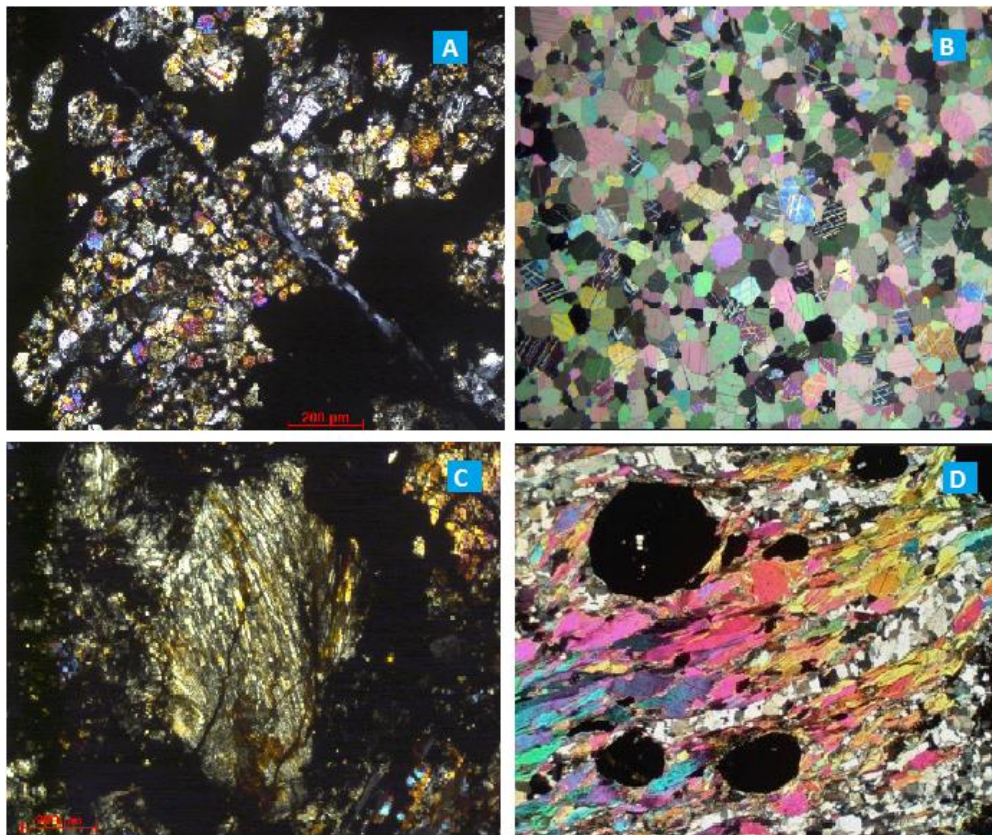


Figura 5.2 A) Cuerpo ameboidal con textura granular, B) Cuarzita con textura granular C) Cóndrulo tipo BO, D) Esquisto con textura foliada. Fuentes: <http://www.alexstrekeisen.it/english/meta/marble.php>, [http://www.ehu.es/mineralogiaoptica/Atlas_de_Mineralogia_Optica/Filosilicatos/Paginas/Moscovita_\(Muscovite\).html](http://www.ehu.es/mineralogiaoptica/Atlas_de_Mineralogia_Optica/Filosilicatos/Paginas/Moscovita_(Muscovite).html).

5.2 Matriz

La matriz de las 5 condritas estudiadas está formada por polvo muy fino y sus composiciones químicas son semejantes, predominando los Olivinos, los Piroxenos y los Óxidos de Hierro. La tabla A10 del apéndice A contiene los resultados de las zonas estudiadas en las muestras.

Los resultados indican que las meteoritas NWA4502, NWA7678 y Allende tienen las matrices más oscuras porque contienen una cantidad sustancial de compuestos metálicos disueltos en ellas (entre 50 y 62%). Los resultados también indican que el porcentaje de metales supera el 50 % solo de compuestos de Hierro y para compuestos de Titanio, el porcentaje detectado es de casi 1 %. Como segundo mineral predominante en la matriz de estas muestras, se detectaron los Piroxenos, superando el 20 % de la composición total, mientras que el resto de la matriz está formada por silicatos, de los cuales el Cuarzo se encuentra en cantidades entre 1 % y 7 %.

Las meteoritas NWA6567 y NWA7043 tienen matrices de grosor muy fino y por el alto contenido de metales se vuelve opaca, siendo muy difícil analizarlas con microscopio petrográfico. Aún así, los resultados obtenidos indican que, estas matrices, contienen cristales oscuros pequeños y cristales color naranja. La matriz está formada principalmente por Olivinos, Piroxenos, así como sulfuros y aleaciones de Hierro y Titanio, cuyo porcentaje no supera el 33 %. El segundo mineral identificado, en mayor abundancia, es el Olivino, el cual aparece en porcentajes que varían entre 8 y 39 %. En particular, los Piroxenos aparecen con porcentajes entre 20 y 28 %, y el resto de la matriz está formado por silicatos como Cuarzo y Plagioclasa en porcentajes no mayores a 2 %.

A pesar de que la mayor parte del estudio de la matriz se derivó de los estudios analíticos, también hubo zonas detectadas en los bordes de las muestras, formadas por cristales de tamaño micrométrico como para ser analizadas mediante estudios petrográficos. Estos cristales indican que la meteorita pudo estar sometida a metamorfismo de impacto y pudo haber ocurrido recristalización del material que la formó.

5.3 CAI's

Para el caso de los CAI's, hubo pocas muestras donde pudieron ser observados, pero el hecho de que en una muestra no aparezcan, no significa que la meteorita carezca de ellos, sino que, la distribución de los CAI's en la meteorita, es aleatoria.

Los CAI's son inclusiones refractarias de tamaño variable, desde micras hasta el tamaño de un cóndrulo de grosor fino; su composición es rica en Aluminio y Calcio y mineralógicamente aparecen con una composición de Feldespato. En la matriz de la muestra de la meteorita NWA 7043, se detectó un porcentaje aproximadamente de 2 % en feldespato (Tabla A10 del apéndice A), lo cual sugiere que en esa zona, probablemente la matriz contenía una o varias inclusiones refractarias.

5.4 Sulfuros y Aleaciones de Fe-Ni

Los dos metales principales que se encontraron en las muestras meteoríticas a partir de los análisis químicos, fueron el Hierro y el Níquel, los cuales aparecen como Sulfuros o como Aleación. Los sulfuros y las aleaciones pueden estar disueltas en la matriz, constituyendo un porcentaje muy importante de ésta, o en forma de agregados. Estos últimos, aparecen en formas diferentes, como granos en las matrices, en los cuerpos ameboidales o de forma intersticial de los cristales en los cóndrulos.

La característica minerográfica utilizada para diferenciar los sulfuros de las aleaciones cuando se detectaron como agregados, fue el color, ya que el tamaño de los agregados es muy pequeño. Por otro lado, los análisis realizados con Microsonda Electrónica, nos permitió identificar la composición de estos cristales diminuto; para el caso de los sulfuros (Tabla A6 del apéndice A), la mayoría de ellos son: Troilitas y sulfuros de Fe, que contienen cantidades importantes de Ni, entre 8 y 30 %.

Otro mineral detectado, solo en la muestra de Allende, fue la Pentladita (fórmula en el glosario). Este mineral fue identificado en dos puntos de dicha muestra.

En cuanto a las aleaciones (Tabla A7 del apéndice A), solo se detectó Camacita en las meteoritas NWA4502, NWA6567 y NWA7043. Esta aleación contiene un mayor porcentaje de Fe que de Ni.

5.5 Discusión

Los resultados obtenidos de los análisis petrográficos y de los análisis químicos indican que los minerales y los elementos de las condritas coinciden burdamente en mineralogía y textura, lo cual podría relacionarse con el mismo proceso de formación, o con la misma etapa en la que se crearon sus componentes. Los resultados también muestran que los cóndrulos y los cuerpos ameboidales tipo PP, PO y POP (pórfidicos) contienen la misma mineralogía y la misma textura, la cual es equigranular, lo que indica que la cristalización se produjo lentamente a la misma tasa de enfriamiento.

En el caso de los cóndrulos y cuerpos ameboidales no porfídicos, éstos muestran texturas de recristalización. En particular, los cuerpos ameboidales aparecen en mínima cantidad y poseen o textura granular o textura barrada mientras que los cóndrulos aparecen en todas las texturas no porfídicas, i.e. granulares, barrados, radiales y criptocristalinos.

Los cóndrulos granulares aparecen en tres modalidades mineralógicas, los más abundantes son los formados de Olivino y Piroxeno, seguidos por los que solo están formados de Piroxeno y en menor abundancia, los que son puramente de Olivino. La

existencia de estos cóndrulos, probablemente está vinculada a tres etapas de formación asociadas fundamentalmente a la temperatura, ya que, la temperatura de cristalización del Olivino es mayor que aquella para el Piroxeno.

Por otro lado, la textura que presentan estos cuerpos (cóndrulos y cuerpos ameboidales) está vinculada a procesos de recristalización, es decir, una vez que se formó el cristal inicial, éste fue sometido a mayor presión y temperatura, produciendo en consecuencia, la recristalización del material. Esto implica que, pudieron existir tres fundidos originales (Olivino, Olivino+Piroxeno y Piroxeno), que fueron posteriormente recalentados hasta adquirir la textura que poseen. Si la recristalización se produjo de esta manera, probablemente los cóndrulos pórfídicos se formaron primero y después, por un aumento de temperatura y de presión, los cóndrulos y cuerpos ameboidales se aglutinaron, vía las colisiones, para formar cuerpos más grandes.

En el caso de los cóndrulos barrados y radiales y los cuerpos ameboidales se puede observar que existe una orientación preferencial en la recristalización de los cristales, lo que indica que un proceso de metamorfismo pudo haberse presentado. Por otro lado el incremento de la temperatura y la presión, pudo estar directamente vinculado con las colisiones ya que todos los cóndrulos barrados y radiales estudiados, están deformados presentando formas alargadas.

Para los cóndrulos criptocristalinos, los cuales parecen cuerpos amorfos, la forma en que cristalizaron parece estar relacionada con un fundido que se enfrió rápidamente, imposibilitando la formación de granos, esto pudo ocurrir por una pérdida de gases que favoreció que la temperatura disminuyera rápidamente.

Ya que la matriz está compuesta por granos muy finos de Olivinos, Piroxenos, Sulfuros, Aleaciones, Plagioclasa y Cuarzo, y dado que el tamaño de los granos que la forman es muy pequeño, se puede decir que la matriz pudo haberse originado por la pulverización de distintos materiales pre-existentes o por un gran proceso de desgaste. La matriz de las meteoritas analizadas también presentan zonas de recristalización, estas zonas normalmente se localizan en los bordes de las muestras y están acompañadas por una pequeña costra de fusión, lo que da a entender que esta recristalización se dio cuando la meteorita entro en la atmósfera terrestre o cuando impactó con algún otro cuerpo, mientras estuvo en el espacio.

Los compuestos metálicos que fueron detectados en grandes cantidades son las Troilitas, que se observaron de manera intergranular en los cóndrulos, en los cuerpos ameboidales o rodeando a éstos. Las aleaciones de Hierro y Titanio aparecen pocas veces como grandes agregados, aunque la mayor cantidad de ellos se encontró diseminada en la matriz, lo que nos dice que, durante todo el proceso de formación de las condritas hubo grandes aportaciones de metales, incluso se pudieron haber generado antes de la formación de los cóndrulos y de los cuerpos ameboidales.

CONCLUSIONES

La presente tesis tuvo como objetivo conocer la mineralogía y la petrografía de varias meteoritas africanas clasificadas como condritas carbonosas y con base en los resultados, poder inferir, cuáles fueron las condiciones que prevalecieron en el disco protoplanetario relacionadas con los cuerpos masivos.

El trabajo estuvo basado fundamentalmente en el análisis petrográfico de las meteoritas NWA 4502, NWA 6567, NWA 7043, NWA 7678 y Allende las cuales han sido clasificadas como meteoritas tipo CV3 (Condrita de clasificación carbonosa Vigaramo de tipo petrológico 3). Como estas meteoritas pertenecen al mismo grupo se piensa que provienen del mismo cuerpo parental o tienen el mismo origen. De modo que, al realizar los análisis petrográficos, se pudieron identificar semejanzas y diferencias entre las texturas que explican cuáles fueron los procesos probables a los que fue sometido el cuerpo al que pertenecen o cuáles fueron los procesos que sufrieron, una vez que se separaron de éste.

Los resultados muestran que las texturas que se observan en los cóndrulos y los cuerpos ameboidales (AOA's) porfídicos son semejantes, lo que podría indicar que estos cuerpos surgieron como resultado de los mismos procesos de formación, es decir, los cóndrulos y AOA's porfídicos son contemporáneos y se formaron en diferentes etapas respecto a los cóndrulos y a los AOA's no porfídicos. También se observó que los compuestos metálicos se encuentran dentro de todas las muestras, tanto diseminados en la matriz, como intersticialmente en los cuerpos ameboidales y en los cóndrulos, así como envolviendo a éstos, lo cual indica que el aporte de éstos estuvo presente, durante el tiempo de formación de estas meteoritas.

Como la matriz se detectó, o bien, formada por partículas muy finas de Olivino y Piroxeno con una mínima cantidad de Cuarzo y Plagioclasa, o bien, recristalizada y localizada en el contorno de las muestras, junto a la costra de fusión, se concluye que los procesos de formación de todas y cada uno de las componentes de estas condritas carbonosas pudieron surgir, a través de la siguiente secuencia:

1.- Formación de los CAI's los cuales fueron los primeros cuerpos formados en el sistema solar de acuerdo con Scott, R y Krot, A., (2003) , seguido de la formación de los metales.

2.- Formación de los Cóndrulos y los AOA's porfídicos, ya que son los que tienen un tamaño de grano más grueso que los no-porfídicos y su textura indica que pasaron por una etapa de enfriamiento lento.

3.- Formación de los cóndrulos y AOA's no porfídicos. Estos cuerpos tienen texturas de recristalización, lo que implica que provienen de un cuerpo parental

(planetesimal). En esta etapa pudo haberse presentado un fenómeno que dio origen a este tipo de AOA's, ya que, no existen AOA's criptocristalinos ni radiales.

4.- Formación de los bordes de grano fino y de grano grueso alrededor de los cóndrulos y de los AOA's.

5.- Formación de la matriz por aglomeración de material fino en la vecindad de los cóndrulos y de los AOA's.

Con base en el modelo de formación de los planetesimales, que sugiere que estos cuerpos se formaron porque hubo muchas colisiones y grandes cantidades de elementos refractarios en la nube protoplanetaria a partir de las cuales se formaron las primeras gotas de fundido (Sears, 1998), se propone que los cóndrulos y los AOA's porfídicos fueron los cuerpos iniciales que dieron origen a la formación de las meteoritas condriticas y ya que las colisiones estuvieron presentes, el material (pedacería), producto de ellas así como las partículas fundidas y el polvo precursor formaron el borde de los cóndrulos (Scott, R y Krot, A., 2003).

Partiendo de la teoría de la nebulosa solar caliente que propone que las distintas componentes de las condritas se formaron a diferentes distancias en la nube protoplanetaria (Cassen, 2001), probablemente los cóndrulos y los AOA's porfídicos se formaron en una zona con alta temperatura ya que estos cuerpos tienen una granulometría mayor en sus cristales. A la par, el material de la nube emigró paulatinamente a regiones más frías donde se formaron posteriormente los cóndrulos no porfídicos con texturas criptocristalinas que por el enfriamiento rápido resultaron amorfos.

Posteriormente, en la zona donde hubo recondensación de polvo, pudieron formarse los bordes de los cóndrulos y de los AOA's preexistentes así como las primeras condritas y, ya que la teoría postula que las colisiones estuvieron presentes, entonces se formaron los cóndrulos y AOA's no porfídicos barrados, radiales y granulares, como producto de la recristalización.

Si se toma como base la teoría del viento solar X que también propone que los elementos de las condritas se formaron a distintas distancias en la nube protoplanetaria incluyendo la existencia de la región X asociada a vientos magnéticos altamente energéticos que salieron del protosol, entonces el material de la nube pudo recondensarse y formar los elementos refractarios como aquel que forma los CAI's. Las perturbaciones magnéticas asociadas al desplazamiento del material en el vaivén de ida y vuelta, a través de la nube, permitió que el polvo presolar y el polvo recondensado formara la matriz (Chaussidon y Gounelle., 2006).

Con base en la teoría de impacto de nebulosa, donde se plantea que existió una onda de choque originada por una inestabilidad gravitacional, que provocó que el polvo presolar circundante se calentara hasta fundirse y que por las bajas temperaturas se cristalizara rápidamente, propiciando la formación de cóndrulos, entonces la existencia de esta onda de choque podría también explicar el hecho de que la matriz sea rica en Olivino y Piroxeno

además de Olivino y Piroxeno. El origen de los CAI's se debe probablemente a la condensación del polvo de la nube, en pequeños agregados dentro de la matriz de las condritas.

Al hacer un análisis sobre las teorías que más se acoplan a los procesos que darían origen a las texturas que se observaron en las cinco muestras meteoríticas, la teoría de la nebulosa solar caliente y la teoría del viento X son las que más se acercan a nuestros resultados, ya que la primera propone que las distintas componentes de las condritas se formaron a distintas distancias de la nube, entonces nos permite poner un orden en los procesos que pudieron haberse presentado tal que la existencia de las texturas observadas tenga sentido. Por otro lado y ya que la teoría del viento solar X no solo propone la formación de las condritas a diferentes distancias, sino que también sugiere cómo se formaron los CAI's, entonces, probablemente hubo migración de las diferentes componentes (cóndrulos, CAI's y AOA's) de las zonas frías a las zonas calientes por viento solar y corrientes electromagnéticas, argumento que deberá ser estudiado en el futuro con estudios geoquímicos y petrográficos, para encontrar las señales y estructuras que lo avalen.

El problema que se presenta durante la formulación de la génesis del cuerpo parental del que provienen estas muestras es que existen procesos que no se pueden explicar, como son los que están asociados a:

- a) La no-existencia de AOA's criptocristalinos y radiales, lo cual indica que ocurrió un proceso que no permitiera la formación de este tipo de AOA's en la zona donde se formaron los cóndrulos no porfidicos.
- b) La formación de bordes de grano fino y bordes de grano grueso, aparentemente solo en los cóndrulos y no en los AOA's. En las muestras analizadas se detectaron 3 AOA's por cada 100 cóndrulos, de estos AOA's, 1 o 2 tienen borde. De este resultado, se infiere que los AOA pudieron tener borde que se perdió por las colisiones o por algún otro proceso, en todo caso, habrá que llevar a cabo más estudios petrográficos en otras muestras con la misma clasificación para tener conclusiones convincentes.

Finalmente, el estudio realizado en las meteoritas NWA 4502, NWA, 6567, NWA7043, NWA7678 indica que ellas poseen texturas asociadas a procesos descritos por las teorías de la nebulosa caliente y del viento solar X, siendo esta última, una teoría más completa porque explica, a grosso modo, el origen de todos los componentes de las condritas. Así mismo, las meteoritas NWA son una fuente de estudio en donde, no solo se puede indagar el origen y la formación de nuestro sistema solar, sino, el origen de la vida en la Tierra por la cantidad sustancial de carbono que ellas contienen.

El hecho de que las meteoritas NWA no sean objeto de estudio es una problemática, ya que no solo con el estudio de las meteoritas más conocidas se puede conocer a ciencia cierta los procesos que ocurrieron en el sistema solar en sus etapas tempranas.

APÉNDICE A

RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR MICROSONDA ELECTRÓNICA

Para el análisis en SEM (Scanning Electron Microscopy) se eligieron distintas regiones de las muestras NWA. Los cóndrulos y los cuerpos ameboidales fueron seleccionados con base en el tamaño de grano o en las propiedades microscópicas que no pudieron ser identificadas por análisis petrográfico. En las inclusiones refractarias (CAI's), las aleaciones Fe-Ni y los sulfuros, se eligieron los mejores puntos basándose en su tamaño, pulido y mayor diversidad de compuestos para llevar a cabo un análisis más próspero. En la matriz de las meteoritas se tomaron zonas al azar para hacer los análisis SEM.

METEORITA NWA 4502

Tabla A1. Elementos totales de las muestras analizadas de la meteorita NWA 4502.

Elementos	Porcentaje %									
	Cóndrulo C4502-75									
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8	Punto 9	Punto10
Na	0.165	0.237	0.000	0.000	0.704	0.000	0.000	0.876	0.000	0.000
Mg	52.664	45.768	32.106	0.100	0.360	30.943	33.284	13.197	40.711	43.678
Al	0.000	0.000	0.636	0.000	0.000	0.953	0.000	2.477	0.000	0.000
Si	45.796	43.165	59.959	0.039	1.502	56.695	59.654	21.121	36.426	41.577
S	0.000	0.000	0.000	35.173	0.382	0.557	0.000	0.318	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.249	0.066	0.000	0.522	0.586	0.000	0.566
Ca	0.917	0.221	0.183	0.000	0.000	1.088	1.292	0.598	0.090	0.049
Ti	0.000	0.000	1.522	0.145	0.746	0.218	0.272	0.367	0.000	0.493
Cr	0.205	0.000	0.000	0.000	0.157	1.147	1.369	1.098	1.387	1.054
Mn	0.209	1.127	1.522	0.000	0.387	0.000	1.078	0.925	0.000	0.000
Fe	0.044	9.482	4.073	48.885	88.486	8.399	2.529	56.350	19.957	12.261
Ni	0.000	0.000	0.000	15.332	7.210	0.000	0.000	1.988	1.428	0.323
Total	100.000	100.000	100.001	99.923	100.000	100.000	100.000	99.901	99.999	100.001

Elementos	Porcentaje %									
	AOA A4502-98			CAI I4502-04					Matriz M4502	
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Zona 1	Zona 2
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.736	0.973	0.301	1.916	0.290
Mg	19.477	31.215	31.752	1.083	0.512	0.611	0.190	0.000	8.120	7.937
Al	0.000	0.000	0.445	0.174	0.000	0.000	0.658	0.000	1.769	2.532
Si	24.661	60.725	60.294	0.608	0.036	0.219	0.608	0.000	16.300	18.499
S	0.150	0.000	1.024	33.427	33.056	0.555	30.600	25.363	4.460	5.515
K	0.023	0.127	0.000	0.000	0.092	0.000	0.103	0.032	0.199	0.000
Ca	0.930	3.348	2.396	0.503	0.137	0.346	0.363	0.000	1.426	5.415
Ti	0.000	0.792	0.489	0.000	0.036	0.000	0.000	0.534	0.322	0.388
Cr	1.195	0.000	0.000	0.539	0.901	0.000	1.600	2.427	0.476	0.000
Mn	0.277	1.368	1.219	0.852	0.000	0.847	0.016	0.262	0.000	1.255
Fe	53.285	2.196	2.381	47.197	30.411	94.616	60.762	65.663	62.200	54.782
Ni	0.000	0.228	0.000	15.617	34.820	2.072	4.126	5.417	2.812	3.387
Total	99.998	99.999	100.000	100.000	100.001	100.002	99.999	99.999	100.000	100.000

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

METEORITA NWA 6567

Tabla A2. Elementos totales de las regiones analizadas de la meteorita NWA 6567.

Elementos	Porcentaje %									
	C6567-72					C6567-76	CAI 6567-20		M6567	
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 1	Punto 2	Zona 1	Zona 2
Na	1.755	2.838	0.000	0.155	0.794	0.547	1.093	0.000	1.075	0.180
Mg	31.759	1.619	32.006	0.000	0.785	21.809	0.056	0.000	21.830	30.439
Al	0.000	16.937	0.000	0.000	0.000	2.574	0.436	0.205	2.368	0.000
Si	27.062	63.503	29.082	0.937	0.917	50.429	0.498	0.000	34.065	29.796
S	0.000	0.371	0.021	0.000	0.452	0.000	0.379	34.894	1.026	0.000
K	0.371	3.529	0.667	0.000	0.000	0.292	0.027	0.000	0.000	0.264
Ca	0.291	2.513	0.041	0.151	0.416	4.016	0.000	0.000	3.613	0.106
Ti	0.000	1.039	0.000	0.522	0.062	0.433	0.000	0.066	0.000	0.000
Cr	0.000	0.429	0.000	0.000	0.643	1.353	0.000	1.002	0.118	0.169
Mn	0.058	0.414	0.698	0.000	0.000	0.123	0.000	0.528	1.390	1.699
Fe	37.978	6.512	37.485	95.054	91.026	18.423	89.739	61.801	33.497	36.295
Ni	0.726	0.295	0.000	3.181	4.905	0.000	7.771	1.503	1.017	1.053
Total	100.000	99.999	100.000	100.000	100.000	99.999	99.999	99.999	99.999	100.001

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

METEORITA NWA 7043

Tabla A3 Elementos totales de las regiones analizadas de la meteorita NWA 7043.

Elem.	Porcentaje %												
	C7043-65			C7043-12					AOA 7043-23				M7043
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Zona 1
Na	0.000	0.187	0.000	1.120	0.000	0.056	0.112	0.819	0.066	0.136	0.000	0.000	0.252
Mg	32.977	33.362	44.635	0.242	47.690	46.346	0.475	0.264	32.254	46.768	11.728	0.000	15.944
Al	0.875	1.231	0.000	23.836	0.000	0.000	0.539	0.069	0.000	0.000	1.421	0.156	24.069
Si	61.847	60.091	40.256	42.693	42.171	43.326	35.697	0.105	59.384	41.282	18.731	0.000	21.365
S	0.000	0.000	0.025	0.000	0.219	0.000	0.196	0.210	0.103	0.000	0.060	32.145	2.083
K	0.000	0.000	0.352	0.000	0.000	0.786	0.000	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.410	1.081	0.135	29.883	0.490	0.966	59.826	0.253	2.305	0.324	0.845	0.097	2.639
Ti	0.621	0.454	0.322	0.416	0.000	0.667	0.289	0.000	0.156	0.252	0.000	0.000	0.214
Cr	1.147	1.056	0.910	0.000	0.928	0.000	0.000	0.335	1.273	1.386	0.532	0.081	0.282
Mn	0.000	0.967	0.715	0.214	1.124	0.663	0.387	0.087	0.586	0.576	0.480	0.000	0.000
Fe	1.124	1.376	12.651	1.598	7.378	6.730	2.451	93.236	2.706	8.955	63.119	67.121	31.040
Ni	0.000	0.195	0.000	0.000	0.000	0.460	0.027	4.548	1.167	0.320	3.083	0.401	2.111
Total	100.001	100.000	100.001	100.002	100.000	100.000	99.999	100.001	100.000	99.999	99.999	100.001	99.999

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

METEORITA NWA 7678

Tabla A4. Elementos totales de las regiones analizadas de la meteorita NWA 7678.

Elementos	Porcentaje %											
	C7678-72				C7678-46		AOA A7678-26				M7678	
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Zona 1	
Na	0.0000	0.7160	0.0000	0.1400	0.0000	0.7400	0.5280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0710	
Mg	31.9270	33.1970	45.1040	47.4130	45.2810	2.8730	33.1210	44.4520	33.8650	18.3510	9.2800	
Al	0.1360	0.7600	0.0000	0.0000	0.0000	18.1910	0.1430	0.0000	0.0000	0.2990	1.9960	
Si	62.3850	62.2440	40.2450	41.9330	38.7080	34.4780	62.2510	39.5170	60.9070	20.4710	17.3030	
S	0.2950	0.0000	0.3600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0560	0.0000	0.1860	0.1610	
K	0.1350	0.0000	0.0000	0.0000	0.0870	0.0000	0.0000	0.0000	0.0640	0.0000	0.1300	
Ca	0.6750	0.3160	0.1840	0.5980	1.2180	35.3430	1.0920	0.0000	0.7430	2.3940	0.9870	
Ti	0.5570	0.4270	0.4490	0.0000	0.9390	3.0860	0.6600	0.1110	0.1620	0.0000	0.0000	
Cr	1.7530	0.2120	0.0000	0.2400	0.0000	1.2520	1.2310	0.5690	1.7770	2.3720	0.8700	
Mn	0.0000	0.0000	0.3560	0.0850	0.0130	0.8920	0.1780	1.2490	0.3340	0.5130	1.0400	
Fe	2.1370	1.7400	12.2130	9.5910	12.4150	2.4840	0.7950	14.0470	2.1480	53.3780	61.6710	
Ni	0.0000	0.3880	1.0880	0.0000	1.3390	0.6600	0.0000	0.0000	0.0000	2.0350	6.4930	
Total	100.0000	100.0000	99.9990	100.0000	100.0000	99.9990	99.9990	100.0010	100.0000	99.9990	100.0020	

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

METEORITA ALLENDE

Tabla A5. Elementos totales de las regiones analizadas de la meteorita ALLENDE.

Elementos	Porcentaje %									
	C ALLENDE-29			AOA ALLENDE-23				CAI ALLENDE-203		MALLEND E
	Punto 1	Punto 3	Punto 4	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 1	Punto 2	Zona 1
Na	0.0420	0.1780	0.0000	0.0000	0.0000	0.6530	0.0000	0.0000	0.0000	0.4560
Mg	41.2330	20.0890	0.5350	0.0000	40.2220	22.6710	37.6450	0.0000	0.2690	13.8820
Al	0.0000	0.0000	2.4160	0.0170	0.0000	1.7500	0.2610	0.0000	0.0000	1.6730
Si	36.9430	23.9200	1.8810	0.0000	34.5900	27.5990	33.3500	0.0000	0.1270	20.9010
S	0.0000	0.0000	9.9120	0.1540	0.2690	0.0000	0.0410	0.2060	28.8260	3.5000
K	0.1750	0.0000	0.0960	0.2500	0.0750	0.4840	0.0000	0.0150	0.0000	0.7860
Ca	0.5230	0.6400	0.4170	0.0670	0.1370	1.2430	1.8260	0.1940	0.0000	2.2810
Ti	0.4470	0.4570	0.0000	0.0000	0.0000	0.1180	0.6140	0.1840	0.0120	0.0000
Cr	0.2750	0.0000	0.0960	0.0000	0.0000	0.0330	1.7510	0.3150	0.0000	1.3630
Mn	1.6430	0.3650	0.4210	0.4790	0.3550	0.0660	0.7940	0.0000	0.1070	0.0000
Fe	18.7190	53.9890	30.8670	29.2950	23.1620	44.8830	23.2330	28.2300	47.7820	50.8920
Ni	0.0000	0.3620	53.3570	69.7400	1.1900	0.5000	0.4850	70.8570	22.8780	4.2650
Total	100.0000	100.0000	99.9980	100.0020	100.0000	100.0000	100.0000	100.0010	100.0010	99.9990

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

TROILITAS ENCONTRADOS EN TODAS LAS MUESTRAS

Tabla A6. Minerales de Troilita identificados en todas las muestras.

Elementos	Porcentaje %									
	4502					6567	7043	ALLENDE		
	C4502-75	I4502-04				I6567-20	A7043-23	ALLENDE-29	ALLENDE-203	
Punto 4	Punto 1	Punto 2	Punto 4	Punto 5	Punto 2	Punto 4	Punto 4	Punto 2		
Na	0.000	0.0000	0.0000	0.9730	0.3010	0.000	0.000	0.0000	0.0000	
Mg	0.100	1.0830	0.5120	0.1900	0.0000	0.000	0.000	0.5350	0.2690	
Al	0.000	0.1740	0.0000	0.6580	0.0000	0.205	0.156	2.4160	0.0000	
Si	0.039	0.6080	0.0360	0.6080	0.0000	0.000	0.000	1.8810	0.1270	
S	35.173	33.4270	33.0560	30.6000	25.3630	34.894	32.145	9.9120	28.8260	
K	0.249	0.0000	0.0920	0.1030	0.0320	0.000	0.000	0.0960	0.0000	
Ca	0.000	0.5030	0.1370	0.3630	0.0000	0.000	0.097	0.4170	0.0000	
Ti	0.145	0.0000	0.0360	0.0000	0.5340	0.066	0.000	0.0000	0.0120	
Cr	0.000	0.5390	0.9010	1.6000	2.4270	1.002	0.081	0.0960	0.0000	
Mn	0.000	0.8520	0.0000	0.0160	0.2620	0.528	0.000	0.4210	0.1070	
Fe	48.885	47.1970	30.4110	60.7620	65.6630	61.801	67.121	30.8670	47.7820	
Ni	15.332	15.6170	34.8200	4.1260	5.4170	1.503	0.401	53.3570	22.8780	
Total	99.923	100.0000	100.0010	99.9990	99.9990	99.999	100.001	99.9980	100.0010	

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

ALEACIONES Fe- Ni DE TODAS LAS MUESTRAS

Tabla A7. Aleaciones Fe-Ni identificadas en todas las muestras.

Elementos	Porcentaje %					
	4502		6567			7043
	C4502-75	I4502-04	C6567-72		C6567-20	C7043-12
	Punto 5	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 5
Na	0.704	0.7360	0.155	0.794	1.093	0.819
Mg	0.360	0.6110	0.000	0.785	0.056	0.264
Al	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.436	0.069
Si	1.502	0.2190	0.937	0.917	0.498	0.105
S	0.382	0.5550	0.000	0.452	0.379	0.210
K	0.066	0.0000	0.000	0.000	0.027	0.075
Ca	0.000	0.3460	0.151	0.416	0.000	0.253
Ti	0.746	0.0000	0.522	0.062	0.000	0.000
Cr	0.157	0.0000	0.000	0.643	0.000	0.335
Mn	0.387	0.8470	0.000	0.000	0.000	0.087
Fe	88.486	94.6160	95.054	91.026	89.739	93.236
Ni	7.210	2.0720	3.181	4.905	7.771	4.548
Total	100.000	100.0020	100.000	100.000	99.999	100.001

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Amiboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

OLIVINOS ENCONTRADOS EN TODAS LAS MUESTRAS

Tabla A8. Olivinos identificados en todas las muestras

Elementos	Porcentaje %									
	C4502-75							A4502-98		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 6	Punto 7	Punto 9	Punto10	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Na	0.165	0.237	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	52.664	45.768	32.106	30.943	33.284	40.711	43.678	19.477	31.215	31.752
Al	0.000	0.000	0.636	0.953	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.445
Si	45.796	43.165	59.959	56.695	59.654	36.426	41.577	24.661	60.725	60.294
S	0.000	0.000	0.000	0.557	0.000	0.000	0.000	0.150	0.000	1.024
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.522	0.000	0.566	0.023	0.127	0.000
Ca	0.917	0.221	0.183	1.088	1.292	0.090	0.049	0.930	3.348	2.396
Ti	0.000	0.000	1.522	0.218	0.272	0.000	0.493	0.000	0.792	0.489
Cr	0.205	0.000	0.000	1.147	1.369	1.387	1.054	1.195	0.000	0.000
Mn	0.209	1.127	1.522	0.000	1.078	0.000	0.000	0.277	1.368	1.219
Fe	0.044	9.482	4.073	8.399	2.529	19.957	12.261	53.285	2.196	2.381
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.428	0.323	0.000	0.228	0.000
Total	100.000	100.000	100.001	100.000	100.000	99.999	100.001	99.998	99.999	100.000

Elementos	Porcentaje %									
	C6567-72		C6567-76	Cóndrulo C7043-65			C7043-12			C7043-23
	Punto 1	Punto 3	punto 1	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 1
Na	1.755	0.000	0.547	0.000	0.187	0.000	0.000	0.056	0.112	0.066
Mg	31.759	32.006	21.809	32.977	33.362	44.635	47.690	46.346	0.475	32.254
Al	0.000	0.000	2.574	0.875	1.231	0.000	0.000	0.000	0.539	0.000
Si	27.062	29.082	50.429	61.847	60.091	40.256	42.171	43.326	35.697	59.384
S	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.025	0.219	0.000	0.196	0.103
K	0.371	0.667	0.292	0.000	0.000	0.352	0.000	0.786	0.000	0.000
Ca	0.291	0.041	4.016	1.410	1.081	0.135	0.490	0.966	59.826	2.305
Ti	0.000	0.000	0.433	0.621	0.454	0.322	0.000	0.667	0.289	0.156
Cr	0.000	0.000	1.353	1.147	1.056	0.910	0.928	0.000	0.000	1.273
Mn	0.058	0.698	0.123	0.000	0.967	0.715	1.124	0.663	0.387	0.586
Fe	37.978	37.485	18.423	1.124	1.376	12.651	7.378	6.730	2.451	2.706
Ni	0.726	0.000	0.000	0.000	0.195	0.000	0.000	0.460	0.027	1.167
Total	100.000	100.000	99.999	100.001	100.000	100.001	100.000	100.000	99.999	100.000

Elementos	Porcentaje %									
	C7043-23	Cóndrulo C7678-72				C7678-46	C7678-26			CALL-29
	Punto 1	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 1	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1
Na	0.066	0.000	0.716	0.000	0.140	0.000	0.528	0.000	0.000	0.042
Mg	32.254	31.927	33.197	45.104	47.413	45.281	33.121	44.452	33.865	41.233
Al	0.000	0.136	0.760	0.000	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000	0.000
Si	59.384	62.385	62.244	40.245	41.933	38.708	62.251	39.517	60.907	36.943
S	0.103	0.295	0.000	0.360	0.000	0.000	0.000	0.056	0.000	0.000
K	0.000	0.135	0.000	0.000	0.000	0.087	0.000	0.000	0.064	0.175
Ca	2.305	0.675	0.316	0.184	0.598	1.218	1.092	0.000	0.743	0.523
Ti	0.156	0.557	0.427	0.449	0.000	0.939	0.660	0.111	0.162	0.447
Cr	1.273	1.753	0.212	0.000	0.240	0.000	1.231	0.569	1.777	0.275
Mn	0.586	0.000	0.000	0.356	0.085	0.013	0.178	1.249	0.334	1.643
Fe	2.706	2.137	1.740	12.213	9.591	12.415	0.795	14.047	2.148	18.719
Ni	1.167	0.000	0.388	1.088	0.000	1.339	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	100.000	100.000	100.000	99.999	100.000	100.000	99.999	100.001	100.000	100.000

Elementos	Porcentaje %			
	CALL-29	AALL-26		
	Punto 3	Punto 2	Punto 4	Punto 2
Na	0.178	0.000	0.000	0.000
Mg	20.089	40.222	37.645	32.583
Al	0.000	0.000	0.261	2.933
Si	23.920	34.590	33.350	47.151
S	0.000	0.269	0.041	0.341
K	0.000	0.075	0.000	0.000
Ca	0.640	0.137	1.826	5.034
Ti	0.457	0.000	0.614	0.370
Cr	0.000	0.000	1.751	1.310
Mn	0.365	0.355	0.794	0.000
Fe	53.989	23.162	23.233	9.114
Ni	0.362	1.190	0.485	1.164
Total	100.000	100.000	100.000	100.000

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

PIROXENOS ENCONTRADOS EN TODAS LAS MUESTRAS

Tabla A9. Piroxenos identificados en todas las muestras.

Elementos	Porcentaje %					
	C6567-72	C6567-76	C7678-46	C7678-26	AOAALLEND E-29	AOAALLEND E-23
	Punto 2	Punto 1	Punto 2	Punto 4	Punto 3	Punto 3
Na	2.838	0.547	0.7400	0.0000	0.1780	0.6530
Mg	1.619	21.809	2.8730	18.3510	20.0890	22.6710
Al	16.937	2.574	18.1910	0.2990	0.0000	1.7500
Si	63.503	50.429	34.4780	20.4710	23.9200	27.5990
S	0.371	0.000	0.0000	0.1860	0.0000	0.0000
K	3.529	0.292	0.0000	0.0000	0.0000	0.4840
Ca	2.513	4.016	35.3430	2.3940	0.6400	1.2430
Ti	1.039	0.433	3.0860	0.0000	0.4570	0.1180
Cr	0.429	1.353	1.2520	2.3720	0.0000	0.0330
Mn	0.414	0.123	0.8920	0.5130	0.3650	0.0660
Fe	6.512	18.423	2.4840	53.3780	53.9890	44.8830
Ni	0.295	0.000	0.6600	2.0350	0.3620	0.5000
Total	99.999	99.999	99.9990	99.9990	100.0000	100.0000

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

MATRIZ DE TODAS LAS MUESTRAS

Tabla A10. Matriz de todas la muestras con el uso de la norma CIPW.

Elementos	Porcentaje %						
	M4502	M4502	M6567		M7043	M7678	MALLENDE
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 1	Zona 1
Na	1.9160	0.2900	1.075	0.180	0.252	0.0710	0.4560
Mg	8.1200	7.9370	21.830	30.439	15.944	9.2800	13.8820
Al	1.7690	2.5320	2.368	0.000	24.069	1.9960	1.6730
Si	16.3000	18.4990	34.065	29.796	21.365	17.3030	20.9010
S	4.4600	5.5150	1.026	0.000	2.083	0.1610	3.5000
K	0.1990	0.0000	0.000	0.264	0.000	0.1300	0.7860
Ca	1.4260	5.4150	3.613	0.106	2.639	0.9870	2.2810
Ti	0.3220	0.3880	0.000	0.000	0.214	0.0000	0.0000
Cr	0.4760	0.0000	0.118	0.169	0.282	0.8700	1.3630
Mn	0.0000	1.2550	1.390	1.699	0.000	1.0400	0.0000
Fe	62.2000	54.7820	33.497	36.295	31.040	61.6710	50.8920
Ni	2.8120	3.3870	1.017	1.053	2.111	6.4930	4.2650
Total	100.0000	100.0000	99.999	100.001	99.999	100.0020	99.9990
Minerales normativos	Porcentaje %						
	M4502	M4502	M6567		M7043	M7678	MALLENDE
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 1	Zona 1
Cuarzo	4.2000	6.6600	10.760			1.374.49	0.2100
Plagioclasa					2.020		
Corundum	1.7700	2.5300			23.680	0.4600	1.6700
Diopsida			7.610	0.420			
Hyperstena	20.2200	19.7800	25.560	20.840	27.070	23.1100	34.5700
Wollastonita							
Olivino			17.720	38.390	8.850		
Rutilo	0.32				0.21		
Ilmenita		0.74					
Magnetita		2.98	4.54	5.55		3.39	
Hematita	62.2	52.72	30.37	32.01	31.04	59.33	50.89

C= Cóndrulo, AOA= Cuerpo Ameboidal, CAI= Inclusión Refractaria, M= Matriz

GLOSARIO MINERALÓGICO

Nombre del mineral	Fórmula química	Abreviatura
Augita	$(\underline{\text{Ca}}, \underline{\text{Mg}}, \underline{\text{Fe}})_2(\underline{\text{Si}}, \underline{\text{Al}})_2\text{O}_6$	Agt
Broncita	$((\underline{\text{Mg}}, \underline{\text{Fe}})_2\text{Si}_2\text{O}_6)$	Brn
Cromita	$\underline{\text{Fe}}^{2+}\underline{\text{Cr}}_2\underline{\text{O}}_4$	Crm
Clinobroncita	$((\underline{\text{Ni}}, \underline{\text{Fe}})_2\text{Si}_2\text{O}_6)$	ClBrn
Cuarzo	$\underline{\text{Si}}\underline{\text{O}}_2$	Qtz
Diopsido	$\underline{\text{Ca}}\underline{\text{Mg}}\underline{\text{Si}}_2\underline{\text{O}}_6$	Dps
Enstatita	$\underline{\text{Mg}}\underline{\text{Si}}\underline{\text{O}}_3$	Ens
Espinela	$\underline{\text{Mg}}\underline{\text{Al}}_2\underline{\text{O}}_4$	Esp
Fayalita	$(\underline{\text{Fe}}^{2+})_2\underline{\text{Si}}\underline{\text{O}}_4$	Fay
Feldespato	$(\underline{\text{K}}, \underline{\text{Na}}, \underline{\text{Ca}}, \underline{\text{Ba}}, \underline{\text{NH}}_4)(\underline{\text{Si}}, \underline{\text{Al}})_4\underline{\text{O}}_8$	Fld
Forsterita	$\underline{\text{Mg}}_2\underline{\text{Si}}\underline{\text{O}}_4$	For
Goethita	$\alpha\text{-}\underline{\text{Fe}}\underline{\text{O}}(\underline{\text{OH}})$	Gth
Hedemberguita	$\underline{\text{Ca}}\underline{\text{Fe}}\underline{\text{Si}}_2\underline{\text{O}}_6$	Hdm
Hibonita	$(\underline{\text{Ca}}, \underline{\text{Ce}})(\underline{\text{Al}}, \underline{\text{Ti}}, \underline{\text{Mg}})_{12}\underline{\text{O}}_{19}$	Hbn
Hiperstena	$((\underline{\text{Fe}}, \underline{\text{Mg}})_2\text{Si}_2\text{O}_6)$	Hpr
Iddingsita	$\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Idd
Kamacita	$(\underline{\text{Fe}}, \underline{\text{Ni}})$	Kmc
Limonita	$\underline{\text{Fe}}\underline{\text{O}}(\underline{\text{OH}}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Lmn

Melilita	$(\underline{\text{Ca}}, \underline{\text{Na}})_2(\underline{\text{Al}}, \underline{\text{Mg}})(\underline{\text{Si}}, \underline{\text{Al}})_2\underline{\text{O}}_7$	Mllt
Millerita	$\underline{\text{NiS}}$	Mill
Nephilita	$(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$	Nph
Olivino	$(\text{Fe}, \text{Mg})_2\underline{\text{SiO}}_4$	Ol
Ortopiroxeno	$(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_2(\text{SiO}_3)_2$	OPx
Pangüita	$(\text{Ti}^{4+}, \text{Sc}, \text{Al}, \text{Mg}, \text{Zr}, \text{Ca})_{1.8}\text{O}_3$	Pan
Pentladita	$(\underline{\text{Ni}}, \underline{\text{Fe}})_9\underline{\text{S}}_8$	Pen
Pigeonita	$(\underline{\text{Mg}}, \underline{\text{Fe}}, \underline{\text{Ca}})\underline{\text{SiO}}_3$	Pgn
Piroxeno	$(\underline{\text{Ca}}, \underline{\text{Mg}}, \underline{\text{Fe}}, \underline{\text{Mn}}, \underline{\text{Na}}, \underline{\text{Li}})(\underline{\text{Al}}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \underline{\text{Cr}}, \underline{\text{Sc}}, \underline{\text{Ti}})(\underline{\text{Si}}, \underline{\text{Al}})_2\underline{\text{O}}_6$; Px	
Plagioclasa	$(\underline{\text{Na}}, \underline{\text{Ca}})(\underline{\text{Si}}, \underline{\text{Al}})_3\underline{\text{O}}_8$	Plg
Serpentina	$(\underline{\text{Mg}}, \underline{\text{Al}}, \underline{\text{Fe}}, \underline{\text{Mn}}, \underline{\text{Ni}}, \underline{\text{Zn}})_{2-3}(\underline{\text{Si}}, \underline{\text{Al}}, \underline{\text{Fe}})_2\underline{\text{O}}_5(\underline{\text{OH}})_4$	Srp
Taenita	$(\underline{\text{Ni}}, \underline{\text{Fe}})$	Tae
Troilita	$\underline{\text{FeS}}$	Trl

BIBLIOGRAFÍA

- Campanero, R., Lunar Hernández, R., & Martínez Frías, J. (2015). Comparación textural y químico-mineralógica de cóndrulos y matriz en condritas ordinarias y carbonáceas: Bechar 002 y Allende. *Geogaceta*, (58), 31-34.
- Cassen, P. (2001). Nebular thermal evolution and the properties of primitive planetary materials. *Meteoritics & Planetary Science*, 36(5), 671-700.
- Chaussidon, M., & Gounelle, M. (2006). Irradiation processes in the early solar system. *Meteorites and the early solar system II*, 1, 323-339.
- Connolly, H. C., & Desch, S. J. (2004). On the origin of the “Kleine Kügelchen” Called chondrules. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 64(2), 95-125.
- Ehrenfreund, Pascale., Glavin, D. P., Botta, O., Cooper, G., & Bada, J. L. (2001). Extraterrestrial amino acids in Orgueil and Ivuna: Tracing the parent body of CI type carbonaceous chondrites. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(5), 2138-2141.
- Grossman, L., & Steele, I. M. (1976). Amoeboid olivine aggregates in the Allende meteorite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40(2), 149IN1151-150IN2155.
- Keil, K. (2000). Thermal alteration of asteroids: evidence from meteorites. *Planetary and Space Science*, 48(10), 887-903.
- Krot, A. N., Keil, K., Scott, E. R. D., Goodrich, C. A., & Weisberg, M. K. (2014). Classification of meteorites and their genetic relationships. *Meteorites and cosmochemical processes*, 1-63.
- Krot, A. N., Scott, E. R., & Zolensky, M. E. (1995). Mineralogical and chemical modification of components in CV3 chondrites: Nebular or asteroidal processing?. *Meteoritics*, 30(6), 748-775.
- Libourel, G., & Krot, A. N. (2007). Evidence for the presence of planetesimal material among the precursors of magnesian chondrules of nebular origin. *Earth and Planetary Science Letters*, 254(1), 1-8.
- Ludert Barrios, A. (2009). Análisis y clasificación de muestras meteoríticas mediante técnicas petrológicas y de análisis químico. Tesis de Licenciatura. Universidad Simón Bolívar.
- McFadden, L. A., Johnson, T., & Weissman, P. (Eds.). (2006). *Encyclopedia of the solar system*. Academic press.
- McSween, H. Y. (1999). *Meteorites and their parent planets*. Cambridge University Press.

Muñoz-Espadas, M. J., Martínez-Frías, J., & Lunar, R. (2003). Mineralogía, texturas y cosmoquímica de cóndrulos RP y PO en la condrita Reliegos L5 (León, España). *Geogaceta*, (34), 35-38.

Norton, O. R., & Chitwood, L. (2008). *Field guide to meteors and meteorites*. Springer Science & Business Media.

Paine, M., & Britt, R. R. *Rocks from Space*.

R. A. Alpher, H. A. Bethe, G. Gamow, El Origen de los Elementos Químicos, *Physical Review* 73 (1948), 803. El llamado artículo $\alpha\beta\gamma$, en el que Alpher y Gamow sugirieron que los elementos ligeros se crearon por iones de hidrógeno capturando neutrones en el Universo primigenio denso y caliente. El nombre de Bethe se añadió por simetría

Sears, D. W. (1998). The case for rarity of chondrules and calcium-aluminum-rich inclusions in the early solar system and some implications for astrophysical models. *The Astrophysical Journal*, 498(2), 773.

Sears, D. W. (2004). *The origin of chondrules and chondrites* (Vol. 3). Cambridge University Press.

Scott, E. R., Keil, K., & Stöffler, D. (1992). Shock metamorphism of carbonaceous chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(12), 4281-4293.

Scott, E. R. D., & Krot, A. N. (2003). Chondrites and their components. *Treatise on geochemistry*, 1, 143-200.

Stinchcomb. Bruce (2011), *Meteorites*, Schiffer Publishing HD., USA

Trigo-Rodríguez, J. M., Rubin, A. E., & Wasson, J. T. (2006). Non-nebular origin of dark mantles around chondrules and inclusions in CM chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(5), 1271-1290.

Ward, P. D., & Brownlee, D. (2000), *Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe*.

Weiss, Achim. «Big Bang Nucleosynthesis: Cooking up the first light elements». *Einstein Online*. Consultado el 9 de abril de 2007.

Weisberg, M. K., Connolly, H. C., & Ebel, D. S. (2004). Petrology and origin of amoeboid olivine aggregates in CR chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 39(10), 1741-1753.

Wood, J. A. (1988). Chondritic meteorites and the solar nebula. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 16(1), 53-72.

Woolfson, M. (2000). The origin and evolution of the solar system. *Astronomy & Geophysics*, 41(1), 1-12.

Zanda, B., & Rotaru, M. (2001). *Meteorites: their impact on science and history*. Cambridge University Press.

BIBLIOGRAFÍA DIGITAL

Kristen Erickson, NasaSpace Place, En: Nasa Official, *¿Que hay en el Corazón de un cometa?* [en línea]: Marzo 8, 2012 [fecha de consulta febrero 20, 2016] disponible en: <http://spaceplace.nasa.gov/espanol/>

Stock Photo: Mundrabilla Iron Meteorite [en línea]: SuperStock Sales and Research [fecha de consulta: 17 febrero 2016]. Disponible en: <https://www.superstock.com/stock-photos-images/1566-375854>

Meteor Explosion In Russia [en línea]: Journaling-In Your Own Words [fecha de consulta: febrero 22, 2016]. Disponible en: <http://journalingclub.blogspot.mx/2013/03/meteor-explosion-above-russia.html>

Selected specimens Meteorite finds [en línea]: Meteorite Recon [Fecha de consulta: febrero 27, 2016]. Disponible en: http://www.meteorite-recon.com/home/meteorite_finds

Pallasites and Mesosiderites [en línea]: Arizonas Kies Meteorites [fecha de consulta: Marzo 2, 2016]. Disponible en: http://www.arizonaskiesmeteorites.com/AZ_Skies_Links/Stony_Irons/

Steineisenmeteorite [en línea]: Stollentroll [fecha de consulta: febrero 23, 2016]. Disponible en: http://tw.strahlen.org/fotoatlas1/meteorite_steineisen.html#vacamuerta

How Rocky Planet Formed? Asteroid Vesta could have the Answer [en línea]: Cosmos Up [fecha de consulta: Marzo 13, 2016]. Disponible en: <http://www.cosmosup.com/how-rocky-planet-formed-asteroid-vesta-could-have-the-answer/>

Meteorite HED media file [en línea] Wikipedia [fecha de consulta: Marzo 10, 2016]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/HED_meteorite#/media/File:HED_meteorites.jpg

Meteoritos Lunares [en línea]: Estacion Vientos del sur [fecha de consulta: Marzo 17, 2016]. Disponible en: <http://vientosdelsurestacion.blogspot.mx/2011/06/meteoritos-lunares.html>

Meteoritos: Piedras desde el cielo [en línea]: Astro SETI [fecha de consulta: Marzo 12, 2016]. Disponible en: <http://astroseti.org/miscelanea/archivo/astronomia-para-ninos-y-no-tan-ninos-capitulo-9-meteoritos/>

Condritas [en línea]: Panspermia Meteorite Hunters [fecha de consulta: febrero 16, 2016]. Disponible en: <http://meteoritepanspermia.com/es/condritas-3>

Clasificación de Condritas [en línea]: Wikipedia [fecha de consulta Marzo 22, 2016]. Disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_de_meteoritos#/media/File:Clasificaci%C3%B3n-de-condritas-version2.png.

Madiedo, Jose M. En: Virtual Museum for Meteorites, The origin of the Solar System and life on Earth, Octubre 24, 2007 [fecha de consulta: Marzo 23, 2016]. Disponible en: http://perso.ya.com/madiedo/e_mvm_room1.html

Casanova, Verónica. En: Fuego en el cielo, Clasificación de los meteoritos, Abril 18, 2013 [fecha de consulta: Marzo 14, 2016]. Disponible en: <http://es.sott.net/article/20640-Clasificacion-de-los-meteoritos>

Kashuba, John. En: Meteorite Times Magazine, Layered Chondrules in Allende CV3, Mayo 1, 2014 [fecha de consulta: Marzo 29, 2016]. Disponible en: <http://www.meteorite-times.com/micro-visions/layered-chondrules-in-allende-cv3/>

Atlas de Rocas Ígneas [en línea]: petroignea.wordpress.com [fecha de consulta: Marzo 31, 2016]. Disponible en: <https://petroignea.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-plutonicas/texturas-de-tendencia-equigranular/>
<https://petroignea.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-plutonicas/texturas-de-tendencia-equigranular/>

Filosilicatos [en línea]: mineralogiaoptica.ehu [fecha de consulta: Octubre 28, 2016]. Disponible en: [http://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/Atlas_de_Mineralogia_Optica/Filosilicatos/Paginas/Moscovita_\(Muscovite\).html](http://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/Atlas_de_Mineralogia_Optica/Filosilicatos/Paginas/Moscovita_(Muscovite).html)

Metamorphic Rocks [en línea]: Alex Strekeisen [fecha de consulta: Octubre 28, 2016]. Disponible en: <http://www.alexstrekeisen.it/english/meta/marble.php>