



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“CARACTERIZACION MINERALOGICA Y GEOQUÍMICA DE
MUESTRAS DE TALCO INDUSTRIAL Y YACIMIENTO”**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

**PRESENTA
ANIMAS TORICES DANTE YOSAFAT**



CD. UNIVERSITARIA, CDMX 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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: ANTONIO HUERTA CERDÁN**
VOCAL: **Profesor: CIRO ELISEO MÁRQUEZ HERRERA**
SECRETARIO: **Profesor: TERESA PI PUIG**
1er.SUPLENTE: **Profesor: JUAN MANUEL DE LA ROSA CANALES**
2do SUPLENTE: **Profesor: ITZEL REYES CHAPARRO**

Sitio donde se desarrolló el tema:

Departamento de Geoquímica
Instituto de Geología, Laboratorio de DRX, UNAM

Asesor del tema:

Dra. Teresa Pi Puig

Sustente:

Dante Yosafat Animas Torices

RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo fue realizar la Caracterización Mineralógica y Geoquímica detallada de diferentes talcos cosméticos que se comercializan en México y de talcos naturales de dos yacimientos (Oaxaca y Puebla) mexicanos con el fin de determinar la pureza mineralógica y geoquímica de estos materiales, compararlos entre si y revisar de manera detallada en base a estos resultados y a las normativas existentes en México y otros países si son aptos para un uso cosmético.

Para llevar a cabo el estudio, se utilizaron técnicas de *Ensayos Destructivos*: ICP-MS, ICP-OES, Análisis Térmico Diferencial (ATD), Granulometría Láser (Vía húmeda) y *Ensayos No Destructivos*: Difracción de Rayos X (DRX), Microscopia Electrónica de Barrido(MEB), Espectroscopia de Infrarrojo de Onda Corta (SWIR). La pureza mineralógica del material se determinó con Difracción de Rayos X en roca total y en fracción orientada, Infrarrojo y Análisis Térmico Diferencial. Mediante ICP-MS e ICP-OES se determinó la pureza química y mediante SEM la morfología y tamaño de las partículas. Con ayuda del análisis de granulometría láser se determinó la distribución de tamaños de las partículas.

Para realizar este estudio se seleccionaron nueve muestras de talcos comerciales de uso cosmético (Rexona, Olorex, O-Dolex, Soriana, Hipermart, Maja, Max-O y Active Feet) y 2 muestras de talcos naturales (yacimientos de Puebla y Oaxaca).

Los resultados señalan que los talcos comerciales de mayor pureza mineralógica (mejor calidad) son: Maja, Rexona, Active Feet con un contenido de talco superior al 85%, siendo productos aptos para el uso cosmético. Las otras marcas comerciales de talco, que en general son más económicas, tienen un alto contenido en clorita y otras impurezas mineralógicas como cuarzo, dolomita y calcita. Las muestras con mucha clorita se calentaron a 650°C, 750°C y 850°C durante más de una hora y se analizaron nuevamente por difracción de rayos X, con el fin de descartar posibles partículas de asbestos de tipo crisotilo.

ABSTRACT

The main purpose of the present work is the Mineralogical Characterization and detailed Geochemistry of different cosmetic talcs that are commercialized in Mexico, and natural talcs of two Mexican ore deposits (Oaxaca and Puebla) in order to determine the mineralogical and geochemical purity of these materials, compare them among themselves and a review of these results including the existing regulations in Mexico and other countries to conclude if they are suitable for a cosmetic usage.

In order to carry out the study, we used Destructive Testing techniques: ICP-MS, ICP-OES, Differential Thermal Analysis (DTA), Laser Granulometry and Non Destructive Testing: X-Ray Diffraction (XRD) Scanning Electron Microscopy (SEM), Short-wave Infrared Spectroscopy (SWIR). The mineralogical purity of the material was determined with X-ray diffraction in total rock and oriented fraction, Infrared and Differential Thermal Analysis. Through ICP-MS and ICP-OES the chemical purity was determined and by SEM the morphology and size of the particles. The particle distribution was determined using the laser particle size analysis.

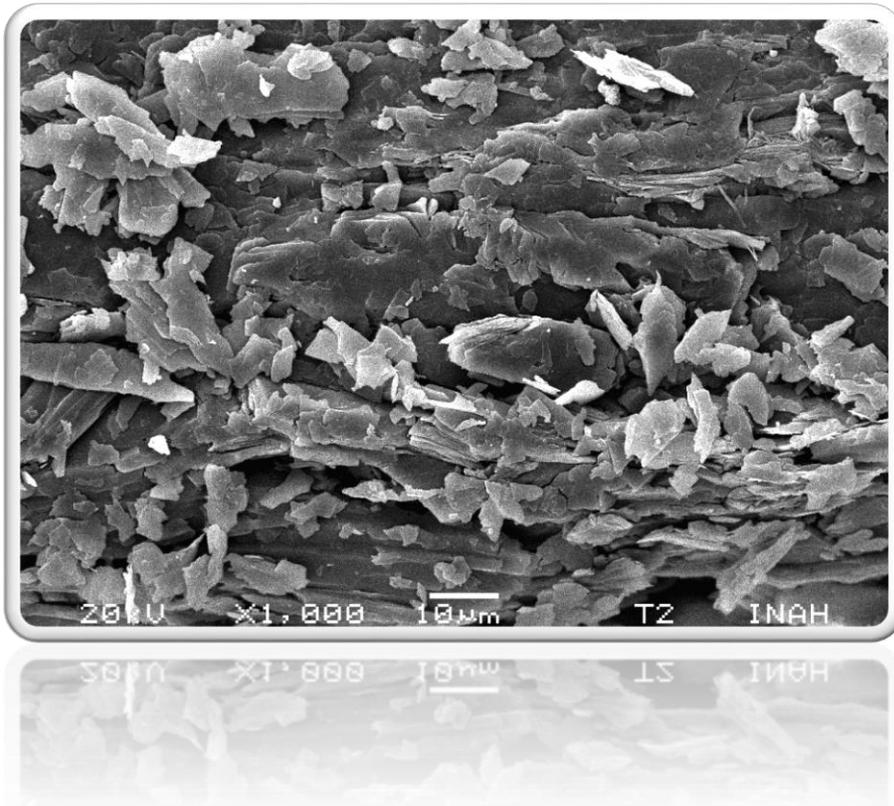
To do this study, nine samples of commercial talcs (Rexona, Olorex, O-Dolex, Soriana, Hipermart, Maja, Max-O and Active Feet) and 2 samples of natural talcs (Puebla and Oaxaca deposits) were selected.

The results indicate that the commercial talcs in greater mineralogical purity (better quality) are: Maja, Rexona, Active Feet with a talc content above 85%, so they are suitable products for cosmetic use. The rest of commercial brands of talc, which are generally cheaper, have a high content of chlorite and other mineralogical impurities such as quartz, dolomite and calcite. The samples with high chlorite were heated to 650 ° C, 750 ° C and 850 ° C for more than an hour and they were analyzed again by X-ray diffraction in order to reject possible chrysotile asbestos particles.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Normativa Mexicana que regule el uso del talco industrial.....	13
1.2. Justificación.....	13
1.3. Objetivos Generales.....	14
1.4. Objetivos Particulares.....	15
1.5. Hipótesis.....	15
Capítulo 2. GENERALIDADES DEL TALCO	16
2.1. El Talco.....	20
2.2. Aplicaciones.....	21
2.3. Génesis.....	23
2.4. Exploración.....	25
2.5. Sistema de Explotación y Procesamiento.....	25
2.6. Principales yacimientos mundiales del talco.....	26
2.7. El talco en México.....	28
Referencias.....	35
Capítulo 3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	42
3.1. Introducción.....	42
3.2. Difracción de Rayos X.....	46
3.3. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	54
3.4. Técnicas analíticas: ICP-MS e ICP-OES.....	60
3.5. Termogravimetría (TGA).....	68
3.6. Infrarrojo de Onda Corta (SWIR).....	75
3.7. Granulometría Láser (Vía Húmeda).....	81
Referencias.....	87

Capítulo 4. RESULTADOS	99
4.1. Analítica (DRX, MEB, ICP, ATD, AGL, SWIR) para talcos de yacimientos naturales.....	99
4.2. Analítica (DRX, ICP, ATD, AGL, SWIR) para talcos cosméticos.....	121
Referencias.....	164
Capítulo 5. DISCUSIÓN	168
5.1. Herramientas para caracterización mineralógica y geoquímica del talco.....	168
5.2. Caracterización Mineralógica para Talcos Naturales.....	169
5.3. Caracterización Mineralógica para Talcos cosméticos.....	174
5.4. Restricciones Sanitarias que deben tener los talcos de uso cosmético.....	180
5.5. Propuesta metodológica.....	181
5.6. Normativa en México respecto a otros países.....	183
Referencias.....	184
Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	185



CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1. Normativa Mexicana que regule el uso de talco industrial

Actualmente en México no existe una norma que especifique la calidad que debe tener un talco de uso cosmético, ni un procedimiento en el cual se pueda verificar que es idóneo para su uso. Lo único que se menciona en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-118-SSA1-1994, NOM-047-SSA-2011, NOM-199-SSA1-2000) para talcos de uso cosmético es el no contener partículas cancerígenas como lo son los asbestos, metales pesados, entre otros.

Para el caso de talcos contenidos en pinturas o esmaltes se ha implementado un tipo de normas para su método de desgaste a la limpieza en paredes, pero no así de alguna especificación para el contenido de este talco.

1.2. Justificación

En México se han realizado muy pocos estudios relacionados con la caracterización de los minerales de talco, tanto del concentrado mineral utilizado en la fabricación de productos industriales de uso cotidiano como del talco extraído de los yacimientos minerales.

Se buscó en el banco de tesis de la UNAM información sobre algún estudio sobre talcos y únicamente se encontró una tesis que fue realizada por una ex-alumna de la facultad de Química, Romani Aguilera, María Dolores, en el año de 1934 con el título "Estudio de los talcos de la República Mexicana" y un trabajo realizado por el Ing. Mario Veytia Barba en el año de 1958 con el título "Estudio sobre el aprovechamiento de talco en México". En la primera se realizó trabajo experimental para la cuantificación de talcos mediante el uso de reacciones químicas, mientras que en el segundo se realizó un trabajo meramente estadístico de los talcos en México. Por este motivo, se

decidió realizar un trabajo sobre el estudio de talcos cosméticos que son comercializados en México, con el objetivo de impulsar un protocolo por parte de las autoridades encargadas (Dirección General de Normas que es una Unidad Administrativa dependiente de la Subsecretaría de Competitividad y Normatividad de la Secretaría de Economía de México) de estandarizar la calidad mínima del talco utilizado en la fabricación de productos cosméticos, que pueden llegar a perjudicar la salud del consumidor por no tener el nivel de calidad requerido, mismo nivel que aún no es establecido.

El trabajo se puede enmarcar dentro del área temática denominada mineralogía aplicada al estudio y caracterización de minerales industriales. Para desarrollar dicho trabajo se emplearán diferentes técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo.

1.3. Objetivos Generales

- Desarrollar y proponer una metodología de caracterización mineralógica, para la preparación y análisis de las muestras de talco.
- Aplicar dicha metodología a un conjunto de once talcos (nueve de uso cosmético y dos naturales), con el fin de caracterizarlos para su posible aplicación farmacéutica y cosmética.

1.4. Objetivos particulares

- Desarrollar protocolos y caracterizar por diversas técnicas (Difracción de Rayos X, Microscopía Electrónica de barrido, Análisis Térmico Diferencial, Infrarrojo de onda corta, ICP-MS, ICP-OES y Granulometría Láser) los minerales del grupo del talco.
- Integrar la información obtenida con diferentes análisis y determinar el uso industrial adecuado de cada una de las muestras estudiadas, detectando la presencia de componentes peligroso para la salud en las muestras.
- Estudiar con la misma metodología muestras naturales (sin procesar) de talco de yacimientos mexicanos y determinar el uso que podrían tener.
- Evidenciar la necesidad de redactar una norma mexicana dónde se describa los estándares mínimos de calidad y la metodología de análisis para gestionar un control de calidad del talco utilizado en cosméticos y farmacia.

1.5. Hipótesis

Mediante Difracción de Rayos X, Microscopía Electrónica de Barrido, ICP-MS, Análisis Térmico Diferencial, Infrarrojo de onda corta y Granulometría Láser (vía húmeda) podemos caracterizar de manera detallada muestras de talco natural y comercial, determinando el mejor uso industrial que se puede dar a estas muestras.



CAPÍTULO 2.

GENERALIDADES DEL TALCO

ÍNDICE DE CONTENIDO

2.1. El Talco..... 20

2.2. Aplicaciones..... 21

2.3. Génesis..... 23

2.4. Exploración..... 25

2.5. Sistema de Explotación y Procesamiento..... 25

2.6. Principales yacimientos mundiales del talco..... 26

2.7. El talco en México..... 28

Referencias..... 35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Estructura del talco (McCarthy, 2007)..... 20

Figura 2.2 Micrografía electrónica de barrido de talco (McCarthy, 2007)..... 21

Figura 2.3. Mina de Trimouns..... 26

Figura 2.4. Mina de Xilolite..... 27

Figura 2.5. Mina de Respina..... 28

Figura 2.6. Localización de los yacimientos de talco de los estados de Puebla y Oaxaca..... 34

Figura 2.7. Mapa Geológico del sur de México donde se muestra la distribución de rocas metamórficas y las principales fallas regionales (modificado de Sánchez Zavala, 2005)..... 34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Volumen de la Producción por Entidad Federativa, 2011-2015..... 29

Tabla 1.2. Exportación de Volumen y Valor, por Fracción Arancelaria, Presentación y Destino, 2014-2015..... 30

Tabla 1.3. Importación de Volumen y Valor, por Fracción Arancelaria, Presentación y Origen, 2014-2015..... 31

Capítulo 2. GENERALIDADES DEL TALCO

2.1. El talco

El Talco es un filosilicato hidratado de magnesio con fórmula teórica $Mg_3OSi_4O_{10}(OH)_2$, a la que corresponden: SiO_2 : 63,5%, MgO : 31,7%, H_2O : 4,8%. No obstante, los talcos naturales rara vez presentan esta fórmula teórica, ya que es frecuente que en su estructura encontremos sustituciones de Si por Al en la capa tetraédrica (entre el 2 y el 4% de Al_2O_3) y por Fe (hasta el 2%) y en menor frecuencia por cationes pesados como Cr, Co, Ni, Zn o Mn en la capa octaédrica (Galán, 2003).

El talco es un mineral de tacto suave, blando, hojoso o compacto y cuya coloración puede variar de blanco grisáceo a verde pálido y rosado.

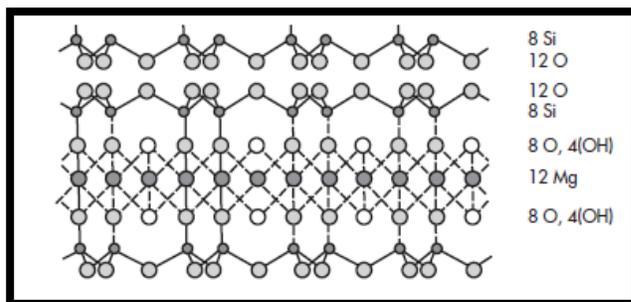


Figura 2.1 Estructura del talco (McCarthy, 2007). En la figura se evidencia que el talco es un mineral de tipo 2:1 ya que posee dos capas tetraédricas y una octaédrica intermedia.

Las diferentes capas de talco están unidas muy débilmente por enlaces de tipo Van der Waals determinando que el talco tenga una exfoliación basal perfecta y sea un mineral de dureza muy baja. Es un mineral insoluble e inerte que puede ser muy activo por tener naturaleza hidrofóbica e hidrofílica a la vez. El valor y el uso industrial de los yacimientos de talco dependen de la pureza, del color y de la localización geográfica del yacimiento. La presencia de minerales asbestiformes y/o metales pesados en el talco reducen su valor comercial y sus posibles aplicaciones en algunos mercados como el de los cosméticos (McCarthy, 2007).

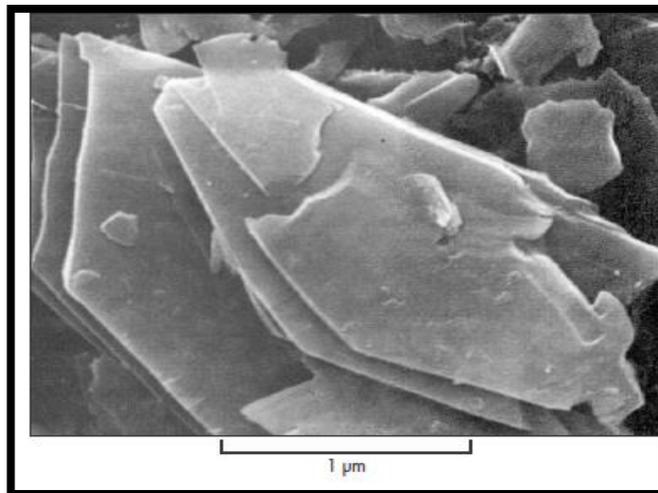


Figura 2.2 Micrografía electrónica de barrido de talco (McCarthy, 2007). Se observa la morfología planar propia de los filosilicatos.

El talco se clasifica como mineral industrial ya que se utiliza para fabricar diferentes tipos de productos. El talco se ha utilizado por los seres humanos durante más de 3.000 años. Los primeros usos fueron en el campo de la escultura y en la cosmética.

2.2. Aplicaciones

Las principales aplicaciones del talco son: cerámica (32,77%), pinturas (18,26%), papel (14,25%), techados (8,81%), cosméticos (4,02%), plásticos (3,5%), caucho (2,72%), agroquímicos (0,81%) y otras aplicaciones (14,7%) (Galán, 2003).

La clasificación que se le puede dar a un talco según su composición mineralógica es:

- ✓ Talco blanco: 98% talco <2% clorita
- ✓ Talco negro: 85% talco <15%clorita y <1% de materia orgánica no grafitizada.

- ✓ Talco verde: 60% talco <40%clorita y Talco/Clorita ~ 50%
- ✓ Talco rosa: 100% Talco, el color rosa se debe a imperfecciones e impurezas en la red cristalina.

Los talcos que más se explotan en la actualidad por su riqueza en el contenido de este mineral y su abundancia natural son los talcos blancos y verdes.

Industrialmente, el talco es empleado cuando se desea un producto que tenga una combinación de las siguientes propiedades:

- Dureza 1 en la escala de Mohs
- Densidad 2.58-2.83 g/cm³
- Colores variables según impurezas
- Es químicamente inerte.
- Alta absorción de aceites
- Alto punto de fusión
- Baja conductividad térmica y eléctrica
- Brillo de vítreo a perlado
- Tacto grasoso (jabonoso)
- Luminiscencia fluorescente
- Fractura irregular
- Se encuentra en "masas foliares o agregados fibrosos"
- Es translucido con brillo nacarado
- Hidrofóbico
- Estructura laminar

2.3. Génesis

Los depósitos de talco de interés comercial aparecen asociados a dolomitas afectadas por metamorfismo regional o de contacto (tremolita, dolomita, calcita) y rocas ígneas ultramáficas (rocas silíceas, actinolita, serpentina, clorita) alteradas hidrotermalmente. Los talcos metamórficos y los derivados de rocas máficas pueden incluir fibras asbestiformes (serpentina y anfíboles). Los talcos metasedimentarios pueden incluir sílice (Galán, 2003). El talco siempre se forma a partir de minerales ricos en Mg, bien presentes en la mineralogía original de la roca o bien como producto de alteración de minerales secundarios. Estos fenómenos de transformación nunca aparecen ligados a procesos de meteorización (Galán, 2003) a baja temperatura.

Los Requisitos para la formación de un depósito de talco son:

- Rocas de alto contenido de magnesio.
- Existencia de soluciones calientes (hidrotermales) ricas en SiO_2
- Presencia de estructuras que favorezcan la circulación de fluidos, por ejemplo fallas y pliegues.

A continuación se describe brevemente los tipos de yacimiento de talco según su origen:

1. *Dolomitas afectadas por metamorfismo regional y de contacto.*

En metamorfismo regional:

- Rocas dolomíticas asociadas a sedimentos silíceos que han sido metamorfizadas dando lugar a nuevas formaciones rocosas ricas en talco.
- Retrometamorfismo (alteración hidrotermal) sobre minerales magnésicos formados en el metamorfismo progrado dando lugar a talco, serpentina, clorita, calcita y CO_2 .

En metamorfismo de contacto:

- El cuerpo intrusivo es ácido.
- Dolomitas + alta temperatura + fluidos (roca intrusiva) → Talco.
- El talco puede llegar a reemplazar al cuerpo intrusivo.

2. Yacimientos asociados a rocas ultramáficas.

A) Asociados a serpentinas y relacionados genéticamente con metamorfismo regional.

- Fenómenos geológicos de soluciones más o menos enriquecidas en CO₂ sobre serpentinas.
- Reacción metamórfica entre serpentina y una roca de caja de carácter silíceo.

Cuando el *metasomatismo* es el proceso dominante, hay una gran cantidad de carbonatos asociados a talco.

Cuando el *metamorfismo* es el proceso dominante, el talco es el mineral dominante y el más importante.

La mineralización aparece en masas lenticulares, zonas de fractura o cizalla, ya sea dentro de la masa ultramáfica o *en los bordes* de los macizos.

B) Relacionados con la intrusión de rocas ígneas ácidas (pegmatitas) en serpentinas.

- Depósitos mucho más irregulares, poco potentes y con escaso interés industrial.
- Serpentina + minerales o fluidos de las pegmatitas → Talco.

(Galán, 2003)

2.4. Exploración

Teniendo en cuenta las propiedades físicas de los minerales del grupo del talco como lo con su color, textura, lustre, etc., además del conocimiento de su génesis, modo de yacer y el ambiente al que se encuentran asociados estos minerales (estudio geológico); la exploración superficial de los mismos es relativamente sencilla y consiste en identificar a partir de fotografías aéreas estas anomalías de color, que luego deberán relevarse en terreno mediante un muestreo adecuado (1).

2.5. Sistema de Explotación y Procesamiento

Explotación: En función de las características de los yacimientos de talco y las condiciones expuestas, tres son los métodos de explotación que se pueden aplicar:

- En general a «Cielo Abierto».
- Explotación por «Banqueo Vertical Descendente».
- Explotación por «Corte y relleno».

Procesamiento: El talco se extrae en forma de bloques para pasar a un proceso de reducción de tamaño de partícula sin pasar por tratamiento alguno, ya que le quitaría su valor económico. Estos bloques son limpiados de sus impurezas con la remoción manual de las mismas. El proceso de beneficio del mineral consta en general de cinco etapas:

1. Trituración primaria.
2. Trituración secundaria.
3. Secado del material mediante rotación en seco.
4. Molienda (45-150 μ m).
5. Separación del producto por aire (fino y grueso).

La explotación selectiva de estos minerales, no requiere de procesos de concentración posteriores, dado que la mayor parte de la producción es el talco de la variedad industrial, el cual luego de un proceso de trituración y molienda es utilizado como mineral de carga por las distintas industrias.

Para la obtención del talco de primera calidad para uso farmacéutico o cosmético, luego de la selección manual puede incluirse una etapa de limpieza por flotación, aprovechando las propiedades hidrófobas de este mineral (1).

2.6. Principales yacimientos mundiales del talco.

El yacimiento de talco más grande del mundo se encuentra cerca de Luzenac, en Francia. Se trata de la mina Trimounsa cielo abierto ubicada a 1800 m de altitud, fundada en 1905, que produce 400.000 toneladas de talco por año.

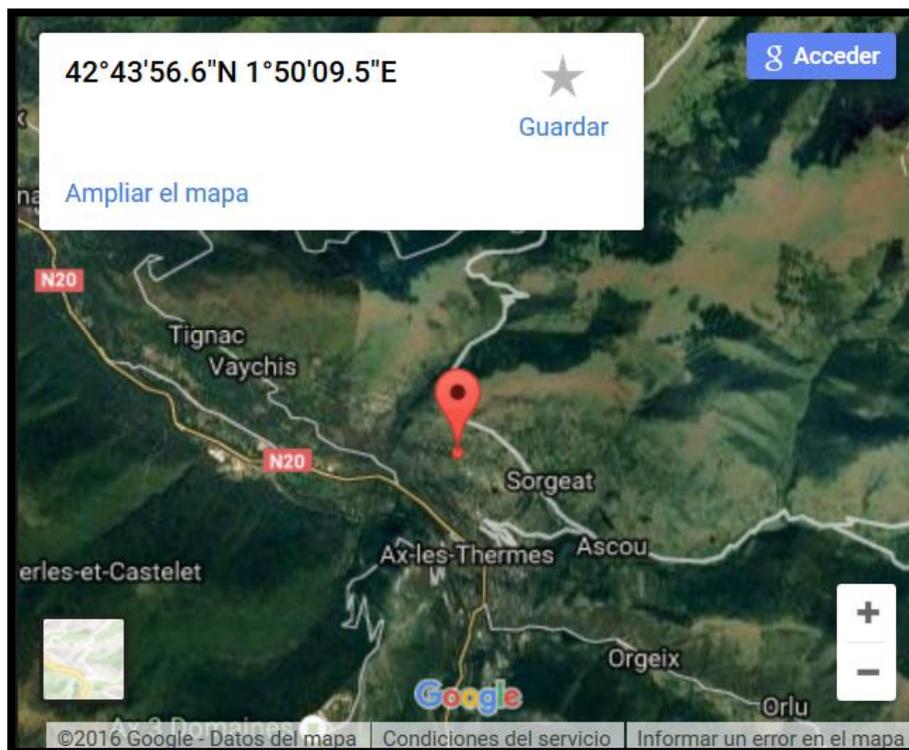


Figura 2.3. Mina de Trimouns

En América del sur se encuentra el yacimiento del Xilolite, que es el más grande en Brumado (Bahía, Brasil). En esta ciudad la mina se instaló para aprovechar sus recursos minerales indicados en el orden de 40 millones de toneladas de mineral de magnesita del cual solo se obtiene 8 millones de toneladas anuales de talco.

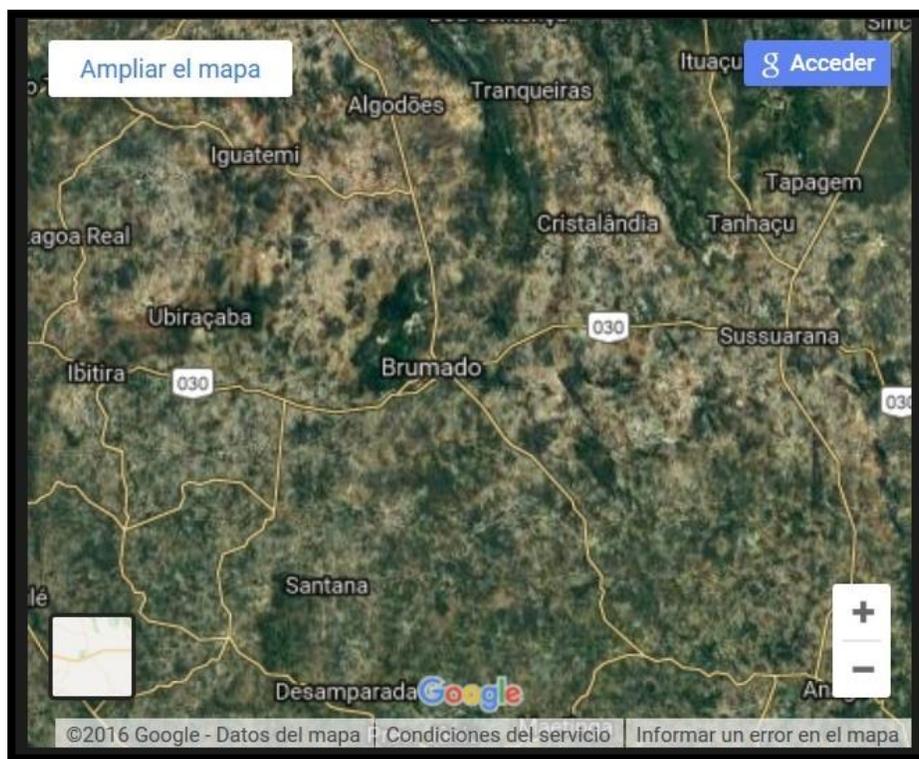


Figura 2.4. Mina de Xilolite

En España el principal yacimiento se encuentra ubicado en Puebla de Lillo (León), tiene una producción anual de 50.000 toneladas. Respina está ubicada en Puebla de Lillo, y genera un producto cristalino de gran pureza, que se procesa en la fábrica de Boñar.

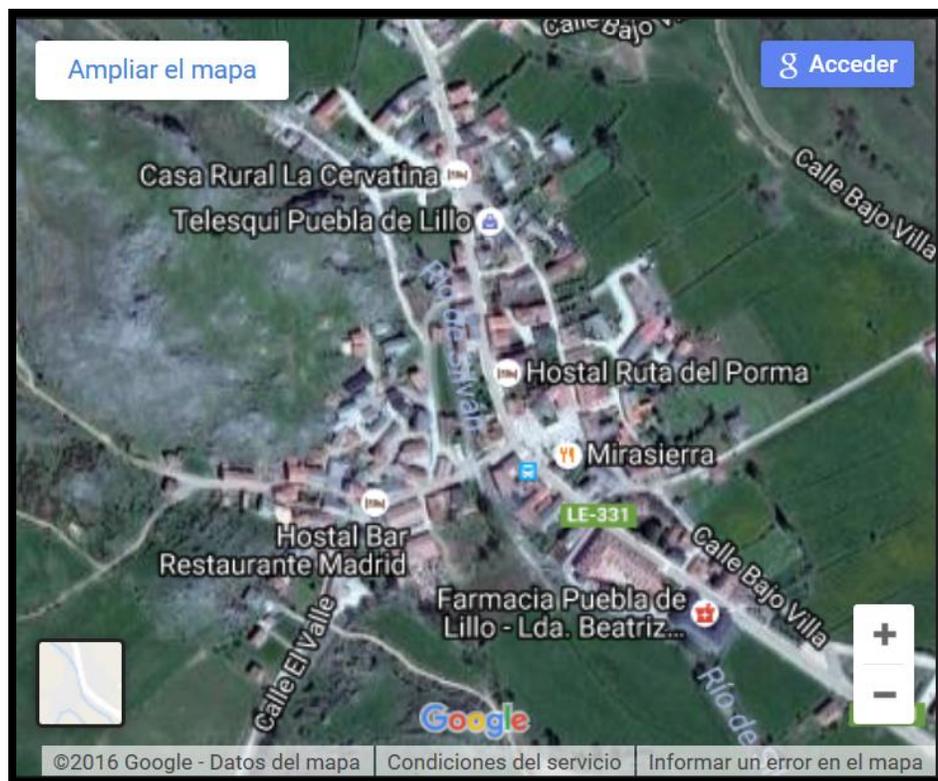


Figura 2.5. Mina de Respina

La localización de los mismos se realizó con ayuda del servidor de aplicaciones de Google Maps.

2.7. El talco en México

Actualmente México tiene una pequeña productividad en el mercado internacional del talco, próxima al 1% de la producción mundial. La mayoría de las empresas mexicanas que se dedican a la comercialización de los diversos tipos de talcos, optan por comprarlo a China, por su bajo costo (China es el mayor productor de talco, con un 25% del mercado).

En los años de 1990's los estados mexicanos que se encargaban de la producción de talco eran Puebla, Zacatecas, Oaxaca, Sinaloa, Jalisco y Estado de México, siendo el mayor productor el estado de Puebla con 8,970 toneladas por año (Consejo de Recursos Minerales, 1993). Actualmente Puebla ha dejado de ser

un productor de talco y Estados como Guanajuato, Jalisco, Nuevo León y Sinaloa son los encargados de importarle al país y exportar este mineral. A continuación se presenta el volumen de producción de los estados productores hasta el año 2015:

Tabla 1.1. Volumen de la Producción por Entidad Federativa, 2011-2015 (Toneladas)

Estados/Años	2011	2012	2013	2014	2015p/
Total:	51,221	463,213	846,813	752,077	20,452
Guanajuato	196	225	204	163	202
Jalisco	-	684	684	684	700
Nuevo León	20,000	431,280	819,280	751,200	1,300
Sinaloa	31,025	31,025	26,645	30	18,250

p/ cifras preliminares

Fuente: Mexicano, 2016: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2015

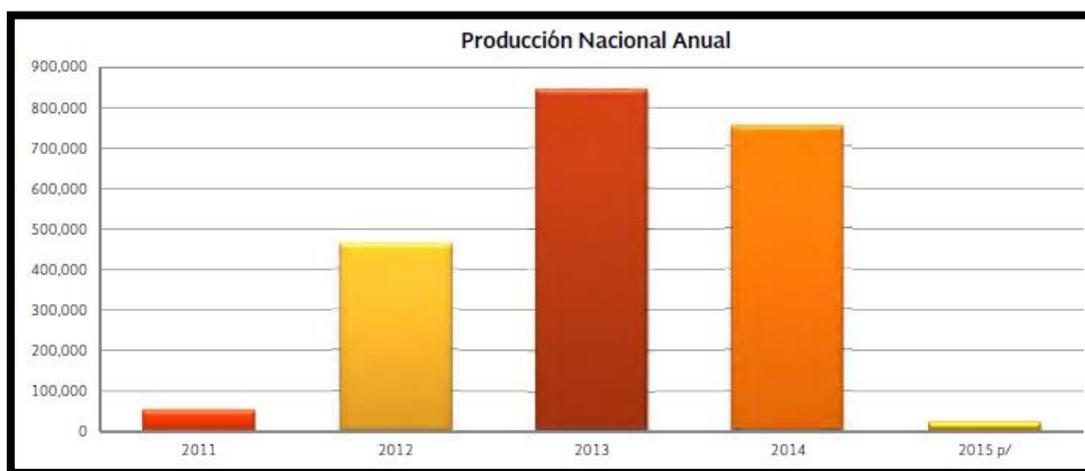


Gráfico 1.1. Valor de la Producción por Entidad Federativa, 2011-2015

México es un país con varias localidades de yacimientos de talco, pero desafortunadamente la mayoría de las empresas que se dedican al beneficio de minerales prefieren la explotación de menas con metales preciosos como oro y plata o simplemente metales (cobre, zinc, plomo, hierro, entre otros) por su mayor valor y rentabilidad.

El nivel de riesgo de un accidente al trabajar en una mina de riqueza metálica es alta con respecto a una mina de talco, esto es por el uso de explosivos, no siendo así para la obtención de talco debido a su baja dureza (únicamente con excavadoras se desprende y recoge la materia).

Tabla 1.2. Exportación de Volumen y Valor , por Fracción Arancelaria, Presentación y Destino, 2014-2015
(Kilogramos y dólares corrientes)

Fracción Arancelaria, Presentación y Destino	2014		2015 p/	
	Kilogramos 1/	Dólares	Kilogramos 1/	Dólares
Total:		238,170		493,432
Esteatita natural; triturados o pulverizados; talco	685,440	408,235	928,364	538,610
Alemania	-	-	2	30
Brasil	-	-	200	539
Canadá	-	1	-	-
Colombia	-	-	120,000	84,000
Corea del Sur	-	-	4,460	11,059
Costa Rica	309	288	563	1,248
Cuba	-	-	6,050	2,314
Dominica	33,660	31,314	30,000	22,499
EUA	1,645	1,022	26,765	61,845
Guatemala	85,040	61,901	120,497	86,724
Italia	35	52	-	-
Jamaica	60,000	46,798	100,000	77,997
Panamá	16,345	8,098	13,552	6,451
Perú	33,000	21,449	68,750	60,321
Polonia	-	-	130	4,956
Suiza	100	375	-	-
Trinidad y Tobago	-	-	31,625	36,317
Venezuela	100,095	46,703	50	1,902

p/ cifras preliminares

1/peso bruto

Citas revisadas al mes de mayo 2016

Fuente: Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C.

Tabla 1.3. Importación de Volumen y Valor, por Fracción Arancelaria, Presentación y Origen, 2014-2015
(Kilogramos y dólares corrientes)

Fracción Arancelaria, Presentación y Destino	2014		2015 p/	
	Kilogramos 1/	Dólares	Kilogramos 1/	Dólares
Total:		26,378,149		32,908,253
Sin triturar ni pulverizar	1,533,044	695,630	2,025,544	536,215
Australia	4 50,782	237,816	375,255	197,972
Austria	8	53	-	-
China	1,459	5,342	659	1,535
España	-	-	10	44
Estados Unidos de América	612,606	317,641	1,539,316	303,422
Etiopía	-	-	6	149
India	70	1,423	-	-
Pakistán	468,119	133,355	110,296	33,088
Puerto Rico	-	-	2	5
Triturados o pulverizados	77,936,285	25,356,866	98,091,134	32,098,295
Alemania	1,430	6,066	1,777	3,602
Austria	1,650	5,048	475	2,493
Bélgica	-	-	299	1,206
Brasil	859,688	503,961	1,787,225	973,850
Canadá	7,956	8,418	6,970	12,562
China	16,352,762	7,741,183	26,929,637	11,075,727
Colombia	15	14	-	-
Corea del Sur	93,815	137,717	248,409	146,876
Ecuador	-	-	-	2
España	54,691	74,178	33,145	45,985
EUA	60,126,154	16,103,744	68,467,466	19,010,897
Francia	40,924	75,774	35,022	50,110
Guatemala	4	6	-	-
India	72,210	29,101	110,599	45,634
Indonesia	30	39	15	39
Italia	109,287	276,338	166,668	300,712
Países Bajos	26,687	27,363	61,035	37,698
Panamá	4	20	-	-
Portugal	285	78	44,800	16,847
Puerto Rico	3	35	-	-
Reino Unido	1,425	2,894	-	-
Suecia	-	-	1	85
Suiza	30	7	-	-
Taiwán	9,002	4,502	6,000	2,799
Vietnam	54	901	-	-

p/ cifras preliminares

1/peso bruto

Cifras revisadas al mes de mayo 2016

Fuente: Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C.

Los cinco principales importadores de talco para su venta en productos cosméticos (pulverizados) en el año 2012 son: EUA, China, Canadá, Brasil e Italia, acomodados por la mayor cantidad de kilogramos producidos respectivamente.

La producción nacional refleja un gran crecimiento del 2011 al 2013 (846,813 toneladas se explotaron en 2013), para el año 2014 se observa una disminución del 11% con respecto a lo producido al año anterior y para el año 2015 se disipa enormemente la explotación del talco a 20,452 toneladas (97.2% decrece con respecto al año pasado). El responsable de tan notable disminución en el beneficio del talco es el estado de Nuevo León, mientras que Guanajuato, Jalisco y Sinaloa siguieron en aumentando la producción.

México se ha convertido en un país exportador de talco, principalmente para países de América tales como: EUA, Colombia, Dominica, Guatemala, Jamaica, Trinidad y Tobago y Perú. Así también, se ha expandido la exportación a países europeos (Alemana, Italia, Polonia y Suiza) y uno asiático (Corea del Sur).

Talcos naturales de Oaxaca y Puebla

En el sur de México entre las fallas de Panalutla y de Oaxaca (ver figura 2.6) se encuentran dos complejos ultramáficos importantes: a) Tehuitzingo-Tecomatlán en Puebla de edad paleozoica y b) Cuicatlán-Concepción Pápalo en Oaxaca y de edad Cretácica. En ambas localidades se encuentran rocas serpentínicas que albergan diferentes cuerpos de mineralización no metálica desarrollada durante su alteración y/o metamorfismo (asbesto, talco y magnesita).

El complejo de Tehuitzingo-Tecomatlán en Puebla pertenece al terreno tectonoestratigráfico Mixteco, que está caracterizado por la presencia de basamento del Paleozoico inferior constituido por el complejo polimetamórfico Acatlán. El metamorfismo varía de facies de esquistos verdes a anfibolita y esporádicamente es migmatítico.

En Tehuitzingo hay escamas fuertemente deformadas y metamorizadas de serpentinita. El cuerpo serpentínico principal es una masa elongada orientada N-S de 7 km de longitud por 0.5 km de anchura

Las rocas son en su mayoría esquistos de antigorita-lizardita con casi un 100% de serpentización, con esquistos de talco, esquistos de clorita y serpentinitas masiva.

El complejo de Cuicatlán-Concepción Pápalo pertenece al terreno Cuicateco e incluye corteza oceánica y rocas de arco del Jurásico Superior-Cretácico Inferior. El complejo está incluido en rocas volcanosedimentarias mesozoicas afectadas por metamorfismo en facies de esquistos verdes (Delgado-Argote *et al.*, 1992). Este complejo UM-M representa la raíz de un arco volcánico andesítico o un arco magmático continental de corta vida (Delgado-Argote *et al.*, 1992).



Figura 2.6. Localización de los yacimientos de talco de los estados de Puebla y Oaxaca.

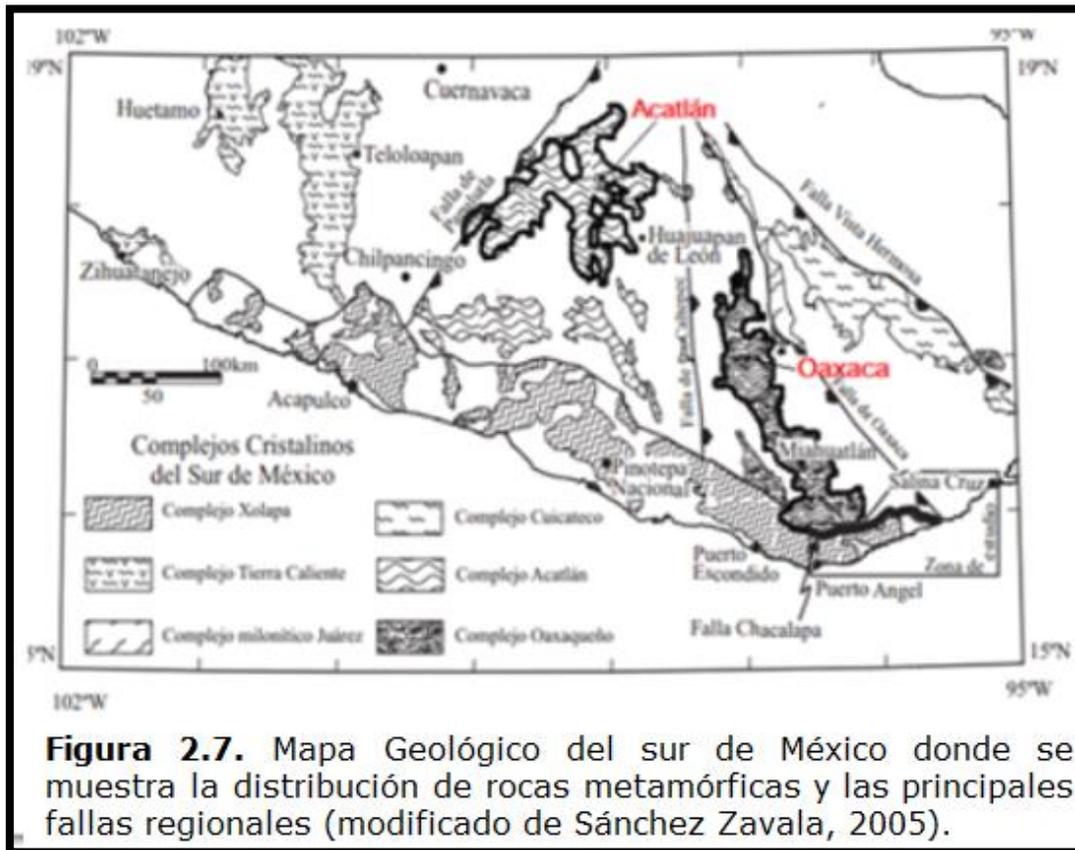


Figura 2.7. Mapa Geológico del sur de México donde se muestra la distribución de rocas metamórficas y las principales fallas regionales (modificado de Sánchez Zavala, 2005).

Referencias

A. Bibliográficas

Galán, E. (2003). *Mineralogía aplicada*. Síntesis, SA: Madrid, España.

B. Hemerográficas

Consejo de Recursos Minerales, *Monografía Geológico-Mineras del Estado de Puebla*, 1993; pp. 113, 123, 127, 133.

Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C., Cifras de datos mineralógicos de México. pp. 14-26.

Delgado-Argote, L. A., López-Martínez, M., York, D., & Hall, C. M. (1992). Geologic framework and geochronology of ultramafic complexes of southern Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(7), 1590-1604.

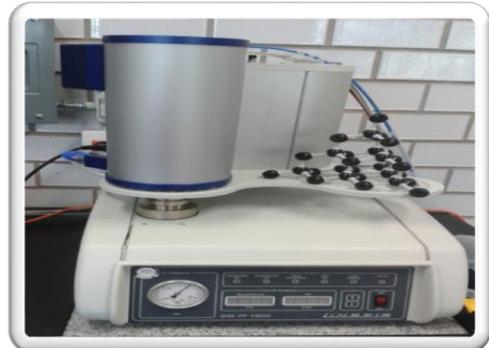
McCarthy, E. F. (2007). *Talc*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.

Mexicano, S. G. (2016). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2015*. Servicio Geológico Mexicano, México DF.

Tolson, G. (2005). *La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(1), 111-122.

C. Cibergráficas

(1) <http://docplayer.es/19494024-Talco-1-ubicacion-y-antecedentes.html>



CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Capítulo 3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

ÍNDICE DE CONTENIDO

3.1. Introducción.....	42
3.2. Difracción de Rayos X.....	46
3.2.1. Fundamentos teóricos.....	46
3.2.2. Instrumentación.....	49
3.2.3. Métodos utilizados en DRX (Preparación de muestras).....	50
3.3. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	54
3.3.1. Fundamentos Teóricos.....	55
3.3.2. Instrumentación.....	58
3.3.3. Preparación y medición de Muestras.....	58
3.4. Técnicas analíticas: ICP-MS e ICP-OES.....	60
3.4.1. Espectrometría atómica de Masas con ICP.....	60
3.4.2. Espectroscopia Óptica de Emisión atómica con ICP	64
3.4.3. Metodología de Análisis para talcos	66
3.5. Termogravimetría (TGA).....	68
3.5.1. Fundamentos teóricos.....	69
3.5.2. Instrumentación.....	71
3.5.3. Metodología de Análisis para talcos.....	73
3.6. Infrarrojo de Onda Corta (SWIR).....	75
3.6.1. Fundamentos teóricos.....	76
3.6.2. Instrumentación.....	79
3.6.3. Metodología de Análisis para talcos.....	80
3.7. Granulometría Láser (Vía Húmeda).....	81
3.7.1. Fundamentos teóricos.....	81
3.7.2. Instrumentación.....	84
3.7.3. Metodología de Análisis para Talcos.....	85
Referencias.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa mental de las técnicas utilizadas.....	43
Figura 3.2. Metodología del estudio realizado para talcos cosméticos.....	44
Figura 3.3. Metodología del estudio realizado para talcos de yacimiento.....	45
Figura 3.4. Patrón de DRX de muestra sólida.....	46
Figura 3.5. Movimiento de diferentes ondas.....	47
Figura 3.6. Difracción de rayos X por los planos de átomos A-A' y B	48
Figura 3.7. Equipo de difracción de rayos X "PANalytical Empyrean".....	49
Figura 3.8. Esquema de microscopio electrónico donde se muestra las componentes principales.....	55
Figura 3.9. Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Geología, UNAM..	58
Figura 3.10. Equipo de liofilización LABCONCO	59
Figura 3.11. Trayectoria de una partícula cargada en un campo magnético constante.....	62
Figura 3.12. Estados de la materia y procesos que sufren los átomos a lo largo de su camino a través del plasma.....	62
Figura 3.13. Antorcha, fuente de iones y conos de muestreo en un equipo de ICP- MS.....	63
Figura 3.14a. Inspección interna de equipo ICP-MS.....	64
Figura 3.14a. Inspección interna de equipo ICP-MS.....	65
Figura 3.15. Curvas termogravimétricas diferencial (curva superior, eje derecho) y convencional (curva inferior, eje izquierdo).....	69
Figura 3.16. Ejemplo de comportamiento de edulcorante de nivel relativamente complicado.....	71
Figura 3.17. Equipo Linseis para análisis térmico diferencial, con su respectivo crisol de alúmina para fusión del material.....	72
Figura 3.18. Esquema sobre la manipulación de muestra para situarla en el interior del horno de la balanza termogravimétrica.....	73

Figura 3.19. El campo de detección de los espectrómetros PIMA, abarca de 1300 a 2500 nm donde se pueden identificar patrones espectrales relacionados con la presencia de moléculas y radicales como OH, H₂O, AlOH, FeOH, MgOH y CO₃.... 75

Figura 3.20. Comportamiento de un haz de luz al incidir en un cuerpo..... 76

Figura 3.21. Muestra las zonas más importantes del espectro electromagnético, ampliando las de la luz visible e infra rojo (IR)..... 77

Figura 3.22. Se muestran los principales rasgos de absorción que pueden observarse en un espectro electro magnético..... 79

Figura 3.23. Equipo Infrarrojo de onda corta..... 79

Figura 3.24. Esquema general del rayo láser..... 81

Figura 3.25. Distribución granulométrica de un talco con su respectiva clasificación de suelos..... 84

Figura 3.26. Equipo analizador de tamaño de partícula BECKMAN COULTER..... 85

Figura 3.27. Dispersante - Hexametafosfato de Sodio (NaPO₃)₆..... 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Elementos de seguimiento y límites de detección (ppm)..... 66

Tabla 3.2. Fusión ICP-MS e ICP-OES..... 68

Tabla 3.3. Elementos de seguimiento..... 68

Tabla 3.4. Clasificación de los suelos..... 83

Capítulo 3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

3.1. Introducción

En este proyecto de tesis se trabajó en: a) la caracterización detallada de talcos comerciales de uso cosmético y b) talcos minerales de dos yacimientos mexicanos, con el fin de determinar su pureza química y mineralógica y su textura; compararlos entre si y establecer si cumplen o no con los requerimientos de los talcos de uso cosmético.

Inicialmente se llevó a cabo una consulta y revisión bibliográfica de trabajos de investigación, así como información relevante de los talcos cosméticos. Una vez realizado lo anterior se realizó una búsqueda detallada para saber sobre existencia de Normas Oficiales en México y en el extranjero que concilien o estandaricen un control y regulación en la producción de esta materia prima, finalmente también se recopiló información de las monografías geológicas-mineras de los estados productores de talco dentro de la República Mexicana.

En lo referente a la parte analítica se recabó información de diferentes fuentes para un mejor entendimiento del principio físico de cada una de las técnicas y se aprendió el uso de varios equipos y sus respectivos softwares. Las pruebas realizadas son:

- Caracterización estructural por DRX en fracción total y fracción arcilla (<2 micras)
- Ensayo termogravimétrico (TGA-DTG)
- Caracterización mediante infrarrojo.
- Análisis químico con ICP-MS e ICP-OES para muestras con sílice.
- Análisis granulométrico láser vía húmeda para arcillas y limos.
- Caracterización química y morfológica con MEB.

La mayor parte del trabajo experimental presentado en este documento fue llevado a cabo en los laboratorios del Instituto de Geología de Ciudad

Universitaria, UNAM. Únicamente las técnicas siguientes: ICP-MS e ICP-OES (Laboratorios Actlabs, Canadá y Departamento de Metalurgia de la Facultad de Química), SWIR (Instituto de Geofísica) y Granulometría Láser (Instituto de Ciencias del Mar y Limnología), se realizaron en otros institutos pero en todos los casos se participó participe activamente en las mediciones para el mejor entendimiento del uso delos equipos y software de análisis de datos.

Selección de muestras

La selección de muestras se realizó en función a dos conceptos: a) talcos de uso cosmético de bajo y alto costo; b) talcos obtenidos de yacimientos de los estados de Puebla y Oaxaca.

Se estudian en total 11 talcos comerciales, adquiriendo un producto (frasco) de cada uno de ellos con una masa aproximada de 200g y se recolectaron 2 muestras de 400gr con cada uno de los yacimientos naturales de talco.

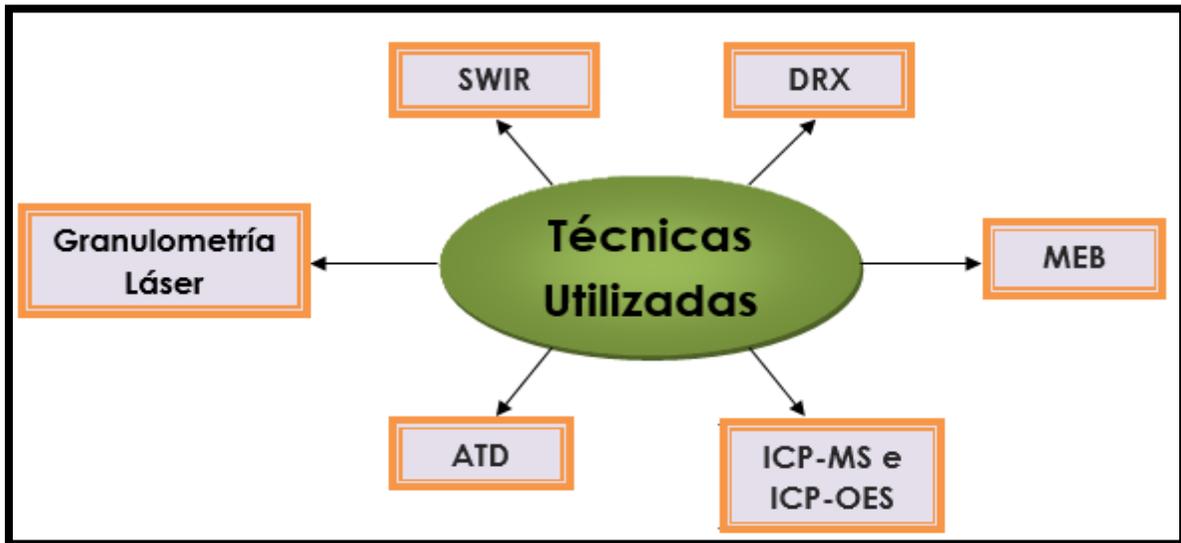


Figura 3.1. Mapa mental de las técnicas utilizadas.



Figura 3.2. Metodología del estudio para talcos cosméticos.

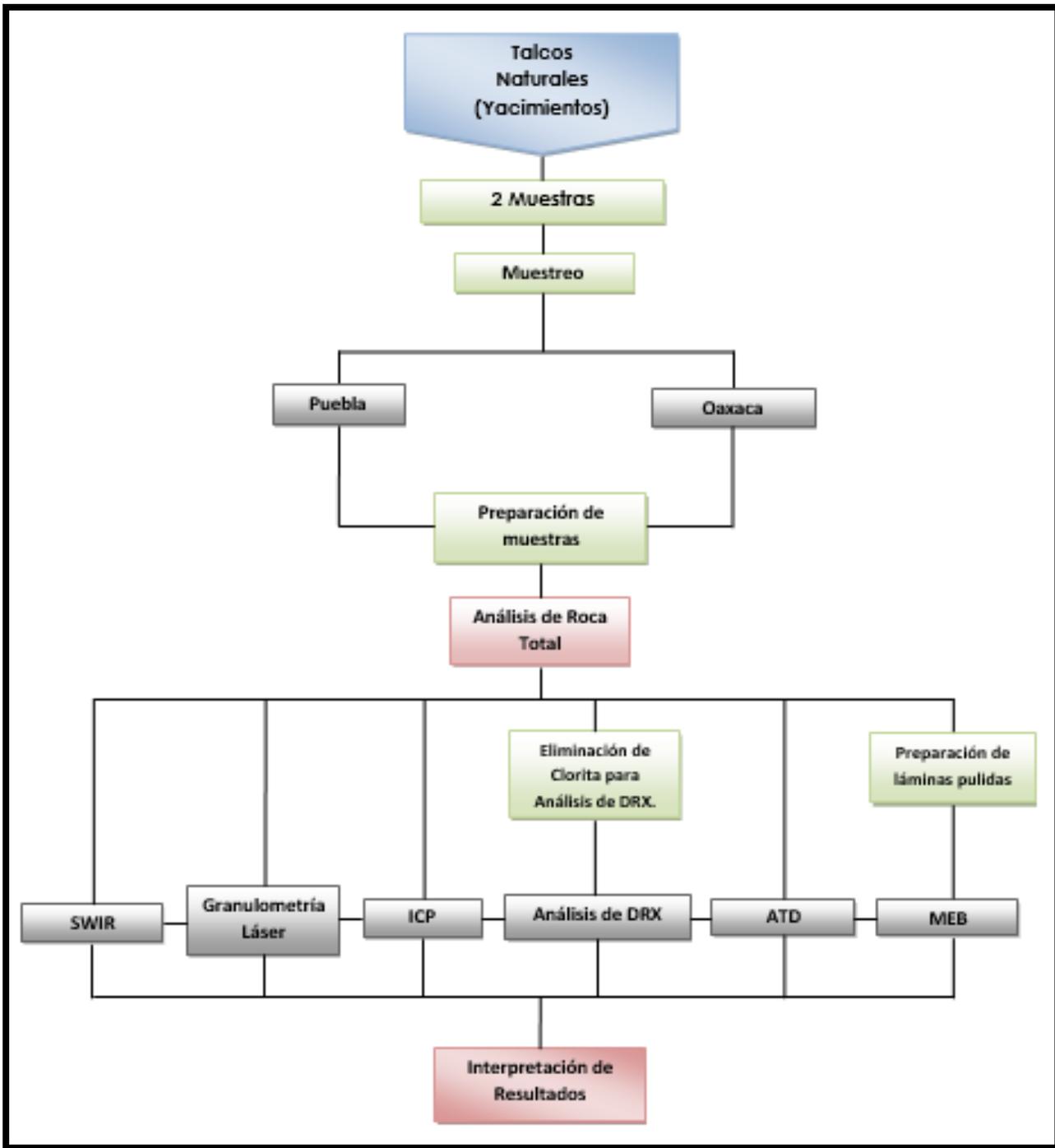


Figura 3.3. Metodología del estudio para talcos de yacimiento.

3.2. Difracción de Rayos X (DRX)

3.2.1. Fundamentos teóricos

La difracción de rayos x es una técnica analítica no destructiva y muy importante en la caracterización de materiales cristalinos, tales como los metales, cerámicos, intermetálicos, minerales, u otros compuestos orgánicos e inorgánicos.

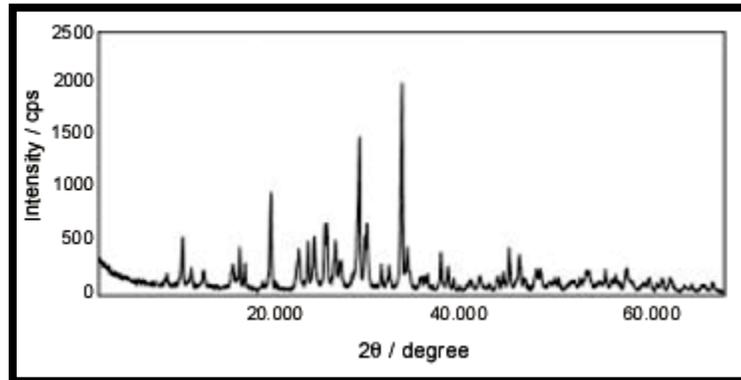


Figura 3.4. Patrón de DRX de muestra sólida

La técnica de rayos X puede ser utilizada para identificar las fases presentes en la muestra, desde materia prima de partida hasta un producto final. Esta técnica ha sido utilizada durante muchas décadas con gran éxito para proporcionar información precisa sobre la estructura de los materiales. La calidad del patrón de difracción suele ser limitado por la naturaleza y la energía de la radiación disponible, por la resolución del instrumento y por las características físicas y químicas de la muestra. Dado que muchos materiales sólo pueden ser preparados en una forma policristalina, la técnica de difracción de rayos X del material de polvo se convierte en la única opción realista para una determinación de la estructura cristalina de estos materiales (Amílcar, 2014).

La difracción ocurre cuando una onda encuentra una serie de obstáculos espaciados regularmente, tal que son (1) capaces de dispersar la onda, y (2) siempre que las dimensiones del objeto que se estudian sean comparables en magnitud a la longitud de onda. Por otro lado, la difracción es consecuencia de las

relaciones específicas de las fases que se establecen entre dos o más ondas que han sido dispersadas por obstáculos. Considerando las ondas 1 y 2 de la siguiente figura, las cuales tienen la misma longitud de onda (λ) y están sobre el mismo plano O-O', y suponiendo que ambas ondas son dispersadas de tal manera que siguen diferentes trayectorias. La relación de fase entre las ondas dispersadas, dependen de la diferencia de longitud del camino recorrido.

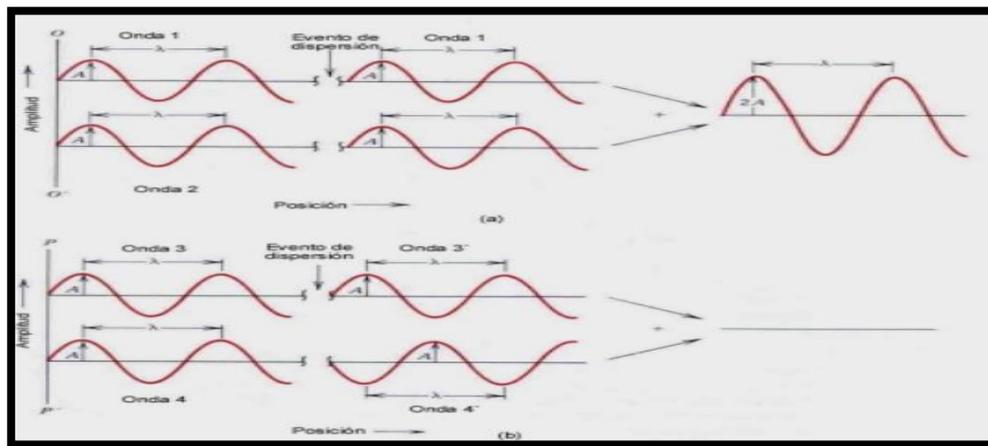


Figura 3.5. (a) Demostración de cómo dos ondas (1 y 2) que tienen la misma longitud de onda y que están en fase después del evento de dispersión (1' y 2') interfieren constructivamente una con la otra. (b) Demostración de cómo dos ondas (3 y 4) que tienen la misma longitud de onda y que llegan a estar fuera de fase después del evento de dispersión (3' y 4'), interfieren destructivamente una con la otra. (Askeland y Phulé, 2015)

Ley de Bragg

La ley de Bragg: Los rayos-X son un tipo de radiación electromagnética que tiene una alta energía y longitudes de onda muy cortas, las longitudes de onda son del orden de espacios atómicos de los sólidos. Cuando un haz de rayos-X incide sobre un material sólido, una porción de este rayo se dispersará en todas las direcciones por los electrones asociados a cada átomo o ión que está dentro del camino del haz. Consideremos ahora las condiciones necesarias para la difracción de rayos-X por un arreglo periódico de átomos. Si se tienen dos planos de átomos

A-A' y B-B', como se muestra en la siguiente Figura, que poseen los mismos índices de Miller (h,kl), y están separados por la distancia interplanar d_{hkl} . Asumiendo que un haz de rayos-X de longitud de onda λ , paralelo, monocromático y coherente (en fase) incide en estos dos planos con un ángulo θ , dos rayos de este haz (1 y 2), son dispersados por los átomos P y Q. Ocurrirá una interferencia constructiva entre los rayos dispersados (1' y 2') a un ángulo θ de los planos, si la diferencia de la longitud del camino recorrido entre 1-P-1' y 2-Q-2' (p.ej., SQ + QT) es igual a un número n, de longitudes de onda. Esta es la condición de difracción (Askeland y Phulé, 2015):

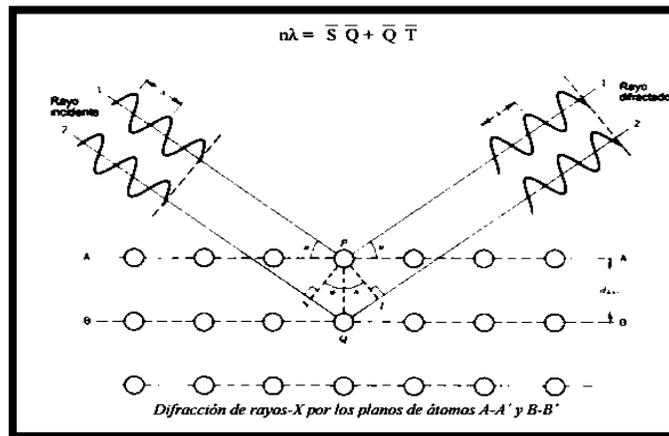


Figura 3.6. Difracción de rayos X por los planos de átomos A-A' y B-B'.(Askeland y Phulé, 2015)

W. L. Bragg visualizó la difracción de rayos-X en término de reflexiones provenientes de los planos de un cristal, dando como resultado la simple relación (conocida como la Ley de Bragg):

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta \dots \text{ec (1)}$$

3.2.2. Instrumentación

El estudio de la caracterización se ha realizado en el departamento de Geoquímica del Instituto de Geología, con un difractómetro Empyrean (Panalytical) equipado tubo de Cobre (emisora de Rayos X), filtro de Ni y detector Pixcel3D.



Figura 3.7. Equipo de difracción de rayos X "Panalytical Empyrean"

Condiciones y variables Experimentales

Todas las muestras de talco fueron analizadas con las siguientes condiciones de operación:

- Corriente de 40mA
- Tensión voltaica de 45Kv
- Mascara 10° (Cobre)
- Barrido de lectura de 4° a 70°
- Geometría de reflexión
- Tiempo de escaneo por 40 minutos
- Paso: 0.02°
- Tiempo de integración por paso: 40s

Para las muestras que se les realizó un tratamiento térmico (por su alto contenido de clorita), se propuso un escaneo con una rutina más lenta y en un intervalo de 0° a 15° con el propósito de ver alguna presencia de crisotilo que se encontraba oculto en el pico de la clorita.

3.2.3. Métodos utilizados en DRX (Preparación de muestras)

Dicha técnica se utilizó principalmente para determinar la pureza mineralógica del talco y determinar su clasificación industrial.

Todas las muestras fueron medidas en dos formas diferentes: a) como muestra total en fracción no orientada utilizando un portamuestras de doble carga y b) como fracción arcilla (<2micras) en fracción orientada sobre un portamuestras de vidrio. La identificación de fases se realizó utilizando el software HIGH SCORE plus de Panalyticaly las bases de datos internacionales ICSD (Inorganic Crystal Structure Database) y ICDD (International Center for Diffraction Data).

La comparación de patrones de difracción se lleva a cabo con los patrones de difracción almacenados en el Powder Diffraction File (PDF) publicado por el Centro Internacional de Datos de Difracción (ICDD) (Klein, 2007).

El PDF es la colección de patrones de difracción de polvo de rayos X más grande y más completa del mundo, que contiene más de 217,000 modelos experimentales y calculados para los materiales cristalinos naturales y sintéticos compiladas por el ICDD desde 1941 (Klein, 2007).

Método de polvo

Las muestras no orientadas del talco de depósitos naturales (Puebla y Oaxaca), se fragmentaron con ayuda de un mortero de porcelana hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 45 micras. Para los talcos comerciales de uso cosmético, se respetó la granulometría original del material que ya era muy fino (< 45micras). Posteriormente todas las muestras se montaron en el portamuestra de acero inoxidable (4 cm de diámetro) clasificado como: de doble carga.

Es importante mencionar que una sobre molienda del material pudiese destruir estructuras cristalinas de fases minerales como lo es este mineral con acomodamientos estructurales de tipo laminar, por lo que se recomienda hacerlo con un esfuerzo gradual al tratarse de minerales muy blandos. Como bien se sabe, el talco es el material más blando según el mineralogista alemán Friedrich (1822) con su axioma nombrado "Escala de Mohs".

El producto de muestra sobrante se almacenó en una bolsa de plástico con cinta de sellado para evitar alguna contaminación de la muestra e hidratación de la misma. 45micras que es el tamaño mínimo recomendado para el análisis de DRX.

Muestras Orientadas

Para identificar las fases minerales del grupo de los filosilicatos (talco, clorita) se orienta la muestra en dirección del plano basal (001) para mejorar la difracción de los cristales más pequeños (arcillas), mismas que presentan un pequeño dominio coherente de difracción (Carretero y Pozo, 2007).

Para el caso de muestras orientadas de la fracción arcilla (<2micras), el primer paso fue la separación por centrifugación de la fracción arcilla siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- a) Disgregación de la muestra (aprox. 3 g) en un mortero de cerámica (para no dañar las partículas finas)

- b) Suspensión de la muestra en agua destilada y agitación constante durante 24 horas a una velocidad constante (42 rpm).
- c) Centrifugación a una velocidad de 500rpm durante 5 minutos para dejar en suspensión la fracción inferior a 2micras (segregación).
- d) Se toma con micropipeta una alícuota representativa de partículas finas (arcillas) para así colocarlos en cristales de vidrio circulares. Se deja evaporar el agua durante un día aproximadamente y finalmente se inserta en el equipo de DRX para su debido análisis y caracterización.

Muestras calentadas para eliminación de clorita

Con el objetivo de encontrar trazas de minerales del grupo de asbesto de tipo crisotilo se optó por eliminar por calentamiento la clorita ya que el pico (002) característico del crisotilo [Ficha: ICSD 98-041-3633(7.31 Å) se solapa con el pico (002) de la clorita [Ficha: ICSD 98-015-6707(7.2 Å)] ocasionando que sea difícil su identificación. Esto es posible ya que el rango de temperaturas de destrucción de la clorita (550°C a 780°C) es inferior al del crisotilo que no se destruye a temperaturas inferiores de 1200°C por tener alta capacidad térmica.

Se optó por realizar tratamientos para seis muestras de talco: Active Feet, O-Dolex, Hipermart, Max-O, Oaxaca, Puebla con alto contenido en clorita y una vez calentadas fueron analizadas nuevamente por DRX para determinar la presencia de crisotilo. Dicho tratamiento consta de tres etapas que se describen brevemente a continuación.

1. Se agregaron 6 gramos de polvo de cada muestra sobre pequeños crisoles de alúmina.
2. Previamente calentada la mufla a la temperatura deseada (660°C, 750°C y 850°C), se ingresa los crisoles con ayuda de pinzas y guantes. El tiempo mínimo fue de una hora y media.

3. Una vez enfriadas las muestras se cargaron en portamuestras de doble carga y se midieron nuevamente por DRX.

Para el caso de la muestra del talco de Oaxaca se optó por pasar en una rutina de tiempo más prolongado (2 horas) en un ángulo de barrido de 0° a 15° , con el fin de revisar detalladamente la presencia de crisotilo.

Análisis Semicuantitativo con ayuda de Software “High Score”

El análisis de muestras con identificación y semicuantificación de fases cristalinas nos determina los porcentajes de las fases minerales que contiene la muestra con una confiabilidad alta gracias a la ayuda del software especializado. Para el actual análisis se utilizó la proporción relativa de intensidad (RIR).

Método RIR

Es el método de análisis cuantitativo multicomponentes más sencillo de todos, rápido y ampliamente utilizado, ya que suministra resultados confiables con el mínimo esfuerzo para todo tipo de muestra y no requiere de la elaboración de curvas de calibración (Crawford et al., 1988).

La función cuantitativa RIR del software High Score, usa la información del área bajo la curva de los picos junto con la identificación de fase para calcular los porcentajes de cada una de las fases.

Método Rietveld

El método de Rietveld calcula realmente los factores de estructura de las posiciones de los átomos en un modelo de estructura cristalina. Durante el refinamiento de una fase (pura, única), las posiciones del átomo se pueden cambiar. Sin embargo, a menudo la estructura cristalina se deja intacta y la información de estructura se utiliza sólo para calcular picos teóricos y un perfil del modelo de estructura. (Dictionary High Score Plus).

Método RIR-Rietveld

El refinamiento de Rietveld es mucho mejor que la proporción relativa de intensidad (RIR), ya que emplea el patrón entero y además se pueden tomar en cuenta para la orientación preferente, la absorción, forma y anchura del pico, parámetros de celosía. Debido a la complejidad de su estructura cristalina, por ser minerales del grupo de los filosilicatos, no se implementó el método de Rietveld.

3.3. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La idea de agregar esta técnica en el estudio del presente trabajo es para tener una caracterización morfológica de las partículas de talco y mediante SEM obtener la composición química puntual en donde se localicen fases como el mismo talco, clorita y algún posible rastro de crisotilo. Es una herramienta útil para el talco de Oaxaca que tiene un alto contenido de Clorita y otras fases minerales.

En la técnica del MEB o microscopía de electrones secundarios (SEM en inglés) los electrones secundarios de baja energía (<50 eV) emitidos de la superficie de la muestra se utilizan para obtener una imagen. Para facilitar esta emisión de electrones se metaliza la muestra que es recubrirla de una pequeña capa de un metal conductor como el oro o cobre. El haz de e^- se puede concentrar en una zona diminuta ($\sim 20 \text{ \AA}$) que puede barrer la superficie del espécimen al ser deflactado por bobinas adecuadas. Los electrones secundarios se detectan por encima del espécimen y la imagen muestra la intensidad de los electrones secundarios emitidos por las diferentes partes de la muestra (Wenk y Bulakh, 2004).

3.3.1. Fundamentos teóricos

El fundamento de la microscopía electrónica de barrido radica en que los electrones emitidos por un cátodo de tungsteno pasan a través de una columna en la que se ha hecho un vacío alrededor de 10^{-7} Torr. En ella el haz inicial es concentrado por una serie de lentes electromagnéticas que producen una disminución de su diámetro hasta hacerse casi puntual (hasta unos 10 nm). Al mismo tiempo, la intensidad de corriente se disminuye desde unos 10^{-14} A hasta unos 10^{-10} A. Esta disminución en la intensidad implica una menor cantidad de electrones primarios. El haz de electrones con estas últimas características, es decir en forma puntual, es desplazado sobre toda la superficie de la muestra a modo de un pincel que va barriendo la muestra con continuas idas y venidas. (Figura 3.8.)

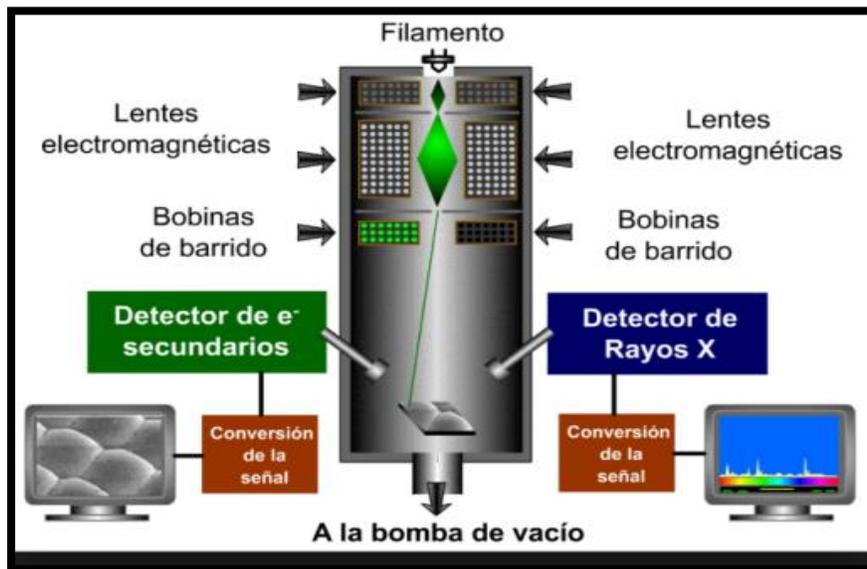


Figura 3.8. Esquema de microscopio electrónico donde se muestra las componentes principales (Tomado de <http://quimica.unab.cl>, 2017).

Componentes del microscopio MEB

- Una fuente de electrones que proporciona la iluminación. Consta normalmente de un filamento de tungsteno el cual es calentado, y los electrones son acelerados mediante un campo de 30 kV.
- Sistema óptico de iluminación que consta de dos lentes magnéticas. Su función es focalizar lo máximo posible la fuente de electrones.
- Un juego de tornillos que permite que la radiación sea movida sobre la superficie de la muestra.
- Un portamuestras y lentes objetivo. La resolución obtenida por el microscopio depende de las propiedades de estas lentes y su distancia a la muestra.
- Un sistema de detección

Las imágenes que se obtienen en el microscopio electrónico de barrido corresponden a electrones secundarios o electrones retrodispersados emitidos tras la interacción con la muestra del haz incidente de entre 5 y 30 KeV.

El haz de electrones se desplaza sobre la muestra realizando un barrido en las direcciones X e Y de tal modo que la posición en la que se encuentra el haz en cada momento coincide con la aparición de brillo, proporcionalmente a la señal emitida, en un determinado punto de la pantalla.

La señal de electrones secundarios se forma en una delgada capa superficial, del orden de 50 a 100 Å. Son electrones de baja energía, menos de 50 eV, que pueden ser desviados fácilmente de su trayectoria emergente inicial y permiten obtener información de zonas que no están a la vista del detector. Esta particularidad otorga a esta señal la posibilidad de aportar información "en relieve".

La emisión de electrones retrodispersados depende fuertemente del número atómico de la muestra. Esto implica que dos partes de la muestra que tengan distinta composición se revelan con distinta intensidad aunque no exista ninguna diferencia de topografía entre ellas.

Los rayos X que se generan en una muestra sometida a bombardeo electrónico permiten identificar los elementos presentes y establecer su concentración. (Renau y Faura, 1994)

En mineralogía la microscopía electrónica de barrido es una técnica que sirve para analizar la morfología y relaciones textural. La resolución nominal del equipo es de 3 nm lo cual permite estudiar características de los materiales a una escala muy pequeña. Este microscopio cuenta con la técnica de Espectroscopia de Dispersión de Energía (EDS) que sirve para hacer análisis elemental. Con esta técnica se pueden detectar todos los elementos químicos con número atómico mayor a 4 de manera cualitativa y semicuantitativa.

3.3.2. Instrumentación

Se examinó inicialmente con el Microscopio Electrónico de Barrido de doble haz, "ZEISS-Modelo MA10" del instituto de Geología (Figura 3.9.), que cuenta a su vez con su equipo de análisis (software BRUKER). Posteriormente se utilizó el MEB ENAH "Olimpus BX41-Modelo HR800" de la ENAH del centro histórico.



Figura 3.9.Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Geología, UNAM.

Condiciones y variables Experimentales

- Tensión voltaica de 15kV
- Aumentos entre 500X-12000X
- Presión variable (N₂)
- Alto vacío
- Electrones retrodispersados
- Tiempo de adquisición de datos, aproximadamente 1 minuto.

3.3.3. Preparación y medición de Muestras

Las características que requieren las muestras para ser visualizadas en el MEB son: a) Ser conductoras (paramagnéticos) y b) Ser estables a altas presiones

Mediante MEB se analizaron las muestras de los dos talcos naturales (Oaxaca y Puebla) en dos formas:

- Fragmentos de la rocas (<math><4\text{cm}^3</math>) de talco.
- En una lámina petrográfica pulida de aproximadamente 40 Micras de grosor.

Los talcos son aislantes o diamagnéticos por lo que en las primeras mediciones se recurrió a revestir la muestra con tiras de cobre puro laminado para así tener un medio de transporte de los electrones y se transmita una imagen. Como la observación no fue muy buena por la presencia de agua (polarización y distorsión de la imagen) se procedió en una segunda etapa a la liofilización de la muestra.



Figura 3.10. Equipo de liofilización LABCONCO del laboratorio de Edafología Ambiental, UNAM.

La liofilización consistió en colocar un pequeño fragmento de los talcos de Puebla y Oaxaca, a una temperatura de -40°C y una presión de 0.133 mBar durante 18 horas.

El procedimiento utilizado para la medición de las muestras en el microscopio electrónico es el que se describe a continuación:

1. Se libera la válvula del gas de nitrógeno para generar el alto vacío y se establecen los parámetros técnicos de trabajo en el software.
2. Se enfoca el área homogénea de interés en donde se pueda apreciar claramente la morfología del talco.
3. Se determina la composición química incidiendo un haz de Rayos X para generar un difractograma, todo se realiza dentro del mismo MEB (EDS).
4. Se toman imágenes del área de interés y se genera el reporte.

3.4. Técnicas analíticas: ICP-MS e ICP-OES

3.4.1. Espectrometría atómica de Masas con ICP.

La técnica ICP-MS fue de gran ayuda para saber la composición química de los polvos de talco, para así saber el porcentaje de elementos que contiene y determinar sobre todo la existencia de metales pesados como el plomo y de tierras raras como lo son los lantánidos, que pueden ser dañinos a la salud del ser humano en concentraciones superiores a las permitidas (no más de 10 mg/kg) según la Norma Oficial Mexicana 118 (NOM-118-SSA1-1994) que se titula "Bienes y Servicios. Materias primas para alimentos, productos de perfumería y belleza, colorantes y pigmentos inorgánicos".

La técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS, del nombre en inglés (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), es una variante de las técnicas de análisis por espectrometría de masas. Las ventajas principales de esta técnica radican en la alta precisión, bajos límites de detección y bajo coste económico, analizando la mayoría de los elementos e isótopos presentes en la tabla periódica de manera simultánea en no más de un par de minutos. Es por lo tanto una técnica ideal en el análisis de aguas, lixiviados de rocas y minerales, alimentos, etc. Además, desde los últimos años la utilización del LASER acoplado al ICP-MS, permite el análisis de elementos

trazas y tierras raras en minerales, fósiles, metales, semiconductores, etc, en un área de muestra de hasta 50 μm . La técnica de ICP-MS combina dos propiedades analíticas que la convierten en un potente instrumento en el campo del análisis de trazas multielemental. Por una parte obtiene una matriz libre de interferencias debido a la eficiencia de ionización del plasma de Ar y por otra parte presenta una alta relación señal-ruido característica en las técnicas de espectrometría de masas (Fernández, 2004).

Fundamentos teóricos

Podemos definir un plasma como cualquier volumen de gas con parte de sus moléculas o átomos ionizados y coexistiendo a alta temperatura (8.000°C) en una sopa de iones, electrones, átomos neutros ó átomos excitados. Tradicionalmente se suele decir que hay cuatro estados de la materia: líquido, sólido, gaseoso y plasma. Brevemente, la generación del plasma se consigue sometiendo un flujo de gas, que se conoce como gas plasmógeno (Ar usualmente), a la acción de un campo magnético oscilante, inducido por una corriente que oscila a alta frecuencia. En el proceso de generación del plasma, los iones de Ar y los electrones libres presentes son acelerados siguiendo trayectorias anulares, debido a la alternancia del campo magnético presente generado por el generador de radiofrecuencia.

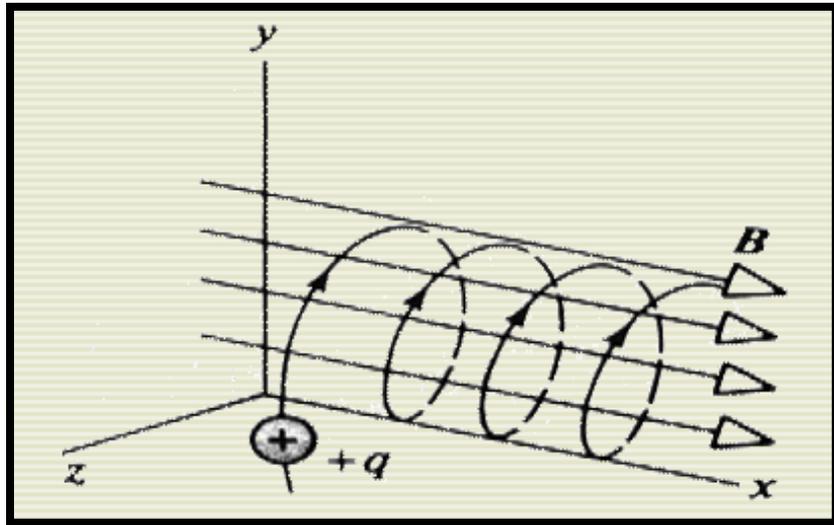


Figura 3.11. Trayectoria de una partícula cargada en un campo magnético constante (Tomado de Fernández, 2004).

Por efecto Joule, en este caso de fricción iónica y electrónica, se consiguen energías altísimas, llegando a obtener temperaturas de hasta 8.000 °C en las zonas de máxima intensidad de campo.

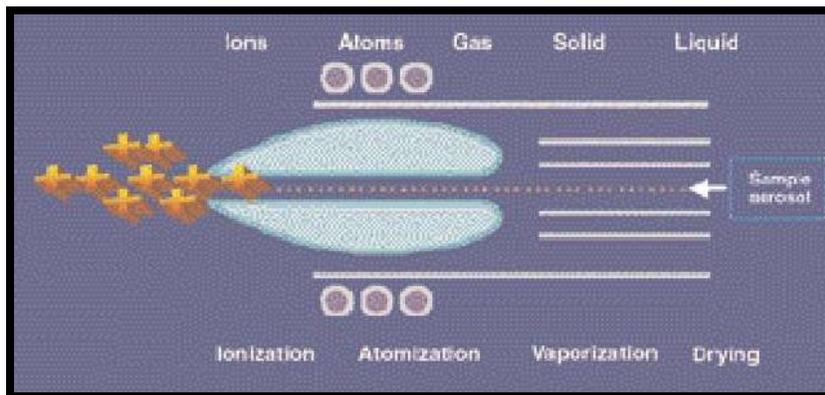
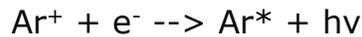
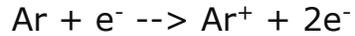


Figura 3.12. Estados de la materia y procesos que sufren los átomos a lo largo de su camino a través del plasma (Tomado de Fernández, 2004).

Coexistiendo con el plasma encontramos al menos las siguientes especies iónicas: electrones (e^-), iones de argón (Ar^+), átomos de argón en estado fundamental (Ar^0), átomos de argón excitados (Ar^*), moléculas de argón ionizadas

(Ar₂⁺), neutras (Ar₂⁰) y excitadas (Ar₂^{*}). Con esta mezcla de especies, es de esperar que se produzcan procesos de recombinación radiante del tipo:



Este tipo de procesos explica el hecho de que el plasma aparente ser una llama, cuando en realidad no lo es, no existe ningún proceso de combustión química convencional en el proceso de generación.

La antorcha donde se genera el plasma consiste en tres tubos concéntricos de cuarzo. A los dos tubos más externos les llega Ar en forma tangencialmente, mientras que al más interno le llega un flujo laminar.

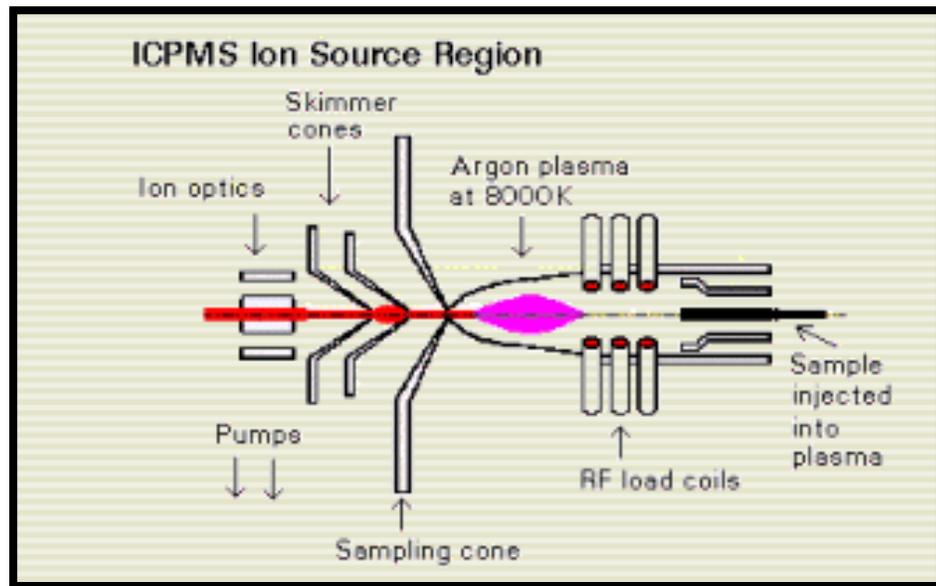


Figura 3.13. Antorcha, fuente de iones y conos de muestreo en un equipo de ICP-MS (Tomado de Fernández, 2004).

El flujo de gas en estos tres tubos es variable. El más interno proviene del nebulizador y es el que arrastra la muestra con un flujo de 0.9 l/min. El intermedio

o gas plasmógeno posee un flujo de 0.5 l/min, mientras que en el más externo el flujo es alto (15 L/min) y tiene la misión de estabilizar el plasma.

En el núcleo del plasma se alcanzan temperaturas de hasta 10.000K. El nebulizador perfora el plasma y las moléculas de muestra son calentadas por conducción y radiación cuando atraviesan el plasma anular.

El plasma de Ar excita los átomos presentes en la muestra a un estado M^+ . Conociendo la temperatura en el canal central y los valores de las primeras energías de ionización, se sabe que la mayoría de los elementos se ionizarán y aquellos átomos con valores inferiores a 10 eV lo harán en más de un 50%. Es decir el Ar es una fuente de ionización eficiente (Fernández, 2004).



Figura 3.14a. Inspección interna de equipo ICP-MS (Tomado de <http://www.directindustry.es>, 2017).

3.4.2. Espectroscopia Óptica de Emisión atómica con ICP

Esta técnica es análoga al principio de ICP-MS y sus componentes son casi iguales entre ambos equipos. En general espectrómetro óptico se compone de un sistema de succión o entrada de la muestra, una fuente de excitación para provocar la emisión de espectros (ICP), un monocromador, encargado de la separación en sus diferentes longitudes de onda de la luz producida, un detector que recibe los fotones previamente separados y un procesador que toma corrientes del detector y las digitaliza para su interpretación (Boss, 1999).



Figura 3.14b. Inspección interna de equipo ICP-OES (Tomado de <http://www.speciation.net>)

Curva de Calibración

Para cuantificar los elementos presentes se realiza una curva gráfica en el que las muestras son comparadas directamente con la interpolación de las respuestas efectuadas por los estándares de referencia. Para ello, se requieren soluciones estándares madre con concentración conocida que al ser diluidos se obtienen menores concentraciones conocidas que determinarán la curva de calibración de los diferentes analitos que contiene. La curva de calibración se determina a diferentes concentraciones (mg/L).

La dilución se lleva a cabo con base al siguiente cálculo para todas las concentraciones deseadas:

$$C_1V_1=C_2V_2 \dots \text{ec. (2)}$$

Instrumentación

Se realizó un análisis preliminar en el departamento de Metalurgia con ayuda de un Perkin Elmer 4300 ICP-OES, posteriormente se analizó la química en Canadá, en los laboratorios de ActLabs en donde se utilizó un Perkin Elmer Sciex ELAN 6000 ICP-MS (ICP-MS). Los equipos de ICP-MS e ICP-OES cuentan con un software (WinLab32) en el cual se pueden controlar todas las variables presentes en nuestra medición. Algunos de sus componentes son el nebulizador, antorcha de cuarzo, bomba peristáltica, cámara de rocío, potencióstato, entre otros.

3.4.3. Metodología de Análisis para talcos

Se molturaron los talcos de Puebla y Oaxaca con ayuda de un mortero de porcelana para llegar a obtener partículas de tamaño inferior a 50µm, mientras que los talcos comerciales se dejaron con la granulometría de maquilado. Se guardaron en una bolsa Ziploc por separado con su respectiva identificación, para no correr riesgo de contaminarse al momento del envío.

Se emplearon dos paquetes diferentes para el análisis químico elemental como se presenta a continuación:

a) Metaborato de Litio/Fusión Tetraborato – ICP-OES e ICP-MS

La muestra fundida se diluye y se analiza por Perkin Elmer Sciex ELAN 6000 ICP-MS. Se analizan tres bloques y cinco controles (tres antes del grupo de muestras y dos después) por grupo de muestras. Los duplicados se fusionan y se analizan cada 15 muestras. El instrumento se recalibra cada 40 muestras.

Tabla 3.1. Elementos de seguimiento y límites de detección (ppm)

Elemento	Detección Límite	Detección Máxima	Reportado por	Elemento	Detección Límite	Detección Máxima	Reportado por
Ag	0.5	100	ICP/MS	Nd	0.05	2,000	ICP/MS
As	5	2,000	ICP/MS	Ni	20	10,000	ICP/MS
Ba	3	500,000	ICP/OES	Pb	5	10,000	ICP/MS
Be	1	-	ICP/MS	Pr	0.01	1,000	ICP/MS
Bi	0.1	2,000	ICP/MS	Rb	1	1,000	ICP/MS
Ce	0.05	3,000	ICP/MS	Sb	0.2	200	ICP/MS
Co	1	1,000	ICP/MS	Sc	1	-	ICP/MS
Cr	20	10,000	ICP/MS	Sm	0.01	1,000	ICP/MS
Cs	0.1	1,000	ICP/MS	Sn	1	1,000	ICP/MS
Cu	10	10,000	ICP/MS	Sr	2	10,000	ICP/OES
Dy	0.01	1,000	ICP/MS	Ta	0.01	500	ICP/MS
Er	0.01	1,000	ICP/MS	Tb	0.01	1,000	ICP/MS
Eu	0.005	1,000	ICP/MS	Th	0.05	2,000	ICP/MS
Ga	1	500	ICP/MS	Tl	0.05	1,000	ICP/MS
Gd	0.01	1,000	ICP/MS	Tm	0.005	1,000	ICP/MS
Ge	0.5	500	ICP/MS	U	0.01	1,000	ICP/MS
Hf	0.1	1,000	ICP/MS	V	5	10,000	ICP/OES
Ho	0.01	1,000	ICP/MS	W	0.5	5,000	ICP/MS
In	0.1	200	ICP/MS	Y	0.5	10,000	ICP/MS
La	0.05	2,000	ICP/MS	Yb	0.01	1,000	ICP/MS
Lu	0.002	1,000	ICP/MS	Zn	30	10,000	ICP/MS

Aunque la técnica está destinado principalmente a muestras no mineralizadas, se pueden analizar muestras mineralizadas. Sin embargo, los datos pueden ser semicuantitativos para elementos calcófilos (Ag, As, Bi, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, W y Zn).

Una muestra de 1 g se disuelve con agua regia y se diluye a 250 ml volumétricamente. Los materiales de referencia internacionales apropiados para los metales de interés se digieren al mismo tiempo. Las muestras y los estándares se analizan en una ICP-MS simultáneo y secuencial de la ceniza (talco) de *ThermoJarrell-Ash*. (2).

El ICP-MS es utilizado para la detección de elementos mayores, menores y traza, mientras que el ICP-OES para elementos como el bario, estroncio y vanadio.

b) Metaborato de Litio/Fusión Tetraborato– ICP-OES

Se preparan muestras y se analizan en un sistema discontinuo. Cada lote contiene un método reactivo en blanco, material de referencia certificado y un 17% de repeticiones. Las muestras se mezclan con un flux de metaborato de litio y tetraborato de litio (fundente) y se fusionan en un horno de inducción. La masa fundida se vierte inmediatamente en una solución de ácido nítrico al 5% que contiene un patrón interno y se mezcla continuamente hasta que se disuelve completamente (aproximadamente 30 minutos).

Los totales deben situarse entre el 98.5% y el 101%. Si los resultados son más bajos, las muestras son escaneadas para obtener metales básicos. Los totales bajos reportados pueden indicar que el sulfato está presente u otros elementos como Li que normalmente no se explora. Sin embargo, las muestras con totales bajos se re-fusionan automáticamente y se vuelven a analizar (2).

Tabla 3.2. Fusión ICP-MS e ICP-OES

Óxido	Detección Límite (%)
Al ₂ O ₃	0.01
CaO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.01
K ₂ O ₃	0.01
MgO	0.01
MnO	0.001
Na ₂ O	0.01
P ₂ O ₅	0.01
SiO ₂	0.01
TiO ₂	0.001
Pérdida por ignición	0.01

Tabla 3.3. Elementos de seguimiento

Elemento	Detección Límite (ppm)
Ba	2
Be	1
Sc	1
Sr	1
V	5
Y	1
Zr	2

3.5. Termogravimetría (TGA)

El objetivo principal de implementar esta técnica es complementar los datos de difracción de Rayos X, identificando los compuestos minerales menos cristalinos presentes en las muestras de talcos mediante transformaciones (cambio de masa), al ser sometida a temperaturas elevadas (1000°C). Se compararán las curvas obtenidas con curvas patrón del *Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice*, escrito por Viczian en el año 2013 y así poder dictaminar una caracterización de fases según el cambio de masa.

En un análisis termogravimétrico se registra, de manera continua, la masa de una muestra colocada en una atmósfera controlada, o bien en función de la temperatura, o bien en función del tiempo. En el primer caso (experimento dinámico) la temperatura de la muestra va aumentando de manera controlada (normalmente de forma lineal con el tiempo), y en el segundo (experimento isoterma), la temperatura se mantiene constante durante todo el experimento. La

representación de la masa o del porcentaje de masa en función del tiempo o de la temperatura se denomina curva de descomposición térmica.

Se representan estos dos tipos de perfiles termogravimétricas (Figura 3.12.):

- a) convencional
- b) diferencial.

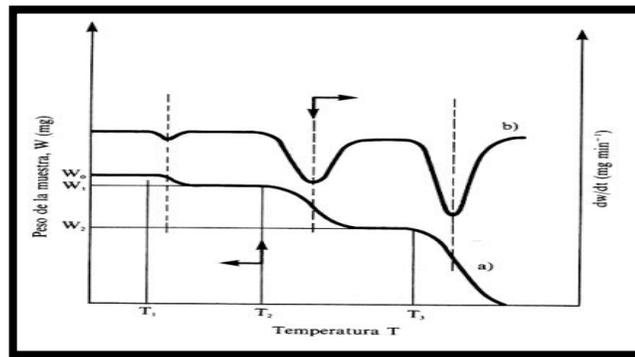


Figura 3.15. Curvas termogravimétricas diferencial (curva superior, eje derecho) y convencional (curva inferior, eje izquierdo); Tomada de: D.A. Skoog et al. Principios de Análisis Instrumental. Mc Graw Hill, Madrid (2002).

3.5.1. Fundamentos teóricos

La TG (de manera análoga al caso de otras técnicas de análisis térmico) se define como la técnica en que se mide el peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura mientras se somete la muestra a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica.

El programa de temperatura puede mantener la temperatura constante (isotermo), calentamiento a velocidad constante (el más habitual junto al isotermo), enfriamiento o cualquier combinación de ellos. Lo habitual es que se produzca una pérdida de peso por reacciones endotérmicas y exotérmicas, pero también es posible que haya una ganancia de peso. La atmósfera puede ser

estática o dinámica con un caudal determinado (también se emplean condiciones de presión reducida).

Es importante tener presente que los experimentos de Análisis Térmico se realizan en condiciones de no-equilibrio, las temperaturas de transición observadas para los diferentes procesos no son las T de transición de equilibrio. Ya se ha comentado que no se conoce de forma precisa la T de la muestra durante los experimentos de la misma forma que no se conoce el gradiente de T dentro de la muestra.

En la definición ya se comentó que en la TG los análisis se realizan en una atmósfera controlada. Aunque se pueden emplear condiciones de presión reducida lo habitual es rodear la muestra de una atmósfera inerte o reactiva.

Respecto al calibrado de la termobalanza, ésta se puede hacer mediante patrones con pérdida de peso que se produce a T conocida como el oxalato de Ca. Para realizar el calibrado de forma más precisa se usa el punto de Curie. El punto de Curie de un material ferromagnético se define como la T a la que un material ferromagnético se transforma en paramagnético, entonces la fuerza de interacción con un campo magnético se hace cero.

Una característica fundamental de la TG es que sólo permite detectar procesos en los que se produce una variación de peso tales como descomposiciones, sublimaciones, reducción, desorción, absorción, entre otros, mientras que no permite estudiar procesos como fusiones, transiciones de fase o reacciones.

Los procesos TG permiten estudiar la variación en el peso de la muestra y proporciona resultados que son intrínsecamente cuantitativos.

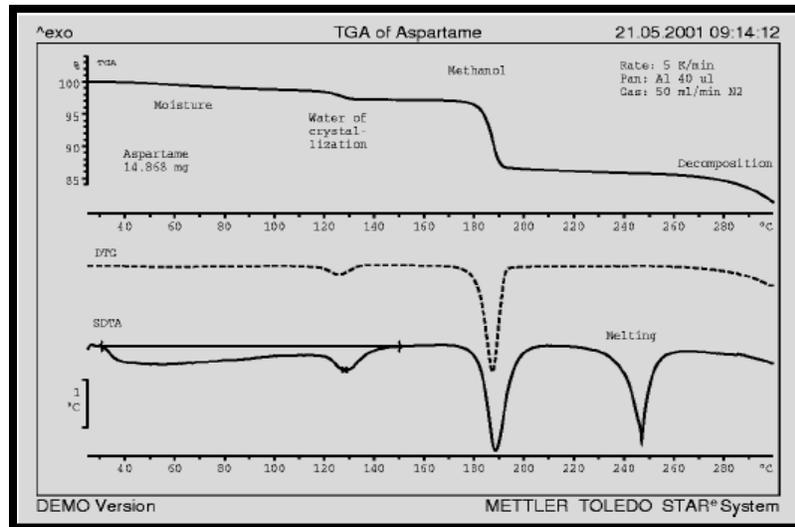


Figura 3.16. Ejemplo de comportamiento de edulcorante de nivel relativamente complicado (Tomado de *Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice*, 2013).

3.5.2. Instrumentación

La experimentación se llevó a cabo en el Laboratorio de DRX ubicado en el Instituto de Geología, con el equipo "Linseis STA PT 1600" (Figura 3.17.), haciendo uso del software Linseis Data Acquisition y Linseis Evaluation para programar la rutina de análisis y tratar los datos respectivamente.

El equipo de Análisis Térmico constan de:

- a) Una balanza analítica de bajo peso
- b) Un horno y crisol de alúmina
- c) Un sistema de gas de purga para proporcionar una atmósfera inerte (o algunas veces reactiva).
- d) Un equipo de cómputo para el control del instrumento, la adquisición y visualización de datos.
- e) Sistema de enfriamiento continuo.

Además, existe la opción de añadir un sistema para cambiar el gas de purga en las aplicaciones en las que este gas debe cambiarse durante el experimento.

Las mediciones termogravimétricas se realizan casi siempre con un programa de temperatura dinámico y una velocidad de 0.5 a 50 K/min, a menudo 15K/min. Para cubrir una posible desecación de la muestra, se usa una temperatura inicial de 25 o 30°C. Casi siempre hay que medir la descomposición de la muestra, por lo que la temperatura final es relativamente alta, en muestras orgánicas de 600°C y en las inorgánicas de 1000°C o más (Carrasco, 2013).

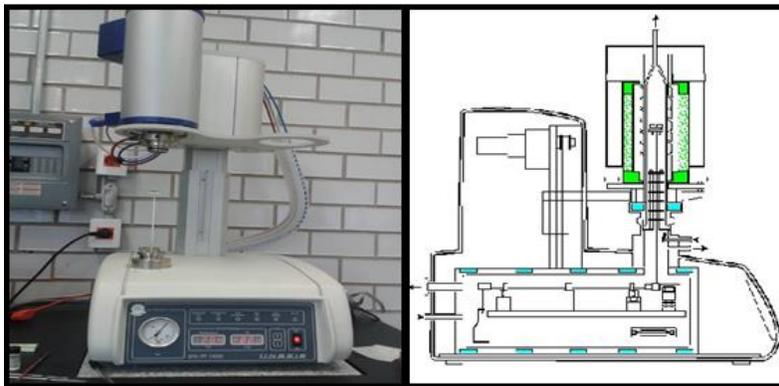


Figura 3.17. Equipo Linseis para análisis térmico diferencial, con su respectivo crisol de alúmina para fusión del material.

Condiciones y variables Experimentales

- ✓ Gradiente térmico de 15°C/min
- ✓ Calibración de la balanza
- ✓ Muestra de referencia (Oxalato de sodio), curva patrón de referencia.
- ✓ Experimento al vacío

Para todas las muestras de talco se trabajó la misma rutina térmica (15°C/min). El cual se propuso para alcanzar una temperatura de 1000°C y permanecer 15 minutos a esa temperatura y finalmente empezar un enfriamiento hasta llegar a temperatura ambiente con el mismo gradiente mencionado. El

proponer una temperatura máxima de trabajo de 1000°C fue con el objetivo de observar en la curva térmica la descomposición del mineral talco (850° a 970°C).

3.5.3. Metodología de Análisis para talcos

En general, la preparación de una muestra para realizar análisis termogravimétrico es un proceso fácil de llevar a cabo. Para los talcos de usos cosmético se conserva la granulometría que tiene de fábrica y para las muestras de yacimiento se moturan en un mortero de porcelana hasta llegar a un tamaño de polvo fino.

Para llevar a cabo el análisis termogravimétrico se llevaron los siguientes pasos:

1. Se abre el software "Evaluation Linses" y se tara la balanza, esperando un minuto aproximadamente.
2. Tarar y adicionar una cantidad relativamente pequeña de muestra, al crisol de alúmina, no mayor a 2500mg, el crisol quedará suspendido en el espacio de la muestra.

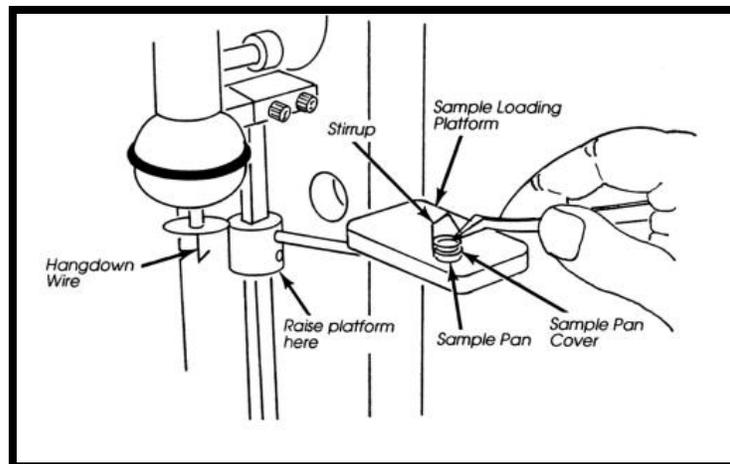


Figura 3.18. Esquema sobre la manipulación de muestra para situarla en el interior del horno de la balanza termogravimétrica (Manual de pruebas térmicas, 2009).

3. Se baja el casco de vacío y se ingresan los datos (peso, rutina y condiciones a la frontera).
4. Se verifica que el sistema de enfriamiento y controladores estén en óptimas condiciones.
5. Se inicia el análisis térmico obteniendo en tiempo real la curva de pérdida de masa de la rutina propuesta.

Análisis Cualitativo con ayuda de Software "Data Evaluation- Linseis"

Una vez obtenida la curva térmica se le realizará un tratamiento ajustando la curva obtenida con la curva de referencia. Posteriormente se suavizo con ayuda de un modelo matemático-estadístico "Savitzky-Golay", el cual elimina ruido y recalcula la curva para un mejor análisis. Es importante cortar la parte de la curva que es el enfriamiento ya que no existirá ninguna transformación física o química y nos propicia el no poder trabajar adecuadamente con los datos de interés.

El software te permite calcular la pérdida de masa en porcentaje del intervalo seleccionado, en este caso se seleccionó desde 25°C hasta 1000°C. Así mismo se tiene la facultad de etiquetar datos estadísticos en la zona que se prefiera.

Por último se deriva la curva para poder observar con mayor detalle las transformaciones o reacciones, con un máximo de 60 derivadas. Para este caso se implementaron 30 derivadas consecutivas que nos permiten observar de manera adecuada las transformaciones.

3.6. Infrarrojo de Onda Corta (SWIR)

Esta técnica electro-magnética nos ayudará a la identificación de los grupos funcionales (vibración de moléculas OH, H₂O y enlaces del catión como Al-OH, Mg-OH, Fe-OH (Hunt, 1987), para este caso de nuestro mineral. Se midió la reflectancia vs longitud de onda para los diferentes talcos (cosméticos y muestras naturales), para obtener espectros electromagnéticos que serán comparados y analizados entre sí. Los resultados obtenidos podrán ser comparados con los resultados de DRX, así también determinar fases que en alguna técnica no se pudieron percibir o de igual manera reiterar la presencia de alguna fase presente de la muestra.

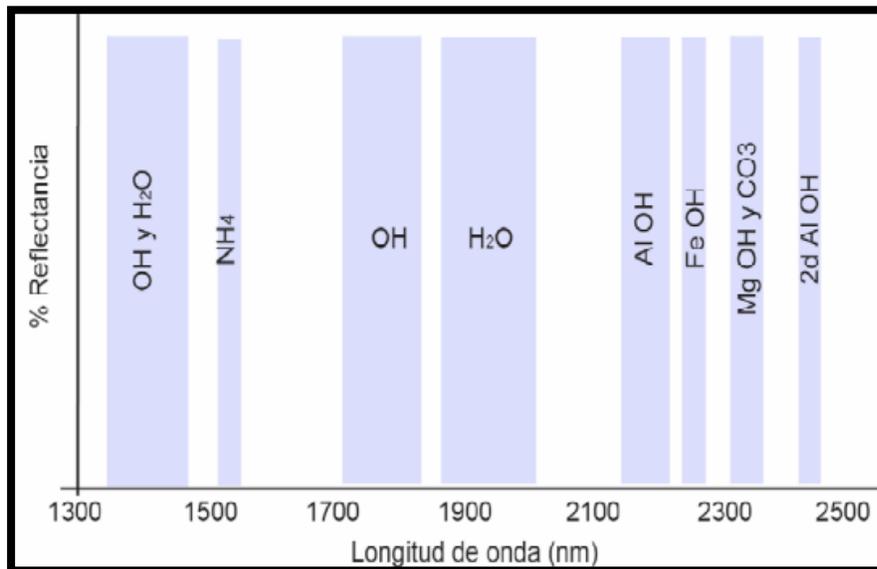


Figura 3.19. El campo de detección de los espectrómetros PIMA, abarca de 1300 a 2500 nm donde se pueden identificar patrones espectrales relacionados con la presencia de moléculas y radicales como OH, H₂O, AlOH, FeOH, MgOH y CO₃. En esta figura se muestran las principales zonas de absorción y el enlace iónico que representan (Modificado de Herrmann, et al., 2001).

3.6.1. Fundamentos teóricos

La espectrometría de infrarrojos (espectroscopia IV) es un tipo de espectrometría de absorción que utiliza la región infrarroja del espectro electromagnético. Como las demás técnicas espectroscópicas, puede ser utilizada para identificar un compuesto o investigar la composición de una muestra.

La espectrometría infrarroja se basa en el hecho de que los enlaces químicos de las sustancias tienen frecuencias de vibración específicas, que corresponden a los niveles de energía de la molécula. Estas frecuencias dependen de la forma de la superficie de energía potencial de la molécula, la geometría molecular, las masas atómicas y, posiblemente, el acoplamiento vibracional (Pérez, 2014).

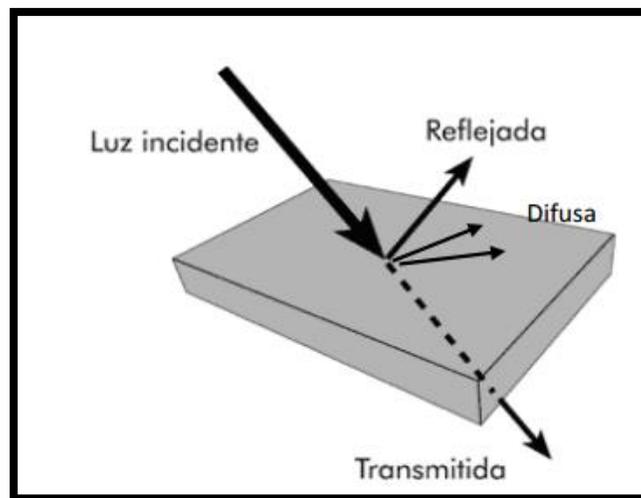


Figura 3.20. Comportamiento de un haz de luz al incidir en un cuerpo, una parte es reflejada, otra se propaga por el medio en forma difusa o transmitida. Los métodos espectrométricos (SWIR) miden las propiedades de aquella que ha sido reflejada (Tomado de Cruz E.,2008).

Si la molécula recibe luz con la misma energía de esa vibración, entonces la luz será absorbida si se dan ciertas condiciones (Pérez, 2014).

El Espectro electromagnético (Figura 3.21.) muestra en forma gráfica las zonas de energía, separadas por tipo y longitud de onda. Algunas de estas zonas son: Rayos gama ($10^{-4}\text{m} - 10^{-10}\text{ m}$), Rayos X ($10^{-12}\text{ m} - 10^{-8}\text{m}$), Rayos UV ($10^{-8}\text{m} - 10^{-7}\text{ m}$), la zona de luz visible ($350\mu\text{nm} - 740\mu\text{nm}$), Infra rojo ($0.74\mu\text{nm} - 1000\mu\text{m}$), también, el umbral de las micro-ondas, ondas de radio FM y AM etc.(Ostrooumov ,2006).

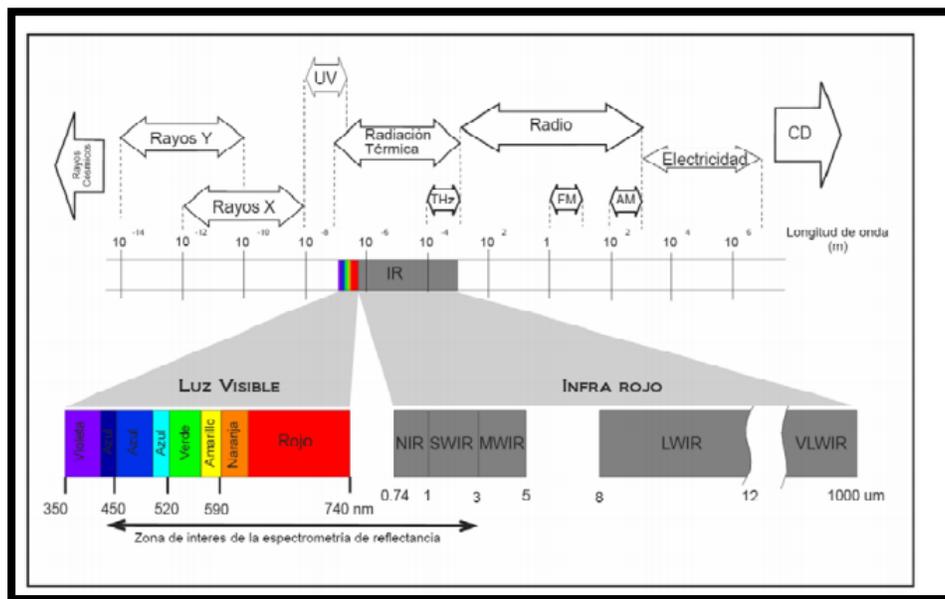


Figura 3.21. Muestra las zonas más importantes del espectro electromagnético, ampliando las de la luz visible e infra rojo (IR). El campo de detección para los espectrómetros actuales es de 400 – 2500 nm abarcando gran parte de la zona de la luz visible, cercana al infrarrojo (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR); (Tomado de Cruz E., 2008).

Con el fin de hacer medidas en una muestra, se transmite un rayo monocromo de luz infrarroja a través de la muestra, y se registra la cantidad de energía absorbida. Repitiendo esta operación en un rango de longitudes de onda de interés (por lo general, $4000-400\text{ cm}^{-1}$) se puede construir un gráfico. Al examinar el gráfico de una sustancia, un usuario experimentado puede obtener información sobre la misma.

Esta técnica funciona casi exclusivamente en enlaces covalentes, y se utiliza mucho en química, en especial en química orgánica. Se pueden generar gráficos bien resueltos con muestras de una sola sustancia de gran pureza. Sin embargo, la técnica se utiliza habitualmente para la identificación de mezclas complejas (Pérez, 2014). En Ciencias de la Tierra dicha técnica es utilizada frecuentemente en la identificación de filosilicatos (micas, arcillas y talcos principalmente).

Un haz de luz infrarroja es generado y dividido en dos rayos. Uno pasa por la muestra, y el otro por una referencia que suele ser la sustancia en la que está disuelta o mezclada la muestra. Ambos haces se reflejan de vuelta al detector, pero primero pasan a través del separador, que alterna rápidamente cuál de los dos rayos entra en el detector. Las dos señales se comparan y, a continuación, se registran los datos.

Hay dos razones por las que se utiliza una referencia:

- ✓ Evita que las fluctuaciones de energía eléctrica de la fuente afecten a los resultados finales, ya que tanto la muestra como la referencia se ven afectadas del mismo modo. Por esa misma razón, también impide la influencia de variaciones sobre el resultado final, debido al hecho de que la fuente no necesariamente emite la misma intensidad de luz para todas las longitudes de onda.
- ✓ Permite que los efectos del disolvente se anulen, porque la referencia es normalmente la forma pura del disolvente en el que se encuentra. Los rasgos de absorción según su forma y profundidad, pueden ser: agudos, dobles y agudos, simple abierto, dobles y abiertos, en forma de hombro, múltiples, etc (Pérez, 2014).

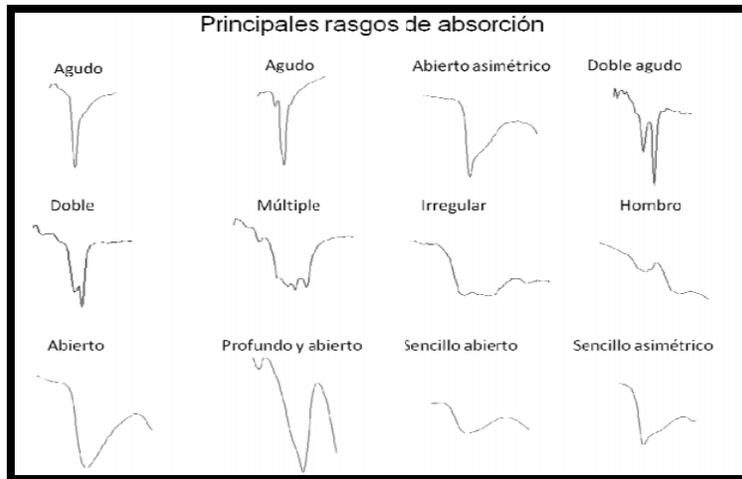


Figura 3.22. Se muestran los principales rasgos de absorción que pueden observarse en un espectro electro magnético (Tomado Cruz E.,2008).

3.6.2. Instrumentación

Se realizaron las mediciones del espectro infrarrojo en el Instituto de Geofísica, con ayuda del equipo OreXpress SM-3500 (SpectralEvolution) y el software analizador EZ-ID que permite identificar rápidamente los minerales de interés, que coincida contra información bibliográfica (como SpecMIN o USGS) existente, o crear su propia biblioteca personalizada.



Figura 3.23.Equipo Infrarrojo de onda corta

Condiciones y variables Experimentales

Las condiciones de trabajo empleadas para cada uno de los polvos y rocas fueron:

- Tensión voltaica de 7.5VDC
- Potencia de 23W
- Tiempo de escaneo 10 segundos

3.6.3. Metodología de Análisis de talcos

La preparación de la muestra puede ser de dos formas: la primera y más sencilla para las muestras de rocas de yacimientos es pasar la lámpara de infrarrojo sin molturar ésta misma, no garantizando homogeneidad. La segunda es molturar la muestra para crear homogeneidad y generar una superficie plana en donde se pueda incidir el haz de infrarrojo.

El procedimiento de análisis de talcos y de cualquier muestra es sencillo. Como primer paso se debe crear un espectro denominado blanco, el cual nos ayudará a tener una referencia y/o calibración del equipo. Este blanco se obtiene al incidir con la pistola de infrarrojo a una superficie de color blanco, por lo general siempre se utiliza un polímero de color blanco que tenga la propiedad de no ser translúcido.

La distancia entre el lente de la lámpara y la muestra no está establecida, pero entre más cerca se incida el infrarrojo a la muestra (sin hacer contacto) tendremos una mejor estadística, asegurando tener mediciones únicamente en la muestra de interés.

3.7. Granulometría Láser (Vía Húmeda)

Este análisis se utilizó para establecer la distribución del tamaño de partícula del polvo talco cosmético. Así también saber si tienen un control en la granulometría en cada uno de los productos, cuidando tener partículas de similar tamaño sin discrepancias considerables.

3.7.1. Fundamentos teóricos

La palabra LASER está armada con la primera letra de la oración inglesa Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que traducido al español quiere decir: *amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación (1)*.

El principio físico de un analizador de difracción, es bien conocido desde hace muchos años. Un sistema de producir figuras de difracción cuya diferencia con los métodos actuales empleados, se basa sólo en el foco luminoso.

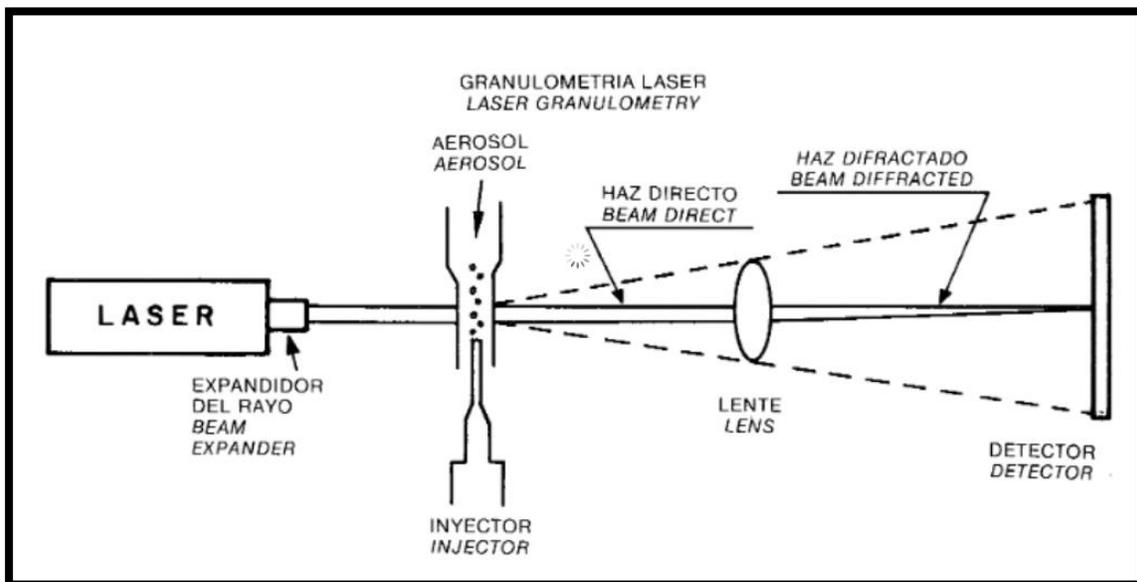


Figura 3.24. Esquema general del rayo láser (Tomado Cruz E., 2008)

Al hacer pasar un rayo láser monocromático expandido a través de una muestra pulverizada, en seco o en suspensión en un líquido no reactivo, la luz se difracta y se produce una figura de difracción de simetría radial en el plano focal de la lente. Si todas las partículas iluminadas son de tamaño único, el rayo láser formará una figura de difracción, cuya energía de distribución sigue la Ley de AIRY (Frías, 1988).

La intensidad luminosa de los anillos claros es directamente proporcional al número de partículas vistas con el haz luminoso, y los radios de los anillos son inversamente proporcionales al diámetro de las partículas (Russo, 2007).

Cuando las partículas tienen tamaños diferentes, la figura de difracción obtenida se basa en una superposición de imágenes de AIRY, cada una de las cuales corresponde a un diámetro diferente de partícula.

A partir de esta figura de difracción se obtiene la distribución granulométrica de una muestra, mediante una serie de tratamientos y aproximaciones matemáticas.

Cómo se genera el rayo láser

Se requiere un barra de rubí (posee en su interior átomos de cromo dispersos como impurezas), en ambos extremos debe tener superficies espejadas de las cuales una refleja el 100% de los rayos y la otra aproximadamente 95% llamada superficie semirreflectante.

La barra de rubí es estimulada por fotones generados por el destello de una lámpara o tubo fluorescente con características determinadas.

El rubí libera fotones monocromáticos para descargar la energía acumulada, un fotón estimula la formación de otro idéntico, produciéndose el fenómeno de clonación de los mismos.

Cuando estos fotones que se desplazan entre las dos superficies reflectantes superan una determinada cantidad de energía, son liberados a través de la superficie semirreflectante generando el rayo.

Se libera un rayo láser que tiene como característica el ser coherente y compuesto por luz monocromática (1).

En geología, este análisis granulométrico permite diferenciar diversas clases de minerales independientemente de su naturaleza química. A continuación se muestra la tabla que clasifica a los sedimentos por el tamaño de partícula:

Tabla 3.4. Clasificación de los suelos.

Partícula	Tamaño	
	mm	µm
Arcillas	0,002	0.24-4
Limos	0,002-0,06	4-62
Arenas	0,06-2	62-2000
Gravas	2-60	2000-60,000

(Tomado de Laboratorio de sedimentos y granulometría láser del Instituto CMyL de la UNAM, 2016)

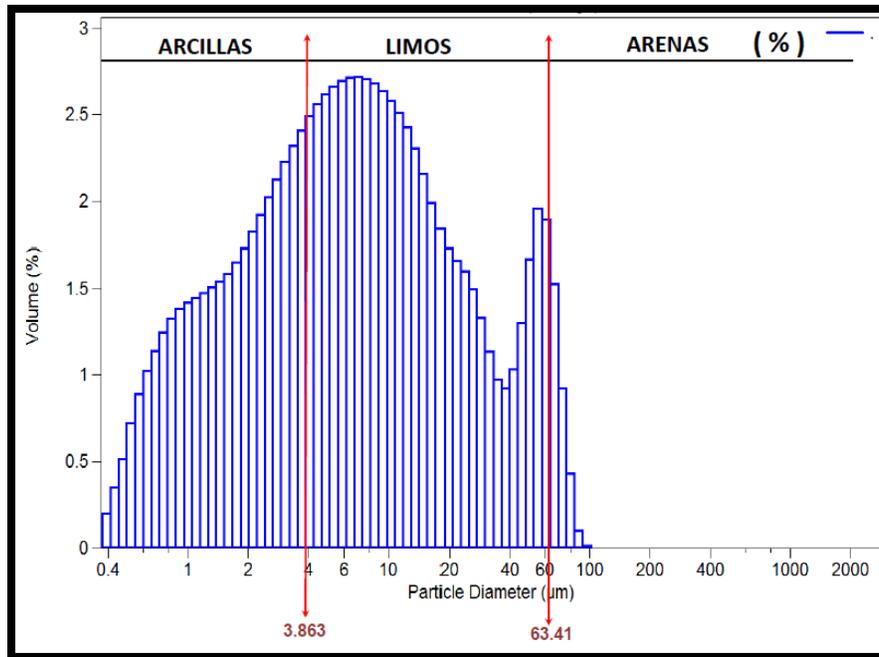


Figura 3.25. Distribución granulométrica de un talco con su respectiva clasificación de suelos (Tomado de Laboratorio de sedimentos y granulometría láser del Instituto CMYL de la UNAM, 2016)

3.7.2. Instrumentación

En el ICMYL de la UNAM se realizó el análisis granulométrico de polvos de talcos, utilizando un analizador BECKMAN COULTER modelo LS 230 (Figura 3.26.), de difracción láser que realiza en forma automática la distribución de tamaño de partículas, en un rango de 0.04 hasta 2000 µm.

Su fundamento consiste en medir la distribución del tamaño de partículas por difracción de luz láser. La luz emitida de un haz láser es usada como analizador y las partículas sedimentarias que lo atraviesan difractan la luz.

Este equipo ofrece una reproducibilidad incomparable (< 1 %), en los análisis del tamaño de partículas, se miden en un solo paso sin cambio de óptica o conocimiento modal de la muestra.



Figura 3.26. Equipo analizador de tamaño de partícula BECKMAN COULTER.

Condiciones y variables Experimentales

En esencia el equipo ya está automatizado para trabajar con las mismas condiciones para cualquier tipo de muestra, lo único que se puede modificar para el análisis es la agitación que va de 1rpm hasta 80 rpm, para el caso del talco se trabajó a un velocidad de 60 rpm para evitar la formación de conglomerados.

3.7.3. Metodología de Análisis para Talcos

Mediante este análisis se pretende conocer la distribución del tamaño de partícula del polvo talco cosmético. Así también saber si tienen los talcos un control en la granulometría en cada uno de los productos, cuidando tener partículas de similar tamaño sin discrepancias considerables.

La preparación de muestras para esta técnica consiste en agregan 20 gotas de dispersante como lo es el Hexametáfosfato de Sodio (Solución 2M) y agitar durante 2 minutos aproximadamente (Figura 3.27.). Se agrega el dispersante

porque el talco tiene la propiedad de repeler el agua (hidrofobia) y suele formar conglomerados que causarían una mala medición.

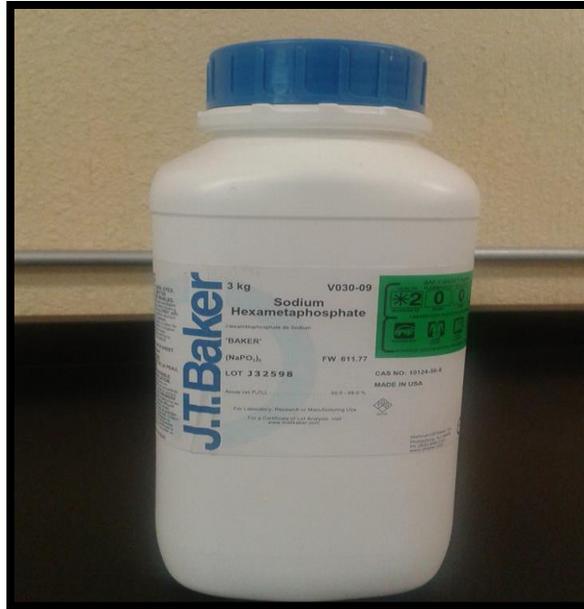


Figura 3.27. Dispersante - Hexametafosfato de Sodio (NaPO_3)₆

Una vez preparado el polvo de talco en solución con el dispersante se siguieron los siguientes pasos:

1. Se tomó una alícuota de la parte central del vaso de precipitado, previamente agitado.
2. Se calibró el equipo con curva patrón de agua, dejar esperar aproximadamente 3 minutos.
3. Se colocó gota por gota en la cavidad de entrada del equipo hasta entrar en el rango solicitado por el programa (entre el 8%-12%).
4. Se adquirieron los datos automáticamente en el software y se trabajan para realizar los gráficos correspondientes.
5. Por último se limpió nuevamente el equipo con agua y ayuda de una bomba de presión para ingerir la siguiente muestra.

Referencias

A. Bibliográficas

Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2015). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, International Thomson Editores, Sexta edición, pp. 65-69.

Carretero, M. I., & Pozo, M. (2009). *Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical industry: Part I. Excipients and medical applications*. Applied Clay Science, 46(1), 73-80.

Klein, C., Dutrow, B. D., & James Dwight, K. (2007). *The 23rd edition of the manual of mineral science: (after James D. Dana) (No. 549 KLE)*.

Wendlandt, W. W. (1974). *Thermal methods of analysis*. Wiley-Interscience. New York.

B. Hemerográficas (artículos)

Boss, C. B., & Fredeen, K. J. (1999). *Concepts, instrumentation and techniques in inductively coupled plasma optical emission spectrometry*. Norwalk: Perkin Elmer.

Carrasco, L., & Isabel, M. (2013). *Estudio de adiciones de bismuto en aleaciones zinc-aluminio*.

Crawford, N. M., Smith, M., Bellissimo, D., & Davis, R. W. (1988). *Sequence and nitrate regulation of the Arabidopsis thaliana mRNA encoding nitrate reductase, a metalloflavoprotein with three functional domains*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 85(14), 5006-5010.

Cruz E. Páez (2008). *Espectrometría de reflectancia (SWIR), aplicada para mapeo de alteración*. Proyecto La India, Distrito minero Mulatos.

Fernández R. (2004), *La técnicas de plasma-masas (ICP-MS)*, Seminario.

Frías, M., Luxán, M. P. D., & Sánchez de Rojas, M. I. (1988). *Espectrometría de difracción por rayos láser*.

Herrmann, W., Blake, M., Doyle, M., Huston, D., Kamprad, J., Merry, N., & Pontual, S. (2001). *Short wavelength infrared (SWIR) spectral analysis of*

hydrothermal alteration zones associated with base metal sulfide deposits at Rosebery and Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland. Economic Geology, 96(5), 939-955.

Hunt, E. R., Rock, B. N., & Nobel, P. S. (1987). *Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance.* Remote sensing of environment, 22(3), 429-435.

Ostrooumov, M. (2006). *Avances recientes de espectrometría Infrarroja en la Mineralogía Avanzada.* Boletín de Mineralogía, 17(1), 97-107.

Renau-Piqueras, J., & Faura, M. (1994). *Principios básicos del microscopio electrónico de barrido.* Centro de Investigación. Hospital" La Fé", Sección de microscopía electrónica, Valencia, España.

Russo, D. (2007). *Stellar Aberration: the Contradiction between Einstein and Bradley.* Apeiron: Studies in Infinite Nature.

Wenk, H. R., & Bulakh, A. (2004). *Minerals: Their Constitution and Origin:-* Cambridge University Press.

Widmann, G. (2001). *Información TA*, pp. 1-4

C. Cibergráficas

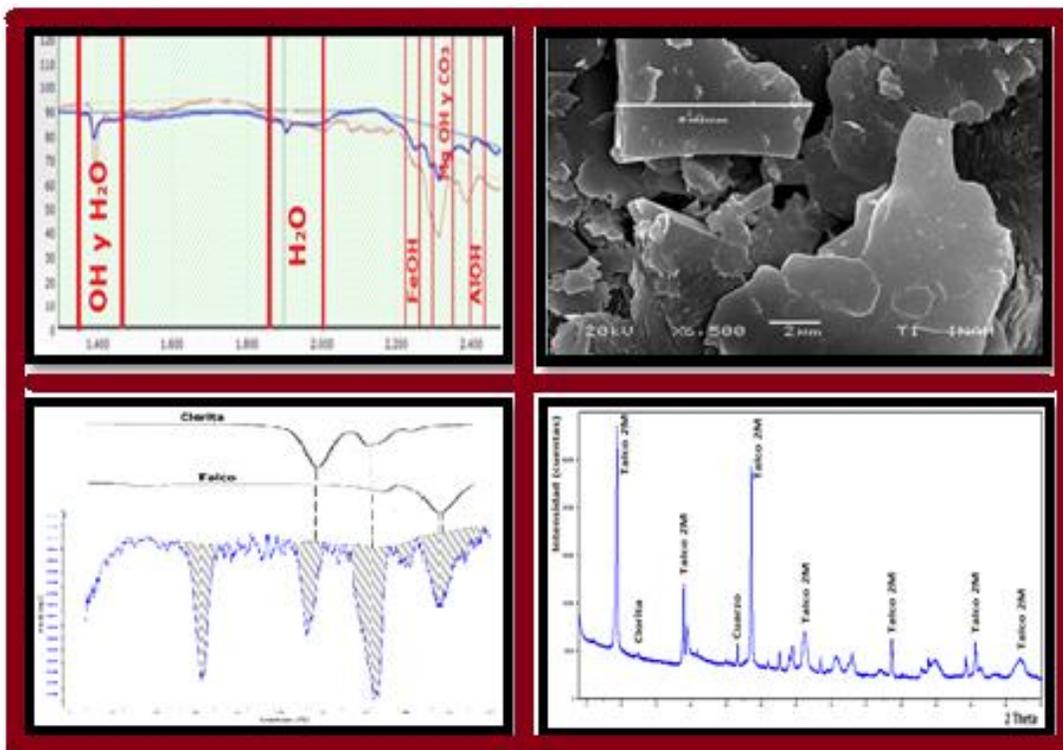
M.C. Josué Amílcar A. M. (2014).Cimav. [Citado en 2016 en <http://mty.cimav.edu.mx/xray/>]

Dictionary High Score Plus Online

Pérez Guillermo (2014) [Citado en 2016 en http://www.espectrometria.com/espectrometra_infrarroja]

(1) El rayo láser: ¿cómo se genera? Principios físicos y generalidades. [Citado en 2016 en <http://www.abcpedia.com/ciencia-tecnologia/como-se-genera-rayo-laser>].

(2) Actlabs. [Citado en 2016 en <http://www.actlabs.com/page.aspx?page=514&app=226&cat1=549&tp=12&lk=no&menu=64>].



CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Capítulo 4. RESULTADOS

ÍNDICE DE CONTENIDO

4.1. Analítica (DRX, MEB, ICP, ATD, AGL, SWIR) para talcos de yacimientos naturales..... 99

 4.1.1. Resultados por Difracción de Rayos X..... 99

 4.1.2. Microscopio Electrónico de Barrido y SEM..... 105

 4.1.3. Resultados por Análisis Térmogravimétrico..... 112

 4.1.4. Resultados por Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica 115

 4.1.5. Resultados de Granulometría Láser (Vía Húmeda)..... 118

 4.1.6. Resultados de Infrarrojo de Onda Corta (SWIR)..... 119

4.2. Analítica (DRX, ICP, ATD, AGL, SWIR) para talcos cosméticos..... 121

 4.2.1. Talcos de alta pureza (>85% de talco)..... 122

 4.2.1.1. Resultados por Difracción de Rayos X..... 123

 4.2.1.2. Resultados por Análisis Termogravimétrico..... 128

 4.2.1.3. Resultados por Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica 133

 4.2.1.4. Resultados de Granulometría Láser (Vía Húmeda)..... 136

 4.2.2. Talcos de baja pureza mineralógica..... 138

 4.2.2.1. Resultados por Difracción de Rayos X..... 139

 4.2.2.2. Resultados por Análisis Térmogravimétrico..... 145

 4.2.2.3. Resultados por Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica..... 150

 4.2.2.4. Resultados de Granulometría Láser (Vía Húmeda)..... 154

 4.2.2.5. Infrarrojo de Onda Corta..... 157

 4.2.3. Relación Precio-Calidad; alto y bajo contenido de talco..... 159

Referencias..... 164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Diagrama de tratamiento de resultados..... 98

Figura 4.2. Roca total del Municipio de Acatlán en el Estado de Puebla..... 99

Figura 4.3. Difractograma de mineral de yacimiento de Oaxaca..... 101

Figura 4.4. Difractograma de mineral de yacimiento de la región de Texcalapa-Puebla; Municipio Acatlán..... 102

Figura 4.5. Difractogramas sobrepuestos para talcos de yacimiento sin tratamiento térmico..... 103

Figura 4.6. Difractogramas sobrepuestos de talcos naturales a 850°C..... 103

Figura 4.7. Difractogramas sobrepuestos de talcos naturales a 850°C..... 104

Figura 4.8. Roca total de Oaxaca sin molturar vista con electrones retrodispersados a 500X..... 106

Figura 4.9. Pequeño trozo de talco Oaxaca, vista con electrones retrodispersados a 850X..... 107

Figura 4.10. Roca total de Oaxaca visto a 2,500X..... 108

Figura 4.11. Liberación de partículas de Oaxaca (ligera moturación), visto a 6,500X con electrones retrodispersados..... 109

Figura 4.12. Fragmento de talco de Puebla, observado macroscópicamente a 140X con electrones retrodispersados..... 109

Figura 4.13. Fragmento pequeño de la roca total de Puebla, visto a 650X con electrones retrodispersados..... 110

Figura 4.14. Roca total de Puebla, visto a 1,100X..... 110

Figura 4.15. Fragmento de roca total de Puebla, visto a 2,500X..... 111

Figura 4.16. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco de Oaxaca..... 113

Figura 4.17. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco de Puebla..... 114

Figura 4.18. Contenido de cromo en talcos naturales..... 115

Figura 4.19. Contenido de cobalto en talcos naturales..... 116

Figura 4.20. Contenido de níquel en talcos naturales..... 116

Figura 4.21. Contenido de arsénico en talcos naturales..... 117

Figura 4.22. Distribución de Partículas láser unimodal para Talco de Oaxaca....	118
Figura 4.23. Distribución de Partículas láser bimodal para Talco de Acatlán.....	118
Figura 4.24. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco "Oaxaca" con una correlación de 0.962 de talco con respecto al patrón USGS.....	119
Figura 4.25. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco "Puebla" con una correlación de 0.988 de talco con respecto al patrón USGS.....	120
Figura 4.26. Difractograma de talco para uso cosmético "Rexona", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.....	125
Figura 4.27. Difractograma de talco para uso cosmético "Maja", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.....	126
Figura 4.28. Difractograma de talco para uso cosmético "Active Feet", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.....	126
Figura 4.29. Difractograma de talco para uso cosmético "Heno de Pravia", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.....	127
Figura 4.30. Difractogramas sobrepuestos de talcos con alto contenido de talco. Curva color corresponde al patrón de Heno de Pravia, curva roja para Rexona, curva azul para Maja, curva negra para Maja.....	127
Figura 4.31. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Rexona.....	129
Figura 4.32. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Maja.....	129
Figura 4.33. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Active Feet.....	130
Figura 4.34. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Heno de Pravia.....	131
Figura 4.35. Curvas termogravimétricas sobrepuestas suavizadas para los talcos de alta pureza.....	132
Figura 4.36. Contenido de zinc.....	135
Figura 4.37. Distribución de Partículas láser bimodal para Rexona.....	136
Figura 4.38. Distribución de Partículas láser unimodal para Maja.....	136

Figura 4.39. Distribución de Partículas unimodal láser para Active Feet.....	137
Figura 4.40. Difractograma de talco para uso cosmético "O-Dolex".....	142
Figura 4.41. Difractograma de talco para uso cosmético "Olorex.....	142
Figura 4.42. Difractograma de talco para uso cosmético "Soriana.....	143
Figura 4.43. Difractograma de talco para uso cosmético "Hipermart".....	143
Figura 4.44. Difractograma de talco para uso cosmético "Max-O".....	144
Figura 4.45. Difractogramas sobrepuestos de muestras con bajo.....	144
Figura 4.46. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco O-Dolex.....	146
Figura 4.47. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Olorex.....	146
Figura 4.48. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Soriana.....	147
Figura 4.49. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Hipermart.....	148
Figura 4.50. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Max-O.....	149
Figura 4.51. Curvas termogravimétricas sobrepuestas suavizadas para los talcos con bajo contenido de talco.....	150
Figura 4.52. Contenido de plomo en talcos de uso cosmético.....	153
Figura 4.53. Contenido de estroncio en talcos de uso cosmético.....	153
Figura 4.54. Contenido de bario en talcos de uso cosmético.....	154
Figura 4.55. Distribución granulométrica unimodal para O-Dolex.....	154
Figura 4.56. Distribución granulométrica unimodal para Olorex.....	155
Figura 4.57. Distribución granulométrica bimodal para Soriana.....	155
Figura 4.58. Distribución granulométrica unimodal para Hipermart.....	156
Figura 4.59. Distribución granulométrica unimodal para Max-O.....	156

Figura 4.60. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco O-Dolex con una correlación de 0.941 de talco con respecto al patrón USGS..... 157

Figura 4.61. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco Olorex con una correlación de 0.931 de talco con respecto al patrón USGS..... 158

Figura 4.62. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco Hipermart con una correlación de 0.894 de talco con respecto al patrón USGS..... 158

Figura 4.63. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco Max-Ocon una correlación de 0.935 de talco con respecto al patrón USGS..... 159

Figura 4.64. Abundancia de lantánidos en los talcos naturales y comerciales.. 163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Clasificación de talcos.....	100
Tabla 4.2. Identificación y semicuantificación de fases con método RIR, muestras no orientadas.....	101
Tabla 4.3. Cálculo del Índice Morfológico.....	105
Tabla 4.4. Composiciones químicas teóricas y experimentales del talco y clorita de imagen 4.7., en roca total de Oaxaca.....	107
Tabla 4.5. Composiciones químicas teóricas y experimentales de talco y clorita de imagen 4.9., en roca total de Oaxaca.....	108
Tabla 4.6. Composiciones químicas teóricas y experimentales de talco y clorita de imagen 4.13., en roca total de Puebla.....	106
Tabla 4.7. Composiciones químicas teóricas y experimentales de talco y clorita de imagen 4.14., en roca total de Puebla.....	112
Tabla 4.8. Datos termodinámicos de las principales tipos de capas de los filosilicatos (Vicizian, 2013).....	112
Tabla 4.9. Pérdida de masa que se tuvo al calentar los talcos hasta 1000°C....	114
Tabla 4.10. Composición química y pérdida por Ignición (L.O.I.) de los talcos medidos en otros países y en México.....	117
Tabla 4.11. Análisis de distribución de partícula en talcos naturales.....	119
Tabla 4.12. Identificación de fases con diferentes técnicas empleadas.....	120
Tabla 4.13. Identificación y cuantificación de fases con método RIR, muestras no orientadas.....	123
Tabla 4.14. Características generales de las muestras.....	124
Tabla 4.15. Cálculo del Índice Morfológico en base a la relación entre el pico 002 y 004 (Holland & Murtagh 2000) y el grado de cristalinidad con respecto a los picos basales del patrón de difracción.....	128
Tabla 4.16. Pérdida de masa e identificación de compuestos minerales presente en talcos.....	131

Tabla 4.17. Análisis composicional de los óxidos o elementos mayores de los talcos..... 133

Tabla 4.18. Análisis Químico Elemental por ICP-MS..... 134

Tabla 4.19. Análisis Químico Elemental por ICP-OES..... 135

Tabla 4.20. Análisis de distribución de partícula en cosméticos con alto contenido de talco..... 137

Tabla 4.21. Identificación y cuantificación de fases con método RIR, muestras no orientadas..... 140

Tabla 4.22. Indicaciones y composición declarada en el envase..... 141

Tabla 4.23. Cálculo del Índice Morfológico en base a la relación entre el pico 002 y 004 (Holland & Murtagh 2000) y el grado de cristalinidad con respecto a los picos basales del patrón de difracción..... 145

Tabla 4.24. Pérdida de masa e identificación de compuestos minerales presente en talcos por Análisis termogravimétrico..... 149

Tabla 4.25. Cantidad de óxidos presentes en talcos comerciales..... 151

Tabla 4.26. Análisis elemental (ICP-MS) de muestras con bajo contenido de talco. Elementos sombreados de azul están presente en cantidades elevadas..... 151

Tabla 4.27. Análisis elemental (ICP-OES) muestras con bajo contenido..... 152

Tabla 4.28. Análisis de distribución de partícula en cosméticos con alto contenido de talco..... 157

Tabla 4.29. Comparación de composición de etiqueta contra las fases identificadas en DRX..... 160

Tabla 4.30. Identificación de fases con diferentes técnicas empleadas..... 161

Tabla 4.31. Relación entre fases identificadas (TGA), pureza de talco, cristalinidad, índice morfológico (DRX) y precio para talcos comerciales..... 163

Capítulo 4. RESULTADOS

En el siguiente diagrama se presenta un resumen de la metodología utilizada en el presente trabajo. Se trabajaron con un total de 11 muestras, 9 de uso industrial y 2 de roca total, y se examinaron con diversas técnicas como se muestra a continuación:

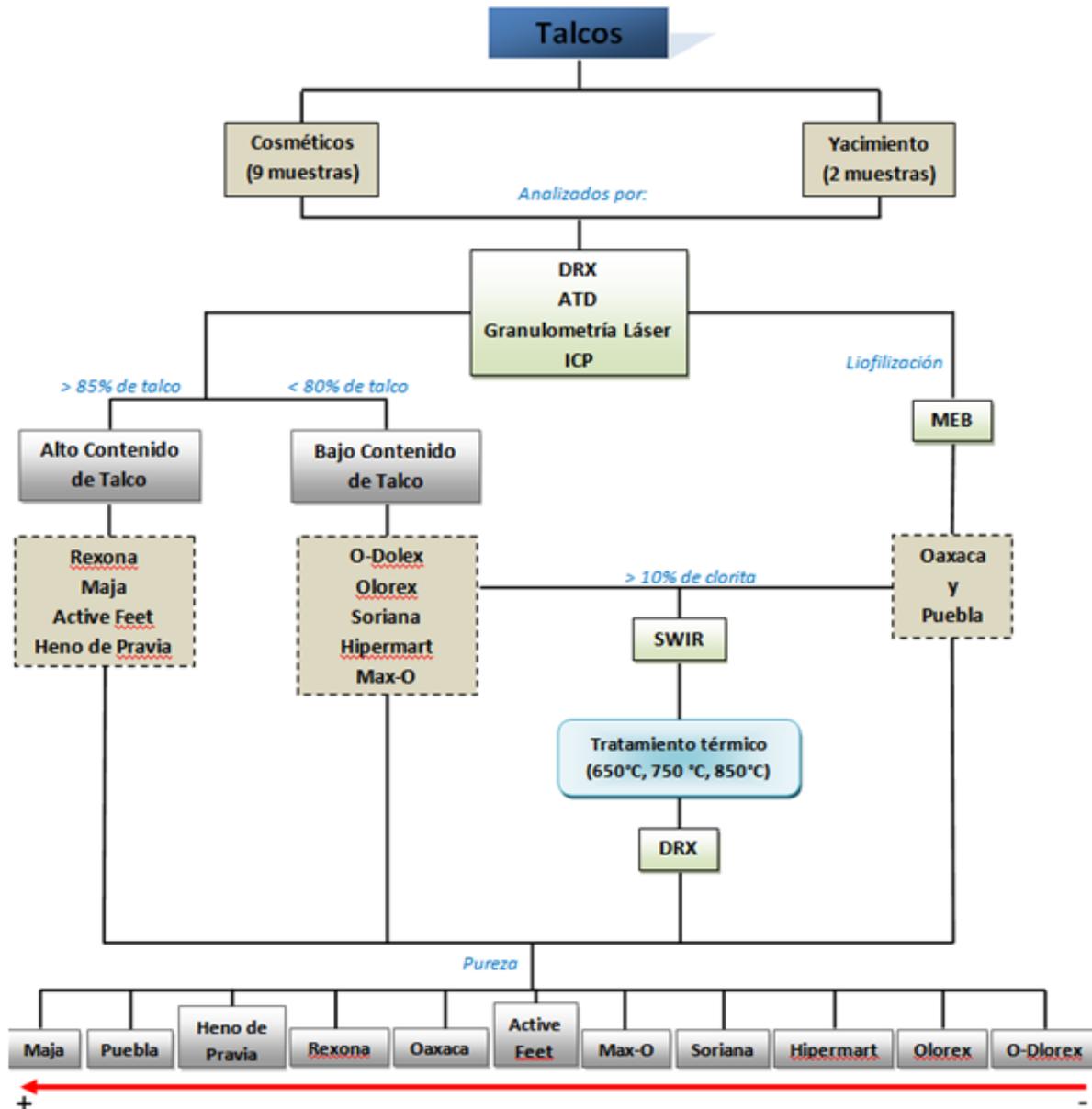


Figura 4.1. Diagrama de tratamiento de resultados de talcos cosméticos naturales.

4.1. Analítica (DRX, MEB, ICP, ATD, AGL, SWIR) para talcos de yacimientos naturales.

Para la elaboración del estudio se tomó una muestra representativa (aprox.500gr) de talcos de dos yacimientos minerales localizados respectivamente en los estados de Oaxaca y Puebla.

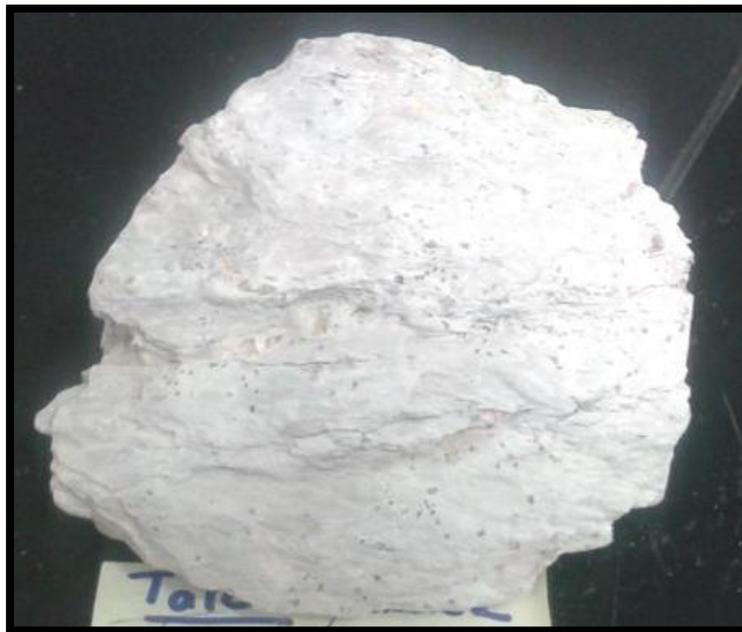


Figura 4.2. Roca total del Municipio de Acatlán en el Estado de Puebla.

4.1.1. Resultados por Difracción de Rayos X

Como primera etapa se analizaron ambas muestras con base al método de polvo por Difracción de Rayos X. Posteriormente se aplicó un tratamiento térmico a ambas muestras para eliminar la clorita y se volvieron a medir por DRX. Para el talco de Oaxaca que contiene un porcentaje considerable de clorita se programó una lectura de inspección en un rango de 0° a 14° en un escaneo continuo por pasos de 0.002° y un tiempo de integración de 50s por cada paso.

Las fases minerales detectadas y semicuantificadas por el método de RIR, con el software High Score fueron talco-2M, talco-1A y clorita. El término 1A y 2M se refieren a los politipos (polimorfos) que se pueden discriminar únicamente por el empaquetamiento de las capas tetraédricas respecto a la capa octaédrica. El politipo 2M es más cristalino y de mayor temperatura. El politipo 1A es de menor temperatura y en general es poco cristalino.

A continuación se presentan los difractogramas individuales y el comparativo (sobrepuesto) de las dos rocas totales. En el caso del talco de Oaxaca, se llevó a cabo una rutina lenta para identificar alguna fase como crisotilo, que no se llegó a apreciar por la presencia de clorita.

La clasificación que se le da a los talcos (Rodas, 2014) es según las fases identificadas y su abundancia composicional (proporción relativa) como a continuación se detalla.

Tabla 4.1. Clasificación de talcos

Talco Rosa	100% talco
Talco Blanco	98% de talco y <2% de clorita
Talco Negro	85% de talco y <15% de clorita y <1% de materia orgánica no grafitizada
Talco Verde	60% de talco y <40% de clorita

Mineralógicamente los talcos de Oaxaca y Puebla deben clasificarse como talcos verdes. Su contenido de talco no es tan bajo para las muestras de Oaxaca y Puebla (89% y 96% respectivamente), y no contienen materia orgánica, por lo que son talcos verdes pero próximos a los talcos blancos ya que son de alta pureza (los talcos verdes y blancos son los más explotados). Sabemos que el material orgánico es difícil a veces de detectar en DRX, pero se confirma que los contenidos en materia orgánico de ambos talcos son muy bajos con los resultados

de ICP-MS/OES, el color bastante blanco de las muestras y el análisis EDS que más adelante se presenta.

Tabla 4.2. Identificación y semicuantificación de fases con método RIR, muestras no orientadas.

MUESTRA	FASES IDENTIFICADAS	FICHA PDF	Semicuant (RIR)	Tipo de talco
Talco Oaxaca	1. Talco1A: $H_4Mg_3O_{12}Si_4$ 2. Clorita: $(Mg_5Al)(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$ 3. Talco 2M: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	[98-002-6850; 98-006-5119; 98-002-6741] de ICSD	1. 81% 2. 11% 3. 8%	Talco verde
Talco Puebla	1. Talco-1A: $H_4Mg_3O_{12}Si_4$ 2. Talco 2M: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 3. Clorita: $(Mg_5Al)(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$ 4. Dolomita: $CaMgO_6$	[98-002-6850; 98-006-5119; 98-002-6741; 98-004-0676] de ICSD	1. 82% 2. 7% 3. 4% 4. 7%	Talco verde

Cabe mencionar que el polimorfo "1A" predomina en ambos talcos, lo que nos dice que la formación del mineral se llevó a cabo a una temperatura intermedia y en forma desordenada, causando una falta de cristalinidad.

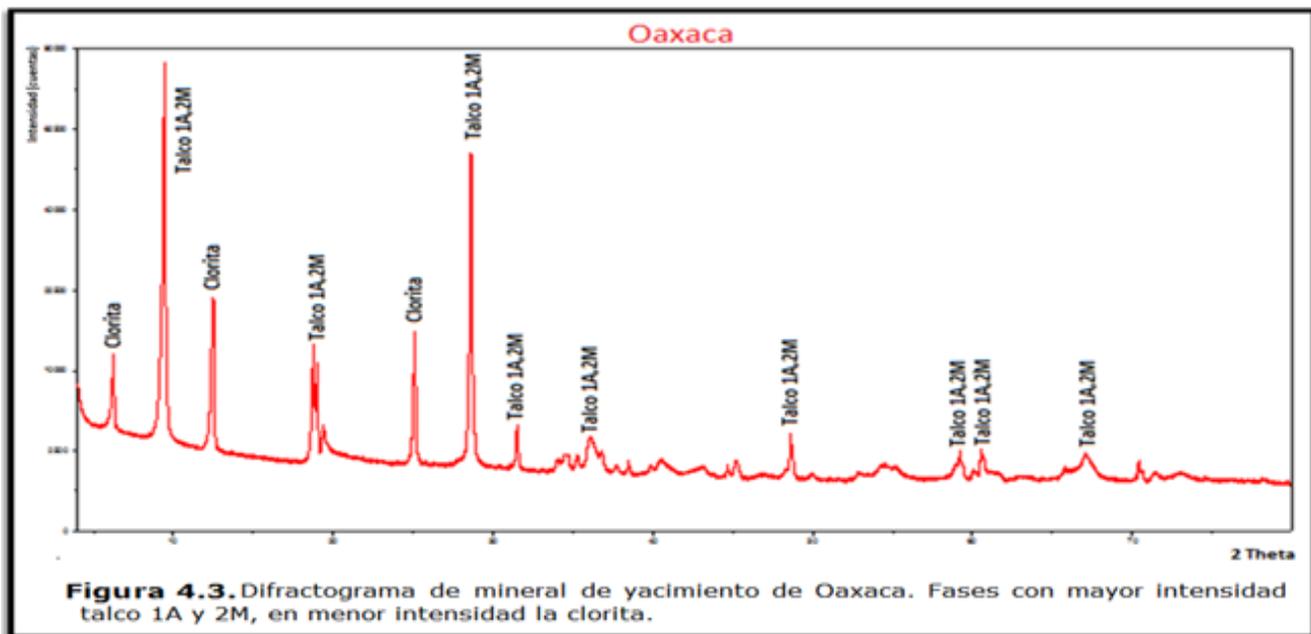
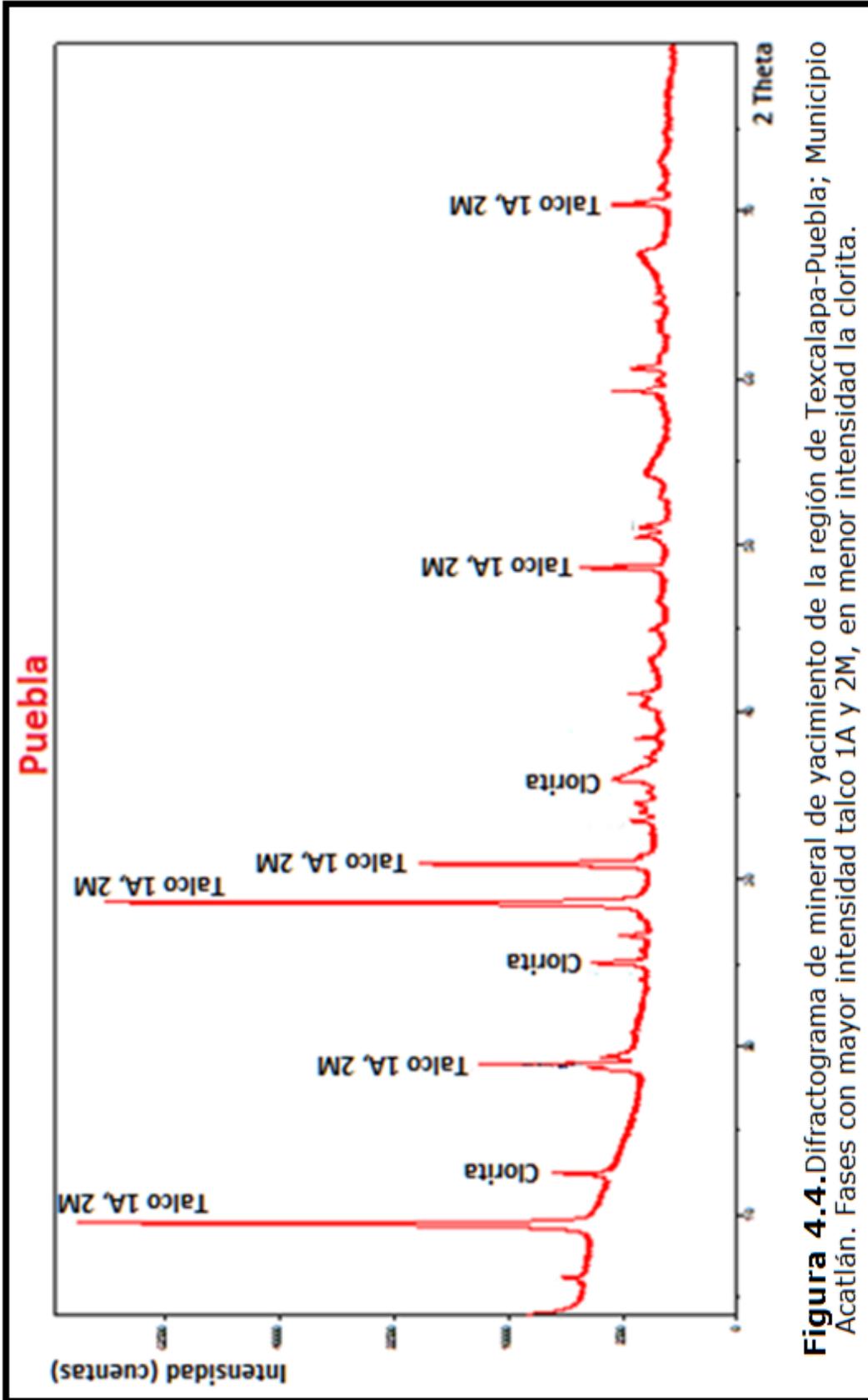


Figura 4.3. Difractograma de mineral de yacimiento de Oaxaca. Fases con mayor intensidad talco 1A y 2M, en menor intensidad la clorita.



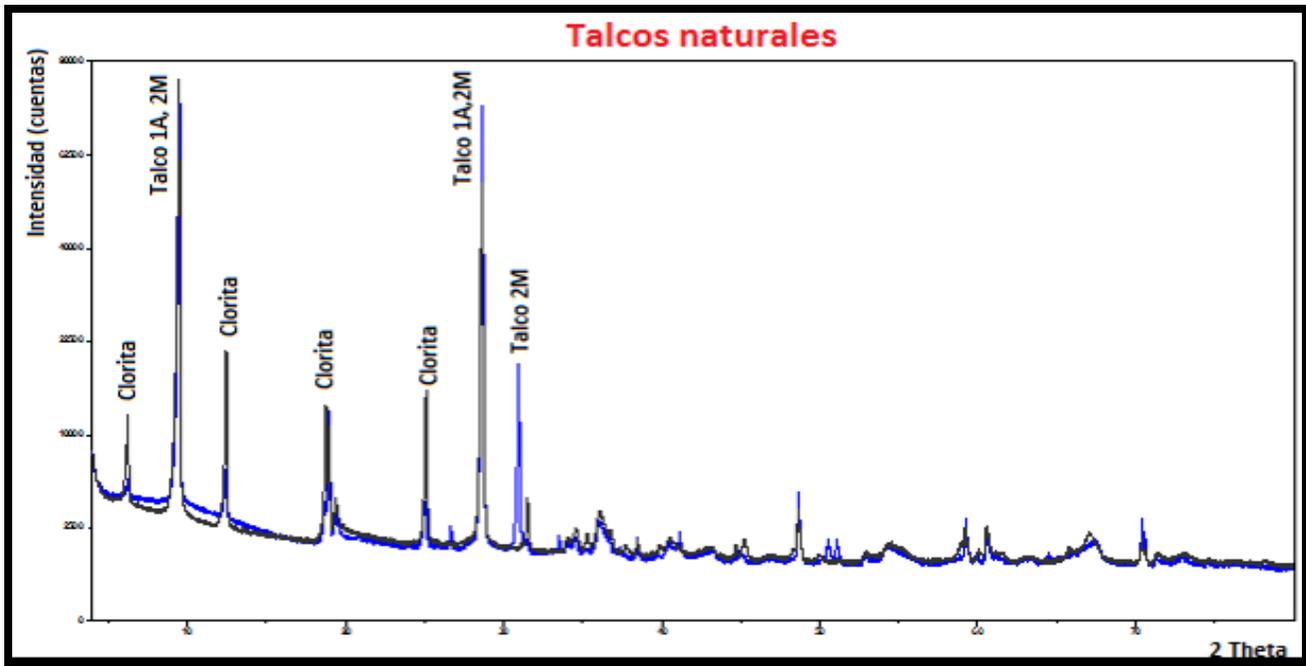


Figura 4.5. Difractogramas sobrepuestos para talcos de yacimiento sin tratamiento térmico.

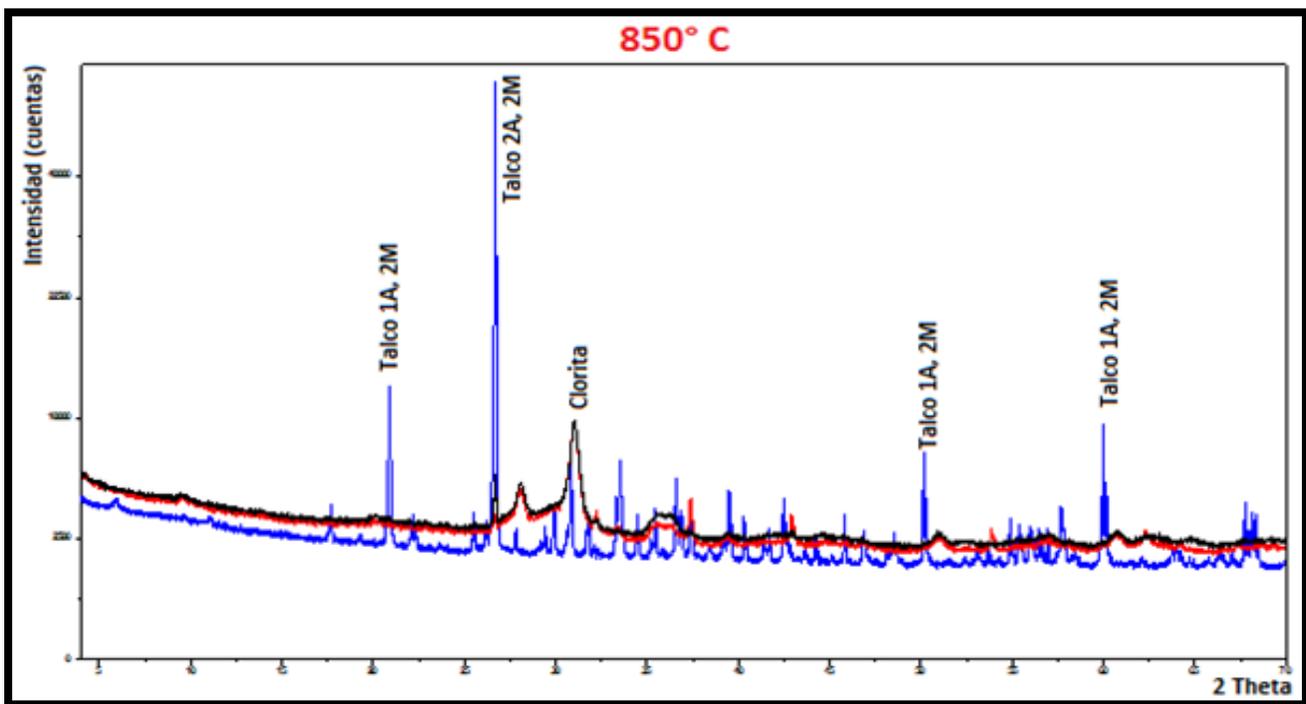


Figura 4.6. Difractogramas sobrepuestos de talcos naturales a 850°C, curva roja talco y curva azul (rutina lenta) del talco de Oaxaca, curva negra del talco de Puebla.

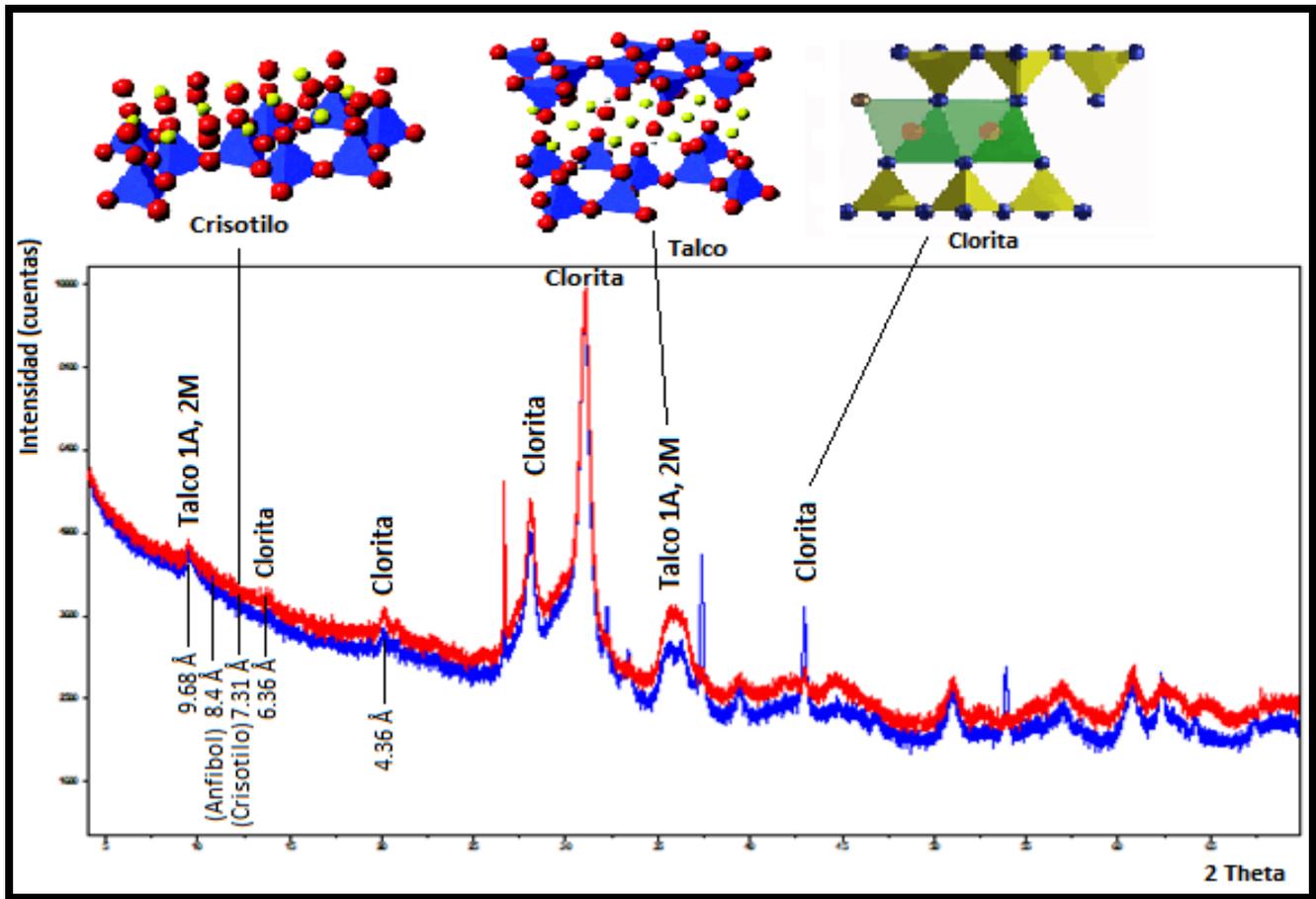


Figura 4.7. Difractogramas sobrepuestos de talcos naturales a 850°C durante 3 horas.

La curva roja representa el talco de Oaxaca y curva azul talco de Puebla. Las fases presentes son talco 1A-2M y clorita. Se descarta la presencia de crisotilo que tiene su pico de mayor intensidad en 7.31 Å, ni la presencia de anfíboles (8.4 Å) en proporción superior a 0.5%.

Un índice morfológico de DRX de talco, calculado a partir de los datos XRD, relaciona numéricamente el plano del talco a sus intensidades de pico del patrón DRX. El índice se obtuvo utilizando la siguiente ecuación:

Índice Morfológico: $I_{004}(I_{004}+2I_{020})^{-1}$ donde I es la intensidad del pico.

El grado de cristalinidad que se determinó con respecto a los picos basales del patrón de difracción de las muestras pulverizadas de roca total, posteriormente se calculó el índice morfológico en base a la relación entre el pico 020 y 004 (Holland & Murtagh 2000).

Tabla 4.3. Cálculo del Índice Morfológico.

	CRISTALINIDAD	I(020)	I(004)	M	ÍNDICE MORFOLÓGICO (HOLLAND & MURTAGH 2000)
OAXACA	0.1568	5233	1207	7647	0.684320649
PUEBLA	0.1146	7028	1058	9144	0.768591426

La idea de medir el índice morfológico es para ver si la DRX nos puede ayudar en la descripción de la morfología de manera indirecta sin tener que medir todas las muestras por SEM y MEB que es un método lento, caro y que no se tiene acceso con facilidad.

El índice morfológico calculado nos dice que entre más próximo a 1 se encuentre tendrán mayor ordenamiento en los cristales y una formación de cristales equidimensionales. El efecto de la presencia del polimorfo 1A se ve reflejado en el índice morfológico, aunque cabe mencionar que el valor del índice morfológico calculado es bastante aceptable para ambos talcos.

4.1.2. Microscopio Electrónico de Barrido y SEM

El segundo paso que se siguió fue el escaneo tridimensional de la imagen para medir el tamaño de partícula y visualizar su morfología mediante la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido con las condiciones mencionadas en el capítulo anterior, así mismo, se obtuvo un análisis estándar localizado con el SEM para cuantificar de manera elemental (EDS). Con el objetivo de obtener una imagen en la cual se aprecie su morfología y tamaño de partícula, se orientó un trozo de la roca total de tal forma para conseguir la mejor toma. También se realizó una observación en la muestra pulverizada, en donde en base a la morfología de las partículas se clasificaron en: partículas grandes, pequeñas y agregados.

Imágenes y EDS del talco de Oaxaca

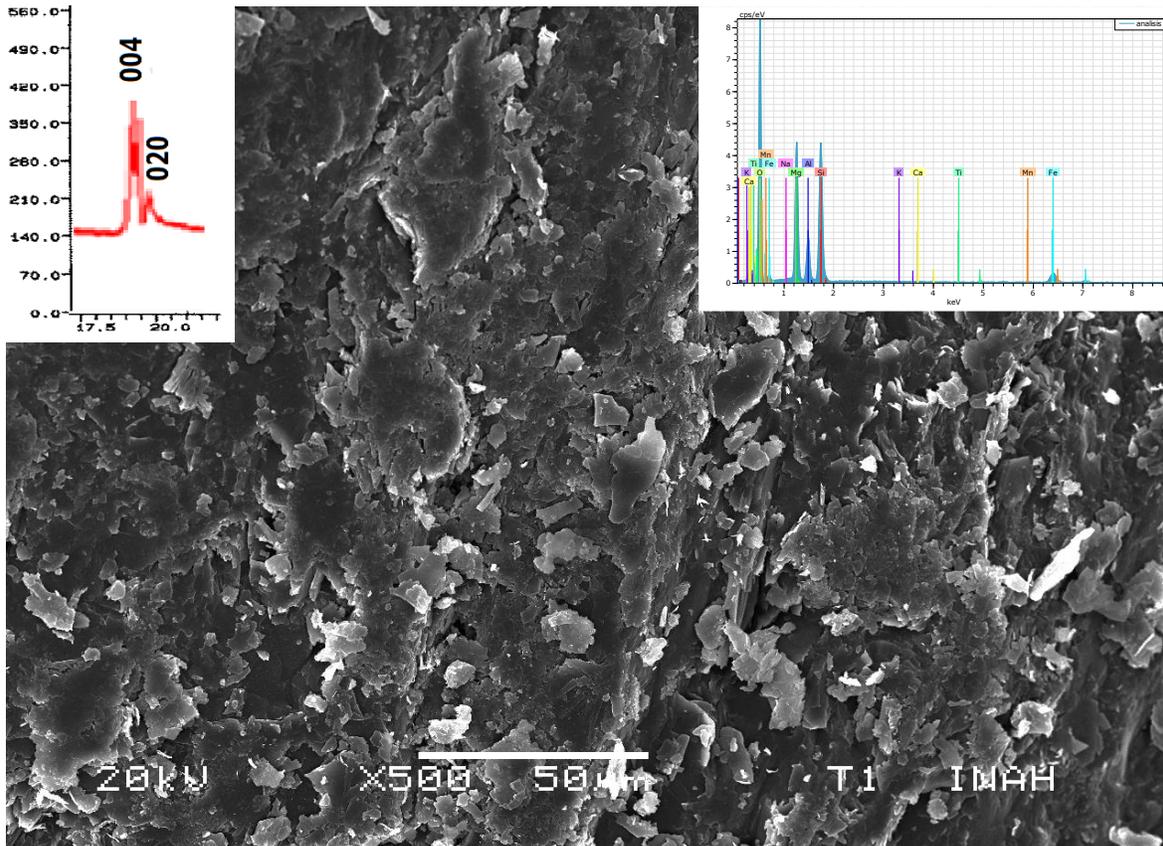


Figura 4.8. Roca total de Oaxaca sin molturar vista con electrones retrodispersados a 500X.

Se observan partículas con diversos tamaños, predominando partículas pequeñas (<20µ). Se incluye en la parte superior su gráfico de análisis EDS correspondiente a la parte central de imagen. No se obtuvo una imagen clara que permitiera ver los límites y superposiciones de partículas, aunque se liofilizo la muestra, seguramente el contenido de partículas polares (agua para este caso) residuales, originan una distorsión (descarga no ordenada de electrones) de la imagen, donde se aprecia el espectro característico de sus componentes (Ca, Na, K, Al, Si, O, Mg, Fe). Se anexa del lado izquierdo superior los picos del patrón de DRX con el que se calculó el índice morfológico. Se anexa en la parte superior izquierda los picos del patrón de DRX con el que se calculó el índice morfológico.

El EDS, que es un patrón de difracción de rayos X en una zona puntual de imagen, para estos casos fue en la parte central de la imagen. En la siguiente tabla se compara la composición de la clorita y talco obtenida en el web Mineral con la composición obtenida en el análisis EDS.

Tabla 4.4. Composiciones químicas teóricas y experimentales del talco y clorita de imagen 4.7., en roca total de Oaxaca.

Óxidos	Composición teórica del talco	Composición teórica de la clorita	Composición real	Observaciones
SiO ₂	63.5	30.28	42.95	El contenido de óxido de hierro casi igual al de la clorita, de igual forma los valores de los óxidos restantes nos dicen de la existencia de talco con clorita, al tener composiciones intermedias entre ambos minerales.
MgO	31.7	25.39	29.14	
H ₂ O	4.8	12.11	-	
FeO	-	15.09	15.63	
Al ₂ O ₃	-	17.13	12.28	

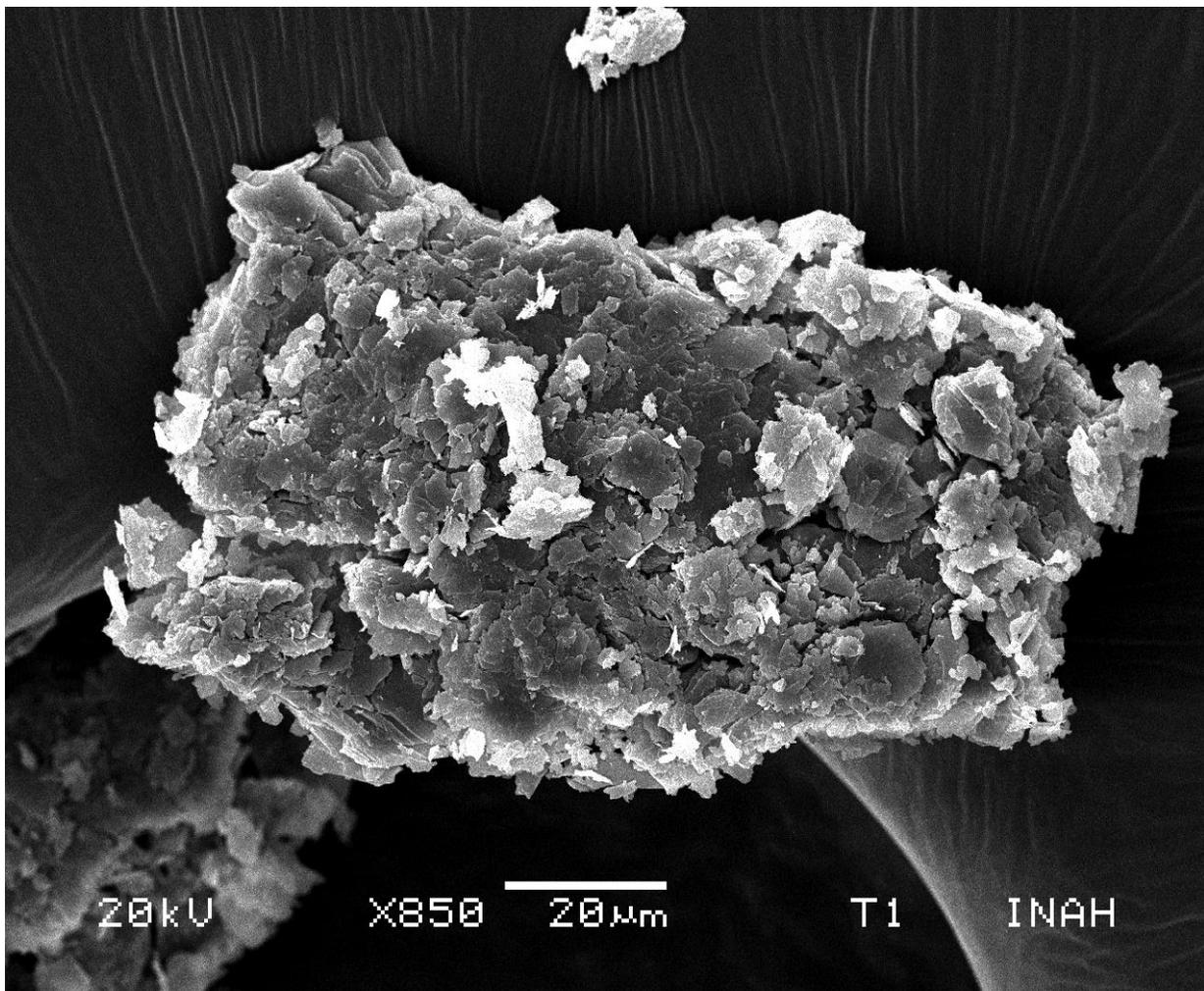


Figura 4.9. Pequeño trozo de talco Oaxaca, vista con electrones retrodispersados a 850X. Se observa un agregado de partículas con láminas de tamaño heterogéneo (<20µ en su mayoría) y desordenadas.

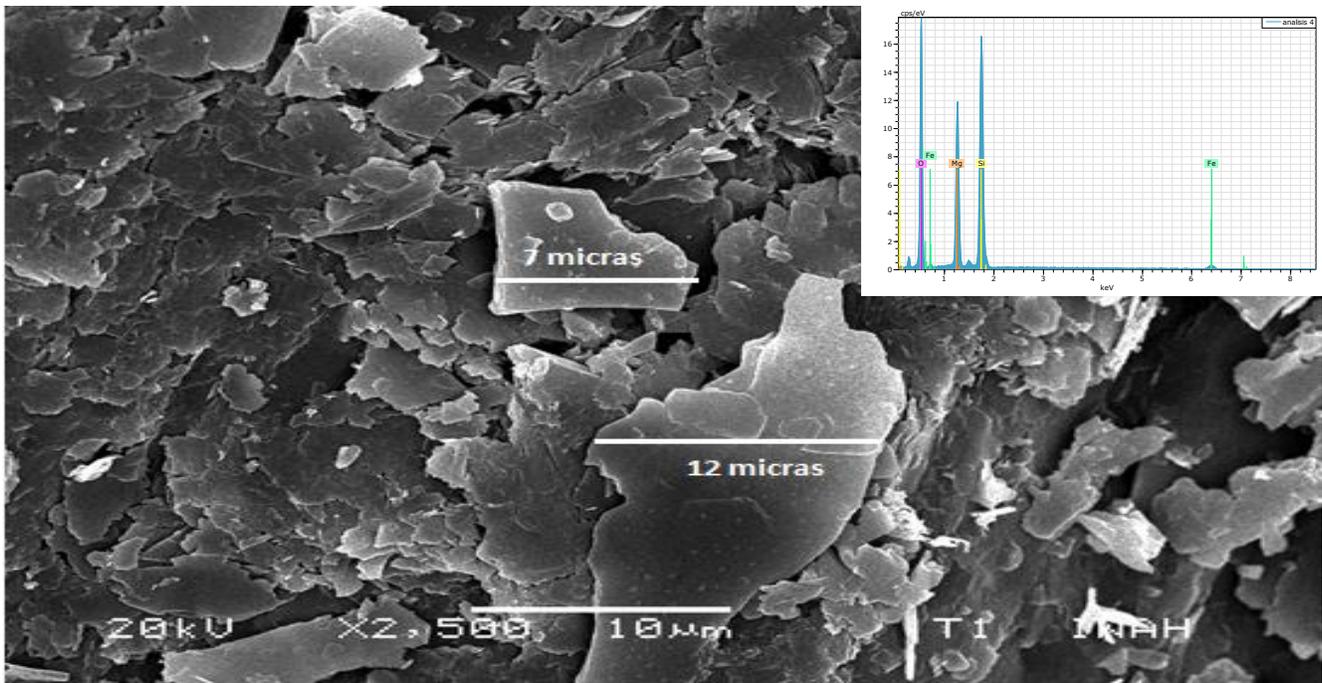


Figura 4.10. Roca total de Oaxaca visto a 2,500X con electrones retrodispersados.

Se observan partículas pequeñas (2μ - 15μ) desordenada, de igual manera se aprecia su morfología laminar. Laminas más o menos equidimensionales no totalmente bien conformadas y tienen los bordes de las partículas irregulares. Se observan diversos tamaños de partículas: tamaño no homogéneo. Se incluye en la parte superior su patrón de análisis EDS correspondiente a la parte central de imagen, donde se aprecia el espectro característico de sus componentes (Si, O, Mg, Fe).

Tabla 4.5. Composiciones químicas teóricas y experimentales de talco y clorita de imagen 4.9., en roca total de Oaxaca.

Óxidos	Composición teórica del talco	Composición teórica de la clorita	Composición real del talco impuro	Observaciones
SiO ₂	63.5	30.28	42.67	La composición obtenida en el EDS de esta zona nos arroja una composición intermedia entre la de talco y clorita. El contenido de óxidos de hierro y aluminio nos dicen de la presencia de clorita. Todas estas composiciones son reales pero para minerales puros. Utilizando el valor de Si obtenemos 90% de clorita y aprox. 10% de talco.
MgO	31.7	25.39	28.92	
H ₂ O	4.8	12.11	-	
FeO	-	15.09	16.57	
Al ₂ O ₃	-	17.13	11.87	

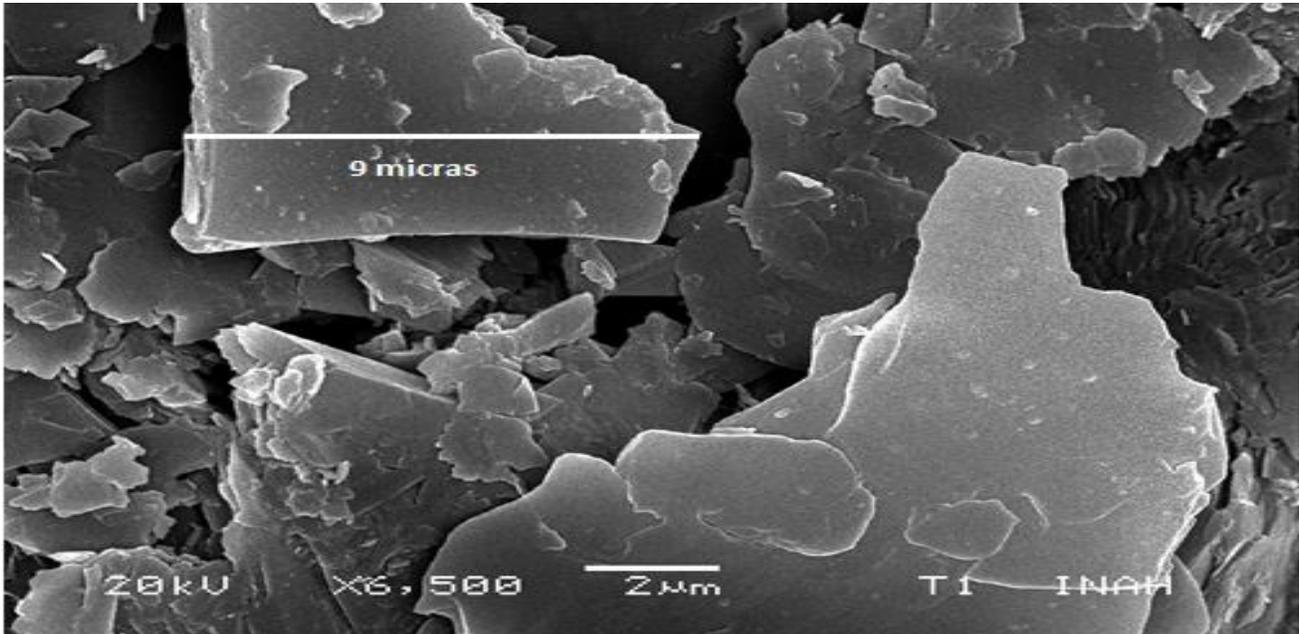


Figura 4.11. Liberación de partículas de Oaxaca (ligera moturación), visto a 6,500X con electrones retrodispersados. Se observan partículas pequeñas y agregados de las partículas más pequeñas. Su hábito laminar está bien definido y se observa una exfoliación de las partículas causado por la semi-molienda llevada a cabo para liberar partículas.

Imágenes y EDS del talco de Puebla

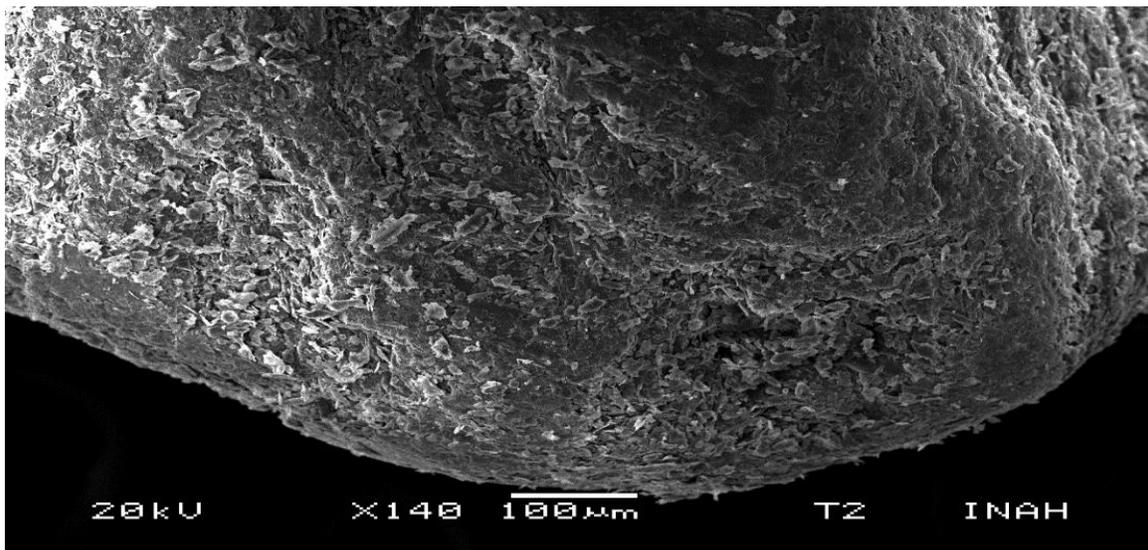


Figura 4.12. Fragmento de talco de Puebla, observado macroscópicamente a 140X con electrones retrodispersados. Se aprecian agregados de láminas de tamaños pequeños a la superficie, aunque no bien definidos por la vista con la que se trabaja.

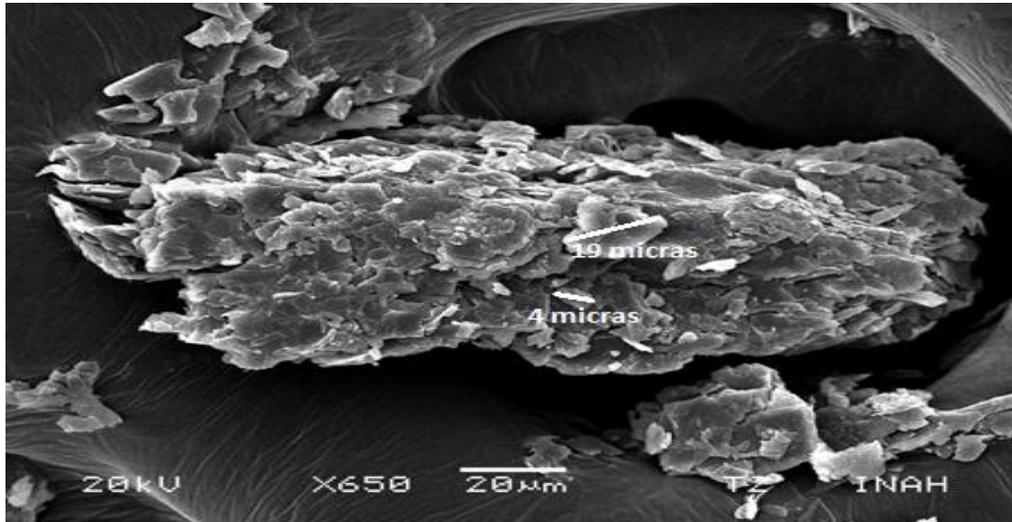


Figura 4.13. Fragmento pequeño de la roca total de Puebla, visto a 650X con electrones retrodispersados. Se observa un agregado de partículas pequeñas semi-ordenados de tamaños similares. Los tamaños oscilan entre 4 micras a 20 micras.

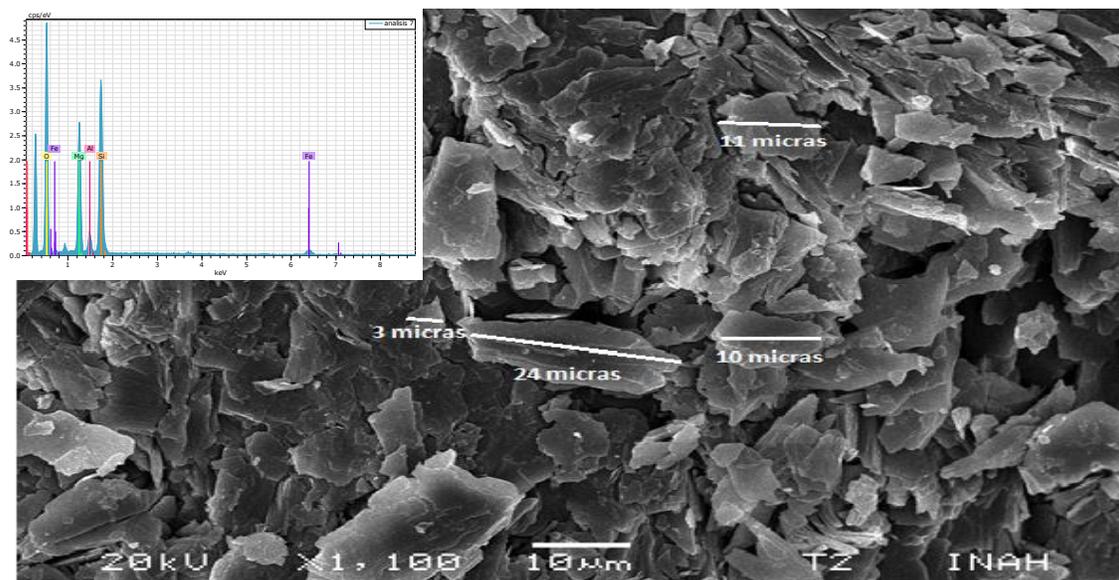


Figura 4.14. Roca total de Puebla, visto a 1,100X con electrones retrodispersados.

Se observa una segregación de partículas pequeñas y grandes, partículas desde 3 micras hasta 24 micras. Las partículas están sobretodo situadas en su plano basal ya que son filosilicatos pero en conjunto están desordenadas. Se incluye en la parte superior izquierda su patrón de rayos X por SEM-EDS, donde se aprecia el espectro característico de sus componentes (Al, Si, O, Mg, Fe).

Tabla 4.6. Composiciones químicas teóricas y experimentales de talco y clorita de imagen 4.13., en roca total de Puebla.

Óxidos	Composición teórica del talco	Composición teórica de la clorita	Composición real del talco impuro	Observaciones
SiO ₂	63.5	30.28	63.12	La composición obtenida en el EDS de esta zona nos arroja una composición muy cercana al talco basándonos con los óxidos de manganeso y silicio. Pero existe presencia de clorita por las concentraciones óxidos de hierro y aluminio.
MgO	31.7	25.39	29.72	
H ₂ O	4.8	12.11	-	
FeO	-	15.09	7.16	
Al ₂ O ₃	-	17.13	-	

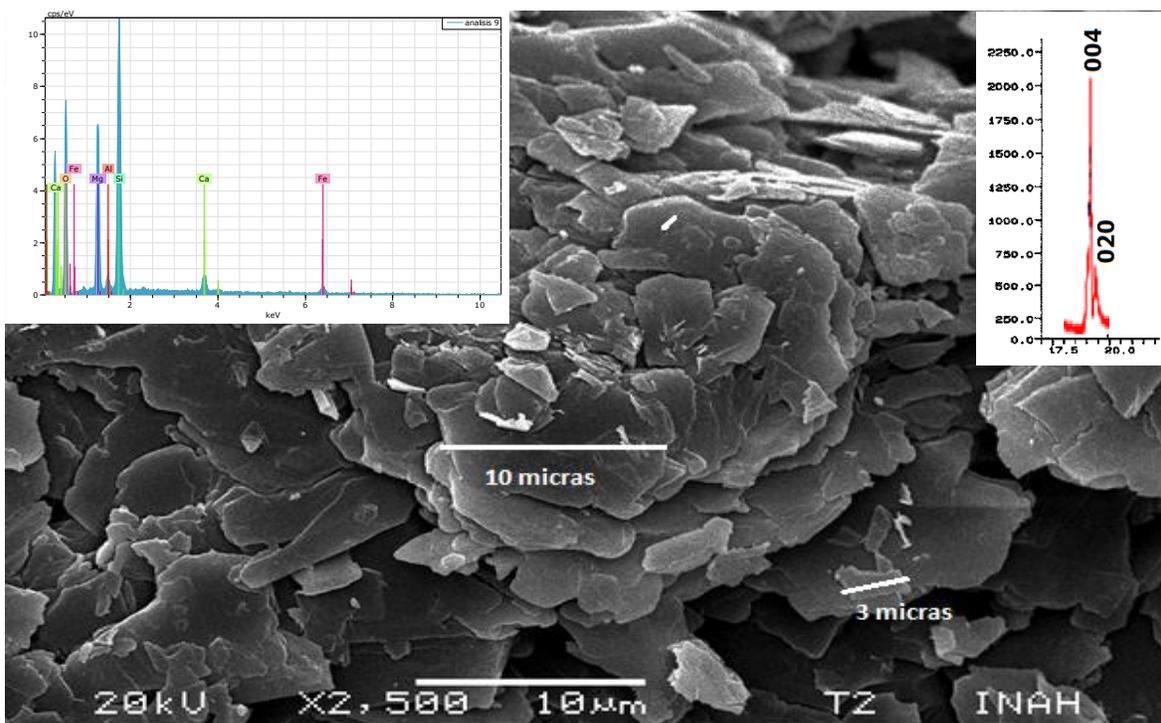


Figura 4.15. Fragmento de roca total, visto a 2,500X con electrones retrodispersados.

Partículas de tamaño mixto desde 3 micras hasta 10 micras. El acomodo de partículas se encuentra bien ordenada, unas encima de otras, aunque los bordes de los cristales son irregulares. Se incluye en la parte superior izquierda su patrón de análisis EDS correspondiente a la parte central de imagen, donde se aprecia el espectro característico de sus componentes (Ca, Al, Si, O, Mg, Fe).

Tabla 4.7. Composiciones químicas teóricas y experimentales de talco y clorita de imagen 4.14., en roca total de Puebla.

Óxidos	Composición teórica del talco	Composición teórica de la clorita	Composición real del talco impuro	Observaciones
SiO ₂	63.5	30.28	63.4	La composición obtenida en el EDS de esta zona nos arroja una composición muy próxima a la de un talco puro.
MgO	31.7	25.39	29.47	
H ₂ O	4.8	12.11	-	
FeO	-	15.09	7.13	
Al ₂ O ₃	-	17.13	-	

4.1.3. Resultados por Análisis Térmogravimétrico

El patrón característico de la curva térmica para estos dos talcos fueron las fases minerales: talco y clorita. Las curvas presentadas fueron trabajadas el software del equipo (Evaluation Linseis), midiendo la pérdida de masa desde el inicio hasta la temperatura final de trabajo (1000°C). De la misma forma para las derivadas de las curvas primarias, colocando manualmente el área que se tendrá que medir con la puntualización de los dos puntos máximos de la derivada.

Tabla 4.8. Datos termodinámicos de las principales tipos de capas de los filosilicatos (Vicizian, 2013).

Tipo de capa	Especies	Dehidroxilación de la capa 2:1	Transición de fase
2:1:1	Al-clorita (sудоita)	500-530 °C	~900 °C
	Fe-clorita (chamosita)	520-580 °C	-----
	Fe-Mg-clorita (Fe:Mg-1:1)	720-730 °C	~830 °C
	Mg-Fe-clorita (ripidolita)	770-790°C	-----
	Cr-clorita	~800 °C	-----
	Mg-Fe-clorita (Mg:Fe-3:2-5:1)	810-835 °C	850-870 °C
	Cr-clorita (Cr en octahedral)	~860 °C	-----
	Mg-Fe-clorita (Mg:Fe-15:1-30:1)	835-865°C	~880 °C

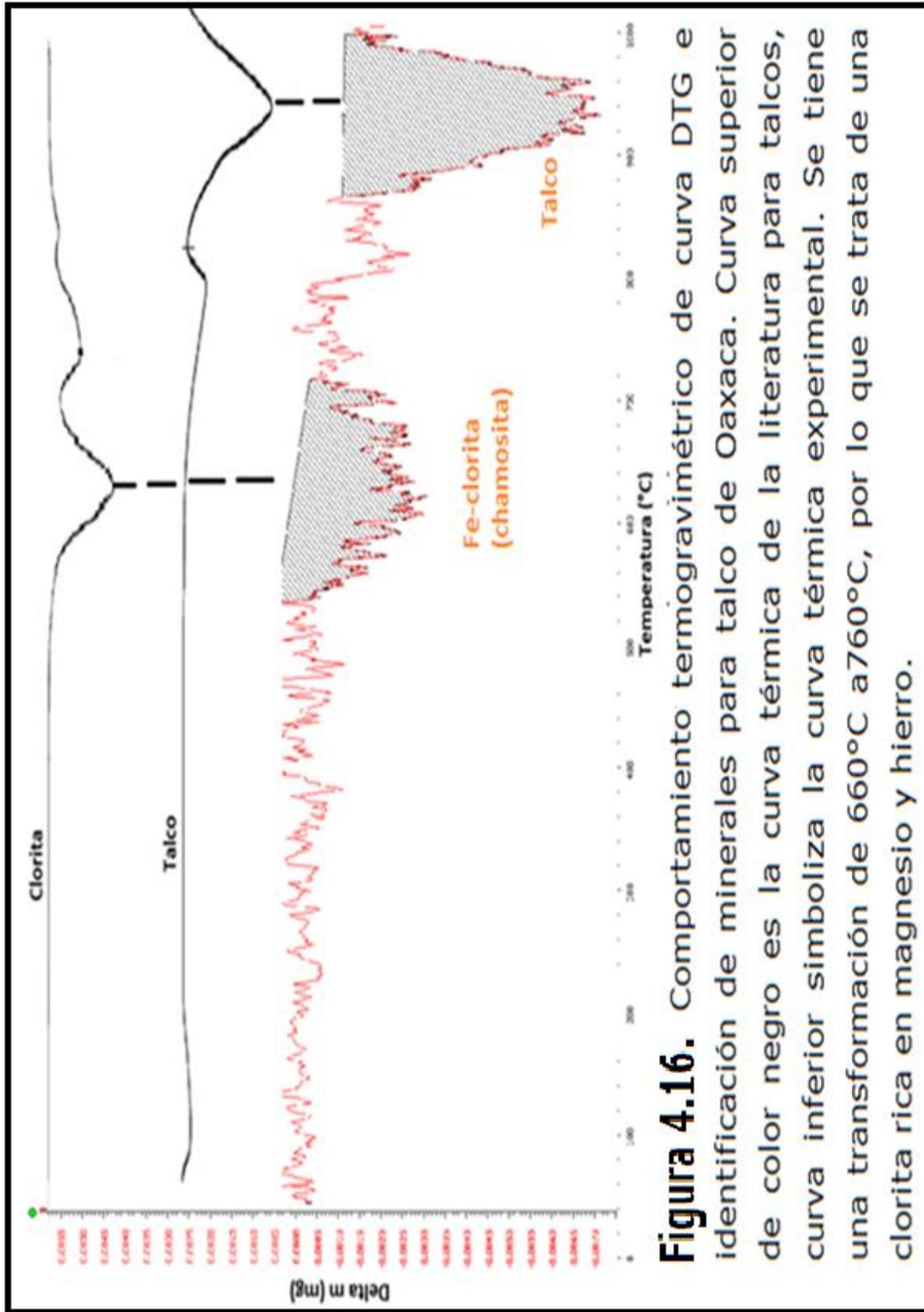


Figura 4.16. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco de Oaxaca. Curva superior de color negro es la curva térmica de la literatura para talcos, curva inferior simboliza la curva térmica experimental. Se tiene una transformación de 660°C a 760°C, por lo que se trata de una clorita rica en magnesio y hierro.

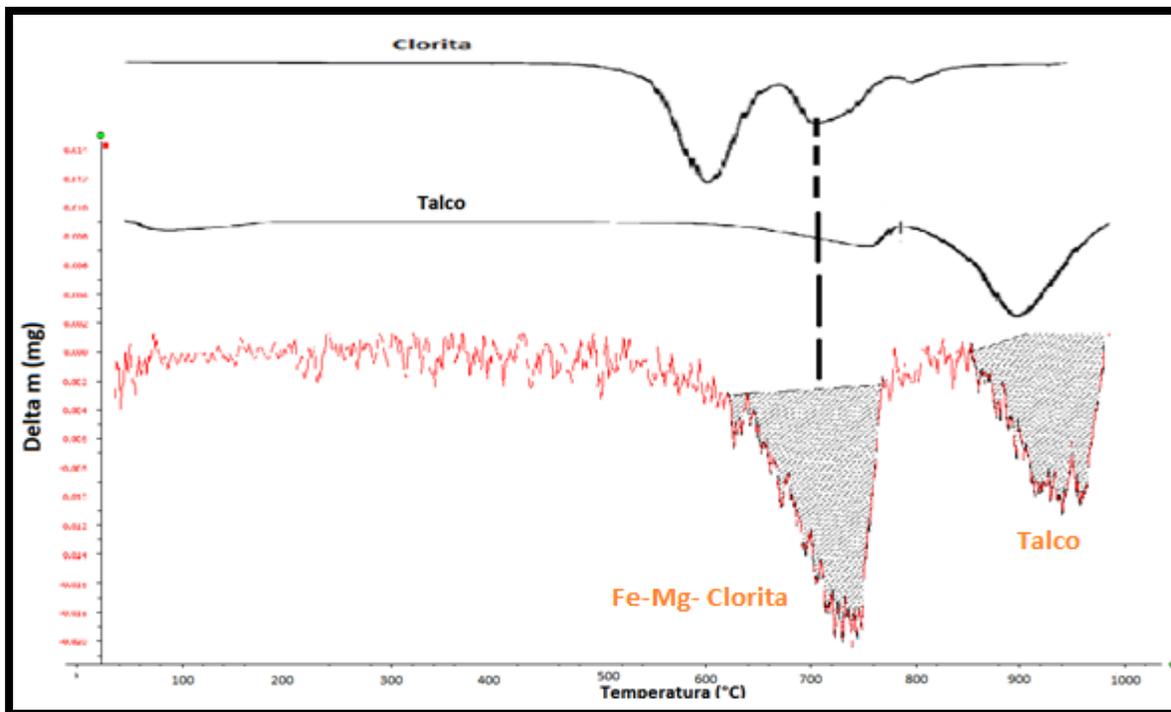


Figura 4.17. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco de Puebla. Curva superior de color negro es la curva térmica de la literatura para talcos, curva inferior simboliza la curva térmica experimental. Se produce la siguiente descomposición del talco de 850°C a 1000°C:



Así también, es importante mencionar que las reacciones presentes en las curvas DTG son de carácter endotérmico.

Tabla 4.9. Pérdida de masa que se tuvo al calentar los talcos hasta 1000°C

Muestra	Pérdida de masa (mg)	Minerales presentes
Oaxaca	-1.213	Talco y clorita
Puebla	-2.727	Talco y clorita

La pérdida de masa en el talco de Puebla es mayor porque como bien se sabe por los estudios de DRX, el talco tiene una mayor abundancia de talco (7% más que el de Oaxaca) y sabemos que la estructura del talco se encuentra hidratada, por lo que es justificable una mayor pérdida de masa en el talco de Puebla por la desorción del agua.

4.1.4. Resultados por Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica (ICP-MS y OES)

No existen en la literatura datos de elementos traza para talcos, esto es importante porque no nos permite comparar los resultados obtenidos. Solo se compara con datos de talcos de otros países (Australia, China, Francia, España, Egipto, Italia y EUA), en los cuales se recopiló la composición en óxidos (Tabla 4.13.)

Se presentan los resultados del análisis geoquímico en donde la composición química se divide en tres bloques:

- Mayores: *Al, Si, Na, K, Ca, Fe, Mg, Mn, Sn, Ti, Cr, Zn, Ni.*
- Traza: *Sc, Be, V, Co, Cu, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Yh, U.*
- Lantánidos: *La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.*

Los resultados obtenidos muestran que para el talco de Oaxaca la composición (SiO_2 , MgO y H_2O) es similar a la encontrada en la literatura, siendo el de Puebla más bajo de lo requerido en óxidos. Se encuentra la presencia como posible elemento contaminante al arsénico (en el caso del talco Puebla) y cromo, cobalto y níquel para ambos. A continuación se muestran gráficos comparativos.

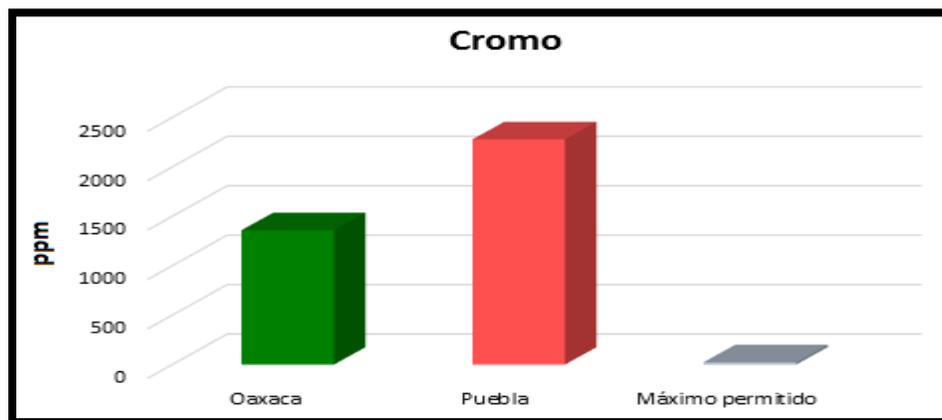


Figura 4.18. Contenido de cromo en talcos naturales y contenido máximo del elemento que se permite según estudios del IMSS para evitar daños a la salud.

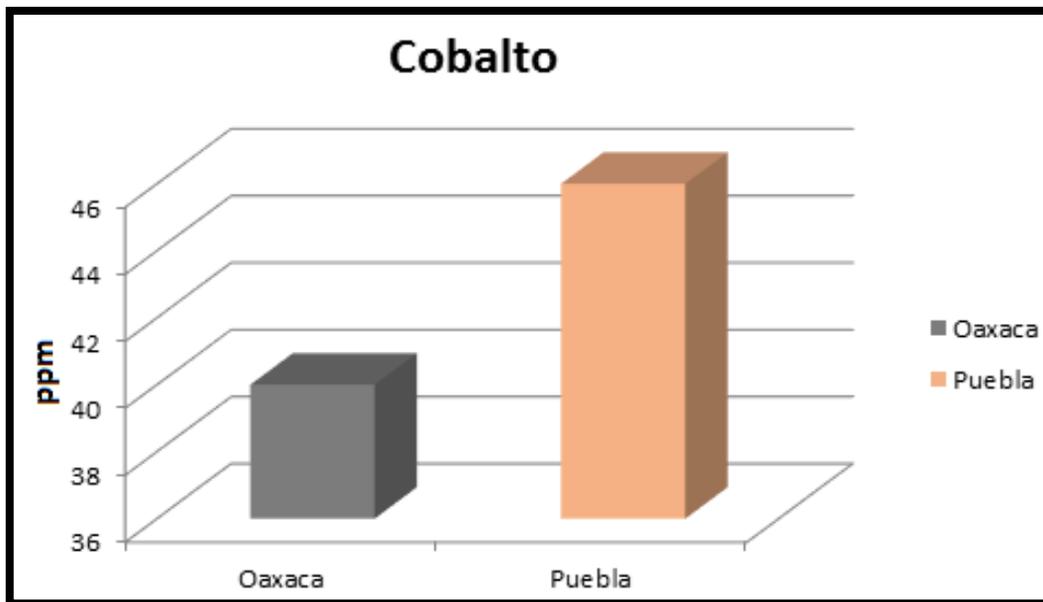


Figura 4.19. Contenido de cobalto en talcos naturales.

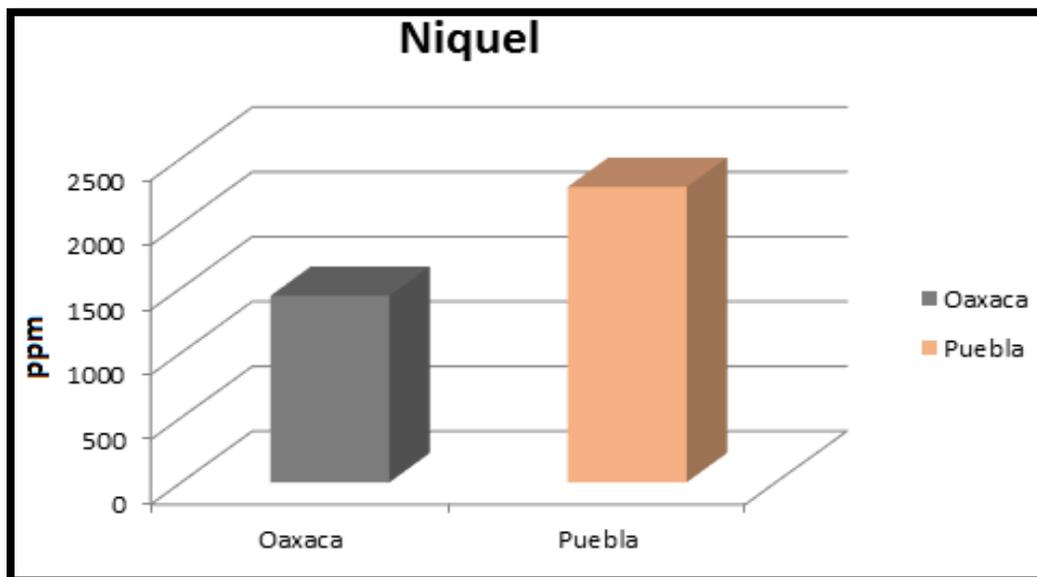


Figura 4.20. Contenido de níquel en talcos naturales.

No existe actualmente una concentración conocida en la cual el níquel cause trastornos a la salud, solo se sabe que a muy altas concentraciones puede originar una anomalía al cuerpo humano.

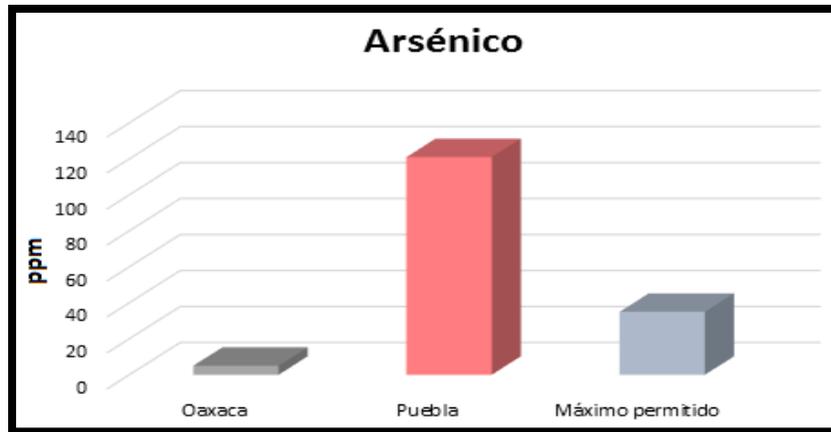


Figura 4.21. Contenido de arsénico en talcos naturales y contenido máximo del elemento que estipula la NOM-047-SSA-2011 para evitar daños en la salud.

La diferencia entre los talcos Mexicanos con los internacionales se nota significativamente en la composición más baja de los óxidos de Magnesio y Silicio, así como del alto contenido de óxido de Hierro; esto refleja su impureza.

Tabla 4.10. Composición química y pérdida por Ignición (L.O.I.) de los talcos medidos en otros países y en México.

Localidad	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	NiO	F	L.O.I.	Total
Australia (Seabrook)	31.4	61.9	0.28	0.15	0.330	0.010	*	0.19	6.05	100
China (Hiachen)	31.5	63.5	0.06	0.06	0.250	0.010	*	0.20	4.91	100.49
Francia (Pyrenees)	31.6	61.3	0.95	0.60	0.210	0.010	*	0.14	5.43	100.24
España (Lyon)	32.2	60.3	<0.05	0.12	0.180	<0.006	0.02	0.20	8.00	101.02
Egipto	31.4	60.9	0.75	0.15	0.320	0.015	0.02	0.62	6.40	100.57
Italia	31.1	61.8	1.44	1.14	0.240	0.040	*	0.22	5.57	101.55
Vermont (Johnson)	31.0	60.2	0.40	2.27	0.200	+	0.430	0.01	6.35	100.86
Montana (Treasure)	31.1	61.7	0.46	1.31	0.210	0.033	0.02	0.16	6.10	101.09
Oaxaca	29.15	54.79	3.66	5.12	0.04	0.02	*	+	7.18	99.96
Puebla	26.16	49.31	0.95	5.23	4.97	<0.01	*	+	6.78	93.4

(1) * Indicaciones no promediadas + Indicaciones no detectadas
LOI: pérdida por ignición.

4.1.5. Resultados de Granulometría Láser (Vía Húmeda)

La mayor distribución se encuentra en fracción de limos (4-62 μm) seguida de arcillas y muy poca cantidad de arenas. Esto nos dice que la granulometría para estos tres talcos es homogénea y su tamaño de partícula entre 0.1 y 100 μm , que son los límites para este tipo de productos (Gamiz, 2012).

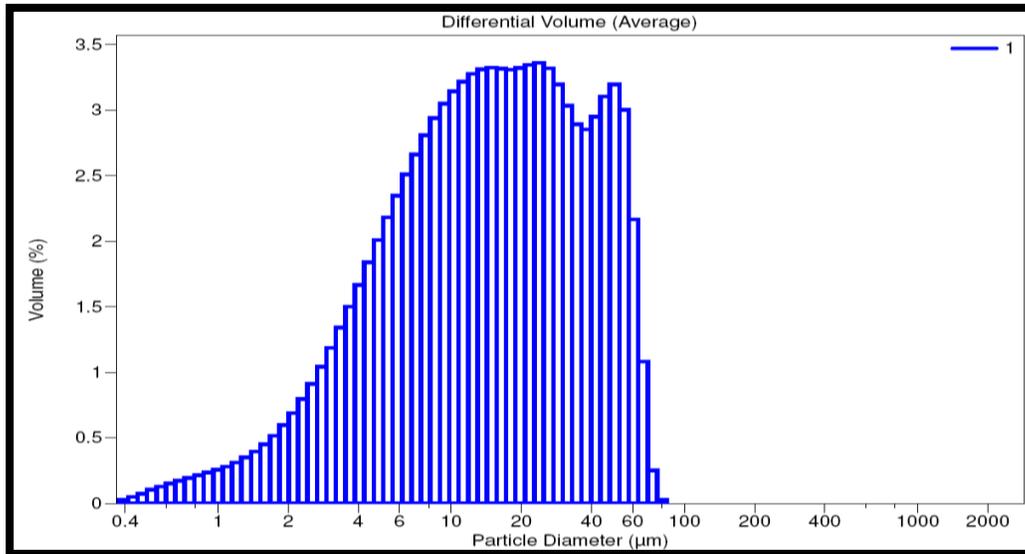


Figura 4.22. Distribución de Partículas láser unimodal para Talco de Oaxaca.

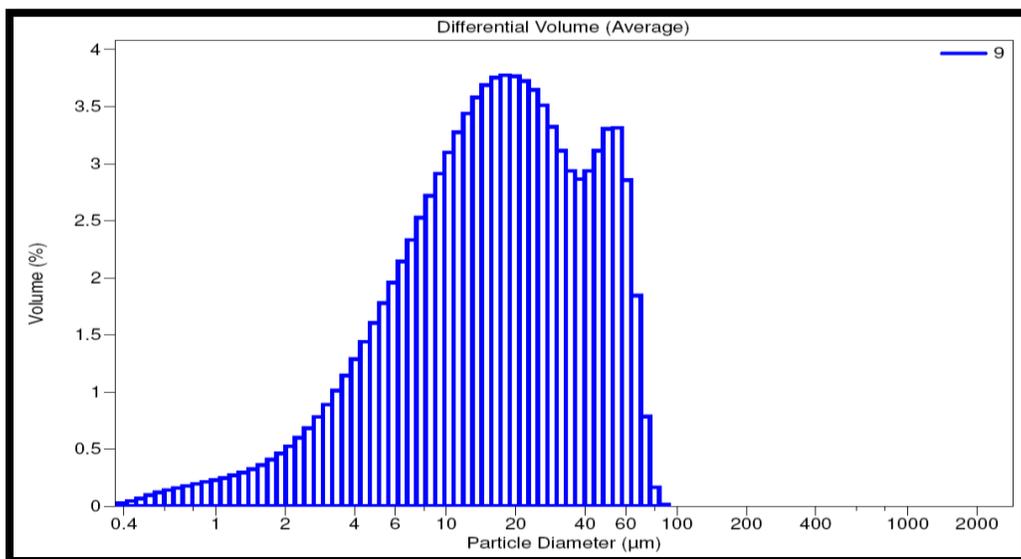


Figura 4.23. Distribución de Partículas láser bimodal para Talco de Acatlán, Puebla.

Tabla 4.11. Análisis de distribución de partícula en talcos naturales.

Nombre	Fracciones (%)		
	Arenas (62-2000 μm)	Limos (4-62 μm)	Arcillas (0.24-4 μm)
Oaxaca	1.359	86.650	11.991
Puebla	2.808	87.720	9.472

4.1.6. Resultados de Infrarrojo de Onda Corta (SWIR)

Esta técnica nos permitió identificar fases minerales con ayuda de la vibración de moléculas y radicales presentes dentro del mineral. La veracidad de los datos no es tan precisa como lo es DRX, pero nos ayudará a corroborar los datos de las otras técnicas.

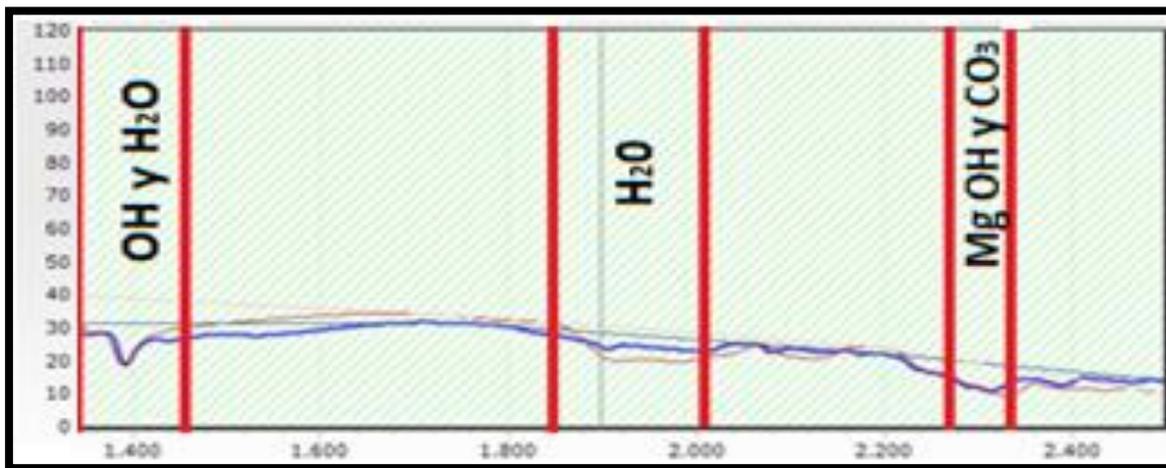


Figura 4.24. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco “Oaxaca” con una correlación de 0.962 de talco con respecto al patrón USGS. La curva real de análisis es la de color azul (más gruesa), mientras que la curva sobrepuesta representa el espectro del crisotilo (sabemos por DRX que como máximo está en proporción del 0.5%. Coincidencia ya que son silicatos de Mg ambos minerales y tienen mismos enlaces vibracionales), el cual fue el de mayor correlación con la curva obtenida. Dentro del presente espectro de los filosilicatos, se distinguen bandas de absorción debidas a las vibraciones de las moléculas de H₂O, OH, Mg OH y CO₃.

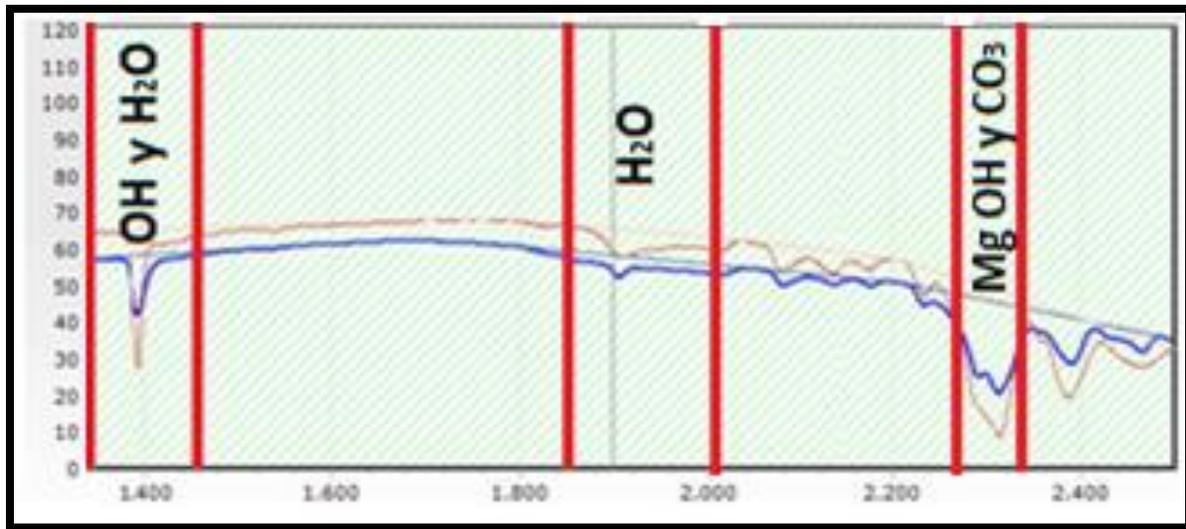


Figura 4.25. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco “Puebla” con una correlación de 0.988 de talco con respecto al patrón USGS. La curva real de análisis es la de color azul (más gruesa), mientras que la curva sobrepuesta representa el espectro de talco, el cual fue el de mayor correlación tuvo con la curva obtenida. Dentro del presente espectro de los filosilicatos, se distinguen bandas de absorción debidas a las vibraciones de las moléculas de H₂O, OH, Mg OH y CO₃.

Para la identificación de fases que se llevó a cabo con rayos X, termogravimetría e infrarrojo de onda corta y EDS, el análisis se fue puntual, mientras que para las fases propuestas por ICP se se realiza de manera cualitativa, ya que su composición química queda intermedia entre el talco y la clorita, por lo que se determina la presencia de ambas también.

Tabla 4.12. Identificación de fases con diferentes técnicas empleadas.

Talco	DRX	DTG	SWIR	EDS	ICP
Oaxaca	Talco, clorita	Talco, clorita	Crisotilo	Talco y clorita	Talco y clorita
Puebla	Talco, clorita, dolomita	Talco, clorita	Talco	Talco y clorita	Talco y clorita

4.2. Analítica (DRX, ICP, ATD, AGL, SWIR) para talcos cosméticos

Se presenta a continuación los resultados analíticos de la caracterización mineralógica y geoquímica de 9 muestras de talcos cosméticos (1. Rexona, 2. O-Dolex, 3. Olorex, 4. Soriana, 5. Hipermart, 6. Maja, 7. Max-O, 9. Heno de Pravia) que son vendidos en tiendas departamentales dentro de la ciudad de México. Las técnicas de análisis (al igual que para los talcos naturales) utilizadas fueron:

1. Difracción de Rayos X (DRX)
2. Termogravimetría (TG)
3. Granulometría Láser (Vía Húmeda)
4. Infrarrojo de Onda Corta (SWIR)
5. Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica (ICP-MS y OES)

En una segunda etapa se procedió a la eliminación por calentamiento (650°C, 750°C, 850°C) de los minerales del grupo de la clorita en los talcos con alto contenido de ese mineral (Olorex, O-Dolex, Hipermart, Max-O). Una vez eliminada la clorita por medio de tratamientos térmicos se volvió a inspeccionar por DRX con una rutina más lenta con el fin de lograr mayor resolución y mejor relación señal/ruido para la detección de crisotilo (mineral asbestiforme)

También se eligieron 3 talcos (Active Feet, Hipermart y O-Dolex), a los cuales se les realizó una prueba de reproducibilidad por DRX que consistió en medir dos muestras de diferentes envases de la misma marca por triplicado. Un envase se compró en abril del 2016 y el otro en Octubre del mismo año.

4.2.1. Talcos de alta pureza (>85% de talco)

Las reseñas encontradas para los talcos clasificados como de "Alto contenido de talco" son las siguientes:

Rexona

Es una marca originaria del sur de Australia y en los 30's es adquirido por la empresa británico-holandesa Unilever S.A. de C.V. que se ocupaba de fabricar productos de higiene personal, entre ellos el talco "Rexona". Este producto se comercializa en muchas partes del mundo.

Maja

Es un producto cosmético enfocado a las mujeres que nació en Barcelona, España en el año de 1916. En un principio la empresa se dedicaba a la producción de jabones pero un par de décadas después se introducen al mercado del talco cosmético. Actualmente sus puntos de venta de este talco son en la parte norte de Europa y la península ibérica, así como América Latina y Canadá.

Active Feet

El talco pertenece a la empresa Aqua Beauty S.A. de C.V. que fue fundada en el año 2009 con sede en Cuernavaca, Morelos. El maquilado lo realiza la empresa Madisco S.A. de C.V. con producto de talco que viene en bultos de 25 Kg procedente de China con la sanidad correspondiente. El proceso realizado en México únicamente consiste en mezclar el talco proveniente de China con la fragancia y sustancias orgánicas adicionales para ser envasado en frascos de 290 gramos.

Heno de Pravia

Marca fundada en 1903 por Perfumería Gal con su barra de jabón de olor Heno, posteriormente es adquirida por la compañía española Puig y lanza su producto de talco. Se ha convertido en un talco de alta gama en el mercado por su aroma y sensación al contacto de la piel.

4.2.1.1. Resultados por Difracción de Rayos X

Los datos obtenidos por DRX se muestran en tablas ilustrativas con columnas que indican el número y nombre de la muestra, fases identificadas, ficha PDF de cada una de las fases identificadas, abundancia de la fase (%) y una última columna en la que se establece una clasificación para cada una de las muestras de talco.

Las fases minerales predominantes son: talco-2M, talco-1A y clorita en baja proporción (ver tabla 4.16.). El contenido en talco en estas cuatro muestras es superior de 85%, con un mínimo (1%) de clorita.

Tabla 4.13. Identificación y cuantificación de fases con método RIR, muestras no orientadas. Los talcos rellenados con verde intenso tienen mayor contenido de talco, siendo considerados casi como talcos blancos.

MUESTRA	FASES IDENTIFICADAS	FICHA PDF	Semicuant (RIR)	Tipo de talco
Rexona	1. Talco1A: $H_4Mg_3O_{12}Si_4$ 2. Talco2M: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 3. Cuarzo: SiO_2 4. Zincita: ZnO	[98-002-6741; 98-041-3633; 98-006-8997; 98-017-0495] de ICSD	1. 56% 2. 34% 3. 9% 4. 1%	Talco verde
Maja	1. Talco 2M: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 2. Cuarzo: SiO_2 3. Clorita: $(Mg_5Al)(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$	[98-002-6850; 98-002-6741; 98-010-0682]de ICSD	1. 96% 2. 3% 3. 1%	Talco verde
Active Feet	1. Talco 1A: $H_4Mg_3O_{12}Si_4$ 2. Talco2M: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 3. Calcita: $CaCO_3$ 4. Zincita: ZnO	[98-017-4205 98-006-5119; 98-002-6741; 98-010-0682] de ICSD	1. 46.5% 2. 40.6% 3. 10.9% 4. 2%	Talco verde
Heno de Pravia	1. Talco 1A: $H_4Mg_3O_{12}Si_4$ 2. Talco 2M: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 3. Clorita: $(Mg_5Al)(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$	[98-002-6850; 98-006-5119; 98-002-6741] de ICSD	1. 65% 2. 26% 3. 5%	Talco verde

Tabla 4.14. Características generales de las muestras.

Muestra	Indicaciones del etiquetado	Composición declarada en el envase
Rexona	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para pies. 2. No inhalar ni aspirar. 3. No aplicar sobre piel irritada o lastimada. 4. Suspender el uso en caso de irritación. 	<i>Talco, Almidon de maíz, óxido de Zinc, perfume, Cloruro de Benzalconio, EDTA Disódico, Salicilato de Bencilo, Cumarina, Dipenteno, Linalol.</i>
Maja	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evitar inhalación, o contacto cercano con nariz o boca. 2. No aplicar sobre piel irritada o lastimada. 3. Descontinuar uso en caso de irritación. Solo para uso externo. 	<i>Talco, Ethilhexilglicerina, Fragancia, Alpha-Isometil Ionona, Benzoato Bencílico, Salicilato de Bencilo, MetilpropionalButilfenilo, Citronelol, Cumarina, Eugenol, Geraniol, Hidroxiisohexilo 3-ciclohexeno Carbaldehído, Isoeugenol, Limoneno, Linalol, BHT, Etilparabeno, Metilparabeno.</i>
Active Feet	<ol style="list-style-type: none"> 1. No inhalar ni aspirar. 2. Evitar aplicación cerca de nariz y ojos. 3. No aplicar en piel irritada o lastimada. 4. En caso de irritación o molestia suspender uso. 	<i>Talco, Carbonato de Calcio, Almidón de Maíz, Óxido de Zinc, Aceite de Menta, Alcanfor, Cloruro de Benzalconio, Sal Disodica EDTA y Fragancia.</i>
Heno de Pravia	<ol style="list-style-type: none"> 1. No aplicar en piel irritada o lastimada. 2. Descontinuar uso en caso de irritación. 	<i>Talco, Benzoato Bencílico, Salicilato de Bencilo, Etilparabeno, Metilparabeno.</i>

NOTA: Los minerales o sustancias químicas en cursiva, no fueron detectadas por DRX

El contenido de talco en Maja y Heno de Pravia, 96% y 95% respectivamente, es muy cercano al de un talco blanco (ver tabla 4.1.). Mientras tanto, los talcos Rexona y Active Feet se ubican también dentro del talco verde pero con menor contenido de talco con respecto a los dos mencionados anteriormente (90% y 87% respectivamente).

El polimorfo 1A y 2M del talco están presentes en los talcos Rexona, Active Feet y Heno de Pravia, mientras que el talco Maja únicamente presenta el politipo 2M. Como bien se explicó en el apartado de talcos naturales, el tipo de morfología nos especifica las condiciones (temperatura, presión, intemperie, etc.) con las que se formó la roca total. El polimorfo 2M se obtiene a temperatura y presiones elevadas, resultando en la estructura una mayor cristalinidad u ordenamiento atómico.

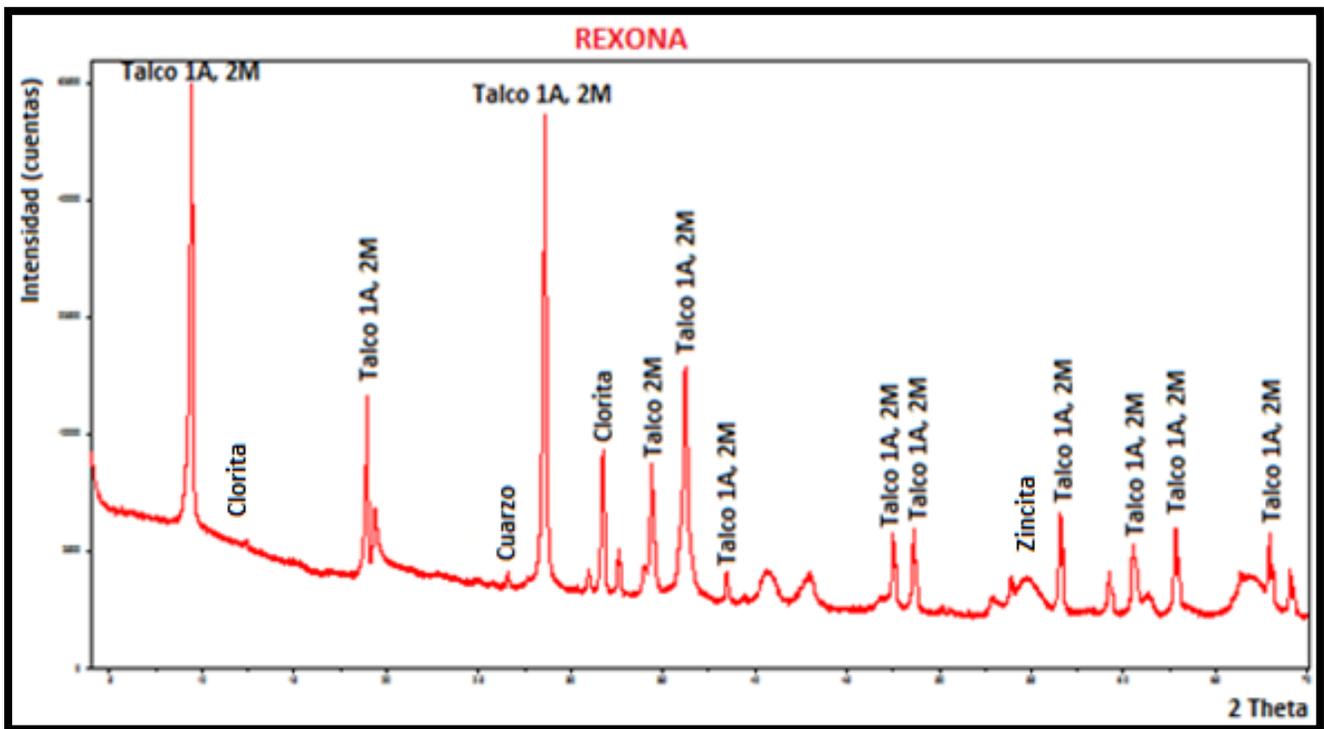


Figura 4.26. Difractograma de talco para uso cosmético "Rexona", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.

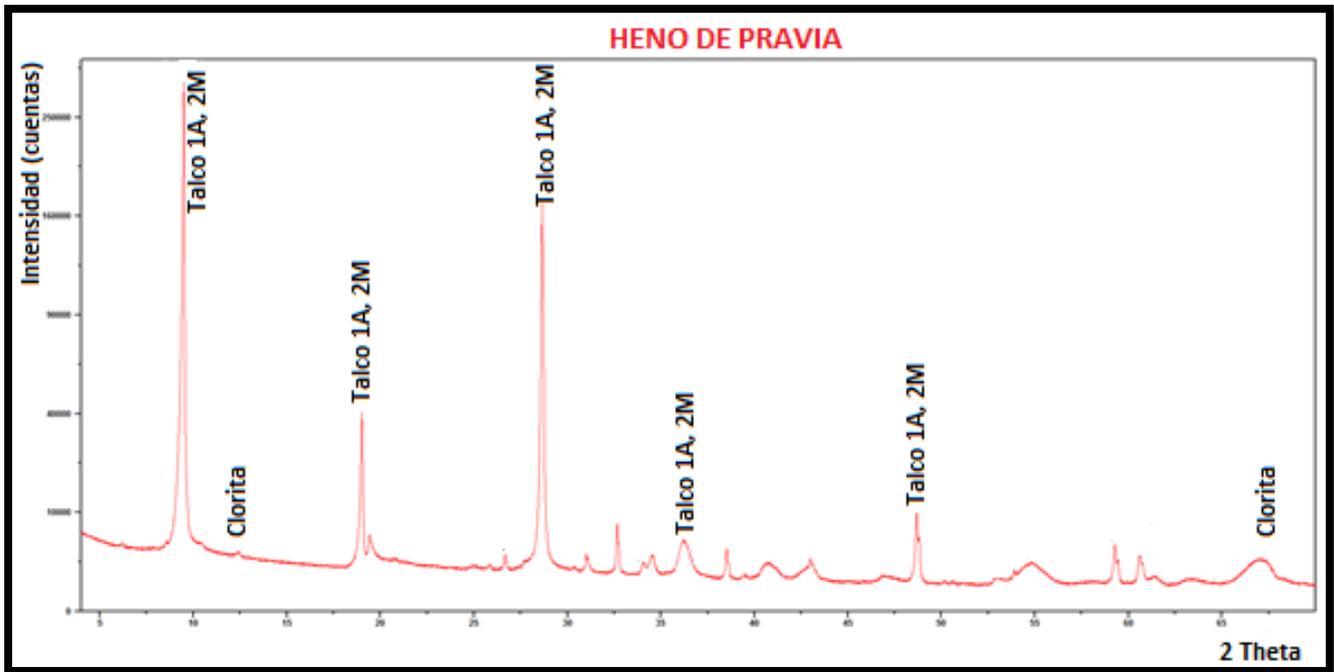


Figura 4.29. Difractograma de talco para uso cosmético "Heno de Pravia", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.

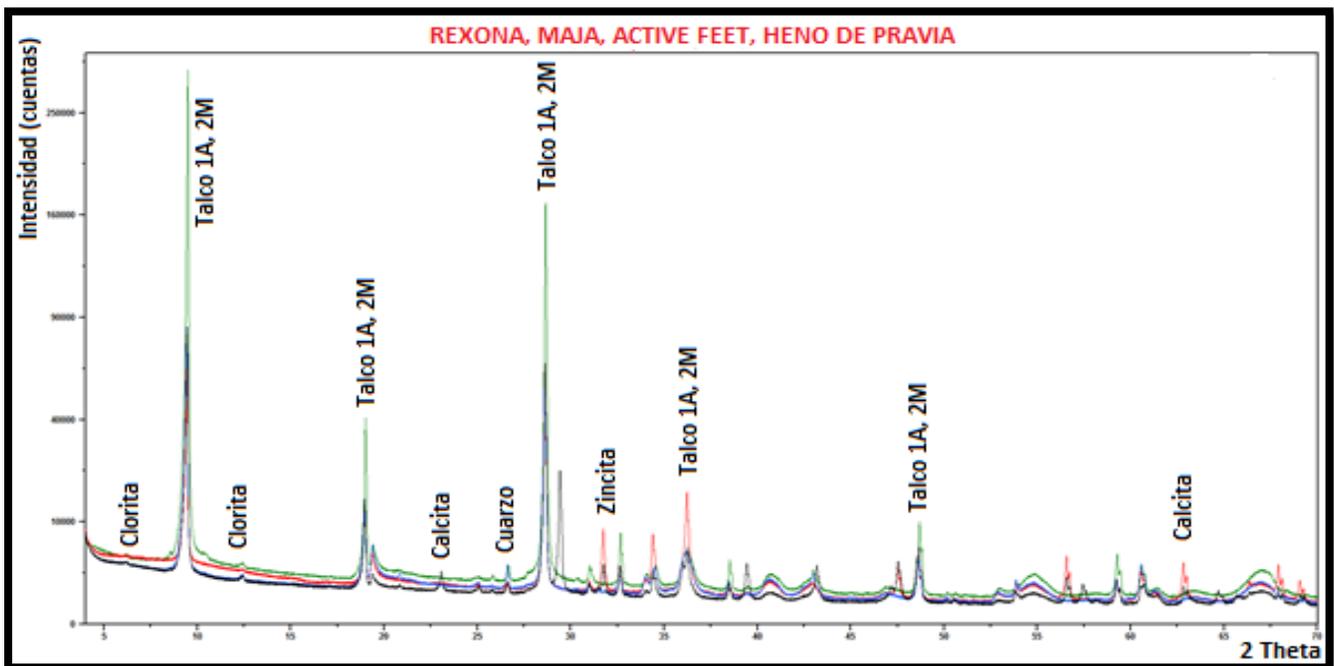


Figura 4.30. Difractogramas sobrepuestos de talcos con alto contenido de talco. Curva color corresponde al patrón de Heno de Pravia, curva roja para Rexona, curva azul para Maja, curva negra para Maja.

Tabla 4.15. Cálculo del Índice Morfológico en base a la relación entre el pico 020 y 004 (Holland & Murtagh 2000) y el grado de cristalinidad con respecto a los picos basales del patrón de difracción.

	CRISTALINIDAD	I(020)	I(004)	M	ÍNDICE MORFOLÓGICO (HOLLAND & MURTAGH 2000)
REXONA	0.2886	8026	1685	11396	0.704282204
MAJA	0.1448	8727	2175	13077	0.667354898
ACTIVE FEET	0.1886	9501	565	10631	0.893707083

Para este tipo de talcos que sufre un proceso de molienda, el índice morfológico se ve modificado en su valor por la destrucción de láminas.

4.2.1.2. Resultados por Análisis Termogravimétrico

La huella característica de la curva térmica para estos tres talcos fueron principalmente las fases minerales: Clorita, talco, vermiculita, talco-saponita y talco-esmectita. Los interestratificados (talco-saponita y talco-esmectita) son filosilicatos en los cuales alternan dos o más tipos de láminas distintas en una secuencia de apilamiento vertical, o en un mismo cristal o dominio de difracción. No se trata de simples mezclas físicas de láminas, sino que se puede considerar que la celda unidad es mayor (2).

Esta técnica no permite la semicuantificación de cada fase presente pero si nos da un panorama de algunas fases presentes (en mayor cantidad) que sufrieron alguna transformación física o química.

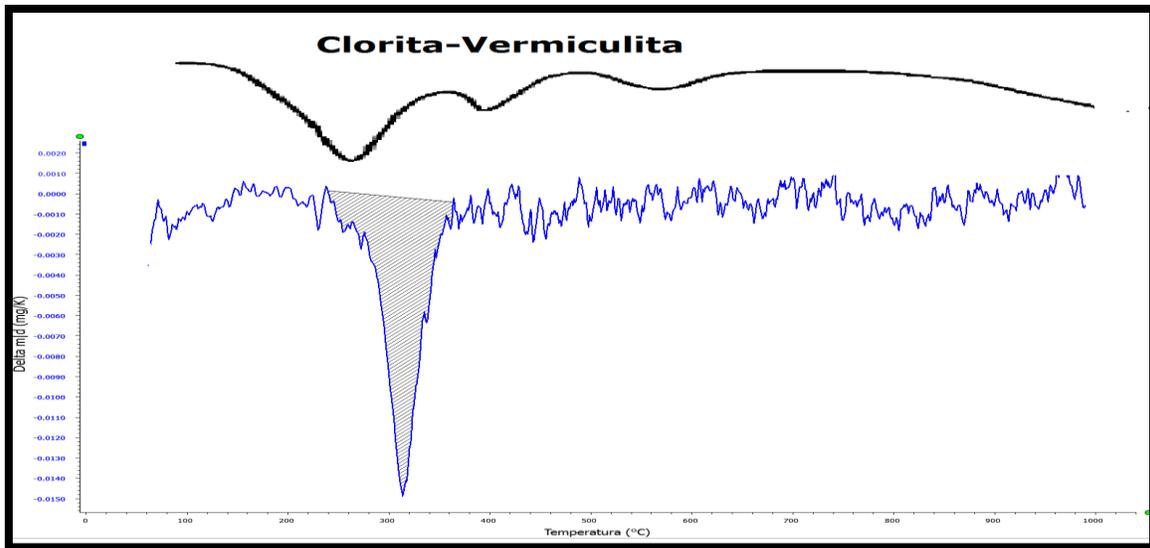


Figura 4.31. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Rexona. Curva superior de color negro es la curva térmica de la literatura para la clorita-vermiculita (interestratificado), curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). Se produce la reacción principal en 250°C a 350°C.

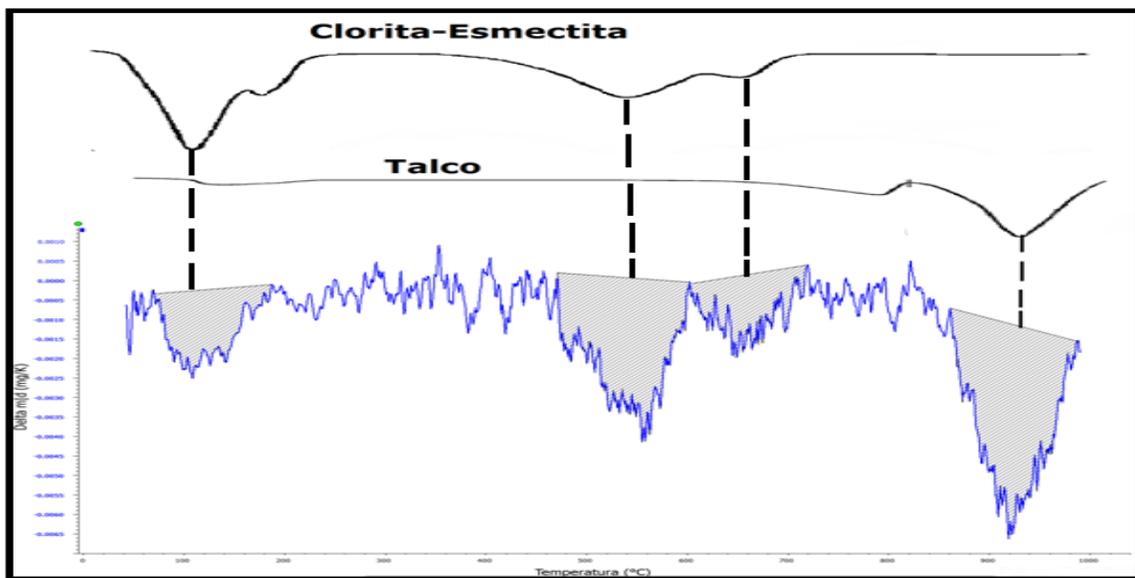


Figura 4.32. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Maja. Curvas superiores de color negro son las curvas térmicas de la literatura para la clorita-esmectita (interestratificado) y talco, curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). Se producen una serie de reacciones, tres primeras de la clorita-esmectita y la última representa la deshidroxilación y descomposición del talco en un rango de temperaturas que va desde 850°C hasta 1000°C.

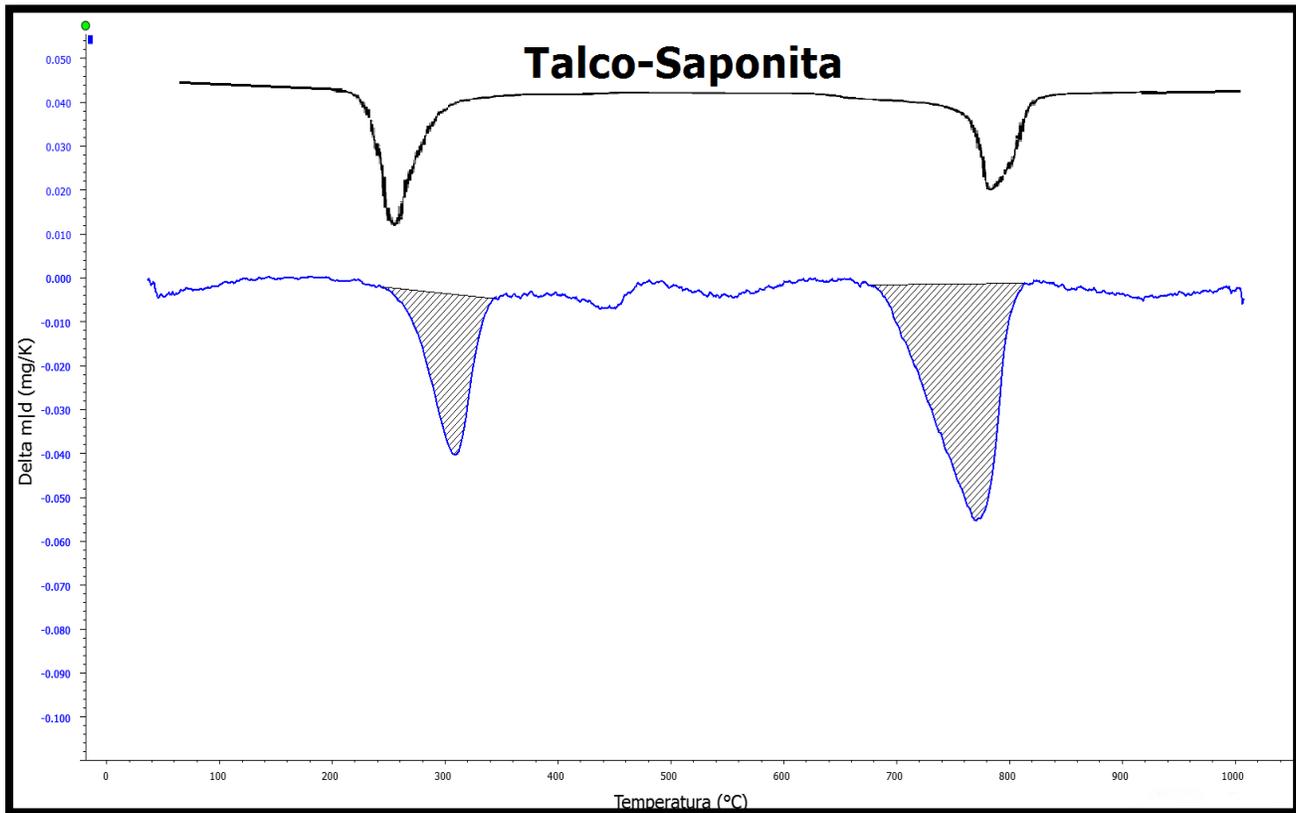


Figura 4.33. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Active Feet. Curva superior de color negro representa la curva térmica de la literatura para el talco-saponita (interestratificado), curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). Las dos transformaciones características del Talco-Saponita suceden a los 300°C y 770°C.

Es importante mencionar que las reacciones presentes en las curvas DTG son de carácter endotérmico, para visualizar mejor estas variables termodinámicas del talco se deberían visualizar sus curvas termodiferenciales de entalpía.

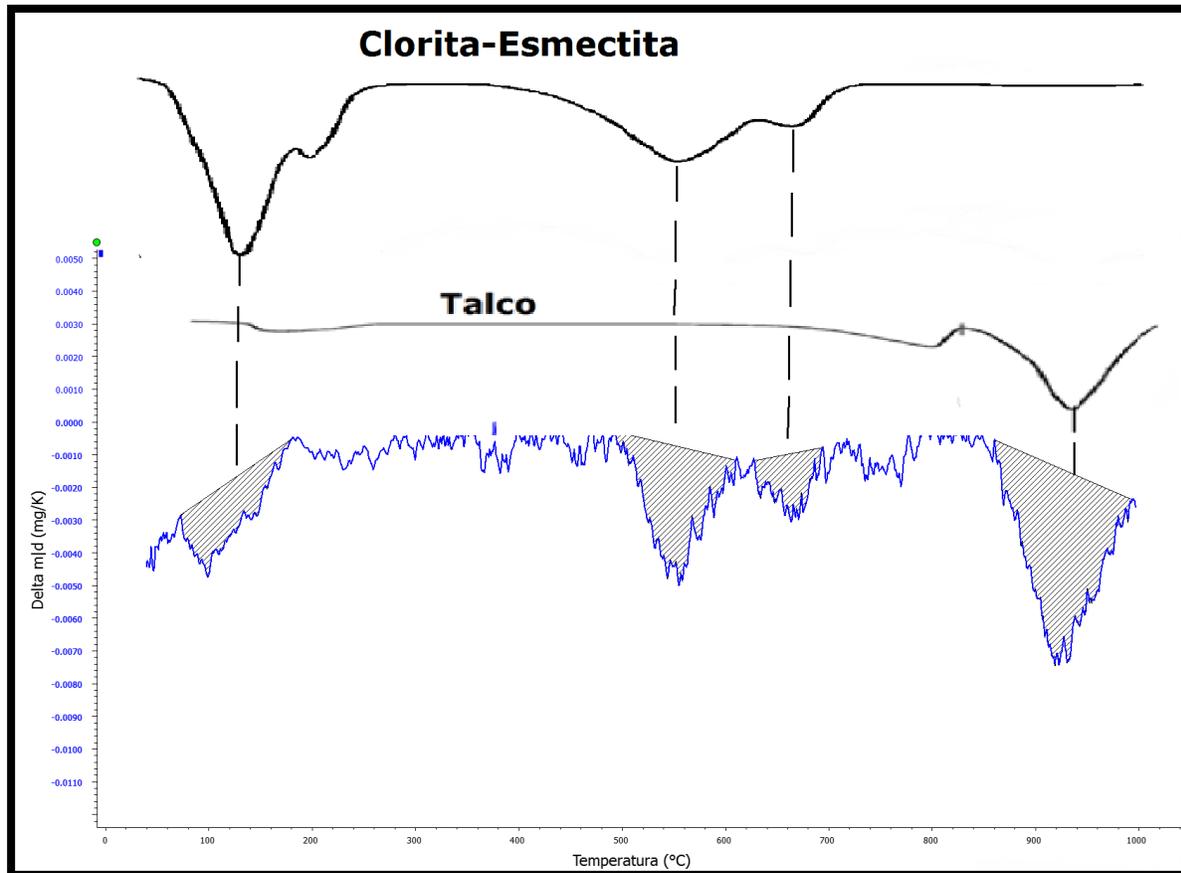


Figura 4.34. Comportamiento termogravimétrico de curva DTG e identificación de minerales para talco Heno de Pravia. Curvas superiores de color negro son las curvas térmicas de la literatura para la clorita-esmectita y talco, curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). Se producen una serie de reacciones, tres primeras de la clorita-esmectita y la última representa la deshidroxilación y descomposición del talco en un rango de temperaturas que va de 850°C a 1000°C.

Tabla 4.16. Pérdida de masa e identificación de compuestos minerales presente en talcos.

Muestra	Pérdida de masa (mg)	Minerales presentes
Rexona	-1.258	Clorita-Vermiculita
Maja	-1.332	Talco-Esmectita; Talco
Active Feet	-7.259	Talco-Saponita
Heno de Pravia	-2.456	Talco-Esmectita; Talco

La pérdida de masa en active Feet y Heno de Pravia es superior al de los otros talcos porque bien se sabe que la estructura del talco se encuentra hidratada, por lo que esto nos dice que son talco bastante hidratados.

La pérdida de masa nos señala que la materia sufrió una transformación física o química, para el caso del talco Active Feet, la masa perdida fue tres veces superior a las de los otros talcos. Esto nos dice que aparte de la descomposición del interestratificado de Talco-Saponita, existieron transformaciones físicas como la evaporación del agua contenida en el talco (talco bastante hidratado). Active Feet es claramente diferente al resto, presencia de arcillas. Cabe mencionar que este tipo de reacciones físicas no emergen en una curva DTG convencional.

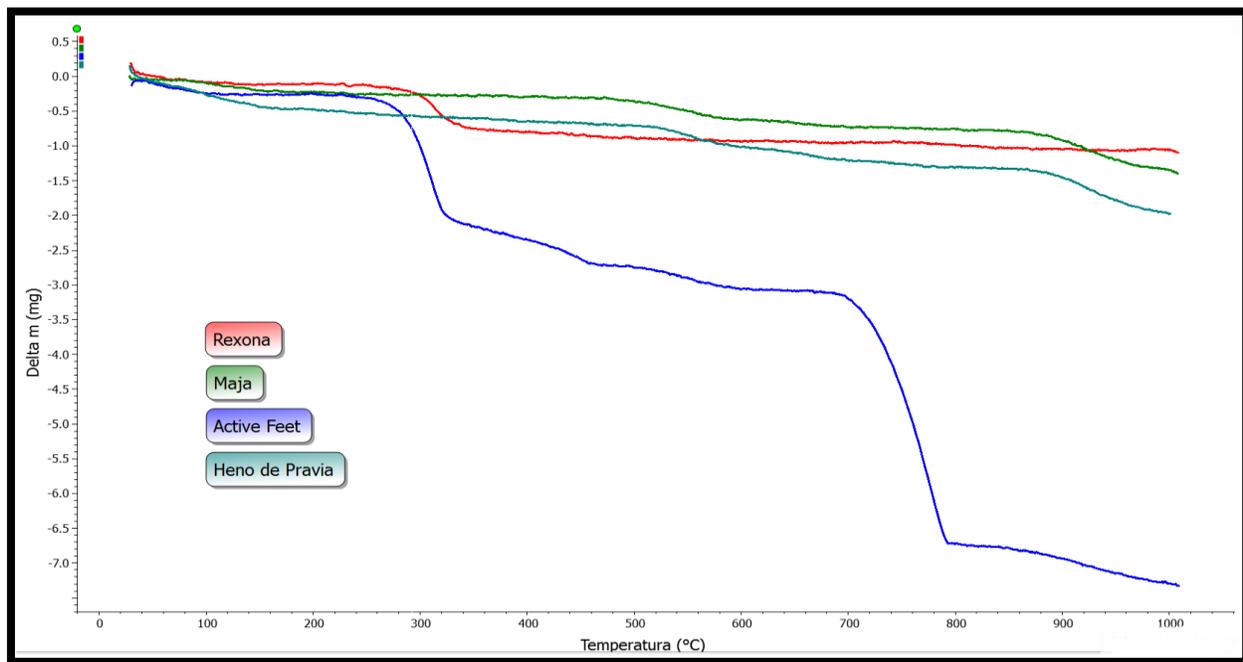


Figura 4.35. Curvas termogravimétricas sobrepuestas suavizadas para los talcos de alta pureza. Se observa de manera más detallada la discrepancia de pérdida de masa entre la curva del Talco Active Feet con las restantes, por lo explicado anteriormente.

4.2.1.3. Resultados por Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica (ICP-MS y OES)

Los resultados obtenidos no relevan la presencia de elementos contaminantes, tóxicos o radiactivos en grandes cantidades como lo son el Plomo, Arsénico, Cromo o Vanadio.

Al igual que los talcos naturales se clasificaron en tres bloques:

- Mayores: *Al, Si, Na, K, Ca, Fe, Mg, Mn, Sn, Ti, Cr, Zn, Ni.*
- Traza: *Sc, Be, V, Co, Cu, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Yh, U.*
- Lantánidos: *La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.*

La medida de la radiación emitida en el plasma da lugar a la espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), mientras que la medida de las relaciones masa/carga de los iones producidos en el plasma da lugar a la espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).
(1)

Los resultados de Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica constituyen las herramientas para caracterización geoquímica de talco ya que dado que los talcos analizados son vendidos como talcos cosméticos, las impurezas químicas deben ser tomadas en cuenta.

El talco Heno de Pravia no se le realizó su química elemental debido a que la muestra fue obtenida después de mandar los análisis a Canadá, por lo que solo se semi-cuantificará con los análisis de DRX.

Tabla 4.17. Análisis composicional de los óxidos o elementos mayores de los talcos.

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	MnO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	LOI %	Total %
REXONA	41.57	0.18	21.98	0.004	0.3	0.06	< 0.01	0.004	0.08	26.19	90.48
MAJA	59.92	0.44	31.15	0.003	0.49	0.01	< 0.01	0.008	0.11	7.28	99.49
ACTIVE FEET	34.87	0.13	19.06	0.003	14.64	0.03	< 0.01	0.003	0.07	25.52	94.35

El contenido de silicio en Active y Rexona se encuentran muy por debajo de la abundancia establecida de un talco (63.5%), de igual sucede para ambos talcos en el magnesio (31.7%).

Tabla 4.18. Análisis Químico Elemental por ICP-MS

Elemento / Muestra	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Ga Ppm	Ge ppm	As ppm
REXONA	< 20	< 1	< 20	< 10	> 10000	< 1	0.7	< 5
MAJA	< 20	< 1	< 20	< 10	< 30	< 1	0.9	< 5
ACTIVE-FEET	< 20	< 1	< 20	< 10	> 10000	< 1	0.6	< 5

Elemento / Muestra	Rb ppm	Y ppm	Nb ppm	Mo ppm	Ag ppm	In Ppm	Sn ppm	Sb ppm
REXONA	< 1	0.8	0.2	< 2	< 0.5	< 0.1	< 1	< 0.2
MAJA	< 1	1.4	0.2	< 2	< 0.5	< 0.1	< 1	< 0.2
ACTIVE-FEET	< 1	< 0.5	< 0.2	< 2	< 0.5	< 0.1	< 1	1.3

Elemento / Muestra	Cs ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm Ppm	Eu ppm	Gd ppm
REXONA	< 0.1	0.22	0.32	0.04	0.23	0.09	0.005	0.06
MAJA	0.1	0.21	0.57	0.08	0.35	0.07	0.01	0.14
ACTIVE-FEET	< 0.1	0.14	0.35	0.04	0.2	0.05	0.01	0.04

Elemento / Muestra	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Tb ppm	Lu ppm	Hf ppm
REXONA	0.01	0.07	0.01	0.05	< 0.005	0.04	0.01	< 0.1
MAJA	0.02	0.13	0.04	0.12	0.017	0.12	0.018	0.2
ACTIVE-FEET	< 0.01	0.05	0.01	0.03	< 0.005	0.03	0.005	< 0.1

Elemento / Muestra	Ta ppm	W ppm	Tl ppm	Pb ppm	Bi ppm	Th ppm	U ppm
REXONA	< 0.01	< 0.5	0.12	< 5	< 0.1	0.15	3.22
MAJA	0.07	< 0.5	< 0.05	6	< 0.1	0.25	5.29
ACTIVE-FEET	< 0.01	< 0.5	< 0.05	< 5	< 0.1	0.09	1.32

Tabla 4.19. Análisis Químico Elemental por ICP-OES

Elemento / Muestra	Sc ppm	Be ppm	V ppm	Sr ppm	Zr ppm	Ba ppm
REXONA	< 1	< 1	7	3	10	4
MAJA	< 1	< 1	10	3	10	3
ACTIVE-FEET	< 1	< 1	7	60	9	10

El alto contenido de zincita (óxido de zinc) en Rexona y Active Feet, no es del talco, sino de lo agregado de este óxido por parte del productor.

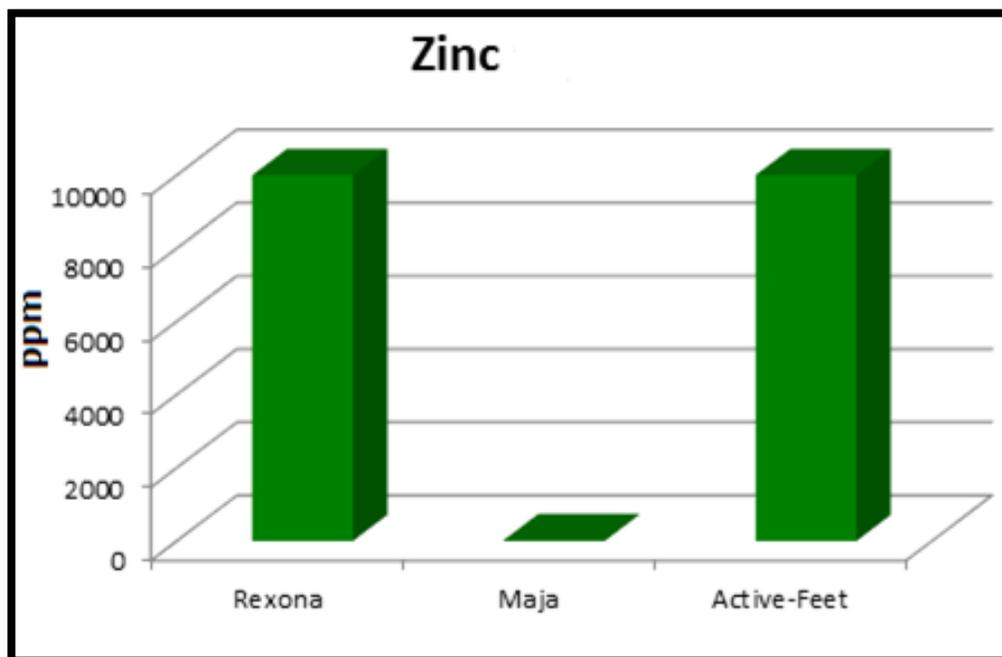


Figura 4.36. Contenido de zinc. Aunque no representa un riesgo para la salud, se muestra de manera gráfica la gran cantidad de zincita (en su forma de óxido) que se emplea para dos de los tres talcos (Rexona, Active Feet).

4.2.1.4. Resultados de Granulometría Láser (Vía Húmeda)

La mayor distribución se encuentra en fracción de limos seguida de arcillas y muy poca cantidad de arenas. Esto nos dice que la granulometría para estos tres talcos es homogénea y no se corre el riesgo de introducirse de manera rápido al torrente sanguíneo por fenómenos de adsorción y absorción (Maskell, 2004).

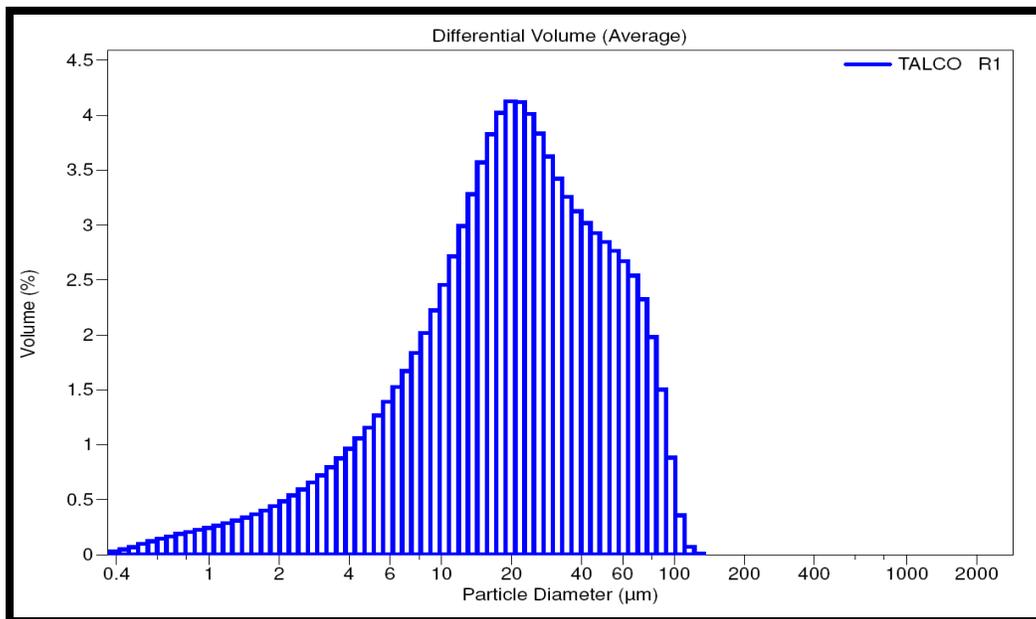


Figura 4.37. Distribución de Partículasláser bimodal para Rexona.

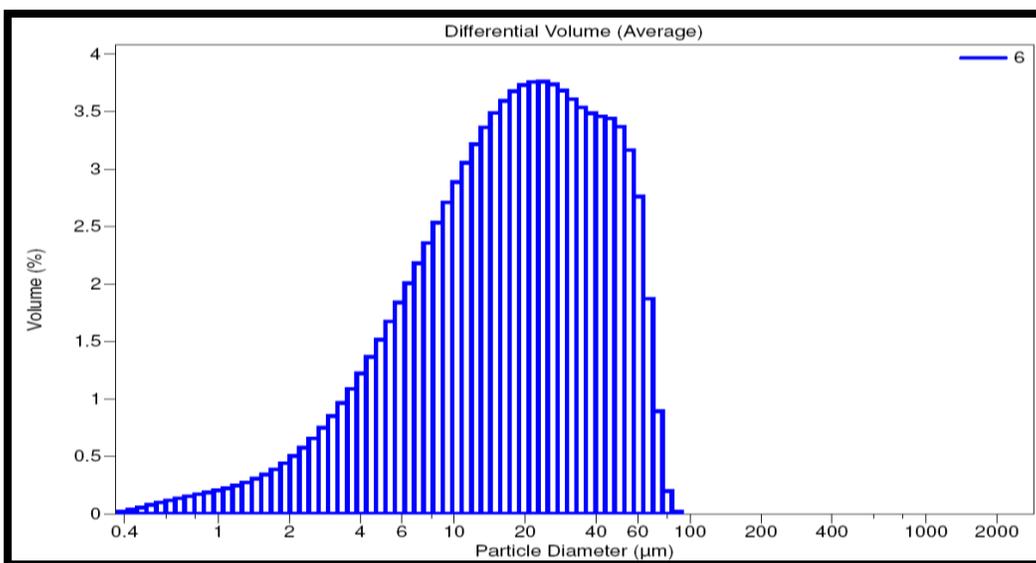


Figura 4.38. Distribución de Partículas láser unimodal para Maja.

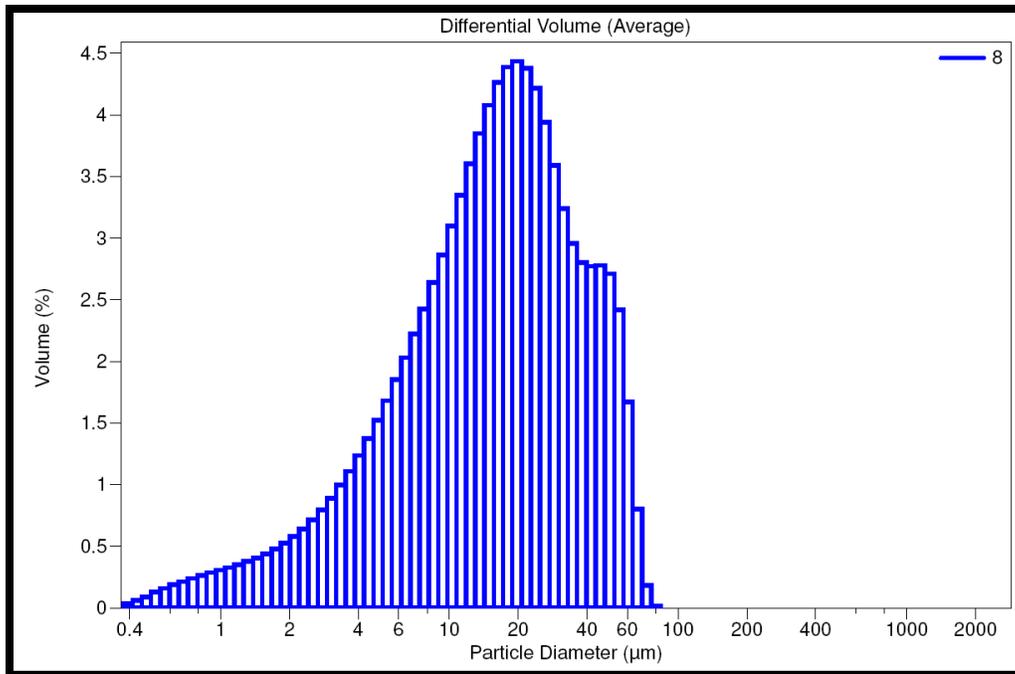


Figura 4.39. Distribución de Partículas unimodal láser para Active Feet.

Tabla 4.20. Análisis de distribución de partícula en cosméticos con alto contenido de talco.

Nombre	Fracciones (%)		
	Arenas (0.24-4 µm)	Limos (4-62 µm)	Arcillas (62-2000 µm)
Rexona	3.54	86.85	9.61
Maja	2.982	88.15	8.868
Active Feet	1.004	88.4	10.596

Los cuatro productos se comercializan en México en la mayoría de las tiendas departamentales (Comercial Mexicana, Walmart, Soriana, Tienda UNAM, entre otros).

4.2.2. Talcos de baja pureza mineralógica

Se recopiló información sobre los talcos de bajo contenido de talco:

O-Dolex

Producto elaborado por Laboratorios Avant, S.A. de C.V., es una empresa privada dentro de tiendas de comestibles fundada en el 1985 con sede en García, Nuevo León. Este producto cuenta en el mercado nacional con más de 40 años y en esta presentación de talco amarillo es el talco más económico del mercado en México.

Olorex

Talco comercial lanzado en los años 70's por la Farmacéutica Racel, S.A. de C.V. fundada el 1º de septiembre de 1965 bajo régimen fiscal de persona física y con la Razón Social de Distribuidora Racel y/o Celso González Villanueva en García, Nuevo León. Se encuentra entre la gama de talcos desodorantes económicos.

Soriana

Talco maquilado por la misma Tienda Soriana, S.A. de C.V. que es subsidiaria de Organización Soriana S.A.B. de C.V., empresa de supermercados mexicanos con sede central en Monterrey, Nuevo León.

Hipermart

En conjunto con el talco de marca Soriana pertenece al grupo de Tiendas Soriana, S.A. de C.V., siendo un producto de menor costo y menos promocionado.

Max-O

La empresa que se encarga de producir este producto es Talcomax, S.A. de C.V., encargada de fabricar cosméticos desde el año 2003 con origen y sede en Chihuahua, Chihuahua. Es lanzado como producto de bajo precio para la economía del mexicano.

4.2.2.1. Resultados por Difracción de Rayos X

Se clasificaron como talcos verdes aun sabiendo de su pobre contenido en talco, esto basándonos en la clasificación mencionada en la tabla 4.1. En estricto sentido no se deberían llamarse talcos, pues se encuentran por debajo del 60% en contenido de talco y presentan clorita por arriba del 40%, como lo es el caso de Olorex.

Las fases minerales identificadas por DRX para estos talcos clasificados como de bajo contenido de talco fueron: clorita $[(Mg_5Al)(AlSi_3)O_{10}(OH)_8]$, cuarzo $[SiO_2]$, dolomita $[CaMg(CO_3)_2]$, caolín $[H_4Al_2Si_9O_2]$, zincita (óxido de zinc) $[ZnO]$, calcita $[CaCO_3]$, talco-2M $[Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2]$, talco-1A $[H_4Mg_3O_{12}Si_4]$. Las fases que figuran en mayor cantidad para el conjunto de talcos que a continuación se mencionan son: clorita, cuarzo y talco en sus dos formas politípicas.

La morfología predominante en estos talcos es la de tipo 1A. La cristalinidad y morfología calculada depende únicamente de la fase del talco. Bien se sabe que para tener un cálculo de cristalinidad total, se deberían considerar todas las fases presentes.

Tabla 4.21. Identificación y cuantificación de fases con método RIR, muestras no orientadas.

MUESTRA	FASES IDENTIFICADAS	FICHA PDF	Semicuant (RIR)	Tipo de talco
O-Dolex	<ol style="list-style-type: none"> Cuarzo: SiO₂ Clorita: (Mg₅Al)(AlSi₃)O₁₀(OH)₈ Talco 1A: H₄Mg₃O₁₂Si₄ Zincita: ZnO 	[98-002-6850; 98-006-5119; 98-008-3849; 98-010-0682] de ICSD	<ol style="list-style-type: none"> 1.38.6% 35.8% 23.8% 4.2% 	Talco verde
Olorex	<ol style="list-style-type: none"> Clorita: (Mg₅Al)(AlSi₃)O₁₀(OH)₈ Talco 1A: H₄Mg₃O₁₂Si₄ Cuarzo: SiO₂ Zincita: ZnO 	[98-002-6850; 98-006-5119; 98-008-3849; 98-010-0682]de ICSD	<ol style="list-style-type: none"> 65% 24% 10% 1% 	Talco verde
Soriana	<ol style="list-style-type: none"> Cuarzo: SiO₂ Talco 1A: H₄Mg₃O₁₂Si₄ Talco 2M: Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂ Caolinita 1A: H₄Al₂Si₉O₂ Dolomita: CaMg(CO₃)₂ Clorita: (Mg₅Al)(AlSi₃)O₁₀(OH)₈ Zincita: ZnO 	[98-002-6850; 98-006-5119; 98-002-6741; 98-010-0682; 98-008- 0082; 98-017-1520; 98-008-3849] de ICSD	<ol style="list-style-type: none"> 42% 17% 15% 8% 7% 7% 1% 	Talco verde
Hipermart	<ol style="list-style-type: none"> Cuarzo: SiO₂ Clorita: (Mg₅Al)(AlSi₃)O₁₀(OH)₈ Talco 1A: H₄Mg₃O₁₂Si₄ 	[98-002-6850; 98-006-5119; 98-010-0682] de ICSD	<ol style="list-style-type: none"> 1.63% 2.25% 3.12% 	Talco verde
Max-O	<ol style="list-style-type: none"> Cuarzo: SiO₂ Talco 1A: H₄Mg₃O₁₂Si₄ Clorita: (Mg₅Al)(AlSi₃)O₁₀(OH)₈ Talco 2M: Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂ Dolomita: CaMg(CO₃)₂ 	[98-002-6850; 98-002-6741; ; 98-006-5119; 98-010-0682; 98-003-1334] de ICSD	<ol style="list-style-type: none"> 44% 25% 11% 10% 10% 	Talco verde

Tabla 4.22. Indicaciones y composición declarada en el envase.

Muestra	Indicaciones del etiquetado	Composición declarada en el envase
O-Dolex	<ol style="list-style-type: none"> 1. No aplicar a menores de 3 años. 2. Uso externo. 3. En caso de irritación dejar de usar. 	Talco, Óxido de Zinc, <i>Ácido bórico</i> , <i>Alcanfor</i> y <i>Cloruro de benzalconio</i> .
Olorex	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sólo para uso externo. 2. Suspender uso en caso de irritación o enrojecimiento. 	Talco, óxido de Zinc, <i>Alcanfor</i> , <i>Salicilato de Metilo</i> , <i>Mentol</i> , <i>Fragancia</i> y <i>Triclosán</i> .
Soriana	<ol style="list-style-type: none"> 1. No inhalar. 2. Evite el contacto con la boca, ojos y nariz. 3. No aplicar sobre piel irritada. 4. Descontinuar su uso en caso de irritación. 	Talco, <i>Fécula de maíz</i> , Óxido de Zinc, <i>Fragancia</i> , <i>Mentol Natural</i> , <i>Alcanfor</i> y <i>Aloe Vera Líquida</i> . <u>Sesquiclorhidratode Aluminio 0.8%</u>
Hipermant	<ol style="list-style-type: none"> 1. No inhalar. 2. Evite el contacto con la boca, ojos y nariz. 3. No aplicar sobre piel irritada. 4. Descontinuar su uso en caso de irritación. 	Talco, <i>Fécula de maíz</i> , <i>Fragancia</i> , <i>Alcanfor</i> y <i>Aloe Vera Líquida</i> . <u>Sesquiclorhidrato de Aluminio 0.4%</u>
Max-O	<ol style="list-style-type: none"> 1. No aplicar en piel irritada o lastimada. 2. Descontinuar uso en caso de irritación o enrojecimiento. 3. Mantener en lugar fresco. 	Talco, <i>Fécula de Maíz</i> , <i>Fragancia</i> , <i>Alcanfor</i> , <i>Dimeticona</i> , <i>Cloruro de Benzalconio</i> , <i>Aloe Vera Líquida</i> y <u>Sesquiclorhidrato de Aluminio</u>

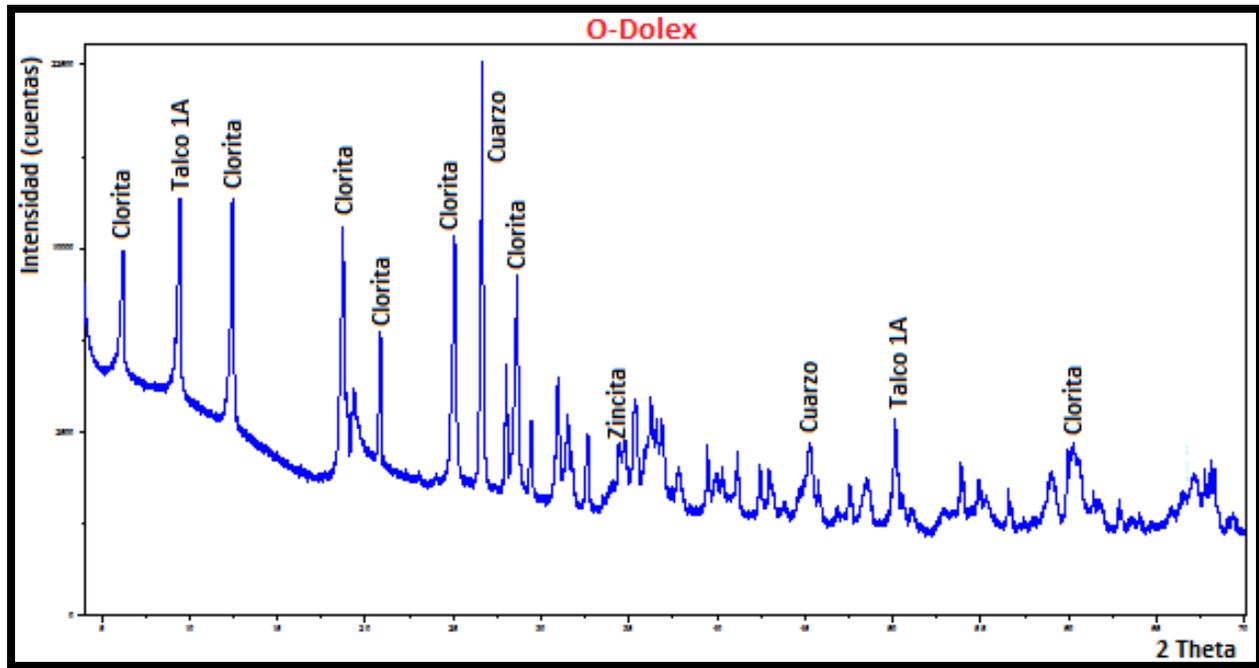


Figura 4.40. Difractograma de talco para uso cosmético "O-Dolex", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.

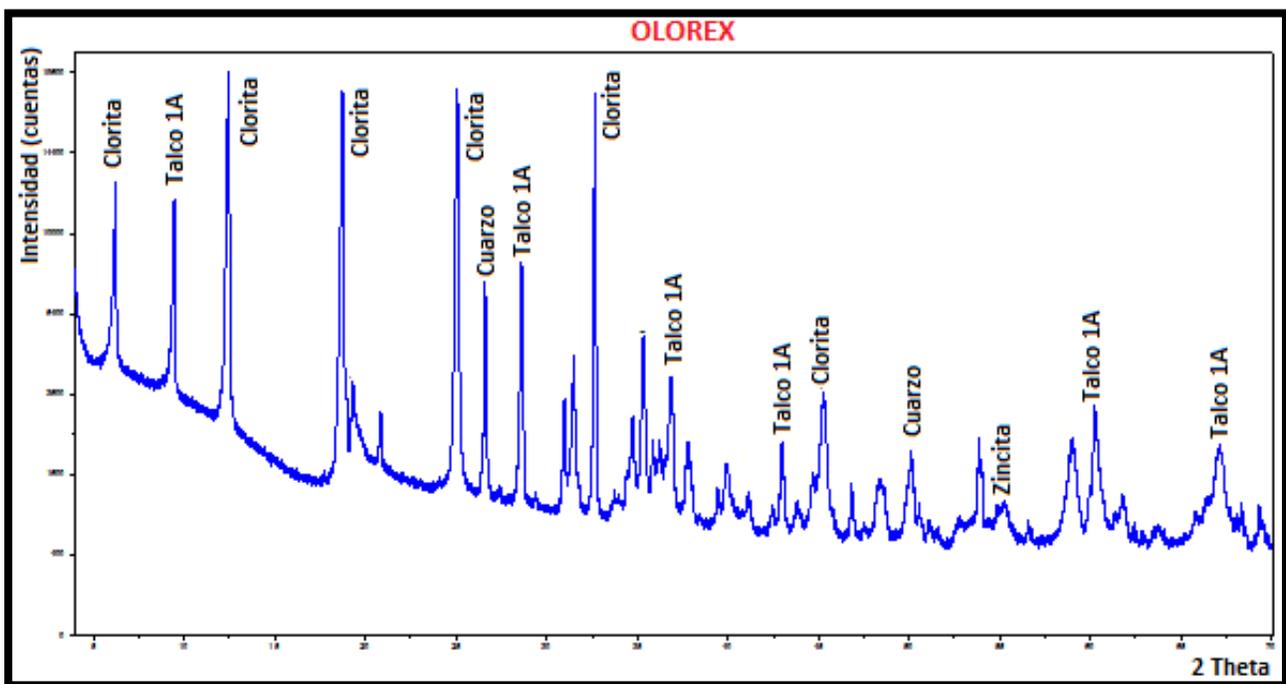


Figura 4.41. Difractograma de talco para uso cosmético "Olorex", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.

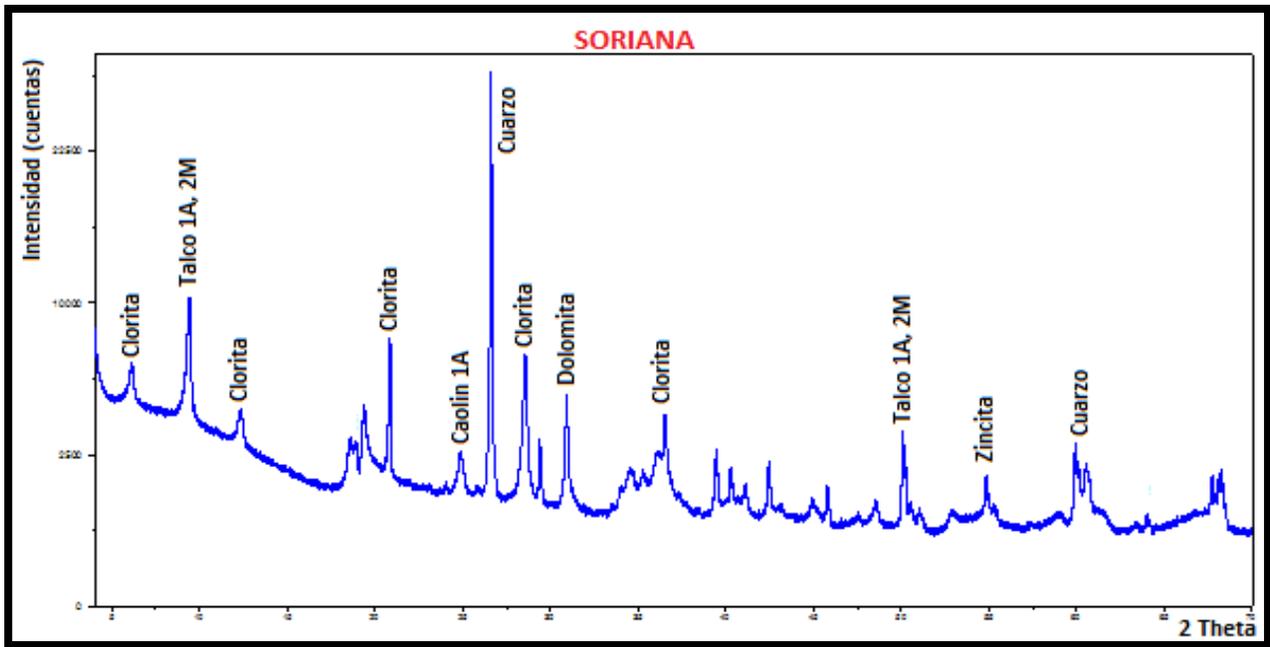


Figura 4.42. Difractograma de talco para uso cosmético "Soriana", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.

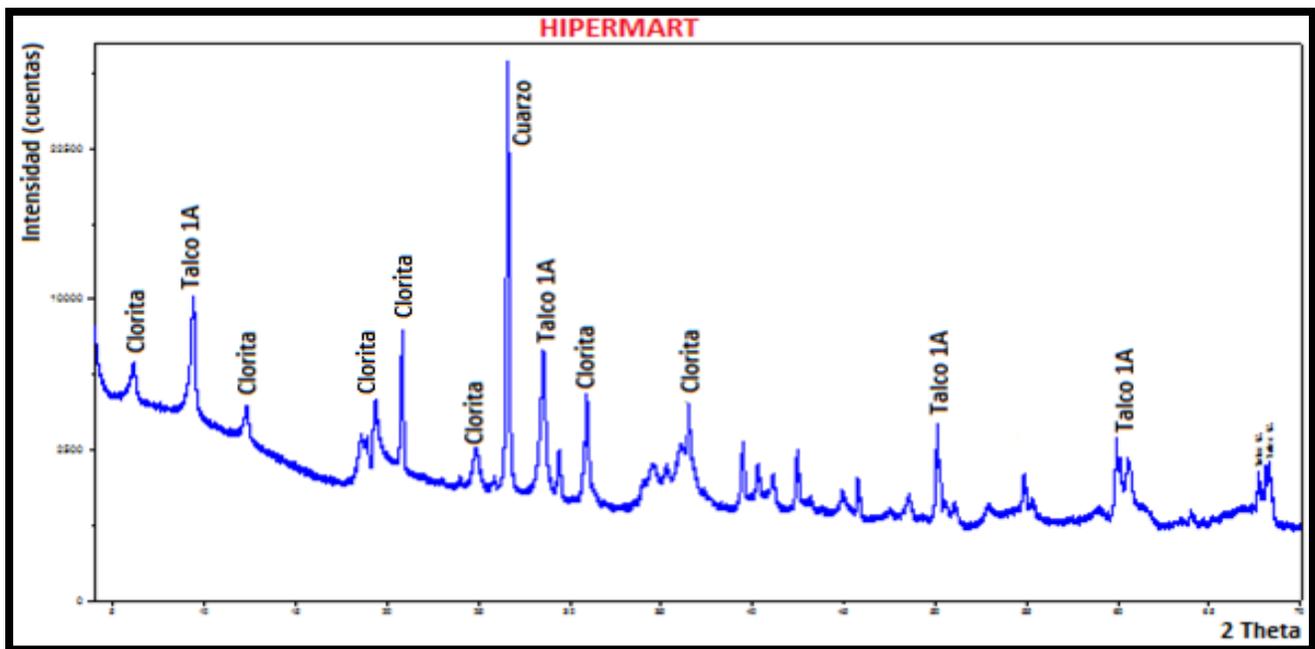


Figura 4.43. Difractograma de talco para uso cosmético "Hipermart", en la que se indica su mineralogía principal identificada por DRX.

Tabla 4.23. Cálculo del Índice Morfológico en base a la relación entre el pico 020 y 004 (Holland & Murtagh 2000) y el grado de cristalinidad con respecto a los picos basales del patrón de difracción.

	CRISTALINIDAD	I(020)	I(004)	M	ÍNDICE MORFOLÓGICO (HOLLAND & MURTAGH 2000)
O-DOLEX	0.1488	2024	4889	11802	0.171496357
OLOREX	0.1536	5845	164	6173	0.3264537
SORIANA	0.3262	626	526	1678	0.37306317
HIPERMART	0.2759	610	1604	3818	0.159769513
MAX-O	0.2331	813	1499	3811	0.213329835

El índice morfológico como bien se ha mencionado anteriormente nos habla del ordenamiento de su estructura de los cristales y podemos suponer las condiciones de formación con dicho valor. En este caso el talco Olorex tiene un índice morfológico muy cercano a uno, por lo tanto, podemos decir que a pesar de no ser un talco puro, éste contiene cuarzo, clorita y zincita con un buen ordenamiento atómico por la alta temperatura y la presión seguramente expuestas en la formación de la roca.

4.2.2.2. Resultados por Análisis Térmogravimétrico

Para estas curvas termogravimétricas se recurrió a realizar un suavizado de curva un poco diferente a las anteriores y se derivaron mayor número de veces para obtener una mejor definición del cambio de pendiente (pérdida de masa). Las transformaciones físicas y descomposiciones presentes son de tipo endotérmico, por lo que siempre se requiere de una energía para llevarlas a cabo. Para descomponer el talco, fase más difícil a descomponer, se necesita de una gran energía o en su similar en variables termodinámicas a una alta temperatura (>900 °C). Las fases minerales identificadas por esta técnica fueron: talco, clorita, caolinita y talco saponita.

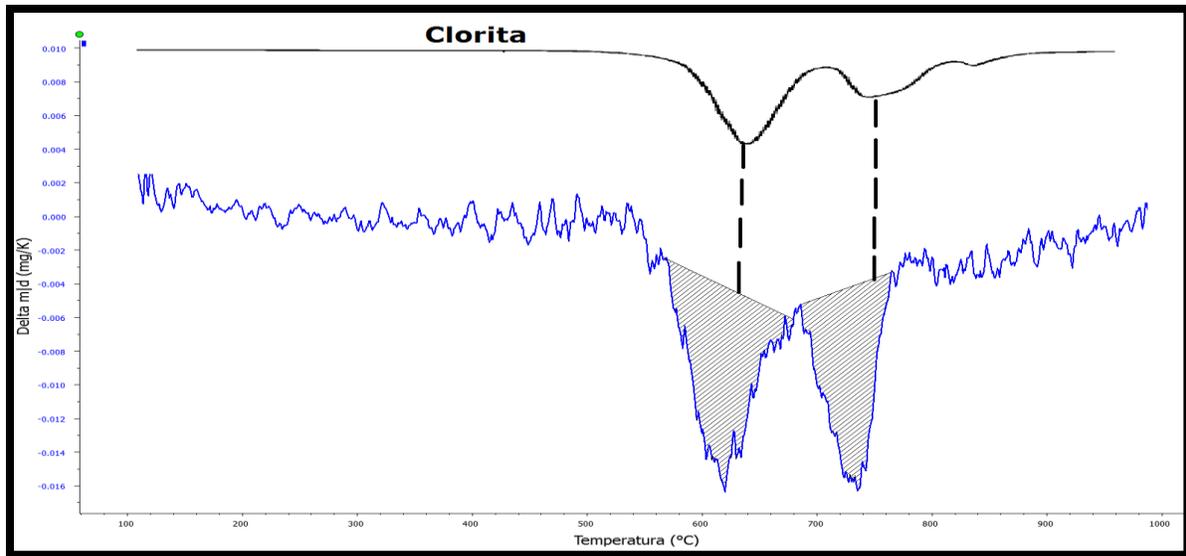


Figura 4.46. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco O-Dolex. Curva superior de color negro es la curva térmica de la literatura para la clorita, curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). Presenta dos descomposiciones continuas en el intervalo de 600°C a 750°C (deshidroxilación), esto nos dice que son cloritas de Hierro y Magnesio.

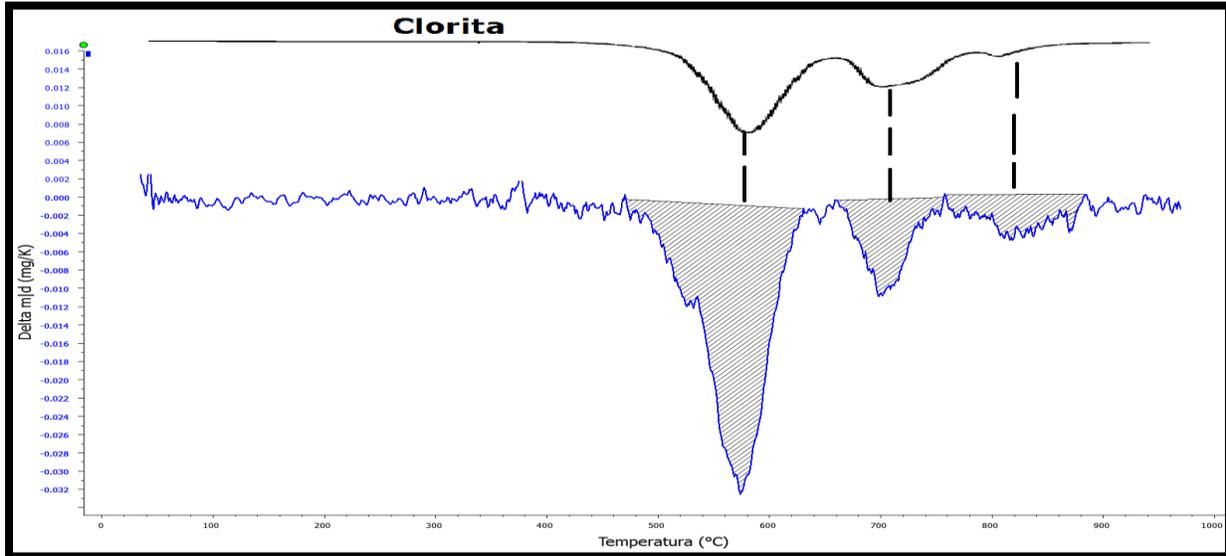


Figura 4.47. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Olorex. Curva superior de color negro es la curva térmica de la literatura para la clorita, curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). Presenta dos descomposiciones continuas en el intervalo de 500°C a 700°C (deshidroxilación), esto nos dice que son cloritas de Hierro y Magnesio, y una última descomposición a los 800°C por la deshidroxilación.

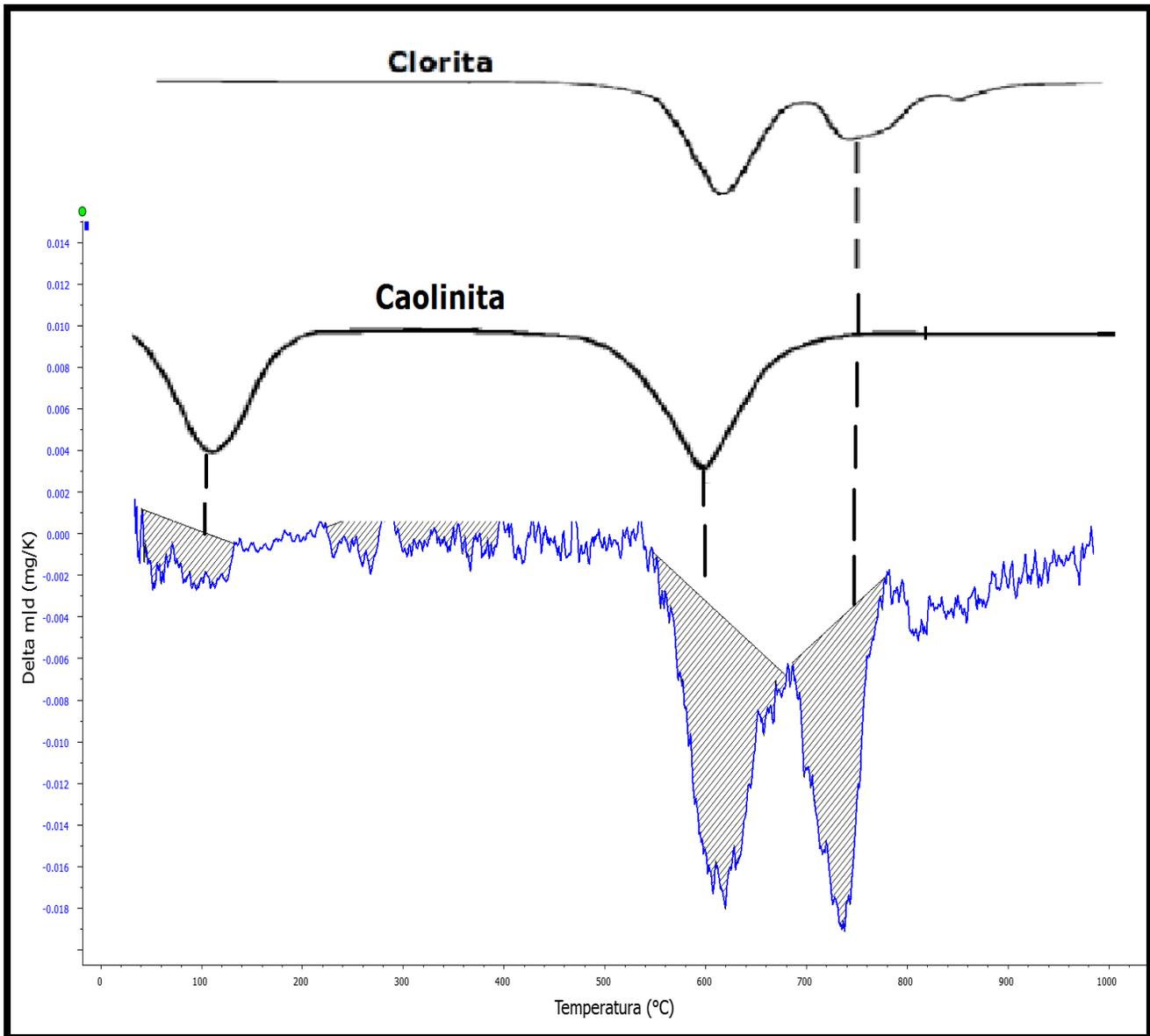


Figura 4.48. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Soriana.

Curvas superiores de color negro son las curvas térmicas de la literatura para la clorita, curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). Presenta dos reacciones continuas de la clorita en el intervalo de 600°C a 750°C, cloritas de Hierro y Magnesio, así también, sucede una desorción de agua de 20°C a 100°C y unadeshidroxilación de 550°C a 590°C ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

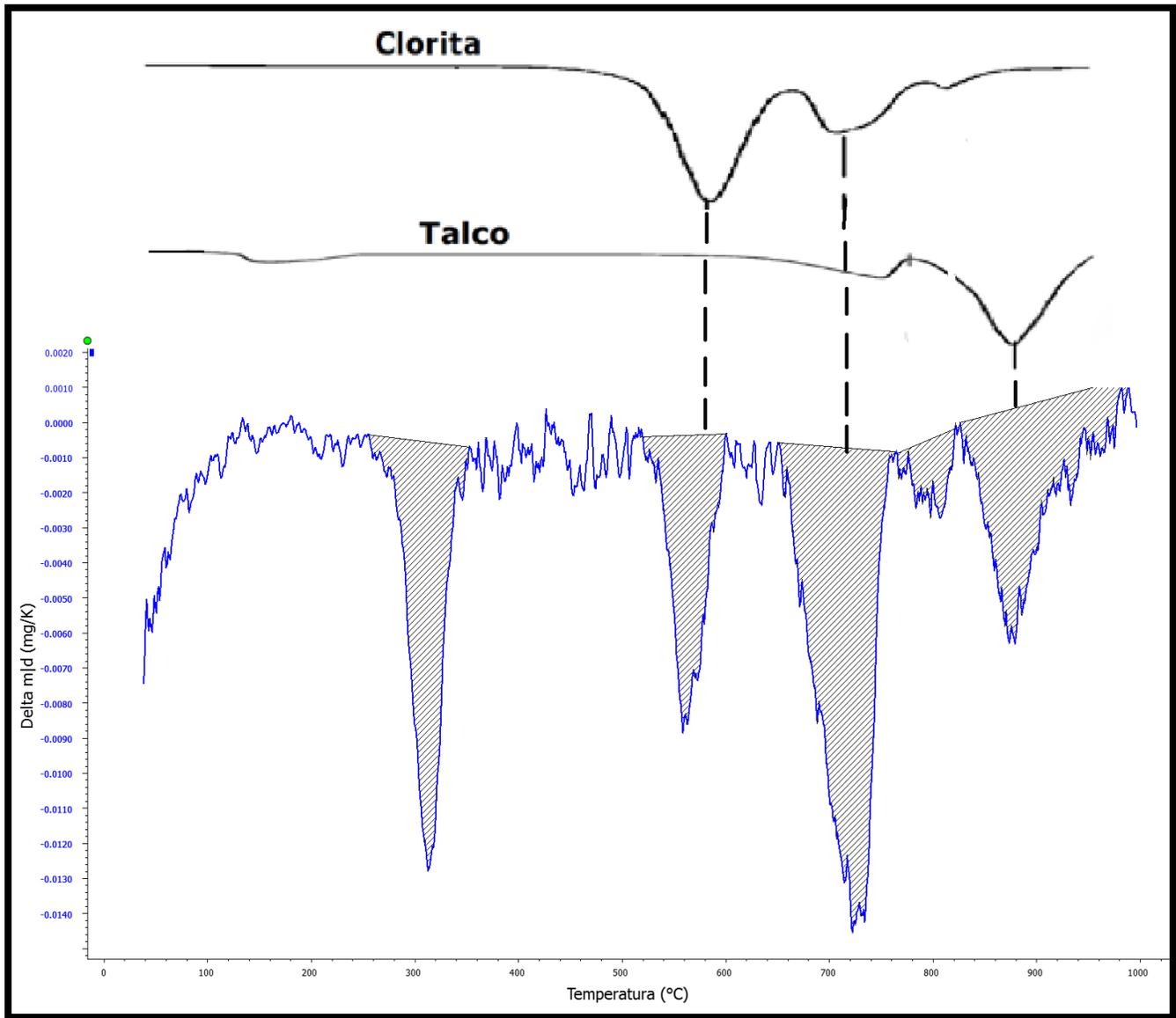


Figura 4.49. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Hipermart.

Curvas superiores de color negro son las curvas térmicas de la literatura para el talco y la clorita, curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). La clorita presenta dos reacciones semi-continuas en el intervalo de 500°C a 750°C (deshidroxilación), cloritas de Hierro y Magnesio. Para el talco se muestra su deshidroxilación y descomposición de la estructura $(Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 \longrightarrow 3MgSiO_3 \text{ (enstatita)} + SiO_2 + H_2O)$ de 850°C a 1000°C.

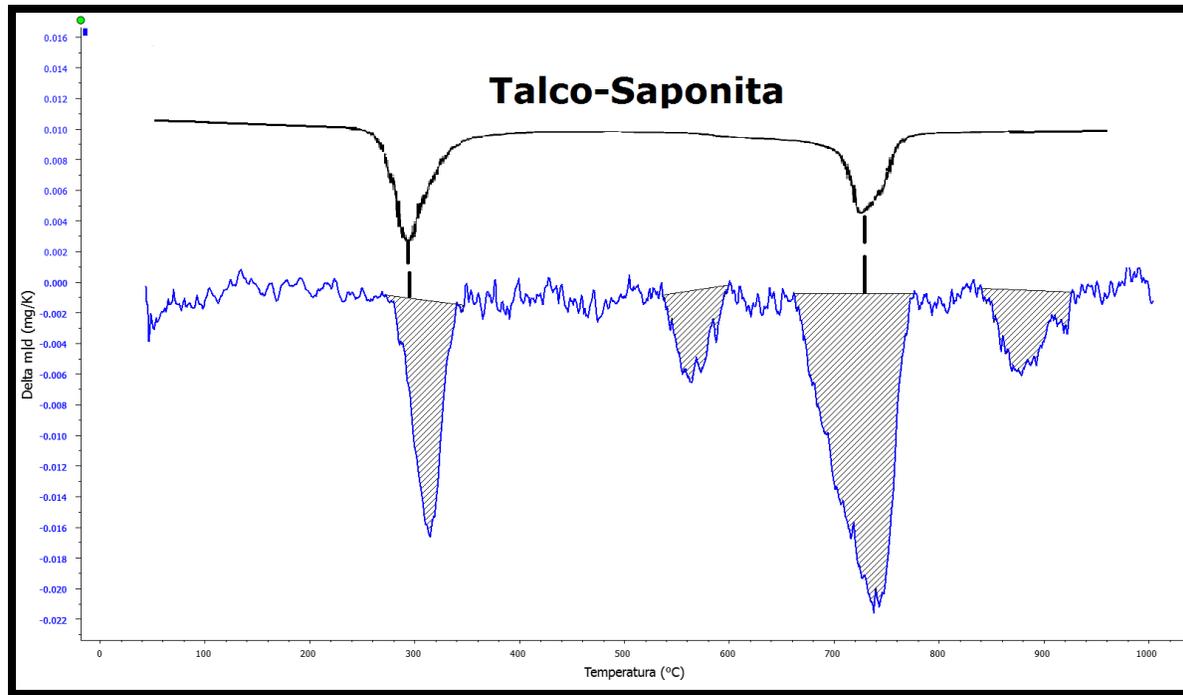


Figura 4.50. Curva termogravimétrica (DTG) e identificación de minerales para talco Max-O. Curva superior de color es la curva térmica de la literatura para el talco-saponita, curva inferior simboliza la curva térmica experimental (color azul). La fase mineral Talco-saponita tiene dos reacciones características en 300°C y 750°C.

Tabla 4.24. Pérdida de masa e identificación de compuestos minerales presente en talcos por Análisis termogravimétrico. Entre más pérdida de masa tenga la muestra, mayor es el número de reacciones de transformación.

Muestra	Pérdida de masa (mg)	Minerales presentes
O-Dolex	-2.474	Clorita
Olorex	-3.271	Clorita
Soriana	-3.369	Clorita;Caolinita
Hipermart	-2.798	Clorita; Talco
Max-O	-2.798	Talco-Saponita

La pérdida de masa es similar es inferior a la de los talcos de alta pureza, esto por su bajo contenido de talco según los resultados de DRX, por lo que es menor la cantidad de agua evaporada.

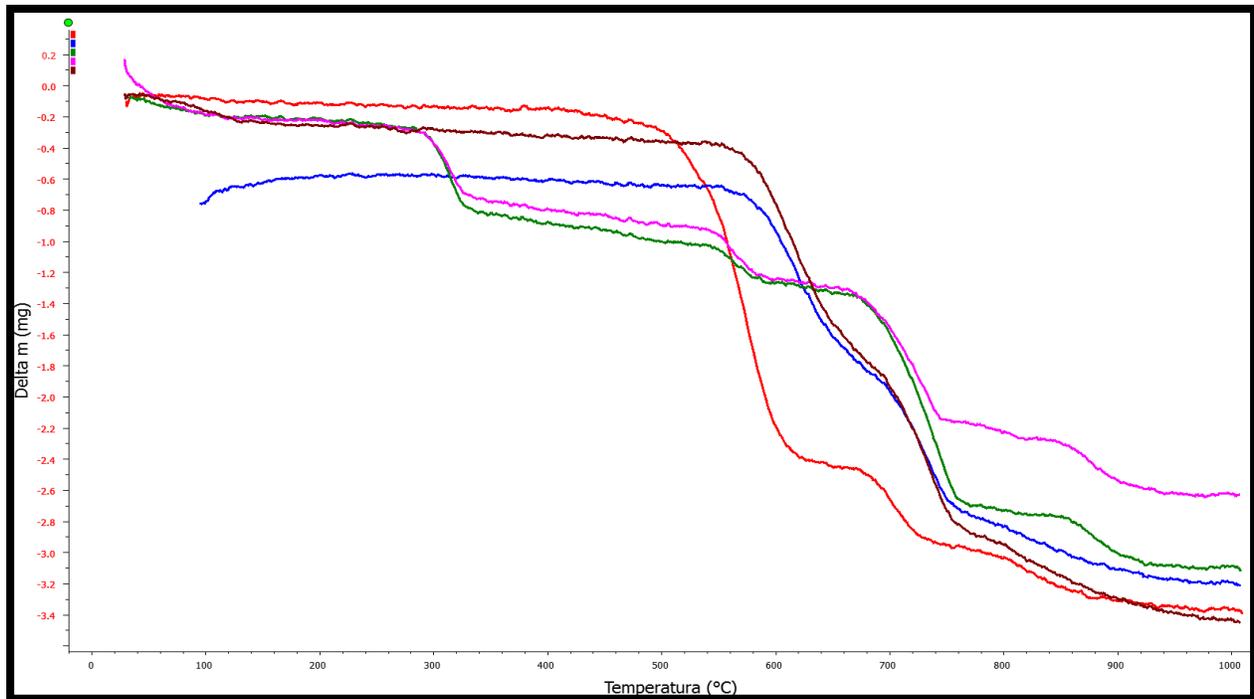


Figura 4.51. Curvas termogravimétricas superpuestas suavizadas para los talcos con bajo contenido de talco.

La tendencia de las curvas térmicas es muy similar, la única que se encuentra desfasada es la del talco Soriana (curva roja), teniendo su descomposición 40°C aproximadamente antes que los otros talcos. La descomposición de talco que es de 800°C a 1000°C solo la muestra de Hipermart (curva verde) se presenta dicha transformación.

4.2.2.3. Resultados por Espectroscopia de Masas y Emisión Óptica (ICP-MS y OES)

La clasificaron se divide de igual manera en tres bloques:

- Mayores: *Al, Si, Na, K, Ca, Fe, Mg, Mn, Sn, Ti, Cr, Zn, Ni.*
- Traza: *Sc, Be, V, Co, Cu, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Yh, U.*
- Lantánidos: *La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.*

Tabla 4.25. Cantidad de óxidos presentes en talcos comerciales de bajo contenido.

Analito Muestra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MNO %	MGO %	CA O %	NA ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	LOI %	Total %
O-DOLEX	46.99	8.05	0.9	0.031	25.36	3.13	0.02	0.09	0.107	0.06	13.32	98.07
OLOREX	35.82	14.01	0.51	0.007	31.43	1.22	0.01	0.18	0.173	0.03	15.92	99.32
SORIANA	51.35	2.48	1.33	0.047	17	4.08	0.04	0.01	0.005	0.08	20.67	97.09
HIPERMART	57.72	3.16	1.62	0.045	21.72	3.3	0.03	0.01	0.002	0.09	12.43	100.1
MAX-O	34.25	4.03	0.43	0.013	20.9	1.19	0.03	0.04	0.056	0.07	38.33	99.33

Tabla 4.26. Análisis elemental (ICP-MS) de muestras con bajo contenido de talco. Elementos sombreados de azul están presente en cantidades elevadas.

ANALITO MUESTRA	Cr Ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Ga ppm	Ge ppm	As ppm
O-DOLEX	< 20	1	< 20	10	> 10000	8	0.6	< 5
OLOREX	20	1	< 20	< 10	4480	9	< 0.5	< 5
SORIANA	< 20	< 1	< 20	10	> 10000	8	0.9	< 5
HIPERMART	< 20	< 1	< 20	< 10	860	10	0.7	< 5
MAX-O	< 20	< 1	< 20	< 10	90	4	< 0.5	< 5

ANALITO MUESTRA	Rb ppm	Y ppm	Nb ppm	Mo ppm	Ag ppm	In ppm	Sn ppm	Sb ppm	La ppm	Cs ppm
O-DOLEX	3	3.4	1.4	12	< 0.5	< 0.1	< 1	0.3	4.63	0.6
OLOREX	7	4.3	2.5	< 2	< 0.5	< 0.1	< 1	< 0.2	6.74	1
SORIANA	< 1	1.6	< 0.2	43	< 0.5	< 0.1	< 1	0.5	0.38	0.2
HIPERMART	< 1	1.7	< 0.2	26	< 0.5	< 0.1	< 1	0.3	0.59	0.3
MAX-O	2	1.5	0.7	4	< 0.5	< 0.1	< 1	< 0.2	1.86	0.4

ANALITO	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Er	Ho
MUESTRA	ppm									
O-DOLEX	9.64	1.07	4.19	0.71	0.165	0.64	0.1	0.61	0.35	0.11
OLOREX	14.1	1.45	5.35	1.05	0.163	0.78	0.12	0.74	0.46	0.14
SORIANA	1.22	0.22	1	0.25	0.082	0.28	0.04	0.21	0.12	0.04
HIPERMART	1.68	0.26	1.35	0.34	0.13	0.4	0.06	0.31	0.15	0.05
MAX-O	3.82	0.45	1.54	0.28	0.071	0.31	0.05	0.25	0.14	0.04

ANALITO	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
MUESTRA	ppm										
O-DOLEX	0.055	0.34	0.056	1.6	0.15	0.6	0.07	67	0.4	1.72	1.46
OLOREX	0.075	0.59	0.082	2.8	0.27	1.3	< 0.05	5	< 0.1	2.7	1.12
SORIANA	0.017	0.11	0.016	< 0.1	< 0.01	18.5	< 0.05	172	0.4	< 0.05	1.54
HIPERMART	0.019	0.1	0.015	< 0.1	< 0.01	< 0.5	< 0.05	144	< 0.1	< 0.05	1.57
MAX-O	0.021	0.15	0.023	0.6	< 0.01	< 0.5	< 0.05	12	< 0.1	0.79	0.74

Tabla 4.27. Análisis elemental (ICP-OES) muestras con bajo contenido de talco. Los elementos sombreados de morado son por su alto contenido en ese elemento.

ELEMENTO	Sc	Be	V	Sr	Zr	Ba
MUESTRA	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm
O-DOLEX	2	< 1	28	83	65	630
OLOREX	2	< 1	22	5	105	9
SORIANA	< 1	< 1	40	464	8	1183
HIPERMART	< 1	< 1	47	265	5	1790
MAX-O	1	< 1	15	113	31	187

A continuación se esbozan los elementos en alto contenido y que pueden traer consecuencias a la salud:

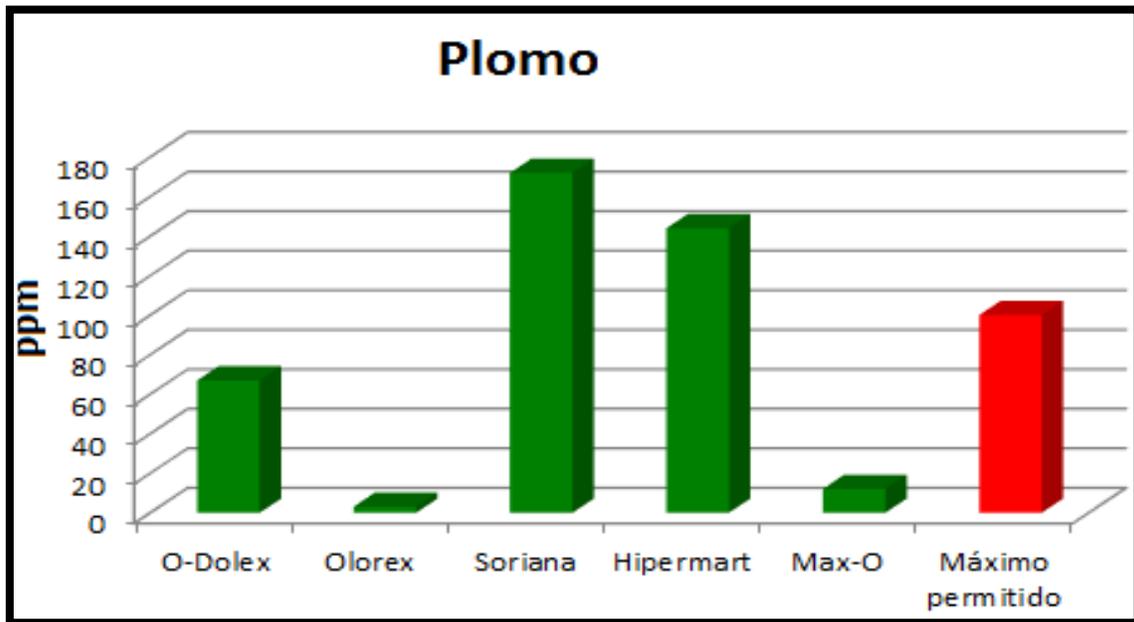


Figura 4.52. Contenido de plomo en talcos de uso cosmético. Los talcos soriana e Hipermart están por encima de lo permitido en la NOM-199-SSA1-2000 de salud ambiental.

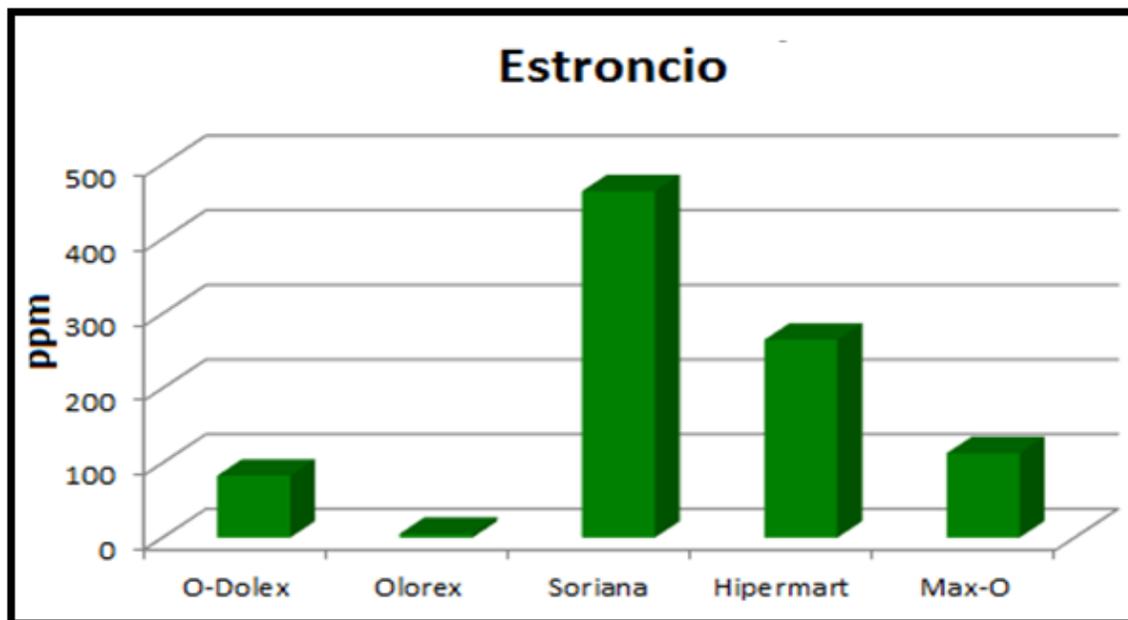


Figura 4.53. Contenido de estroncio en talcos de uso cosmético. Se desconoce la dosis máxima permitida pero se sabe que en dosis elevadas es de gran peligro.

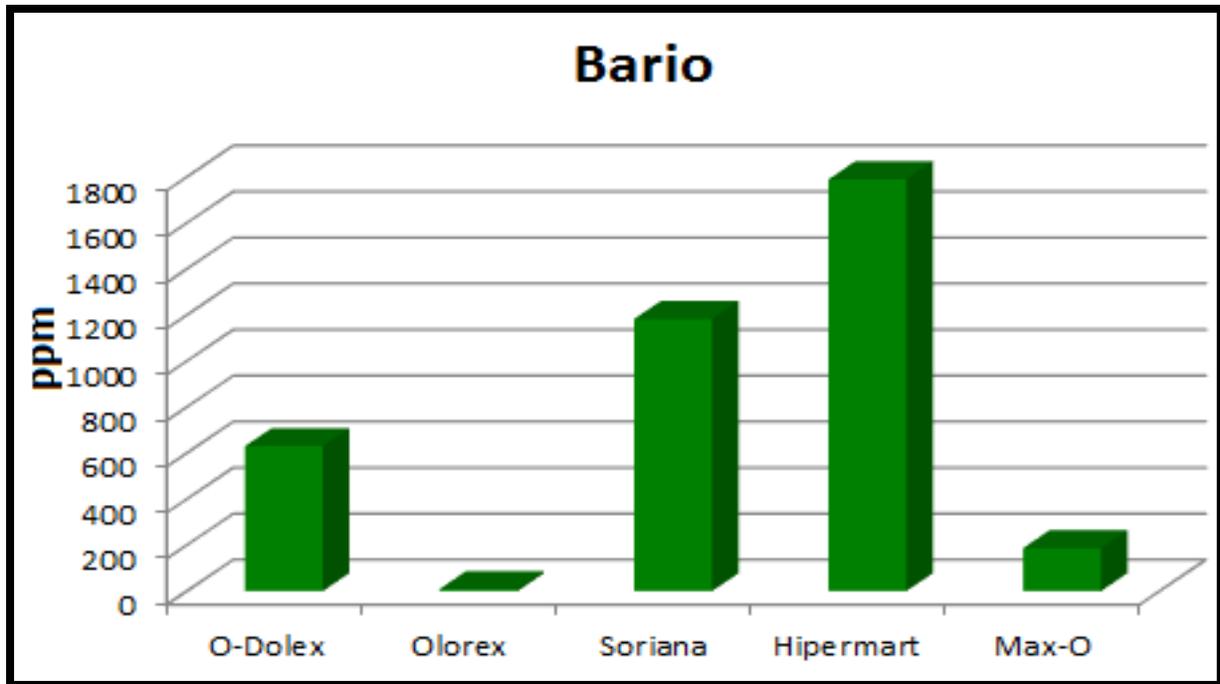


Figura 4.54. Contenido de ario en talcos de uso cosmético. Se desconoce la dosis máxima permitida pero se sabe que en dosis elevadas es de gran peligro.

4.2.2.4. Resultados de Granulometría Láser (Vía Húmeda)

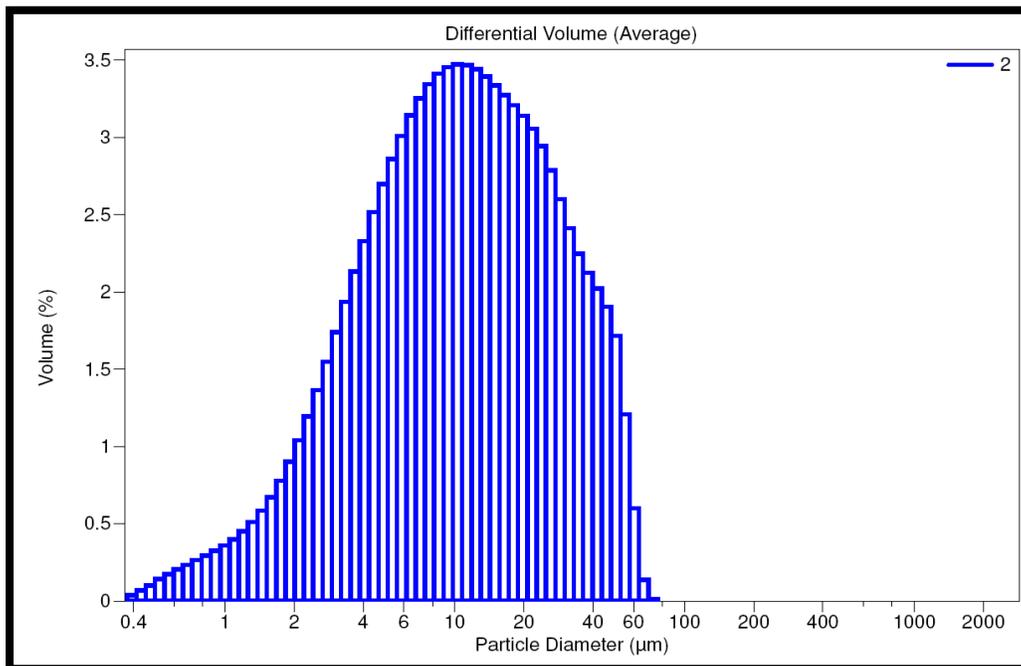


Figura 4.55. Distribución granulométrica unimodal para O-Dolex.

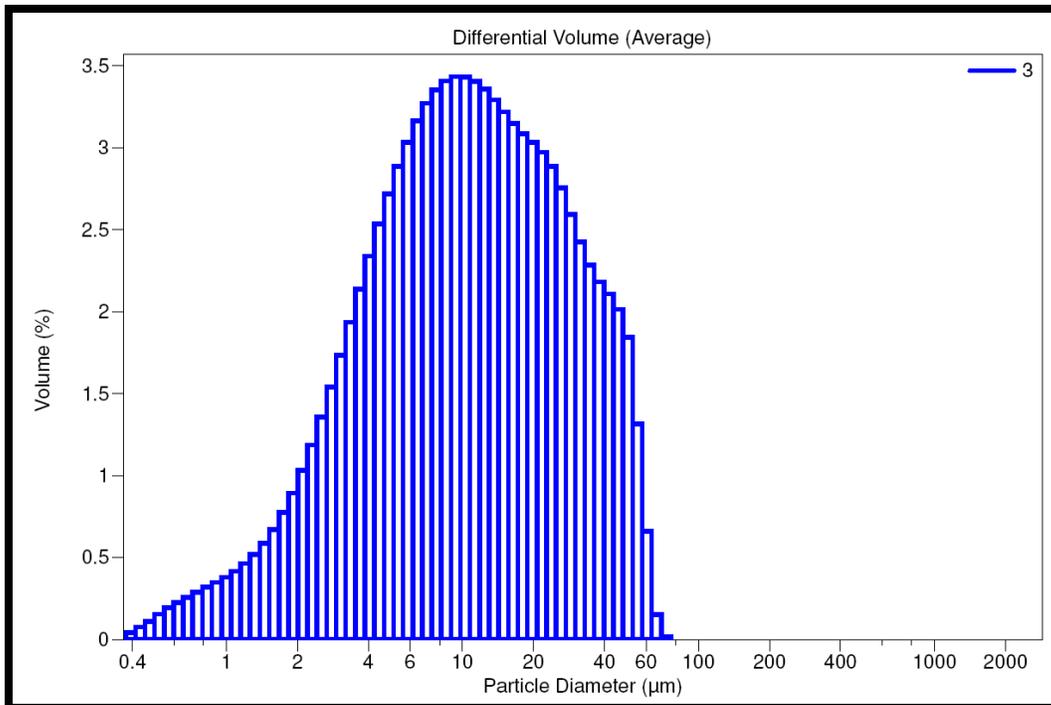


Figura 4.56. Distribución granulométrica unimodal para Olorex.

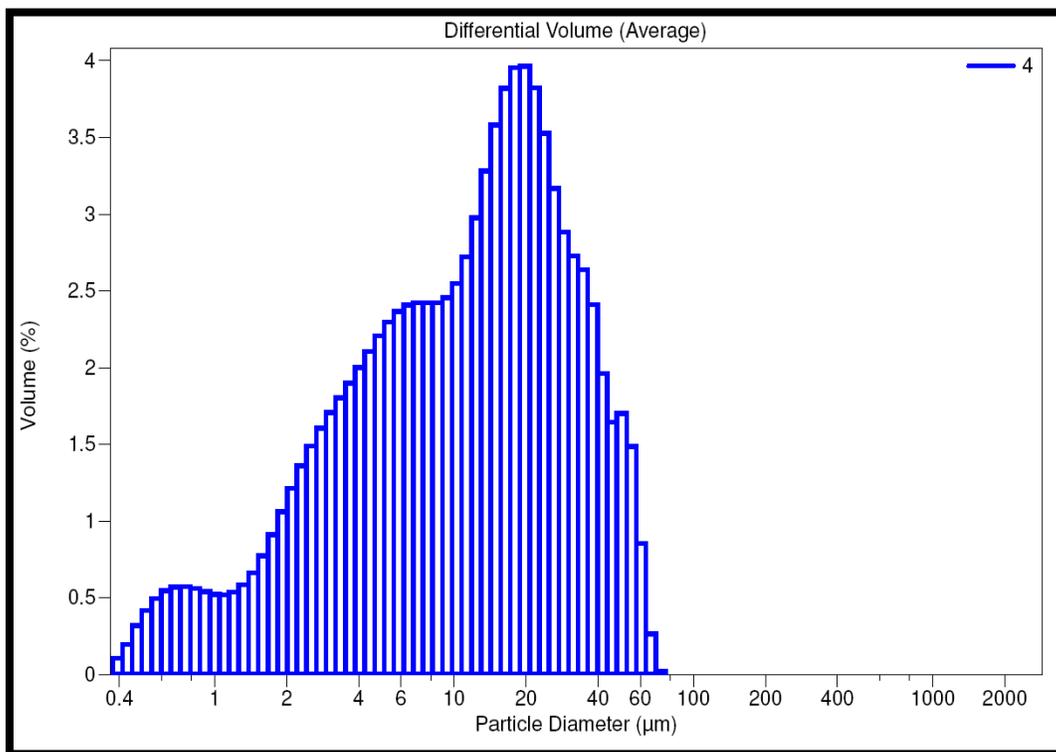


Figura 4.57. Distribución granulométrica bimodal para Soriana.

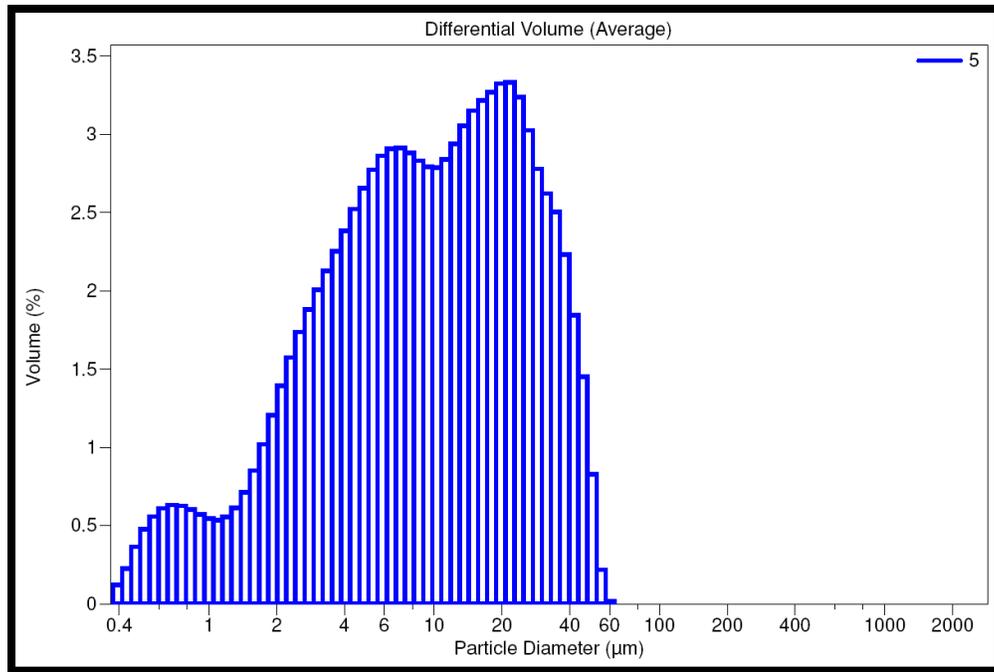


Figura 4.58. Distribución granulométrica unimodal para Hipermart.

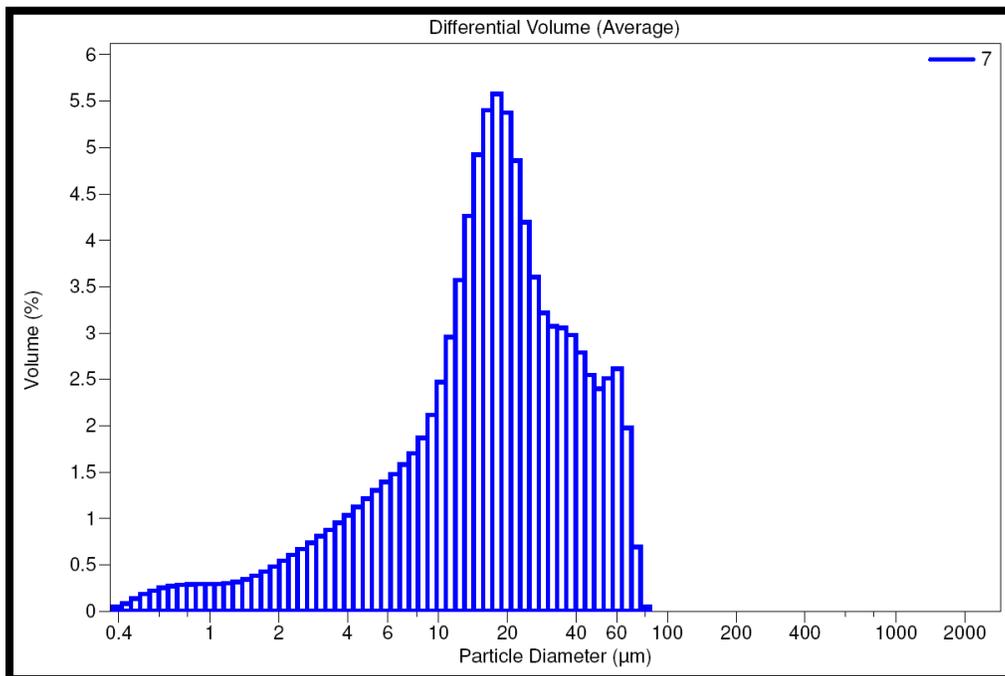


Figura 4.59. Distribución granulométrica unimodal para Max-O.

Tabla 4.28. Análisis de distribución de partícula en cosméticos con alto contenido de talco.

Nombre	Fracciones (%)		
	Arenas (62-2000 μm)	Limos (4-62 μm)	Arcillas (0.24-4 μm)
O-Dolex	0.151	82.390	17.459
Olorex	0.167	82.180	17.653
Soriana	0.282	78.770	20.948
Hipermart	-----	76.200	23.800
Max-O	0.720	87.180	12.100

4.2.2.5. Infrarrojo de Onda Corta

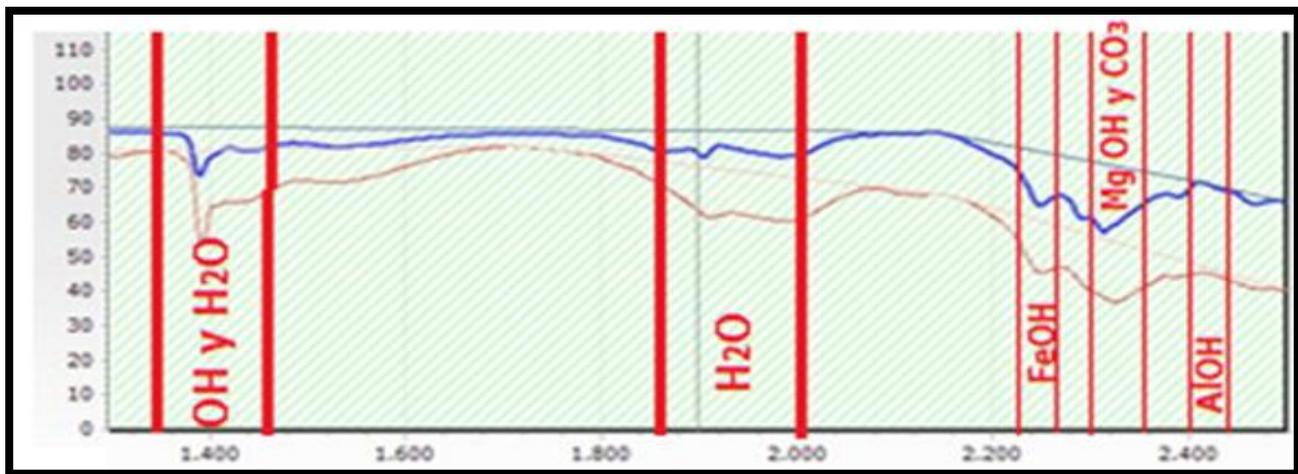


Figura 4.60. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco O-Dolex con una correlación de 0.941 de talco con respecto al patrón USGS. La curva real de análisis es la de color azul (más gruesa), mientras que la curva sobrepuesta representa el espectro de clorita, el cual fue el de mayor correlación con la curva obtenida. Dentro del presente espectro de los filosilicatos, se distinguen bandas de absorción debidas a las vibraciones de las moléculas de H₂O, OH, FeOH Mg OH-CO₃ y AlOH.

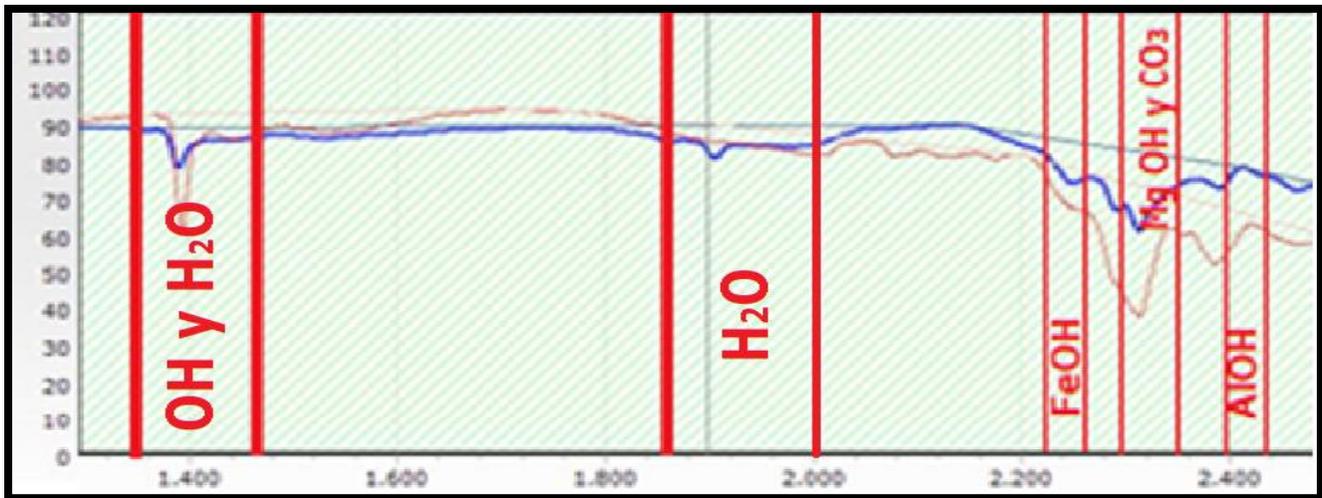


Figura 4.61. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco Olorex con una correlación de 0.931 de talco con respecto al patrón USGS. La curva real de análisis es la de color azul (más gruesa), mientras que la curva sobrepuesta representa el espectro de talco, el cual fue el de mayor correlación con la curva obtenida. Dentro del presente espectro de los filosilicatos, se distinguen bandas de absorción debidas a las vibraciones de las moléculas de H_2O , OH, FeOH Mg OH- CO_3 y AlOH.

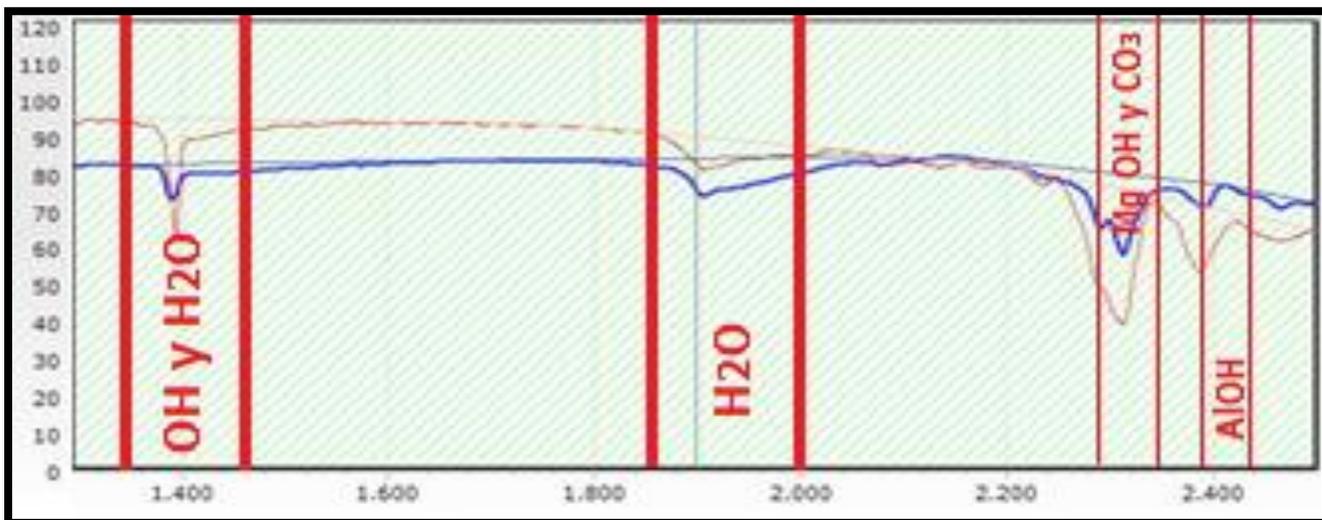


Figura 4.62. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco Hipermart con una correlación de 0.894 de talco con respecto al patrón USGS. La curva real de análisis es la de color azul (más gruesa), mientras que la curva sobrepuesta representa el espectro de talco, el cual fue el de mayor correlación con la curva obtenida. Dentro del presente espectro de los filosilicatos, se distinguen bandas de absorción debidas a las vibraciones de las moléculas de H_2O , OH, Mg OH- CO_3 y AlOH.

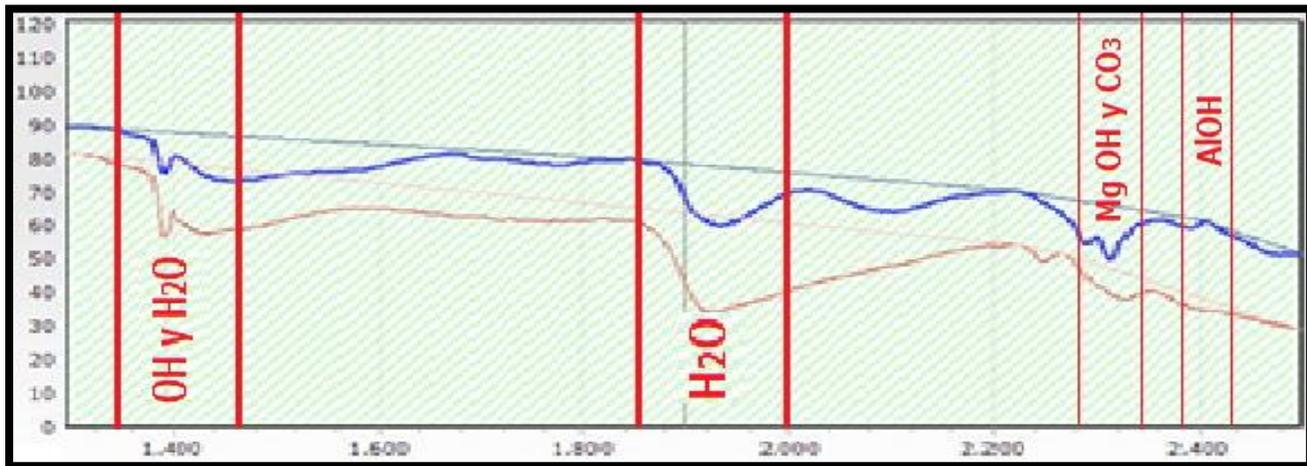


Figura 4.63. Espectro de emisión infrarroja a corta distancia para talco Max-O con una correlación de 0.935 de talco con respecto al patrón USGS. La curva real de análisis es la de color azul (más gruesa), mientras que la curva sobrepuesta representa el espectro de Vermiculita, el cual fue el de mayor correlación con la curva obtenida. Dentro del presente espectro de los filosilicatos, se distinguen bandas de absorción debidas a las vibraciones de las moléculas de H₂O, OH, Mg OH-CO₃ y AlOH.

4.2.3. Relación Precio-Calidad; alto y bajo contenido de talco

Los resultados del análisis por difracción se resumieron en tablas que se presentan a continuación, así también, se expone información de talcos (empresas, información de envase, etc) y se compara mediante el uso de éstas mismas, la relación costo-pureza.

Tabla 4.29. Comparación de composición de etiqueta contra las fase identificadas en DRX.

MUESTRA	Composición declarada en el envase (sin sustancias química)	Análisis de fases por DRX
Rexona	Talco, óxido de Zinc.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuarzo 2. Talco 3. Óxido de Zinc
O-Dolex	Talco, Óxido de Zinc, Ácido bórico.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clorita 2. Talco 3. Óxido de Zinc 4. Cuarzo
Olorex	Talco, óxido de Zinc.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clorita 2. Talco 3. Óxido de Zinc 4. Cuarzo
Soriana	Talco, Óxido de Zinc	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clorita 2. Talco 3. Cuarzo 4. Caolinita 5. Dolomita 6. Zincita
Hipermant	Talco	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clorita 2. Talc-1A 3. Cuarzo
Maja	Talco	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clorita 2. Talc 2M 3. Cuarzo
Max-O	Talco	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clorita 2. Talco 3. Cuarzo 4. Dolomita
Active Feet	Talco, Carbonato de Calcio, Óxido de Zinc.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcita 2. Talco 3. Óxido de Zinc
Heno de Pravia	Talco	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clorita 2. Talco

Tabla 4.30. Identificación de fases con diferentes técnicas empleadas.

Talco	DRX (Fases)	TGA (Fases)	SWIR	ICP
Rexona	Talco, cuarzo, zincita	Clorita; vermiculita	-----	Talco y clorita, zincita
O-Dolex	Talco, clorita, zincita, cuarzo	Clorita	Clorita	Talco, clorita, zincita
Olorex	Talco, clorita, zincita, cuarzo	Clorita	Talco	Talco, clorita, zincita
Soriana	Talco, clorita, cuarzo, caolinita, dolomita, zincita	Clorita; caolinita	-----	Talco, clorita, zincita, dolomita
Hipermart	Talco, clorita, cuarzo	Clorita; talco	Talco	Talco, clorita
Maja	Talco, clorita, cuarzo	Talco-esmectita; talco	-----	Talco
Max-O	Talco, clorita, cuarzo, dolomita	Talco-saponita	Vermiculita	Talco, clorita
Active Feet	Talco, zincita, calcita	Talco-saponita	-----	Talco, clorita, calcita, zincita
Heno de pravia	Talco, clorita	Talco-esmectita; talco	-----	Talco, clorita

Figura 4.64. Abundancia de lantánidos en los talcos naturales y comerciales.

Las concentraciones de las REE (tierras raras) en las rocas son usualmente normalizadas a una referencia estándar, la que comúnmente consiste en los valores de los meteoritos condríticos. Se realizó un patrón de REE, donde se unieron las concentraciones normalizadas al valor del condrítico referencial (en escala logarítmica de base 10) de las tierras raras mediante líneas rectas, desde el lantano hasta el lutecio (ordenadas por número atómico creciente). Los talcos de mayor calidad se caracterizan también por contenidos muy bajos de Σ REE. El talco no incluye espacios para la inserción de lantánidos en su estructura y estos se encuentran en los minerales accesorios como la clorita.

El diagrama de lantánidos no normalizado presentaría un patrón en forma de zig-zag. Esto sucede porque las REE con número atómico par son más estables y por ende más abundantes, mientras que aquellas con número atómico impar son más inestables. En el diagrama de lantánidos normalizado de rocas es frecuente encontrar una anomalía positiva o negativa de europio. Los talcos de alta pureza mineralógica presentan una anomalía de Eu, negativa así como el talco de Oaxaca. Mientras que los talcos de baja pureza mineralógica presentan anomalías de Eu de diferente signo. El patrón de lantánidos en minerales se utiliza principalmente para deducir su génesis. Por ejemplo los patrones normalizados de los talcos rexona, maja, active feet y del talco de Oaxaca revelan, por sus anomalías marcadas de europio, que el protolito (roca originaria) era probablemente una roca magmática que en una segunda etapa sufrió metamorfismo.

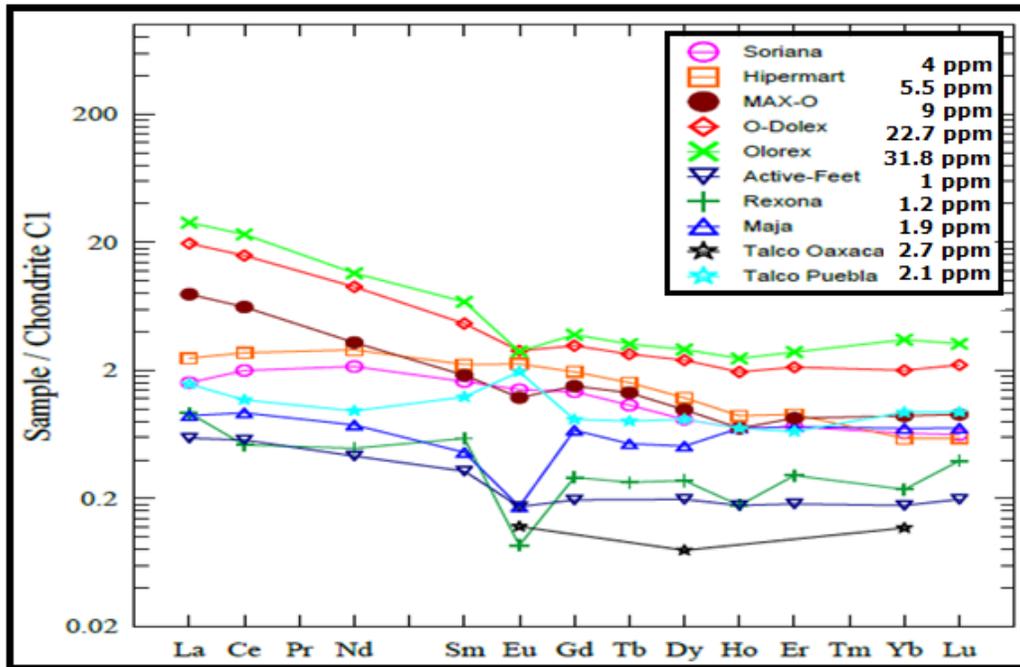


Figura 4.64. Abundancia de lantánidos en los talcos naturales y comerciales.

Tabla 4.31. Relación entre fases identificadas (TGA), pureza de talco, cristalinidad, índice morfológico (DRX) y precio para talcos comerciales.

Talco	DRX (%Talco)	Cristalinidad	Índice Morfológico	Precio por 200g
Rexona	90	0.2886	0.704	57.00
O-Dolex	23.8	0.1488	0.171	10.00
Olorex	24	0.1536	0.946	23.00
Soriana	32	0.3262	0.373	14.50
Hipermart	12	0.2759	0.159	11.00
Maja	96	0.1448	0.667	67.00
Max-O	35	0.2331	0.213	15.00
Active Feet	87.1	0.1886	0.893	30.7
Heno de pravia	95	-----	-----	82

Referencias

A. Hemerográficas

H. J. Holland, "An XRD Morphology Index for talcs: The Effect of particle size and morphology on the specific surface area." *Advances in X-ray Analysis*, 42, 421-428.

Gamiz, E., Soriano, M., Delgado Calvo-Flores, G., Párraga Martínez, J., & Delgado Calvo-Flores, R. (2002). *Estudio morfológico de talcos con microscopio electrónico de barrido (sem): aplicaciones farmacéuticas*.

Maskell, N. A., Lee, Y. G., Gleeson, F. V., Hedley, E. L., Pengelly, G., & Davies, R. J. (2004). *Randomized trials describing lung inflammation after pleurodesis with talc of varying particle size*. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 170(4), 377-382.

Rodas Magdalena, *Talco-1*, 2014.

Viczian, I. (2013). Földvári, Mária: *Handbook of the thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice: Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary*, vol. 213, Budapest, 2011, 180 p.

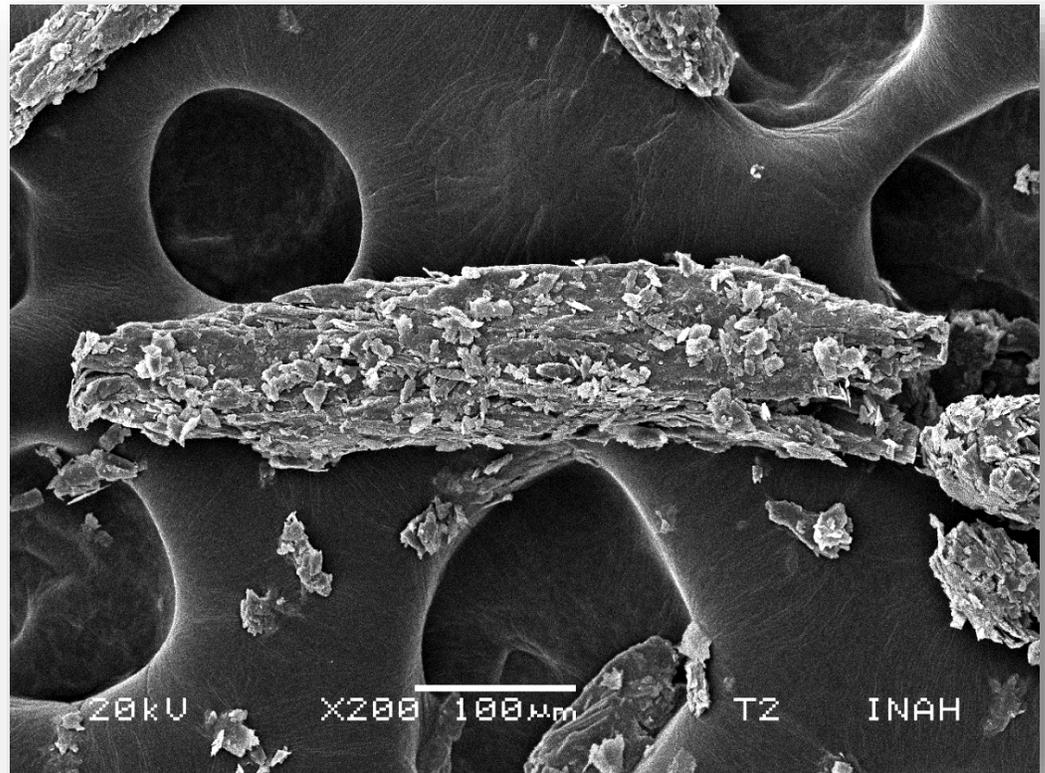
B. Cibergráficas

(1) <http://sct.uab.cat/saq/es/content/icps>

(2) <http://www.loseskakeados.com>

<http://www.rexona.com.ar/acerca-de-rexona>

<http://www.arkivperu.com/regale-juventud-a-su-cutis-maja-de-myrgia-1975/>



CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Capítulo 5. DISCUSIÓN

ÍNDICE DE CONTENIDO

5.1. Herramientas para caracterización mineralógica y geoquímica del talco..... 168

5.2. Caracterización Mineralógica para Talcos Naturales..... 169

5.3. Caracterización Mineralógica para Talcos cosméticos..... 174

5.4. Restricciones Sanitarias que deben tener los talcos de uso cosmético..... 180

5.5. Propuesta metodológica..... 181

5.6. Normativa en México respecto a otros países..... 183

Referencias..... 184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1. Talcos cosméticos..... 176

Figura 5.2. Metodología de uso de técnicas..... 182

Capítulo 5. DISCUSIÓN

5.1. Herramientas para caracterización mineralógica y geoquímica del talco

El uso de talco como materia prima se deriva de sus características estructurales, físicas y químicas, reflejándolas en propiedades como la dureza, superficiales, tamaño morfológico, térmicas, principalmente. Es bien sabido que el talco es ampliamente utilizado en muchas industrias diversas, tal es el caso de los cosméticos, productos farmacéuticos, la pintura, el papel y la cerámica. El talco al tener las propiedades de baja dureza e ser hidrofóbico, se encargará de dos objetivos principalmente en su uso como cosmético:

1. Absorber la humedad existente en la piel, manteniéndola seca y libre de estallidos.
2. Ayudar a disminuir la tensión de fricción entre dos cuerpos en movimiento (axila).

Como bien se menciona anteriormente el principal problema que se enfrenta al utilizar talcos cosméticos sin una adecuada regularización en la fabricación industrial es un tema de suma importancia que le compete a dependencias gubernamentales de la área sanitaria, conforme a las finalidades establecidas en el artículo 40 de Ley Federal sobre Metrología y Normalización, por lo cual se recalca en dicho trabajo la importancia de implementar una norma oficial mexicana.

Por la anterior causa, en el presente trabajo se propone una metodología que podría implementarse para la caracterización completa del talco para su uso cosmético. Al igual se señala que el muestreo y el análisis de los productos cosméticos y de yacimientos se llevaron a cabo de manera fiable y reproducible.

Según la norma T665 cm-02 (TAPPI Standards 2012) sugiere para la identificación de talcos las técnicas de Difracción de Rayos X, Espectroscopia por Infrarrojo, Análisis térmico y el uso de técnicas de microscopio también son satisfactorias y con base a estos análisis concluir si el talco es óptimo para su uso como cosmético. De igual manera se toma como referencia esta norma para el planteamiento de la metodología que se expone en el presente trabajo.

5.2. Caracterización Mineralógica para Talcos Naturales.

Con ayuda de Difracción de Rayos X, Microscopio Electrónica de Barrido, Análisis Termogravimétrico, Infrarrojo de onda corta e ICP-MS/OES se determinaron las fases (ver tabla 4.15.) y se clasificaron como talcos verdes de aceptable pureza para ambas rocas, siendo el talco del Estado de Puebla el más puro (con una menor cantidad de clorita). El contaminante presente en este mineral natural es la clorita, que tiene dentro de ella materia asbestiforme (crisotilo) en baja proporción.

El índice morfológico calculado es bastante coherente para ambas muestras, siendo el talco de Puebla el de mayor índice morfológico, el cual tendrá mayor ordenamiento en los cristales y una formación más detallada de un cristal equidimensional, situación que se comprueba con las imágenes obtenidas por MEB (ver figuras 4.8. y 4.15.).

La morfología de las partículas de talco son laminares y no homogéneas (partículas pequeñas, partículas grandes y agregados). Partículas pequeñas (2 a 15 μm) y grandes (20 a 50 μm) mantienen cierta unidad estructural que con el tiempo tendrán una disminución de unidad física por la baja dureza y la exfoliación en el plano 001; Los agregados de partículas (> 50 μm hasta 200 μm) están contruidos por partículas pequeñas y grandes que no se encuentran ordenadas y lucen con un aspecto poroso.

El producto de la molienda (moturación para este caso) forma partículas de hábitos laminares (alargados y estrechas) o irregulares con disposición a curvarse.

No se observó rastro alguno de materia fibrosa. Por lo que la presencia de anfíboles o crisotilo en el talco de Oaxaca debe ser inferior al 0.5%. Una ventaja que aporta el SEM es el poder ver de manera particular fibras y la medición de éstas mismas, aunque no se encontró rastro de alguna.

La composición de óxidos obtenida en los análisis EDS, muestra en algunos de los casos la presencia de clorita en gran cantidad (ver tablas 4.7. a 4.10.), por otra parte se sabe que el EDS es un análisis menos preciso que DRX, por el tamaño del área de estudio, pero si nos permiten calcular la fórmula estructural de manera aproximada.

El tamaño de partícula y distribución de partícula se considera optimo, teniendo la mayor concentración del polvo en limos (85% aproximadamente), lo cual nos dice que no se corre el riesgo de introducirse el polvo por algún fenómeno de adsorción ni absorción.

Para el caso del talco de Oaxaca, se procedió a realizar un análisis de Espectroscopia de Infrarrojo de Onda Corta para determinar la presencia de crisotilo en la muestra. El espectro arrojado (Figura 4.24.) tuvo una gran similitud a la ficha de crisotilo (California Asbestos Corporation) con una correlación de 0.962 y de la misma forma su espectro tuvo una correlación de 0.924 con la ficha de clorita de Minera Frisco, California.

Comparando la química de las muestras procedentes de yacimientos mexicanos con talcos de otros países (Ver tabla 4.13.) y los resultados arrojados por DRX, podemos decir que los talcos de México son de calidad intermedia, ya que se considera un talco de alta calidad aquel que es clasificado como talco blanco (>98%) o talco rosa (100%).

Existe una discrepancia considerable en las composiciones del talco Mexicano comparado con el de países como Australia, China, Francia, España, Egipto, Italia y E.U.A.; esto nos habla de que el talco de Puebla y Oaxaca no pueden ser utilizados en cosméticos sin un tratamiento de purificación previa. La composición que debería de tener un talco según la literatura es: SiO₂: 63,5%, MgO: 31,7%, H₂O: 4,8% mientras que los talcos Mexicanos están por debajo:

Oaxaca: SiO₂: 57,79%, MgO: 29,11%, H₂O: 7,18%

Puebla: SiO₂: 49,31%, MgO: 26,16%, H₂O: 6,78%

La química elemental tiene un papel importante para este análisis de resultados pues nos ayudó a detectar el contenido de metales pesados como lo es el plomo, cromo, arsénico, cobalto, níquel, entre otros. Con base a esto se realiza un dictamen de los metales pesados encontrados por esta técnica:

Cromo

Los talcos de yacimiento de los estados de Oaxaca y Puebla presentaron un muy alto contenido de cromo, 1360 ppm y 2280 ppm respectivamente, por lo que se consideran como talcos que puedan perjudicar la salud médica. En México no se tiene una norma como la del Plomo, en donde especifique la concentración mínima en la que empieza a causar daños o trastornos biológicos. Según estudios médicos del IMMS mencionan que a una concentración de 25 ppm de Cromo en la orina, se comienza a tener una exposición en donde pueden ocurrir problemas clínicos, desde problemas gastrointestinales hasta causar cáncer de pulmón.

Toxicidad del Cromo

El cromo que tiene importancia en higiene industrial corresponde a la valencia +3 que es cancerígeno, sin absorción dérmica, pero sí por vía gastrointestinal. En tanto, el cromo +6, que es absorbido por la piel y fácilmente ingresa a las células, en donde es reducido a +3, también reviste peligrosidad. El cromo +3 causa cáncer de pulmón, perforación del tabique nasal, bronquitis, asma y dermatitis de contacto.

Arsénico

Los altos contenidos de Arsénico se presentaron en las muestra de Puebla con 121 ppm, concentración alta como para causar daños peligrosos a la salud. Según la Norma Oficial Mexicana NOM-047-SSA-2011 de la Salud Ambiental-Índices Biológicos de Exposición para el personal ocupacionalmente expuesto a sustancias químicas, regula que la concentración máxima a la que puede estar expuesta una persona a este compuesto en todas formas posibles en las que se pueda disolver (ionizar) es de 35 ppm.

Toxicidad del Arsénico

Aun cuando es posible que cantidades muy pequeñas de algunos compuestos de arsénico tengan un efecto benéfico, como indican algunos estudios en animales, los compuestos de arsénico, y en especial los inorgánicos, se consideran venenos muy potentes. La toxicidad aguda varía notablemente según el compuesto, dependiendo de su valencia y solubilidad en los medios biológicos. Los compuestos trivalentes solubles son los más tóxicos. La captación de compuestos de arsénico inorgánico en el tracto gastrointestinal es casi completa, aunque puede ser más lenta en las formas menos solubles, como el trióxido de arsénico en forma particulada. La captación tras la inhalación es también casi completa, ya que incluso el material menos soluble depositado sobre la mucosa

respiratoria se transfiere al tracto gastrointestinal, donde se absorbe. La exposición a los compuestos de arsénico inorgánico puede producirse por inhalación, ingestión o contacto con la piel, con la consiguiente absorción (Metales: Propiedades Químicas y toxicidad). Diversos estudios en países con exposición endémica al arsénico han revelado la participación de este metal en el desarrollo de enfermedades crónicas, entre ellas la hipertensión arterial.

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. El arsénico es acumulable en el organismo por exposición crónica y superada ciertos niveles de concentración.

Niquel-Cobalto

La relación entre Níquel y cobalto están estrechamente aunadas entre sí y también con el cromo, por ser elementos de transición con número atómico muy similar. Las muestras con alto contenido de estos elementos son las de yacimiento de Oaxaca (40 ppm de cobalto y 1440 ppm de níquel) y Puebla (46 ppm de cobalto y 1480 ppm de níquel). No se tiene estandarizado las concentraciones ni valencias en las que podría empezar a generar un daño biológico al ser humano pero se sabe que son metales que son tóxicos en altas concentraciones iónicas en vías respiratorias principalmente.

Toxicidad del Níquel-Cobalto

Los riesgos para el hombre derivados de la exposición profesional a los compuestos de níquel pueden dividirse en tres categorías principales:

1. alergias;
2. rinitis, sinusitis y enfermedades respiratorias,
3. cánceres de las cavidades nasales, de pulmón y de otros órganos.

(Metales: Propiedades Químicas y toxicidad)

El no tener la composición química requerida se ve reflejado directamente en la pureza del mineral y también se ve perjudicada la empresa que explota o explotará yacimientos con esta naturaleza. Aún peor, si la empresa vende el polvo de talco tal cual sin realizar un tratamiento químico o físico previo a su maquilado, seguramente originará problemas a los consumidores. Surge nuevamente el recalcar la importancia de proponer un modelo o norma para verificar que el concentrado mineral se encuentra en óptimas condiciones.

Los talcos naturales mexicanos caracterizados pueden utilizarse para la fabricación de papel, refractarios, construcción, cerámicas y algunos cosméticos. Para el uso farmacéutico se requeriría un grado de pureza total.

5.3. Caracterización Mineralógica para Talcos cosméticos

Con Difracción de Difracción de Rayos X, Análisis Termogravimétrico, Infrarrojo de onda corta, ICP-MS/OES se concluyeron las fases minerales presentes (ver tabla 4.32.). Se clasificaron como talcos de alta pureza (>85% de talco), los cuales son considerados como talcos verdes pero son muy próximos por su pureza mineralógica a ser talcos blancos; y talcos de baja pureza mineralógica, que son llamados también talcos verdes por su contenido en talco y clorita.

El cálculo del índice morfológico es análogo a la clasificación propuesta, pues aquellos talcos de baja pureza mineralógica tienen cristales más imperfectos y por lo tanto un índice morfológico bajo. Esto también es importante en el sentido de podemos suponer el tipo de yacimiento de donde se extrajo, por ejemplo, si fue formado a baja temperatura y presión como es el caso de todos los talcos de baja pureza mineralógica; mientras que los talcos de alta pureza mineralógica se formaron en condiciones de alta temperatura y presión.

La presencia de cuarzo y clorita en polvos limitan en el uso del talco en la industria cosmética ya que incrementan la dureza del material. En el caso de los talcos, O-Dolex, Olorex, Hipermart, Soriana y Max-O el contenido de cuarzo es muy alto, esto repercute directamente en un posible enrojecimiento o comezón (síntomas más comunes) en la piel, a causa de la fricción generada.

En el etiquetado de productos, muchos de éstos rotulados en México realmente no presentan la composición declarada en el envase. Un ejemplo es el caso del talco Soriana el cuál declara compuestos que no son los identificados por las técnicas analíticas utilizadas. La falta de información nos lleva a hacer hincapié nuevamente en la importancia de ser más rigurosos en la epístola del etiquetado. Bien se sabe que algunas fases orgánicas no son posibles de identificar por DRX, ATD o SWIR y por lo mismo éstas no han sido evidenciadas en resultados del trabajo.

Para los talcos en los cuales su fórmula contiene óxido de zinc (zincita) se menciona que su función principal es ser un astringente (cierra los poros de la piel), así como protector en diferentes trastornos cutáneos menores, desodorante, entre otros.

Con ayuda de DRX es posible afirmar que la composición principal de los talcos es mineral talco en sus dos polimorfos posibles (1A y 2M), clorita, cuarzo, calcita, caolinita, dolomita y zincita.

Tomado en cuenta todos los resultados analíticos obtenidos con las diferentes técnicas, nos permite exponer que los talcos con mayor costo en el mercado son los que contienen mayor abundancia de talco (son más puros), por lo que el valor monetario del producto sí se ve reflejado en la calidad.

A continuación se muestra un gráfico de barras que nos permite visualizar la precio/pureza de cada uno de los talcos cosméticos.

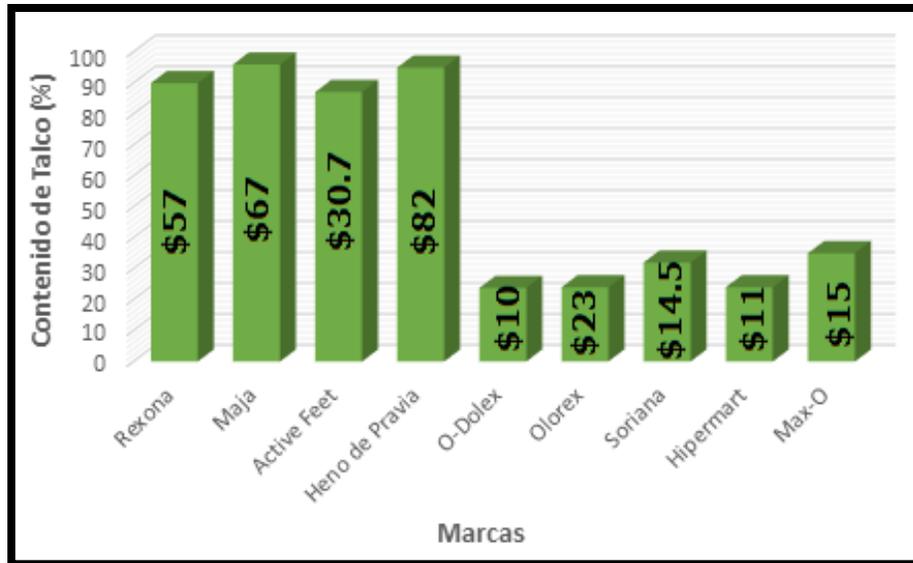


Figura 5.1. Talcos cosméticos

Ordenando los talcos cosméticos por su contenido de talco (pureza) de mayor a menor, quedarían de la siguiente manera:

1. Maja
 2. Heno de Pravia
 3. Rexona
 4. Active Feet
 5. Max-O
 6. Soriana
 7. Hipermar
 8. Olorex
 9. O-Dolex
- } Importados
- } Nacionales

La molienda del talco en bruto es un parámetro importante en la determinación de su idoneidad para productos de maquillaje. El talco debe ser muy blanco y brillante para originar productos que cubran la amplia gama demandada por el consumidor moderno, y esto se puede lograr teniendo el correcto proceso de molienda (Wilkinson *et al.*, 1990).

El análisis granulométrico realizado nos revela que no se presenta un gran problema en cuestión al tamaño de partícula, teniendo fracciones limos en mayor abundancia y en muy poca cantidad fracciones arcillas y arenas. Por panoramas médicos se propone que la fracción de arcilla no deberá ser superior a un 20% del contenido y de ser posible tener > 80% de fracción limos, que es la ideal para no favorecer alguna digestión de materia fibrosa o partículas con elementos pesados.

El resultado encontrado en el espectrómetro de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP/MS), muestra la concentración en partes por millón (ppm) de elementos tóxicos para la salud del humano al estar en contacto directo por vía sanguínea o respiratoria. En el caso de los talcos al ser un producto que se aplica sobre la piel puede llegar al torrente sanguíneo si el tamaño de partícula y el fenómeno de absorción los favorece, originando diferentes tipos de problemas según la cantidad absorbida (Plomo y Cromo). Así también, al ser un material tan fino y con alta dispersión, puede llegar a ingerirse por vías respiratorias (Arsénico, Cobalto, Niquel, Estroncio, Bario).

El contener estos elementos metálicos dentro de la estructura del talco (átomos intersticiales) o como átomos sustituyentes, puede llegar a causar efectos y daños a la salud del ser humano, por ejemplo, descontrol de la presión arterial (hipertensión), problemas cardiovasculares, gastrointestinal, sistema nervioso, debilidad en los músculos, déficit en el hígado, riñón y el desarrollo de enfermedades crónicas (1).

Los talcos con una alta concentración de elementos tóxicos según el análisis químico ICP-MS fueron:

Para Plomo: O-Dolex, Soriana e Hipermart.

Para Estroncio: Soriana, Hipermart, Max-O y Active-Feet.

Para Bario: O-Dolex, Soriana, Hipermart y Max-O.

Esto prueba que la mayoría de las muestras contaminadas corresponden a productos de bajo costo, por lo que la calidad está estrechamente relacionada con el costo.

Existe una pequeña cantidad de lantánidos contenida en los polvos de talco pero no significativa como para causar un daño a la salud del consumidor.

Plomo

Los talcos Soriana e Hipermart, por su alto contenido de plomo (≥ 70 ppm), 172ppm y 144ppm respectivamente, se encuentran dentro de la categoría VI según la Norma Oficial Mexicana (NOM-199-SSA1-2000) de Salud ambiental que se encarga de regular los niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. Si la absorción al torrente sanguíneo de este elemento fuese superior al 50% de las concentraciones mencionadas podría causar un daño grave a la salud del consumidor. La acción que establece la mencionada norma es la hospitalización del individuo y empezar inmediatamente el tratamiento farmacológico con agentes quelantes.

Toxicidad del Plomo

Se han detectado efectos hematológicos, cardiovasculares y evidencia de deterioro de la función renal en sujetos con cifras de plomo plasmático elevado. Asimismo, los daños al sistema respiratorio se reflejan en el incremento de neumonías asociadas a niveles elevados de plomo en aire. Se ha detectado la inhibición de fagocitos y distintos efectos sobre la inmunidad pulmonar. A niveles de bajas dosis, existen evidencias de daño neurológico, que podrían expresarse en trastornos del aprendizaje y déficit atencional (SESMA, 2008).

El meta-análisis efectuado por Schwartz señala que el incremento de plomo en sangre de 10 a 20 mg/dl estaba asociado con un decremento de 2.6 puntos de coeficiente Intelectual, teniendo una tendencia más pronunciada en niveles abajo de 15 mg. El meta-análisis efectuado por Pockock S.J. señala que el duplicar la carga corporal de 10 a 20 mg/dl se encuentra asociado a una reducción de la escala completa del Coeficiente Intelectual de 1 a 2 puntos. Ambas revisiones no encuentran un nivel de umbral (NOM-199-SSA1, 2000).

En el actual trabajo se desconoce el porvenir o localización de los elementos pesados. Puede estar agregado o dentro de la clorita.

Bario

El bario aparece como elemento contaminante en cuatro talcos: O-Dolex (630 ppm), Soriana (1183 ppm), Hipermart (1790 ppm) y Max-O (187 ppm), originando problemas a la salud. Actualmente no se tiene estipulado en México las concentraciones con las que se comienzan a generar trastornos biológicos pero se sabe por publicaciones que la dosis letal de cloruro se ha establecido entre 0,8 y 0,9 g. Sabemos que el Bario se encuentra del talco en forma de óxido o algún compuesto mineral relacionado a la oxidación y que el cloruro es mucho más fácil de disolver que un óxido pero se enseña la cifra con el propósito de dar un parámetro de toxicidad.

Al ser un átomo con radio iónico bastante grande, se puede decir que se encuentra incrustado en la red atómica del talco (distorsionándola y originando cambio en las propiedades físicas) o como impureza en el agregado de talco.

Toxicidad del Bario

Pequeñas cantidades de Bario soluble en agua puede causar en las personas dificultad al respirar, incremento de la presión sanguínea, arritmia, dolor de estómago, debilidad en los músculos, cambios en los reflejos nerviosos, inflamación del cerebro y el hígado. Daño en los riñones y el corazón (2).

El carbonato de bario, un compuesto insoluble, no parece producir efectos patológicos por inhalación; sin embargo, puede causar graves intoxicaciones por vía oral y, en ratas, produce un deterioro de las gónadas masculinas y femeninas; el feto es sensible al carbonato de bario durante la primera mitad del embarazo. (Metales: Propiedades Químicas y toxicidad)

Finalmente, podemos decir que la identificación de fases por las diferentes técnicas empleadas nos permitió unificar resultados de forma efectiva para la caracterización del talco.

5.4. Restricciones Sanitarias que deben tener los talcos de uso cosmético.

En los Estados Unidos de América, declara la Asociación de fabricantes de cosméticos, productos de tocador y fragancias (Cosmetic, Toiletries, and Fragrance Associaton), estipulan que el talco debe estar exento de impurezas tales como carbonatos e hierros hidrosolubles y ser neutro al papel tornasol, así se previene toda alteración de color y perfume en el producto terminado. A fin de garantizar la aplicación de una película suave y uniforme, el talco también debe estar exento de cualquier partícula arenosa y la masa de pasar por un tamiz de malla estándar 200. Debe también estar exento de asbestos; este requisito se recalca en las normas de OSHA de EUA referentes a sustancias que contienen asbesto (Wilkinson, 1990).

En las últimas dos décadas se han realizado ciertos estudios con animales (ratas, ratones, hámster) en donde se les aplica durante un periodo largo polvo de talco libre en su totalidad de amiantos, demostrando que el talco no es causador de problemas directos con cáncer (pulmonar, ovárico, etc).

El 26 de septiembre del 2012, la compañía transnacional Johnson & Johnson fue acusa por de C. Deborah Giannecchini con el título de "conducta negligente" por la fabricación y comercialización de talcos cosméticos, ella misma sufrió cáncer de ovario por la aplicación de este polvo para bebés. El jurado de St. Louis determinó con dos demandas más ese mismo año, culpable a la empresa de la enfermedad, pagándole a las tres mujeres un total de 127 millones de dólares en indemnizaciones.

Se llevó a cabo una investigación sobre las empresas que se encargan de la distribución y venta de talcos cosméticos en México. Para ver el proceso de beneficio del talco se intentó contactar con alguna empresa mexicana y extranjeras pero no fue posible porque muchas de estas empresas tienen maquiladoras que se encargan de empaquetar únicamente el talco ya procesado en sus respectivos frascos y etiqueta.

5.5. Propuesta metodológica

Considerando la problemática expuesta en el apartado anterior a continuación se propone una metodología para la caracterización de talcos cosméticos que debería implementarse a través de una norma sobre talcos de uso cosmético en nuestro país.

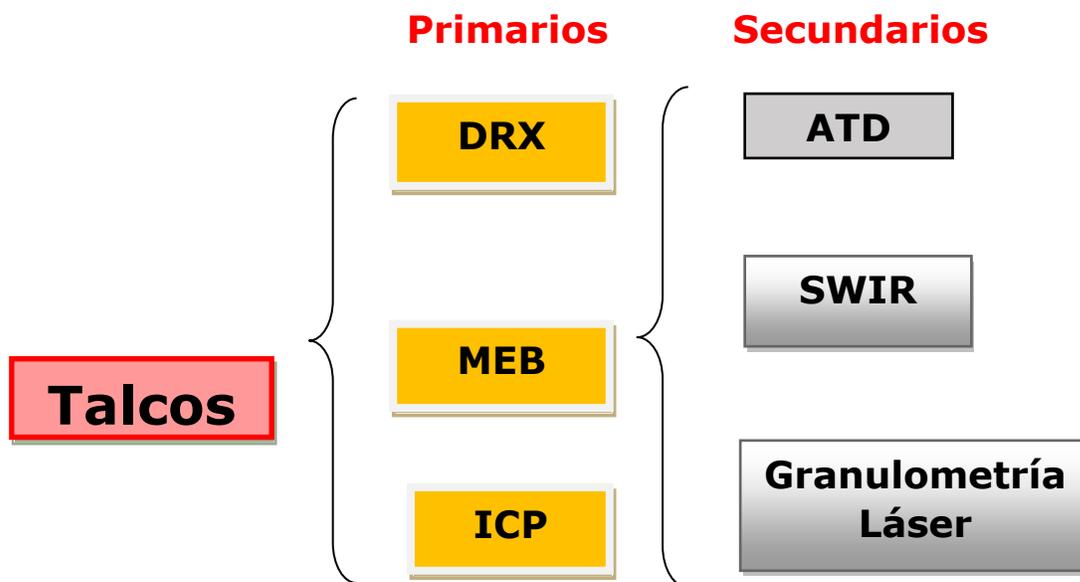


Figura 5.2. Metodología de uso de técnicas para caracterización adecuada de talco.

Se sugiere a la empresa productora rectificar su producto mediante tres técnicas principalmente: Difracción de rayos X, MEB y ICP-MS. Y para un análisis más detallada utilizar las técnicas secundarias.

5.6. Normativa en México respecto a otros países.

La necesidad de implementar una norma para talcos que incluya: pureza, composición química definida y un detallado análisis de calidad es de suma importancia para la prevenir posibles enfermedades como el cáncer, que ha sido tema de discusión hoy en día. Antes de la década de los 70, era común encontrar fibras de asbesto en el talco, pero desde entonces todos los productos que contienen talco o polvo de talco están obligados por ley a estar libres de asbesto.

Los análisis sugeridos que deben seguir como usuario de este producto es el verificar que el etiquetado incluya a parte de los compuestos (químicos y mineralógicos) bien especificados del producto, el porcentaje que contiene cada una de las sustancias presentes. Siempre buscando el menor contenido de impurezas la mayor cantidad de talco.

Es necesario evitar que se comercialicen talcos de muy baja pureza o "talcos" que no tienen ni la mitad del producto total, porque esto puede llegar a originar problemas severos a la salud del consumidor.

En países como Estados Unidos, Australia y de la Unión Europea sus organismos de salud y empresas productoras de cosméticos han sido las encargadas de regularizar y estandarizar la producción del talco. Mismas normas han sido restringidas al sector de contraloría del país y la misma empresa, por lo cual no se en el presente escrito información oportuna del mencionado tema.

Referencias

A. Bibliográficas

Barel, A. O., Paye, M., & Maibach, H. I. (Eds.). (2014). *Handbook of cosmetic science and technology*. CRC Press.

Carretero, M. I., & Pozo, M. (2007). *Mineralogía aplicada. Salud y Medio Ambiente*, Thomson, Madrid.

Sánchez-Soto, P. J., Wiewióra, A., Avilés, M. A., Justo, A., Pérez-Maqueda, L. A., Pérez-Rodríguez, J. L., & Bylina, P. (1997). *Talc from Puebla de Lillo, Spain. II. Effect of dry grinding on particle size and shape*. *Applied Clay Science*, 12(4), 297-312.

H. J. Holland, "An XRD Morphology Index for talcs: The Effect of particle size and morphology on the specific surface area." *Advances in X-ray Analysis*, 42, 421-428.

Wilkinson, J. B., Moore, R. J., Navarro, M. A. R., & Devesa, D. R. (1990). *Cosmetología de Harry*. Ediciones Díaz de Santos.

C. Cibergráficas

(1) <http://www.cancer.org/cancer/cancercauses/othercarcinogens/athome/talcum-powder-and-cancer>

(2) <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ba.htm#ixzz4Q6rt6q9Z>
<http://holadoctor.com/es/c%C3%A1ncer/el-talco-de-beb%C3%A9s-puede-causar-c%C3%A1ncer-de-ovarios>



CAPÍTULO 6.
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante Difracción de Rayo X (caracterización mineralógica), MEB (Microscopía Electrónica de Barrido), ICP_OES/MS (caracterización geoquímica), Infrarrojo de onda corta (caracterización espectroscópica), Análisis Térmico Diferencial (comportamiento térmico) y Granulometría Láser (Vía Húmeda) se caracterizó de manera detallada con ayuda de las diferentes técnicas y se compararon entre si las muestras de talco comercial y las muestras de talco natural.
- El análisis térmico diferencial y el infrarrojo de onda corta sirvieron principalmente para corroborar los datos de DRX.
- Por lo que respecta a los talcos naturales mexicanos observamos que existen yacimientos de diferentes calidades. Los talcos estudiados no califican para ser talcos cosméticos, podrían emplearse únicamente como talco de uso industrial.
- Con base a MEB, los talcos naturales de Oaxaca y Puebla se descartan de la presencia de crisotilo superior al 0.5%.
- Las morfologías presentes en los talcos naturales fueron clasificadas como partículas grandes, pequeñas y agregados.
- Con base a los resultados de ICP-OES/MS, los talcos naturales presentan más de lo permitido según la NOM-047-SSA-2011 de elementos tóxicos como los son: cromo, arsénico y níquel-cobalto.
- La caracterización detallada de los talcos mexicanos permitirá optimizar el uso industrial del mismo, o bien, saber qué proceso de purificación debería emplearse.

- Con base al análisis granulométrico, tanto los talcos comerciales y naturales obtuvieron un tamaño de partícula idóneo.
- Con base a los resultados obtenidos por DRX, los talcos cosméticos Maja, Rexona, Active Feet y Heno de Pravia son los únicos que deberían ser aprobados para su uso cosmético (mayores a un 85% de talco). Los otros talcos no deberían ser usados como talcos cosméticos ya que su porcentaje de talco es inferior a 80%.
- El índice morfológico calculado está directamente relacionado con la pureza del mineral y proceso de molienda realizado.
- Con base a los resultados de ICP-OES/MS, los talcos cosméticos O-Dolex, Soriana e Hipermart presentan un alto contenido de plomo; Soriana, Hipermart, Max-O y Active-Feet altos en contenido de Estroncio; y O-Dolex, Soriana, Hipermart y Max-O con gran abundancia de Bario.
- Con base a los datos de REE, se observa que a mayor pureza mineralógica del talco el contenido de lantánidos es menor.
- Se reafirma la necesidad de una normativa para el uso del talco en sus diferentes aplicaciones que incluya la caracterización del mismo en base a las técnicas aplicadas en el presente trabajo.

