

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	<small>Documento</small> F-AC-DBL-007	<small>Código</small> 10-04-2012	<small>Fecha</small> 10-04-2012
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	<small>Dependencia</small>	<small>Aprobado</small> SUBDIRECTOR ACADEMICO	<small>Pág.</small> 1(84)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	YEIXON QUINTERO MARTINEZ
FACULTAD	FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS	PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECÁNICA
DIRECTOR	EDWIN ESPINEL BLANCO
TÍTULO DE LA TESIS	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE CUARZO EN EL MUNICIPIO DE LA PLAYA DE BELÉN (NORTE DE SANTANDER)

RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

EL DESARROLLO DEL PROYECTO PLANTEA LA CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL CUARZO EN EL MUNICIPIO DE LA PLAYA DE BELÉN, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS ELEMENTALES QUE PERMITIERON REALIZAR ESTUDIOS CON LOS QUE SE ESTABLECEN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS MÁS IMPORTANTES DE ESTE MINERAL. LA REALIZACIÓN DE LA PROPUESTA PARTE DE LA NECESIDAD DE CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE OCAÑA QUE SERVIRÁN PARA EL DESARROLLO MINERO DE LA REGIÓN Y POR CONSIGUIENTE MEJORAR LAS CONDICIONES ECONÓMICAS.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 84	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1
-------------	---------	----------------	-----------



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL, OCAÑA N. DE S.
 Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088
www.ufpso.edu.co



**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE CUARZO EN EL MUNICIPIO DE
LA PLAYA DE BELÉN (NORTE DE SANTANDER)**

YEIXON QUINTERO MARTINEZ

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECÁNICA
OCAÑA
2014**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE CUARZO EN EL MUNICIPIO DE
LA PLAYA DE BELÉN (NORTE DE SANTANDER).**

YEIXON QUINTERO MARTINEZ

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
EDWIN ESPINEL BLANCO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA
OCAÑA
2014**

DEDICATORIA

Este trabajo está muy sentidamente dedicado a mi familia especialmente a mi padre Pablo Q.E.P.D, mi madre Diocelina y todos mis hermanos que me han apoyado constantemente en toda mi vida académica.

A Yesnei con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Edwin Espinel Blanco docente de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y a la doctora Lina Marcela Hoyos Palacios investigadora de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín por la colaboración, dedicación, orientación, apoyo y empeño para cumplir con la finalidad de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	16
<u>1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE CUARZO EN EL MUNICIPIO DE LA PLAYA DE BELÉN (NORTE DE SANTANDER).</u>	17
1.1 <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	17
1.2 <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	18
1.3 <u>OBJETIVOS</u>	18
1.3.1 General	18
1.3.2 Específicos	18
1.4 <u>JUSTIFICACIÓN</u>	18
<u>2 MARCO REFERENCIAL</u>	20
2.1 <u>MARCO HISTÓRICO</u>	20
2.1.1 Antecedentes históricos a nivel mundial	20
2.1.2 Antecedentes históricos a nivel nacional	20
2.1.3 Antecedentes históricos a nivel local	21
2.2 <u>MARCO CONCEPTUAL</u>	21
2.3 <u>MARCO TEÓRICO</u>	22
2.4 <u>MARCO LEGAL</u>	23
2.4.1 Constitución política de Colombia. Artículo 71	24
2.4.2 Universidad Francisco de Paula Santander	24
2.4.3 Normas internacionales	25
2.4.4 Normatividad Técnica Colombiana	25
<u>3 DISEÑO METODOLÓGICO</u>	26
3.1 <u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u>	26
3.2 <u>FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</u>	26
3.2.1 FASE I. Revisión bibliográfica	26
3.2.2 FASE II. Localización y trabajo de campo	27
3.2.3 FASE III. Realización de las pruebas y análisis de resultados	27
<u>4. GEOLOGIA REGIONAL</u>	28
4.1 <u>ROCAS METAMÓRFICAS</u>	28
4.2 <u>ROCAS ÍGNEAS</u>	28
4.3 <u>ROCAS SEDIMENTARIAS</u>	28
4.4 <u>FORMACIONES DEL MUNICIPIO</u>	29
4.4.1 Formación Silgara (Pos)	29
4.4.2 Formación Girón (Jg)	29
4.4.3 Complejo ígneo intrusivo – extrusivo (Jci)	29
4.4.4 Cuarzo Monzonita (Jc)	29
4.4.5 Formación Tibú Mercedes (Kitm)	30

4.4.6 Formación Algodonal (Tpa)	30
4.4.7 Aluviones Recientes (Qal)	30
<u>4.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL</u>	30
<u>4.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</u>	31
<u>5. UBICACIÓN Y GENERALIDADES</u>	32
<u>5.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</u>	32
<u>5.2 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS A ANALIZAR</u>	33
<u>5.3 REDUCCION DEL TAMAÑO DE GRANO DE LAS MUESTRAS</u>	35
<u>6. FASE DE LABORATORIO</u>	38
<u>6.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD</u>	38
6.1.1 Procedimiento	38
<u>6.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD</u>	39
<u>6.3 ANALISIS TERMOGRAVIMÉTRICO Y DIFERENCIAL</u>	40
6.3.1 Descripción de la técnica	40
6.3.2 Procedimiento	41
<u>6.4 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO(MEB) , CON ANALIZADOR DEL ESPECTOMETRO DE ENERGIAS DISPERSAS (EDS)</u>	47
6.4.1 Descripción de la técnica	47
6.4.2 Procedimiento	48
<u>6.5 DIFRACCIÓN DE RAYOS X</u>	55
6.5.1 Descripción de la técnica, Difracción de polvo cristalino	55
6.5.2 Procedimiento	56
<u>7. CONCLUSIONES</u>	64
<u>8. RECOMENDACIONES</u>	66
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	67
<u>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS</u>	69
<u>ANEXOS</u>	71

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diseño del muestreo estratificado	27
Tabla 2. Tamices utilizados para medir el tamaño de grano	31
Tabla 3. Contenido de humedad de las muestras	33
Tabla 4. Densidad de las muestras de cuarzo	34
Tabla 5. Resultados cuantitativos del análisis termogravimétrico	35
Tabla 6. Composición química del cuarzo por medio del Espectrómetro de Energías Dispersas	49
Tabla 7. Distancia entre planos cristalográficos y valores de intensidad de los picos I/I_0 de las muestras de cuarzo	54
Tabla 8. Tamaño de los cristales de cuarzo	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio en el municipio de la Playa de Belén	26
Figura 2. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 1 en el estrato 2	27
Figura 3. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 5 en el estrato 2	28
Figura 4. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 8 en el estrato 3	28
Figura 5. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 10 en el estrato 4	29
Figura 6. Pila cónica correspondiente a la muestra 1	29
Figura 7. Muestra 1 alisada y dividida en cuartos	30
Figura 8. Cuartos opuestos retenidos de la muestra 1	30
Figura 9. Mortero de porcelana empleado para disminuir el tamaño de grano	31
Figura 10. Tamiz número 200	31
Figura 11. Muestras de cuarzo en el horno para el secado	32
Figura 12. Termograma perteneciente a la muestra 1	36
Figura 13. Termograma perteneciente a la muestra 2	36
Figura 14. Termograma perteneciente a la muestra 3	37
Figura 15. Termograma perteneciente a la muestra 4	37
Figura 16. Termograma perteneciente a la muestra 5	38
Figura 17. Termograma perteneciente a la muestra 6	38
Figura 18. Termograma perteneciente a la muestra 7	39
Figura 19. Termograma perteneciente a la muestra 8	39
Figura 20. Termograma perteneciente a la muestra 9	40
Figura 21. Termograma perteneciente a la muestra 10	40
Figura 22. Termograma perteneciente a la muestra 11	41
Figura 23. Termograma perteneciente a la muestra 12	41
Figura 24. Equipo utilizado para el recubrimiento de las muestras	43
Figura 25. Muestra recubierta en oro para el análisis en el microscopio electrónico de barrido	43
Figura 26. Microscopio electrónico de barrido	44
Figura 27. Micrografía a 500X de la muestra 1	44
Figura 28. Micrografía a 500X de la muestra 2	45
Figura 29. Micrografía a 500X de la muestra 3	45
Figura 30. Micrografía a 500X de la muestra 4	45
Figura 31. Micrografía a 500X de la muestra 5	46
Figura 32. Micrografía a 500X de la muestra 6	46
Figura 33. Micrografía a 500X de la muestra 7	46
Figura 34. Micrografía a 500X de la muestra 8	47
Figura 35. Micrografía a 500X de la muestra 9	47

Figura 36. Micrografía a 500X de la muestra 10	47
Figura 37. Micrografía a 500X de la muestra 11	48
Figura 38. Micrografía a 500X de la muestra 12	48
Figura 39. Difractometro de rayos X utilizado para la empleo de la técnica	50
Figura 40. Difractograma correspondiente a la muestra 3	51
Figura 41. Difractograma correspondiente a la muestra 4	51
Figura 42. Difractograma correspondiente a la muestra 9	52
Figura 43. Difractograma correspondiente a la muestra 12	52
Figura 44. Ficha ASTM del cuarzo	53
Figura 45. Figura 32. En la parte izquierda trapezoedro trigonal y en la derecha el estereograma del trapezoedro trigonal	56
Figura 46. Difractograma de comparación de las muestras estudiadas	56
Figura 47. Difractograma de las muestras 3 y 12 donde se muestra posible contaminación	57
Figura 48. Difractograma de las muestras 4 y 12 donde se muestra posible contaminación	57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. imágenes que se obtienen por el Microscopio Electrónico de Barrido a 100X	65
Anexo B. Diagramas que se obtiene por medio del análisis del Espectrómetro de Energías Dispersas	71
Anexo C. Licencia Ambiental CORPONOR	77
Anexo D. Imagen del registro de un difractometro correspondiente al cuarzo tomado de la página 138 del manual de mineralogía de Danna	78

ABREVIATURAS USADAS

MEB: Microscopia Electrónica de Barrido
DRX: Difracción de Rayos X
EDS: Espectrómetro de Energías Dispersas
TGA: Análisis Termogravimétrico
DTG: Termogravimetría Diferencial
nm: Nanómetro
µm: Micras
Si: Silicio
O: Oxígeno

INTRODUCCIÓN

Los minerales son materiales que conforman las rocas de la corteza terrestre, es por eso que son los que más abundan y están formados por silicatos, óxidos y otros compuestos de oxígeno, como carbonatos en cantidades mínimas. Las diferentes asociaciones de minerales caracterizan las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como las venas minerales, las pegmatitas, las rocas meteorizadas y los suelos, tienen la facultad de dar información sobre las condiciones ambientales en que se formaron, sus componentes, la determinación de propiedades químicas y físicas.

El estudio que se realiza para la valoración de un mineral implica el estudio genérico de las leyes de los elementos interesantes dentro del área a investigar, previniendo el estudio mineralógico detallado de las asociaciones minerales. Un estudio detallado de la mineralogía no es solo con fines académicos, sino que ayudan a incrementar el valor añadido a los materiales de estudio que están siendo explotados o que se puedan explotar, y ayuda a descartar o confirmar el interés del yacimiento.

El cuarzo es un mineral común y abundante, que se presenta en una gran variedad de condiciones geológicas. Aparece en muchas rocas ígneas y rocas metamórficas, y es un constituyente principal de pegmatitas graníticas. Entre los minerales, el cuarzo es el más próximo a un compuesto químico puro, y tiene propiedades físicas constantes.

Dentro de este contexto la caracterización del cuarzo del municipio de la Playa de Belén, permite establecer las propiedades más importantes de este material. Al utilizar técnicas elementales en la caracterización de minerales basados en las normas internacionales como lo son microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X y análisis termogravimétrico, se determina las características composicionales, químicas, térmicas y morfológicas del cuarzo.

1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE CUARZO EN EL MUNICIPIO DE LA PLAYA DE BELÉN (NORTE DE SANTANDER)

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el sector minero Norte de Santander es un departamento con potencialidades por conocer y explotar, de acuerdo con el plan de manejo área natural única los estoraques, actualmente hay explotación de petróleo, carbón, arcilla, caliza, feldespato, fluorita, barita, mármol, materiales de construcción (gravas y arenas) y roca fosfórica. Se posee reservas geológicas de carbón superior a 300 millones de toneladas. Existen prospectos de explotación de minerales como grafito, oro, cobre, hierro, plata y roca carolina de los cuales no se cuenta con estudios de estos últimos para determinar su cuantificación y calidad.¹

Los sectores económicos se clasifican según Colin Clark (1940) en tres grupos: primario, secundario y terciario, perteneciendo al primero la agricultura, la ganadería, la minería y la pesca; el segundo sector aborda la industria y la construcción y el tercero a la prestación de servicios. La estructura económica del municipio se encuentra soportada fundamentalmente en el sector primario destacándose la agricultura como la mayor actividad productiva, debido a que el 90.6% de la población total vive en el sector rural, según el esquema de ordenamiento territorial, la superficie agrícola abarca las tierras con cultivos transitorios y permanentes entre los que predominan los primeros como la cebolla, frijol, tomate y maíz.

El sistema económico de este municipio corresponde a una economía campesina de subsistencia ya que por la limitación de las tierras y la falta de apoyo tecnológico apenas logran sobrevivir, por cuanto solo cuentan con su fuerza de trabajo para desarrollar la actividad productiva, de esta manera se desaprovecha otro posible sector como la minería, debido a la falta estudios sobre los minerales existentes.

El municipio de La Playa de Belén no cuenta con yacimientos minerales que en la actualidad presenten algún interés económico para su explotación por sus bajos contenidos y falta de estudios geológico-mineros. Las principales manifestaciones de minerales que se encuentran en el Municipio son vestigios de cobre, plomo, vanadio, uranio y cuarzo, que sólo se conocen como anomalías. No se conocen cuantificaciones y mediciones de calidad que permitan conocer su importancia económica potencial. Son yacimientos de tipo marginal que podrían ser explotados cuando las condiciones técnicas y económicas lo admitan.²

El abandono estatal y la falta de desarrollo tecnológico no permiten que se realicen investigaciones debido a que los recursos económicos para tal fin son escasos. La

¹ BARAJAS RUIZ, Olga Lucila; BAYONA TARAZONA, Elibardo; SUAREZ FONSECA, Libardo. VARGAS ACEVEDO Joselito. Plan de manejo área natural única los estoraques. Colombia, 2004. 239p.

² Esquema de ordenamiento territorial (EOT). Municipio de la Playa de Belén. Dimensión ambiental. 2000. 28p. p13.

caracterización de los minerales antes mencionados se torna más difícil debido a la falta de profesionales o instituciones que realicen estudios geológicos en la zona, aunque si existen instituciones de educación superior no existen planes académicos que realicen tales estudios.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la caracterización fisicoquímica del cuarzo del municipio de la Playa de Belén?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 **General.** Establecer la caracterización físicoquímica del cuarzo encontrado en el municipio de la Playa de Belén.

1.3.2 Específicos

- Conocer los lineamientos para la selección de muestras de cuarzo y su caracterización según normas internacionales.
- Describir el procedimiento para caracterizar el cuarzo del municipio de la Playa de Belén, de acuerdo a un muestreo estratificado.
- Emplear técnicas de laboratorio según normas internacionales para determinar la composición química y las propiedades físicas de las muestras de cuarzo.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El sector minero juega un papel relevante en la economía colombiana, su creciente importancia se ha dado, en parte, como consecuencia del aumento internacional del precio y de un mejor entorno para la ampliación de la producción minera local.³

Se encuentra la necesidad de realizar la caracterización composicional y textural de las rocas de cuarzo presente el municipio de la Playa de Belén, porque este es un mineral común y abundante sobre la corteza terrestre y que se presenta en una gran variedad de condiciones geológicas. Aparece en rocas ígneas y rocas metamórficas, y es un constituyente principal de pegmatitas graníticas. Entre los minerales, el cuarzo es el más próximo a un compuesto químico puro, y tiene propiedades físicas constantes.

Al tener en cuenta la ausencia de estudios petrográficos que permitan clasificar y buscar una aplicación artesanal o industrial para el cuarzo encontrado en el municipio de la Playa de Belén, se debe realizar un análisis de las características tales como forma, composición,

³ Martínez, Astrid: Estudio Sobre los Impactos Socioeconómicos del Sector Minero en Colombia: Encadenamientos Sectoriales, Artículo Económico, Fedesarrollo, Bogotá D.C. Colombia, 2013. 66p. p5.

propiedades térmicas y estructura que presenta a nivel general este mineral, mediante estudios de laboratorio de acuerdo con las normas internacionales que serán usadas para este caso de estudio.

La realización de los estudios para la caracterización del cuarzo servirá para buscar alternativas económicas para este municipio, porque se lograría tener un mejor auge y una mayor proyección hacia la minería si este material se encuentra a gran escala de lo contrario se podrá optar por la muestra y venta de minerales a los turistas y de esta manera explotar otro sector en el que se puede incursionar.

2. MARCO REFERENCIAL

2.2 MARCO HISTÓRICO

2.1.1 Antecedentes históricos a nivel mundial. Durante la investigación realizada para recopilar información acerca de los estudios académicos hechos sobre temas relacionados con este proyecto se encuentran las siguientes publicaciones extranjeras de artículos de investigación científica.

Caracterización mineralógica en la industria minera, realizado por María del Carmen Ojeda Escamilla, Juan Luis Reyes Bahena y Antonio Aragón piña. Artículo científico. Instituto de metalurgia, universidad autónoma san Luis de Potosí, México (2010).

Caracterización del cuarzo del yacimiento “El Cacahual” para la preparación de resinas compuestas, realizado por Y. Veranes, M. Frómata y R. Alvares. Artículo científico. Departamento de química, facultad de ciencias naturales y matemáticas, universidad de oriente; departamento de cerámica y composites, centro de biomateriales, universidad de La Habana cuba (2003).

Características de cuarzos, realizado por Fernández B, Fernández A y Rodríguez M. Artículo científico. Centro de investigaciones con técnicas nucleares universidad de Panamá, Panamá (2003).

Vetas de cuarzo al sur de Santiago del Estero, realizado por Pablo Rodrigo Leal, Osvaldo Cortona y Facundo José Pagan. Artículo científico. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina (2005).

2.1.2 Antecedentes históricos a nivel nacional. Se realiza investigación a nivel y se obtiene documentos de artículos publicados en revistas nacionales los cuales ayudan a orientar esta investigación, dentro de los cuales se citan los siguientes:

Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi costa pacífica Caucana (Colombia), realizado por Muñoz Meneses R. A., J. A. Muños Chaves. P. Mancilla y J. E. Rodríguez Páez. Artículo científico. Grupo CYTEMAC, Departamento de física universidad del Cauca, Cauca Colombia (2007).

Caracterización composicional de sílice de Ramiriquí Boyacá, realizado por Hugo Hernando Mendoza, Aura Janeth Barón González y Carlos Arturo Parra Vargas. Artículo científico. Grupo física de materiales, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia (2007).

2.1.3 Antecedentes históricos a nivel local. En la ciudad de Ocaña actualmente no existen reseñas, antecedentes o artículos sobre la realización de estudios aplicados al cuarzo; aunque si se han realizados estudios para la clasificación del suelo del área de estudio el municipio de la Playa de Belén, dentro de los cuales se encuentran.

Estudio geológico y morfodinámico e inventario Geo-ambiental del Área Natural Única de los Estoraques, municipio de la Playa de Belén, Norte de Santander. Realizado por Aparicio-J., F. & T. A. Rojas-G. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander, Colombia (2003).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Petrografía. La petrografía es la rama de la geología que se ocupa del estudio e investigación de las rocas, en especial en cuanto respecta a su aspecto descriptivo, su composición mineralógica y su estructura.

Cuarzo. Es un mineral duro muy común compuesto por sílice (SiO_2). En estado puro es incoloro (vítreo) con brillo vítreo y fractura en forma de concha (concoide). Es resistente a la intemperie y por lo tanto es un componente importante de muchos depósitos de arena y grava y muchas areniscas. También es abundante en muchos de colores claros rocas ígneas y metamórficas.⁴

Muestra: es la parte de la población con la que se realiza la investigación o el estudio de la caracterización.

Población: Conjunto de mineral (rocas de cuarzo) a las cuales se les realizara los diferentes tipos de pruebas para su respectivo análisis de estudio para su posterior caracterización.

Muestreo estratificado. Es un diseño de muestreo probabilístico en el que dividimos la población en subgrupos o estratos para luego tomar una muestra de cada estrato. Este diseño de selección es indicado para poblaciones heterogéneas y considera variabilidad dentro de la población para extraer una muestra más precisa y eficiente.

Análisis Térmico Diferencial (DTA). Es una técnica de análisis térmico muy popular que mide las transiciones tanto endotérmicas como exotérmicas, como función de la temperatura. El estudio se usa para caracterizar las propiedades térmicas de los materiales de estudio. Las transiciones medidas incluyen las transiciones de vidrio, cristalizaciones, fusiones y sublimaciones.

Microscopía electrónica de barrido (MEB o SEM (siglas en inglés)). Agrupa un conjunto de técnicas que permiten la caracterización morfológica, estructural y de composición de superficies sólidas mediante imágenes con diferente grado de resolución.

⁴ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates, ASTM C 294

Difracción por rayos x. La difracción de rayos en muestra policristalina permite abordar la identificación de fases cristalinas (puesto que todos los sólidos cristalinos poseen su difractograma característico) tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo. Los estudios de polimorfismo, transiciones de fase, soluciones sólidas, medida del tamaño de partícula, determinación de diagramas de fase.

Rocas. Las rocas son aglomerados de uno o más minerales. Los procesos que dan lugar a las rocas son distintos, dependiendo de su ubicación en la Tierra. Así como varían los valores de presión (P), temperatura (T) y composición (X) dominantes en diferentes lugares de la Tierra, también varían los procesos que propician el desarrollo de las rocas.

Cristal. Sólido homogéneo que posee un orden interno tridimensional, que bajo de condiciones favorables, puede expresarse externamente por la formación de superficies planas y pulidas.

2.3 MARCO TEÓRICO

El cuarzo es un mineral del grupo de los silicatos abundante en la corteza terrestre en la que entra a formar parte de un gran número de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Entre las primeras abunda en granitos, riolitas y pegmatitas. En los gneises (rocas metamórficas) es un mineral fundamental, así como en las ortocuarcitas. El Cuarzo común es la forma α , estable hasta 573°C; por encima de esta temperatura es estable la forma β hexagonal, conservada paramórficamente sólo en rocas volcánicas

En la estructura del cuarzo, el tetraedro de silicio y oxígeno está constituida por una armazón tridimensional en la que cada oxígeno es compartido entre dos silicios. No hay sustitución de otros iones en las posiciones de silicio. Los cristales de cuarzo son comúnmente prismáticos, con las caras del prisma horizontalmente. Terminados generalmente, en una combinación de romboedros positivos y negativos que en ciertas ocasiones tienen idéntico desarrollo y producen el efecto de una bipirámide hexagonal. En algunos cristales predomina el romboedro, o bien se presenta solo.

En las características físicas del cuarzo se presenta la fractura, por fractura de un mineral se entiende la manera cómo se rompe cuando no se exfolia (al romperse por la acción de una fuerza deja dos superficies planas) o parte. La fractura del cuarzo se clasifica como concoidal y es cuando la fractura tiene superficies suaves, lisas, como la cara interior de una concha. Otra propiedad física es la dureza, el cuarzo se clasifica dentro de la escala de dureza de Mohs en el séptimo lugar, lo que quiere decir que es un mineral que ofrece una alta resistencia a ser rayado. Presenta un peso específico medio de 2,65. Generalmente incoloro o blanco, pero frecuentemente coloreado por diversas impurezas.

El cuarzo, es posiblemente, el mineral piezoeléctrico (capacidad de producir electricidad al presionar el cristal en una de sus caras) más importante, ya que una presión sumamente ligera paralela a un «eje eléctrico» (cualquiera de sus tres ejes α) puede detectarse por la carga eléctrica producida. Debido a esta propiedad, el cuarzo se emplea muchísimo en

placas cuidadosamente orientadas para controlar la frecuencia de la radio. Al calentar el cuarzo hasta los 100°C, desarrollara al enfriarse, cargas positivas en las tres aristas alternas del prisma y cargas negativas en las tres aristas restantes. A estas cargas se las ha denominado polarización piroeléctrica secundaria.

La composición química es la base de la clasificación moderna de los minerales. Su fórmula química es el SiO_2 , la unidad estructural es $3(\text{SiO}_2)$, entre todos los minerales, el cuarzo es un compuesto químico casi puro y tiene propiedades constantes, sin embargo el análisis espectrográfico ha revelado que hasta los cristales más perfectos contienen impurezas de litio, sodio, potasio, aluminio, hierro, manganeso divalente y titanio, observándose con medidas muy precisas que las propiedades físicas varían con la presencia de estas impurezas.

El empleo del cuarzo es muy amplio, algunas de las utilizaciones más importantes se encuentran: material de adorno, arena, morteros, hormigón, fundente abrasivo, en la manufactura del vidrio y del ladrillo de sílice, como polvo en la fabricación de porcelanas, pinturas, papel de esmeril, jabones de fregar, relleno de madera, como piedra de construcción y de pavimentación. Se emplea en aparatos ópticos y científicos, cortado en pequeñas placas orientadas se emplean estas como radio-osciladores que permiten la transmisión y recepción a una frecuencia fija.

Varietades cristalinas (distribución ordenada de átomos en la estructura): existe una gran variedad de formas de cuarzo dentro de las cuales se encuentran:

Cristal de roca. Cuarzo incoloro, transparente, presente en grietas de gneises, mármoles, drusas de pegmatitas y en grietas de filones de minerales metalíferos corrientemente en cristales bien definidos, por lo común de estructura romboédrica.

Amatista. Cuarzo coloreado de purpura o violeta, en cristales. Parece ser que la impureza que origina el color son pequeñas cantidades de hierro férrico. Se encuentra en cavidades de burbujas de rocas eruptivas, en grietas, en filones de minerales metalíferos y en geodas.

2.4 MARCO LEGAL

Las bases legales que sustentan este proyecto están contempladas en la Constitución Política de Colombia, en la Universidad francisco de Paula Santander Ocaña. Los ensayos de laboratorio y las prácticas que se deben realizar para el muestreo y las muestras se encuentran en concordancia con las normas internacionales que se mencionan a continuación.

2.4.1 Constitución política de Colombia. Artículo 71. La búsqueda del conocimiento y la expresión artística son libres. Los planes de desarrollo económico y social incluirán el fomento a las ciencias y, en general, a la cultura. El Estado creará incentivos para personas e instituciones que desarrollen y fomenten la ciencia y la tecnología y la demás manifestaciones culturales y ofrecerá estímulos especiales a personas e instituciones que ejerzan estas actividades.

2.4.2 Universidad Francisco de Paula Santander. Acuerdo 065 de 1996. El cual establece el estatuto estudiantil que es el regente actual en la institución.

Artículo 140. El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

a. Proyecto de Investigación

- Monografía
- Trabajo de Investigación: Generación o aplicación de conocimientos
- Sistematización del conocimiento.

b. Proyecto de Extensión.

- Trabajo social
- Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.
- Pasantía
- Trabajo dirigido

PARÁGRAFO 1. El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

PARÁGRAFO 2°. Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo a sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

Artículo 141. El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

a. Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del proyecto seleccionado.

b. Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.

c. Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

PARÁGRAFO. Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

Artículo 142. Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

PARÁGRAFO. La Universidad incorporará los trabajos de grado, como componente básico de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría Asistente de Investigación y Extensión.

2.4.3 Normas internacionales. American Society for Testing Materials (ASTM)

ASTM C294-98. Nomenclatura descriptiva estándar para los constituyentes de hormigón. En el apartado N°4 de esta guía se describe la clasificación y los tipos de materiales áridos, es decir se categoriza cada una de las rocas de acuerdo a su origen ya sean ígneas, metamórficas o sedimentarias, además se encuentra la clasificación y definición técnica de diferentes minerales compuestos por sílice y en el apartado N°5.1 define el mineral cuarzo el cual se considera para el desarrollo de este proyecto.

ASTM C295-98. Guía estándar para examen petrográfico de agregados para concreto. En el apartado N°3.1 de la guía se especifica una serie de procedimientos que se utilizan para la caracterización de agregados para el concreto, para el desarrollo de este proyecto se utiliza los procedimientos Análisis Térmico Diferencial (DTA), Difracción por Rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) descritos en esta norma, para determinar las características fisicoquímicas de las muestras. En el apartado N°5 de esta describe los aparatos y suministros a utilizar para la preparación, exámenes y análisis de las muestras.

2.4.4 Normatividad Técnica Colombiana.

Norma técnica colombiana NTC 1486 sexta actualización. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación.

Norma Técnica Colombiana NTC 3674, que describe las prácticas para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos, lo cual se considera para la reducción del tamaño de la muestra de campo a laboratorio.

Norma Técnica Colombiana NTC 221, establece el método para determinar la densidad del cemento hidráulico, fue adaptada para determinar la densidad de las muestras de cuarzo.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se desarrolla bajo el enfoque de investigación descriptiva, ya que utiliza el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señala sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio. Su objetivo es describir la estructura de los fenómenos y su dinámica, identificar aspectos relevantes de la realidad.⁵

Basados en el empleo del enfoque descriptivo se especifica las propiedades más importantes y relevantes del cuarzo, al ser determinadas de manera cualitativa y cuantitativa con la mayor precisión posible.

3.2 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la propuesta se establecen fases que cumplen con los objetivos específicos: Se formula cada una de las fases y sus respectivas actividades a fin de establecer la caracterización del cuarzo del municipio de la Playa de Belén, las cuales son:

3.2.1 FASE I. Revisión bibliográfica. En esta primera instancia de la investigación se cumple con el objetivo específico de conocer los lineamientos para la selección de muestras de cuarzo y su caracterización según normas internacionales, donde se realizan actividades de búsqueda de información de conceptos y procedimientos tales como muestreo, selección de muestras, métodos y pruebas de laboratorio para la caracterización de minerales, estado del arte, las normas para cada una de las acciones que se realizan durante la elaboración de este proyecto.

La información recopilada se delimita, así se logra esclarecer las dudas presentes y lograr de esta manera aplicar los conceptos y teorías, claras y concisas, necesarias para la selección de las muestras y la caracterización del cuarzo.

Esta etapa del proyecto se sintetiza las pautas de acuerdo con las normas que rigen la selección de las muestras, la clasificación granulométrica dependiendo del tamaño de grano, se selecciona la instrumentación, de esta manera se cumple con los requisitos que exigen las normas nacionales e internacionales.

⁵ Daniel S. Behar Rivero. Metodología de la investigación. 2008 p21

3.2.2 FASE II. Selección de las técnicas de caracterización y muestreo. En esta fase se cumple con el segundo objetivo específico, describir el procedimiento para caracterizar el cuarzo del municipio de la Playa de Belén, de acuerdo a un muestreo estratificado. Con los conceptos claros se procede a aplicar los mismos, la localización de las secciones para la toma de muestras se realiza con un GPS y posteriormente se ubica los puntos en el mapa y se delimita el área de estudio.

Las muestras son tomadas por medio de estratos, se divide el terreno de manera que no se interfieran entre sí, con el objetivo de obtener muestras representativas, luego son empacadas en diferentes empaques que son rotulados para evitar que las muestras se mezclen.

3.2.3 FASE III. Realización de las pruebas y análisis de resultados. Esta fase cumple con el último objetivo específico que consiste en el empleo de técnicas de laboratorio según normas internacionales que determinan la composición química y las propiedades físicas de las muestras de cuarzo. Luego de tener las muestras se realiza el procedimiento de limpieza de las mismas y su adecuación para cada una de las pruebas de acuerdo a las técnicas que se ejecutan, para esto se traslada las muestras hasta la ciudad de Medellín.

Se realiza las pruebas de laboratorio y se conocen cada una de las características del cuarzo, posteriormente se realiza el análisis de los datos obtenidos. Luego se ejecuta la entrega del proyecto terminado y se socializa.

4. GEOLOGIA REGIONAL

La geología regional descrita en este trabajo se considera según el plan de ordenamiento territorial del municipio de la Playa de Belén. “El aspecto geológico en el ordenamiento de un municipio permite conocer de manera general la composición litológica, la génesis del material rocoso que compone el subsuelo y los procesos geológicos que han actuado en el pasado y cual puedan ser fuentes de amenazas geológicas; además de establecer el inventario de minerales y rocas útiles con que cuenta el municipio.

Las formaciones rocosas correspondientes al Municipio de La Playa se formaron a partir de La orogénia sucedida en el oligoceno hasta principios del mioceno, que levanto y plegó la cordillera Oriental y la serranía del Perijá.

Los estratos rocosos se caracterizan por una mezcla de materiales de diferentes tipos y génesis cuyas edades varían desde el Pre-Devónico al reciente (408 a 2 millones de años), e incluyen afloramientos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

4.1 ROCAS METAMÓRFICAS

Estos materiales presentan edades que se remontan hasta el pre-devónico; su litología evidencia la ocurrencia de eventos orogénicos, los cuales aún no son totalmente conocidos. Su presencia en la superficie implica el alto nivel de erosión a que ha sido expuesto el macizo de Santander durante un largo período de su historia geológica.

Son rocas de medio a bajo grado de metamorfismo, con minerales variados como gneis, anfibolita, sericitas, moscovita, biotita, cuarzo, plagioclasas y esquistos. Estos materiales han sufrido metamorfismo que afectó o transformó su composición mineralógica o cristalina.

4.2 ROCAS ÍGNEAS

Pertenecen al grupo plutónico de Santander y son rocas intrusivas y volcánicas cuya edad varía del pre-devónico al cretáceo inferior. Su composición varía de tonalitas grises, cuarzo – monzonitas y granitos de color rosado. La tonalita predominante es la gris, ligeramente verdosa, fanerítica de grano medio y constituida por cuarzo, plagioclasas, horblenda y biotita. La diorita presenta variación en el tamaño de grano, se compone principalmente de plagioclasas y horblenda, además de biotitas y cuarzo.

4.3 ROCAS SEDIMENTARIAS

Son las que menos abundan en el Municipio y oscilan en edades que van del cretáceo inferior al reciente. Los sedimentos expuestos que limitan al sector oriental del Macizo de Santander, se caracterizan por estar constituidas de areniscas, limolitas gris verdosa a

pardas, arcillas ligeramente calcáreas, lutitas grises, con intercalaciones de conglomerados, guijarros de tamaño en matriz arenosa.

4.4 FORMACIONES DEL MUNICIPIO

A continuación son descritas de las formaciones más antiguas a las más jóvenes.

4.4.1 Formación Silgara (Pos). Aflora como un cuerpo con extensión e importancia regional desde centro al oriente del Municipio. En algunas zonas aflora como pequeños techos pendientes sobre las rocas ígneas del complejo intrusivo – extrusivo. Está conformada por filitas verdes y rojizas, filitas calcáreas y esquistos además de metareniscas, cuarcitas y metalimolitas. En algunos sectores sus afloramientos están conformados por roca muy meteorizada, susceptible de proceso erosivos fuertes.

4.4.2 Formación Girón (Jg). Afloran al noroccidente del Municipio. Se encuentran yaciendo discordantemente sobre rocas del terciario pertenecientes a la formación Algodonal. Está constituida por areniscas de grano fino de color rojo, areniscas conglomeráticas, shales, conglomerados blancos y limolitas rojas. Estas rocas están afectadas por riolitas.

4.4.3 Complejo ígneo intrusivo – extrusivo (Jci). Aflora al oriente del Municipio mostrándose de forma discordante con rocas sedimentarias de la formación Tibu-Mercedes. Al occidente afloran surcando las rocas de la formación algodonol que conforman el valle de la quebrada El Playón y en el centro se encuentran en contacto discordante con rocas aluviales y metamórficas por medio de la falla de Hacarí.

Hace parte del complejo ígneo metamórfico denominado “Macizo Santander” e incluye rocas ígneas del juratriásico (entre 144 y 245 MA). Comprende una fase intrusiva cuya composición predominante es cuarzo – monzonita, pórfidos riolíticos, diques básicos de diabasas y basalto; también incluye material piroclástico con presencia de toba, brechas y aglomerados.

El macizo rocoso se encuentra muy fracturado y altamente meteorizado en límites con el Municipio de Ocaña, con buenos afloramientos de roca fresca.

4.4.4 Cuarzo Monzonita (Jc). Afloran al sur occidente del municipio en una pequeña franja, sobre rocas de la formación algodonol. Su edad varía del triásico al jurásico, sus afloramientos son reducidos y conformados por rocas intrusivas muy meteorizadas que corresponden a cuarzo monzonitas biotíticas, de grano medio, color gris rosado y textura porfidítica.

4.4.5 Formación Tibú Mercedes (Kitm). Es la unidad más escasa en el Municipio aflora discordantemente como pequeños remanentes sobre rocas metamórficas e ígneas de la formación Sílgara y del complejo intrusivo - extrusivo; estas rocas corresponden al cretáceo inferior y su edad varía entre 66 y 144 M.A. Está constituida por calizas fosilíferas de color gris claro y café negruzco, con intercalaciones de shales gris oscuro a negro, areniscas grises y conglomerados arenosos de grano fino a grueso.

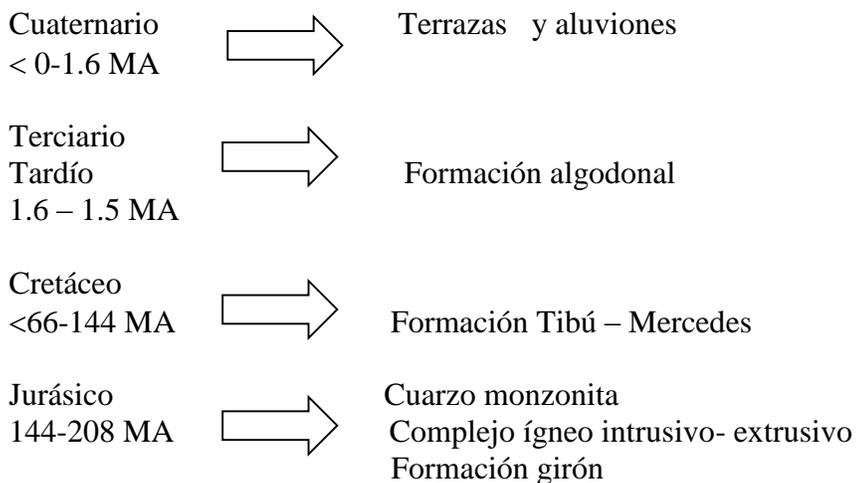
4.4.6 Formación Algodonal (Tpa). Esta unidad aflora sobre la cuenca de la quebrada El Playón. Está constituida por conglomerados poco consolidados con intercalaciones de arcilla gris verdosa y arenisca gris clara. La edad de la formación es incierta y se ha postulado como del terciario tardío al cuaternario temprano (entre 1 y 1.5 M.A). La unidad presenta estructuras sedimentarias diversas tales como estratificación cruzada, marcas de corriente y estructuras de fondo que permiten identificar fácilmente la base y techo.

Esta formación tiene un espesor aproximado de 554 metros de rocas sedimentarias de origen variado (lacustre, conos aluviales, depósitos torrenciales). Geomorfológicamente se expresa como mesas con superficie horizontal o suavemente inclinada hacia el eje del valle. La unidad registra un proceso de erosión diferencial e incisión vertical drástica, que producen geformas denominadas pilares o columnas de erosión, que localmente reciben el nombre de estoraques.

4.4.7 Aluviones Recientes (Qal). En su mayor parte corresponden a acumulaciones en zonas pequeñas y con delgados espesores que se han depositado en el fondo del valle de la quebrada El Playón. Su composición y textura es heterogénea, dependiendo del área de aporte de materiales y de las corrientes que los han depositado.

Están conformados por cantos y guijarros angulares y subredondeados de rocas ígneas metamórficas y sedimentarias, con gravas y arenas finas.

4.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL.



Dre-Devónico
245-408 MA  Formación silgara

4.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras más notorias en el Municipio se generaron a partir de la orogenia producida al final de cretáceo y que tomaron su configuración actual hasta fines del mioceno. De igual manera durante el período mioceno nuevos movimientos tectónicos dieron como resultado la formación de una serie de fallas de cabalgamiento y el posterior levantamiento de la Cordillera Oriental.

Las fallas de cabalgamiento presentes, en general tienen un rumbo paralelo al de la Cordillera Oriental, dominada principalmente por la falla de Bucaramanga con rumbo norte-noreste.

La principal estructura presente en el territorio municipal es el sinclinal de La Mesa, cuyo flanco oriental está cortado por un ramal de la falla de Hacarí. El núcleo de esta estructura está formado por rocas de la Formación Tibú – Mercedes. En general el área de La Playa es afectada por ramales de la falla de Hacarí y San Calixto, en el norte, centro y oriente del municipio. Las estructuras presentes son pocas porque se exhibe una topografía donde los procesos erosivos son los principales agentes modeladores del terreno.”⁶

⁶ Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Municipio de la Playa de Belén. Capítulo 2 dimensión ambiental 2000.

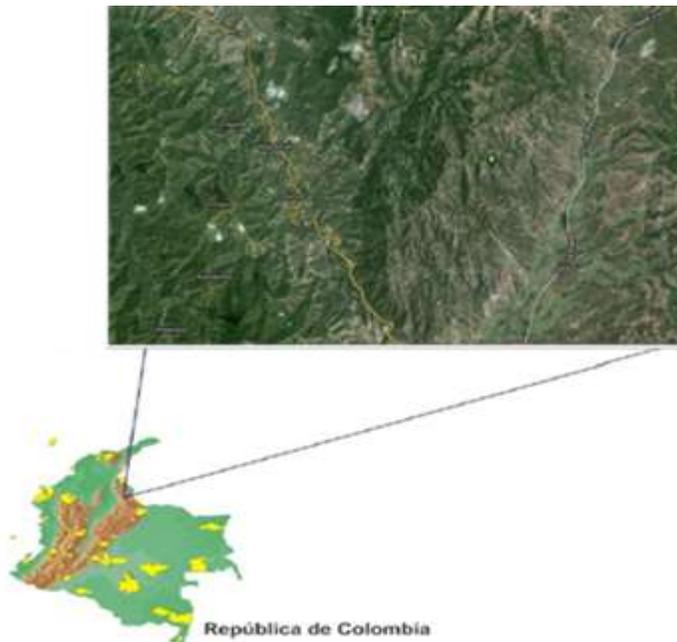
5. UBICACIÓN Y GENERALIDADES

5.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El cerro de los cristales se encuentra ubicado en la vertiente occidental de la cordillera oriental, al costado occidental del macizo de Santander, geográficamente se encuentra ubicado en las veredas carrizal, maciegas y montecitos al pertenecientes al municipio de la Playa de Belén departamento de Norte de Santander Colombia, entre las coordenadas N 08°11'13,2" y W 073°16'22,3", a una altura de 1745 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 21°C.

En la figura 1 se observa la ubicación de la zona de estudio, se sitúa en la cordillera oriental de la República de Colombia y en el suroccidente del municipio de la Playa de Belén. En la parte superior de la imagen se visualiza un punto de color verde, este es el sitio en donde se toma las muestras, la coordenada se obtiene con la utilización de un GPS marca GARMIN serie GSPMAP®78, se introduce en el programa GPX Editor el cual recurre a la plataforma de GOOGLE EARTH y la imagen se extrae como lo indica la figura. La línea amarilla indica la vía nacional que comunica el departamento de Norte de Santander con el departamento del Cesar y el resto del país, la línea gris es la carretera que conduce de la vía nacional hacia el municipio de la Playa de Belén.

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio en el municipio de la Playa de Belén.



Fuente autor

5.2 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS A ANALIZAR

La selección de las muestras en el área de estudio, se realizó por medio del diseño de un muestreo estratificado, este método consiste dividir el área de estudio en estratos sin que estos solapen o interfieran entre sí, de esta manera se logra obtener muestras representativas que permiten conocer las características del conjunto de rocas estudiadas; para garantizar que todas las muestras tengan la misma posibilidad de ser elegidas se estableció dividir el área de estudio en 4 estratos, cada estrato está dividido en tres secciones, donde por cada sección se tomaron muestras de 3 kilogramos, donde se seleccionan muestras al azar para comprobar la variabilidad o uniformidad de las mismas y donde cada una tenga la probabilidad de ser elegida.

Cada estrato está comprendido por un área de 10m^2 , tiene forma triangular, las muestras son extraídas como se indica en la tabla 1, empacadas y rotuladas para evitar que el mineral se mezcle o contamine. En las siguientes figuras se puede apreciar los lugares en donde fueron tomadas algunas de las muestras, en ellas se observa el mineral de cuarzo.

Tabla 1. Diseño del muestreo estratificado

Estrato	E1			E2			E3			E4		
Nombre de la muestra	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
Coordenada	(0,0)	(2.5,4)	(5,0)	(0,0)	(2.5,4)	(5,0)	(0,0)	(2.5,4)	(5,0)	(0,0)	(2.5,4)	(5,0)

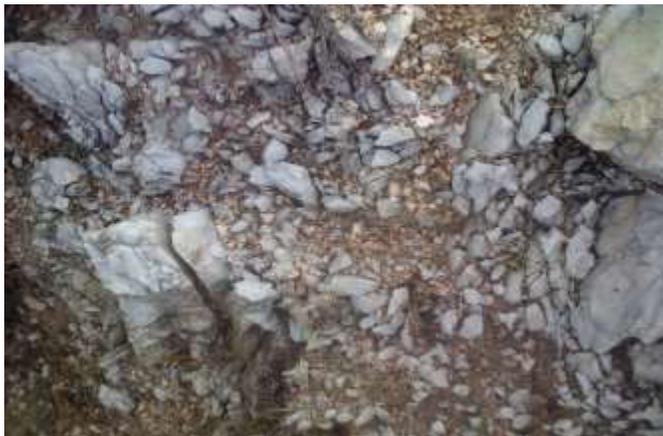
Fuente autor

Figura 2. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 1 en el estrato 2.



Fuente autor

Figura 3. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 5 en el estrato 2.



Fuente autor

Figura 4. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 8 en el estrato 3.



Fuente autor

Figura 5. Sección del área donde se extrajo mineral correspondiente a la muestra 10 en el estrato 4.



Fuente autor

5.3 REDUCCION DEL TAMAÑO DE GRANO DE LAS MUESTRAS

El tamaño de la muestra tomada de campo se reduce al tamaño de estudio del laboratorio, se realiza de acuerdo al procedimiento descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 3674, que describe las prácticas para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos. De acuerdo a la norma se elige trabajar con el MÉTODO B (cuarteo), que utiliza una cuchara de bordes rectos, una pala o un palustre, una escoba de cepillo y una manta o lona de aproximadamente 2m por 2,5m.

El proceso de reducción del tamaño de la muestra se realiza con cada una de las mismas, por lo que son tratadas de la siguiente manera, la muestra de 3 kilogramos se deposita sobre una superficie plana y limpia, como lo indica la figura 6 y se conforma una pila cónica.

Figura 6. Pila cónica correspondiente a la muestra 1



Fuente autor

La pila cónica se alisa con el palustre y se verifica que el grosor y el diámetro sean uniformes, la muestra alisada se divide en cuatro partes iguales ver figura 7.

Figura 7. Muestra 1 alisada y dividida en cuartos



Fuente autor

Al tener la muestra dividida en partes iguales se procede con el palustre a retirar dos cuartos diagonalmente opuestos, se eliminan y se barre los espacios desocupados (Figura 8), los dos cuartos restantes se trituran al ser golpeadas con una porra para disminuir el tamaño, para ello se envuelve la muestra en plásticos para evitar que se contaminen, se repite el procedimiento varias veces hasta obtener partículas de tamaño milimétrico.

Figura 8. Cuartos opuestos retenidos de la muestra 1



Fuente autor

Las partículas de tamaño de grano milimétrico se tamizan para obtener homogeneidad en la muestra, la cantidad retenida en los tamices se tritura de nuevo hasta lograr que las partículas pasen por la abertura del tamiz.

Tabla 2. Tamices utilizados para medir el tamaño de grano.

Tamiz número	Abertura
20	850 μm
40	425 μm
100	150 μm
200	75 μm

Fuente autor

Las partículas del tamaño del pasante del tamiz 100 se maceran en un mortero de porcelana (Figura 9), con esto se logra obtener partículas más finas que pasen el tamiz 200 (Figura 10), la masa de mineral pasante de este tamiz es utilizado para las técnicas de estudio, este procedimiento se realiza hasta obtener una masa de 80 gramos de cada una de las muestras. Las 12 muestras se empacan en bolsas sellables y se rotulan para las fases de laboratorio que se realicen para la caracterización.

Figura 9. Mortero de porcelana empleado para disminuir el tamaño de grano



Fuente autor

Figura 10. Tamiz número 200



Fuente autor

6. FASE DE LABORATORIO

6.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

El cálculo de la humedad, se realiza para determinar el cambio de masa del mineral mediante un proceso de secado a una temperatura constante en un horno. Al ser calentadas las muestras se elimina el agua libre contenida en los espacios porosos dentro de las partículas constituyentes y se compara la masa inicial de la muestra y la final luego del secado.

6.1.1 Procedimiento. Para determinar la humedad de las muestras de cuarzo, se adapta la norma Mexicana NMX-L-159-SCFI-2003 que especifica el procedimiento para determinar las propiedades de la barita empleada en fluidos de perforación. Se utiliza el mineral en polvo con un tamaño de grano de 75 μm pasante del tamiz número 200. Se utiliza una cantidad de 80 gramos de masa medidos en una balanza digital marca PIONEER OHAUS corp.pine brook, con una precisión de 0,05 gramos, se vierte el mineral en recipientes de vidrio los cuales están secos, se introducen en un horno digital de precisión marca PINZUAR LTDA, modelo PG 190 (Figura 11), a una temperatura de $\pm 110^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 24 horas.

Figura 11. Muestras de cuarzo en el horno para el secado



Fuente autor

Transcurrido el tiempo de secado en el horno las muestras se pesan de nuevo y por medio de la ecuación 1, se determina el porcentaje de humedad perdido durante el proceso.

$$\% \text{HUMEDAD} = \frac{m - m_s}{m} \times 100 \text{ Ecuación (1)}$$

Donde:

m: es la masa de la muestra, en gramos (g).

m_s : es la masa de la muestra seca, en gramos (g).

Tabla 3. Contenido de humedad de las muestras.

Número muestra	Masa inicial (gramos)	Masa final (gramos)	% de humedad
M ₁	80	79,93	0,0875
M ₂	80	79,94	0,0750
M ₃	80	79,97	0,0375
M ₄	80	79,95	0,0625
M ₅	80	79,95	0,0625
M ₆	80	79,94	0,0750
M ₇	80	79,98	0,0250
M ₈	80	79,98	0,0250
M ₉	80	79,96	0,0500
M ₁₀	80	79,97	0,0375
M ₁₁	80	79,96	0,0500
M ₁₂	80	79,98	0,0250

Fuente autor

6.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Esta propiedad del mineral se determinó por medio de la adecuación de la norma técnica colombiana NTC 221, la cual establece el método para determinar la densidad del cemento hidráulico. La muestra fue secada en un horno digital de precisión por 24 horas a una temperatura de 110°C, luego de tener la muestra seca se procedió a encontrar la densidad del cuarzo.

La densidad de un mineral consiste en establecer la relación entre una cantidad determinada de masa y el volumen del líquido desplazado por dicha cantidad de masa. Los equipos utilizados en este método son:

- Balanza
- Termómetro
- Recipiente para baño de agua
- Frasco de Le Chatelier
- Reactivo agua destilada

Se pesa una cantidad de 63 gramos de cuarzo de tamaño de grano del pasante en el tamiz número 200 (75µm). Para cada una de las muestras se verifica que el matraz de Le Chatelier esté limpio y seco, se toma la temperatura del agua destilada que está a 23 °C, se vierte el reactivo dentro del matraz hasta la línea de marca 0 cm³, se mide de nuevo la temperatura del agua destilada dentro del matraz y se determina que no hay variación de la

misma, se introduce el cuarzo en pequeñas cantidades para evitar salpicaduras y que el material no se atasque en el interior del frasco, se introduce toda la cantidad del mineral pesada y de nuevo se introduce el matraz dentro del agua para evitar variaciones de temperatura, se toma las lecturas del volumen desplazado y se procede a calcular el valor de la densidad.

La temperatura de las pruebas no se altera con ninguna de las muestras debido a que el cuarzo en un mineral insoluble, es decir al realizar la medición del volumen el cuarzo no presenta ninguna reacción con el agua destilada. Los datos obtenidos se registran en la tabla 3.

$$\rho = \frac{m}{v_d} \text{ Ecuación (2)}$$

Donde:

ρ : densidad calculada del cuarzo (g/cm^3).

m: es la masa de la muestra de cuarzo en gramos (g).

v_d : es el volumen desplazado (cm^3).

Tabla 4. Densidad de las muestras de cuarzo.

muestra	Masa (gramos)	Volumen desplazado (cm^3)	Densidad g/cm^3
M ₁	63	23,8	2,65
M ₂	63	23,8	2,65
M ₃	63	23,9	2,64
M ₄	63	23,7	2,66
M ₅	63	23,8	2,65
M ₆	63	23,8	2,65
M ₇	63	23,8	2,65
M ₈	63	23,9	2,64
M ₉	63	23,9	2,64
M ₁₀	63	23,9	2,64
M ₁₁	63	23,9	2,64
M ₁₂	63	23,9	2,64

Fuente autor

6.3 ANALISIS TERMOGRAVIMÉTRICO Y DIFERENCIAL

6.3.1 Descripción de la técnica. Esta técnica consiste en la medición de la variación de la masa de la muestra cuando se aumenta su temperatura en forma lineal desde la temperatura ambiente hasta una temperatura alrededor de los 1200°C, el análisis se realiza en una atmósfera controlada; la variación puede ser una pérdida o ganancia de masa. La práctica se realiza en función de la temperatura o en función del tiempo, en el primer caso

(experimento dinámico) la temperatura de la muestra va aumentando de manera controlada, y el segundo caso (experimento isoterma), la temperatura se mantiene constante durante todo el experimento.

La representación de la masa o del porcentaje de la misma en función del tiempo o de la temperatura se denomina termograma o curva de descomposición térmica. Además de estos análisis existe otro denominado termogravimetría diferencial donde se registra o representa la variación de masa o derivada con respecto a la temperatura o al tiempo.

El equipo utilizado en TG (termogravimetría) es una termobalanza que consta de 5 partes principales:

- Una microbalanza electrónica y su equipo de control
- Un horno y los sensores de T, habitualmente un termopar colocado en las proximidades de la muestra pero no en contacto con ella.
- Un programador de T
- Un controlador de la atmósfera (tipo de gas y caudal)
- Dispositivo para almacenar los datos de peso y T fundamentalmente.

6.3.2 Procedimiento. Luego de obtener las muestras en un tamaño del pasante del tamiz número 200, se tomó una cantidad aproximada entre 7 y 13 mg de cuarzo, se procedió a introducir la muestra de cuarzo en la termobalanza donde se establecieron las condiciones del estudio, las condiciones que se utilizaron para este caso de estudio son los siguientes:

- Atmósfera oxidante de O₂ (aire).
- La velocidad lineal de calentamiento 10°C/min.
- Límite máximo de temperatura 700 °C.

Tabla 5. Resultados cuantitativos del ATG

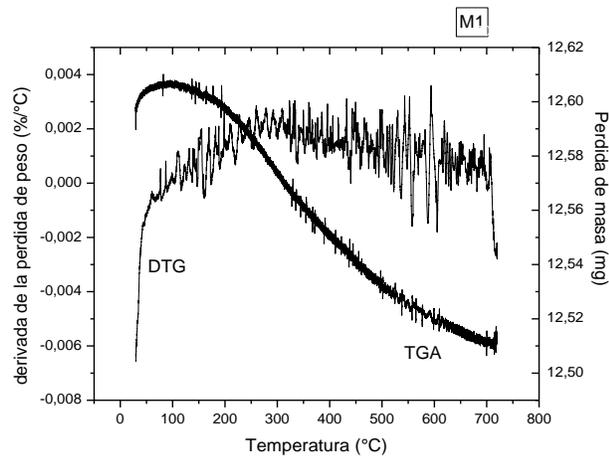
Muestra	Masa inicial(mg)	Masa final (mg)	Pérdida de masa(mg)
M ₁	12,59799	12,51248	0,08551
M ₂	11,35052	11,205	0,14552
M ₃	9,243812	9,149872	0,09394
M ₄	7,437188	7,320488	0,1167
M ₅	11,37705	11,27627	0,10078
M ₆	8,506822	8,3857	0,121122
M ₇	11,77228	11,62373	0,14855
M ₈	10,24905	10,21448	0,03457
M ₉	7,926493	7,822631	0,103862
M ₁₀	11,64164	11,55385	0,08779
M ₁₁	10,9676	10,86838	0,09922
M ₁₂	10,00776	9,882336	0,125424

Fuente autor

El análisis termogravimétrico se realiza al analizar los resultados del material problema con datos establecidos, se compara por medio de un análisis cualitativo en donde se analizan termogramas graficados con los datos obtenidos. En los termogramas se analizan la pérdida de masa y la derivada de la misma, en esta última se pueden observar de manera más clara reacciones ocultas que no se pueden en el termograma de la pérdida de masa.

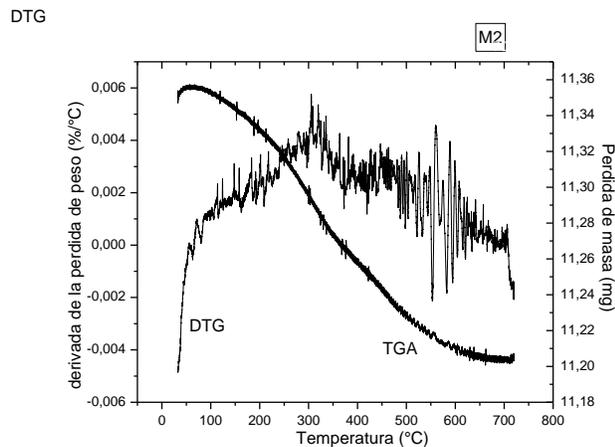
En los siguientes termogramas se observa el comportamiento de las muestras de cuarzo, aunque no son fáciles de interpretar se pueden ver patrones de identificación de fases debido a las temperatura de cristalización, además se puede analizar que las muestras no estén contaminadas con otros materiales externos a los componentes principales del cuarzo, es decir que estén libres de minerales de arcilla o de algún otro tipo de silicato.

Figura 12. Termograma perteneciente a la muestra 1



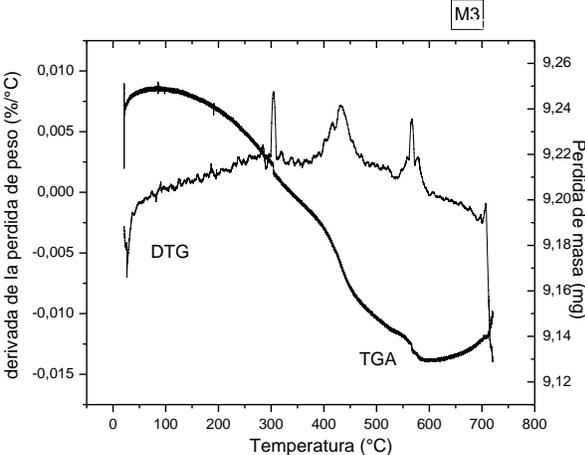
Fuente autor

Figura 13. Termograma perteneciente a la muestra 2



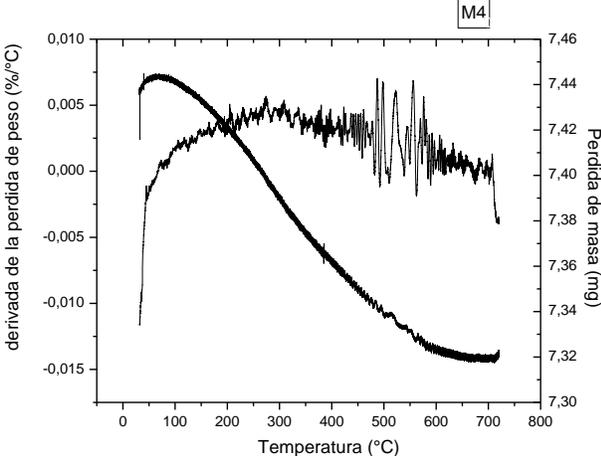
Fuente autor

Figura 14. Termograma perteneciente a la muestra 3



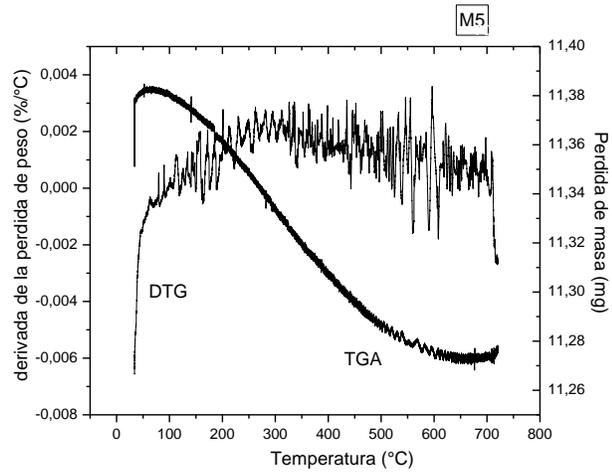
Fuente autor

Figura 15. Termograma perteneciente a la muestra 4



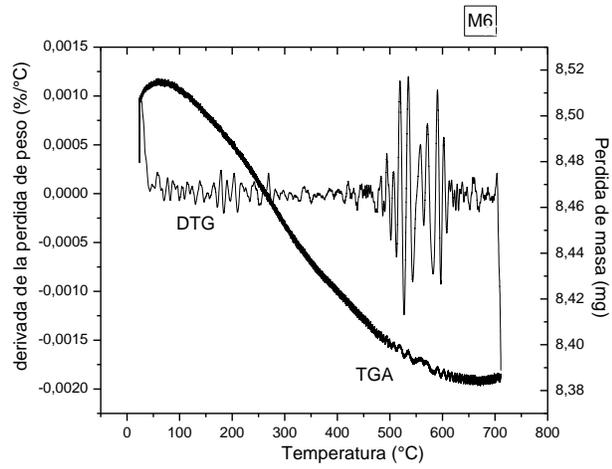
Fuente autor

Figura 16. Termograma perteneciente a la muestra 5



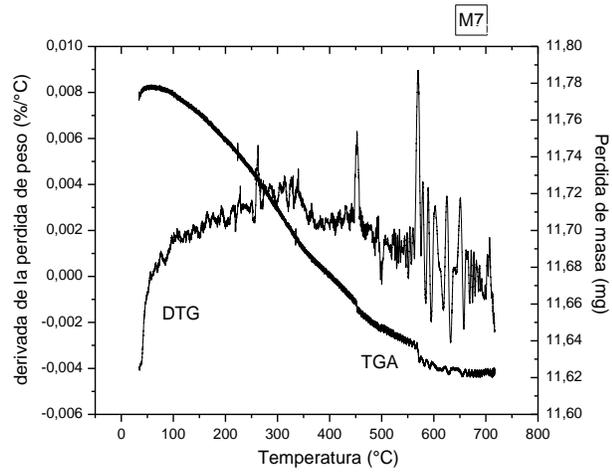
Fuente autor

Figura 17. Termograma perteneciente a la muestra 6



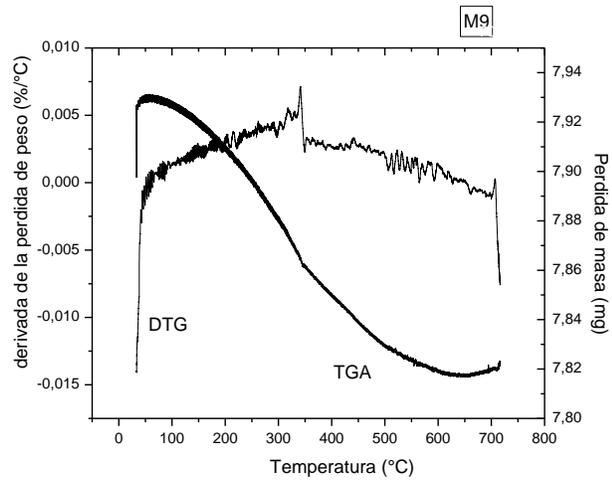
Fuente autor

Figura 18. Termograma perteneciente a la muestra 7



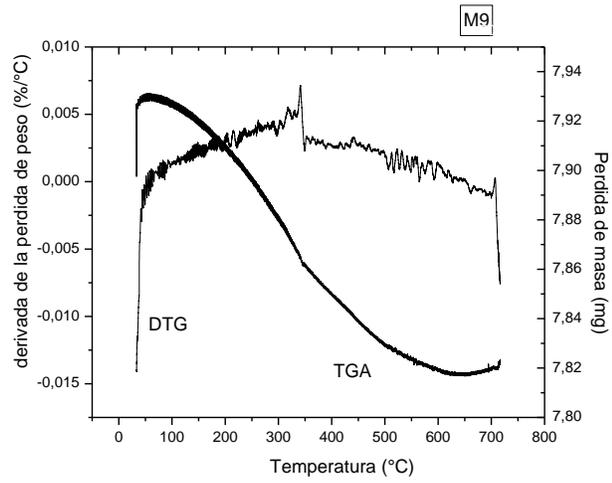
Fuente autor

Figura 19. Termograma perteneciente a la muestra 8



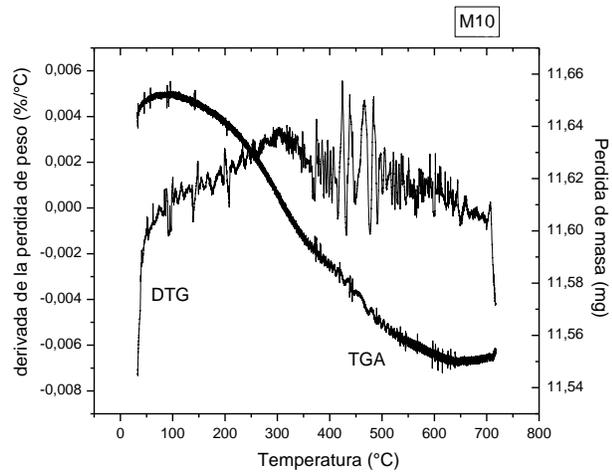
Fuente autor

Figura 20. Termograma perteneciente a la muestra 9



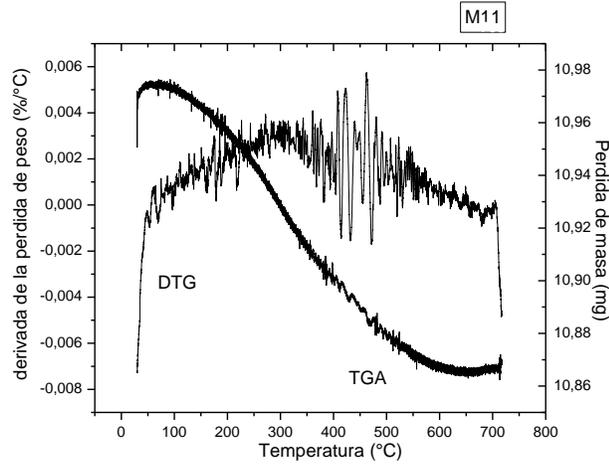
Fuente autor

Figura 21. Termograma perteneciente a la muestra 10



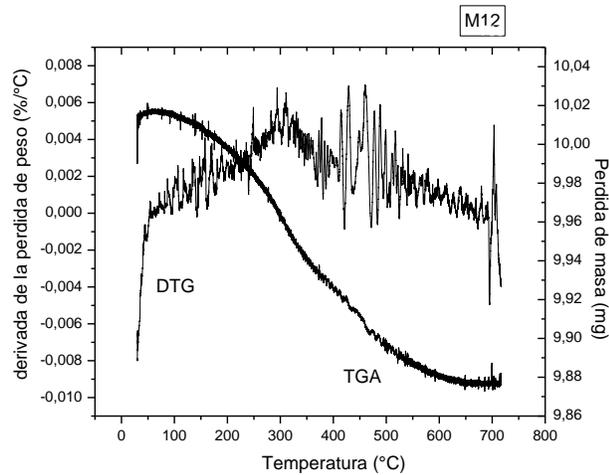
Fuente autor

Figura 22. Termograma perteneciente a la muestra 11



Fuente autor

Figura 234. Termograma perteneciente a la muestra 12



Fuente autor

[6.4 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO \(MEB\), CON ANALIZADOR DEL ESPECTOMETRO DE ENERGÍAS DISPERSAS \(EDS\)](#)

6.4.1 Descripción de la técnica. El microscopio electrónico de barrido (scanning electron microscope, SEM) se basa en la obtención de una imagen de la muestra a partir del barrido de la misma con un haz de electrones, como resultado de las interacciones entre los electrones incidentes y la muestra. La MEB se compone de varios elementos básicos: un cañón de electrones con un filamento emisor de electrones, lentes magnéticas que dirigen y focalizan el haz de electrones sobre la muestra, sistema de barrido, portamuestras móvil y con giro universal, sistemas de obtención de la imagen y de análisis.

Para analizar una muestra en la MEB se requieren generalmente condiciones estrictas de vacío en el interior del microscopio, ya que de lo contrario los electrones pueden ser dispersados por las moléculas de aire. Además, los mejores resultados se obtienen con muestras conductoras o convertidas en conductoras mediante un recubrimiento pelicular con un material conductor

Los microscopios electrónicos de barrido pueden incorporar un detector de rayos X del tipo “dispersivo” en energía (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) que permite identificar cuáles son las energías de los rayos X emitidos por la muestra y por lo tanto, saber qué elementos químicos existen en la muestra. De este modo, al espectro continuo de rayos X, originado por la radiación de frenado, se le superpone una serie de picos que se corresponden con las radiaciones características de cada uno de los elementos presentes en la muestra.

Este espectro se genera en muy pocos segundos y la identificación del elemento que genera cada uno de los picos es inmediata, de modo que el análisis cualitativo de todos los elementos químicos presente en la muestra por encima del límite de detección del método puede realizarse en escasos segundos. Puesto que el haz de electrones que excita la muestra puede ser muy fino (menos de 1 μm).⁷

6.4.2 Procedimiento. El equipo de microscopio electrónico de barrido utiliza un sistema de vacío donde la muestra no puede presentar contenidos de humedad, debido a que el alto vacío provoca que la estructura del material colapse y no se puede visualizar los componentes del objeto de estudio, las muestras utilizadas no presentan este problema porque están secadas en un horno por un periodo de tiempo de 24 horas a una temperatura de $\pm 110^\circ\text{C}$.

Las muestras se fijan a soportes especiales de superficie circular por medio de cinta de grafito que se pega al soporte por una de las caras y por la otra se adhiere el material particulado. La cinta de grafito tiene una segunda función que es la de hacer la muestra conductora a causa de que el cuarzo es un material aislante; además de ser conductora tiene otras propiedades no gasifica en vacío, es de fácil uso y tiene un secado rápido.

Los soportes se fijan a un carrusel de 7 puestos, donde las muestras de cuarzo son recubiertas con una capa conductora de oro, el recubrimiento del material se realiza en un equipo marca DENTON VACUUM. El funcionamiento de este equipo consiste en generar vacío en una cámara donde es colocado el carrusel en una celda que está en contacto eléctrico, luego de generar vacío se inyecta gas, se aplica una diferencia de potencial y esto genera un campo electromagnético donde el gas dentro de la cámara se ioniza y forma un estado plasma que impacta la lámina de oro y desprende átomos o iones que recubren la muestra.

⁷ Joan Carles Melgarejo¹, Joaquín A. Proenza¹, Salvador Galí¹, Xavier Llovet. Técnicas de caracterización mineral y su aplicación y explotación minera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 62, 2010. p4.

Figura 24. Equipo utilizado para el recubrimiento de las muestras



Fuente autor

El recubrimiento utilizado es oro ya que este material permite la observación del material de estudio con electrones secundarios que hacen un barrido sobre la superficie de la muestra(pero no la atraviesa), esto provoca la radiación electromagnética que es discriminada por el detector del microscopio.

Figura 25. Muestra recubierta en oro para el análisis en el microscopio electrónico de barrido



Fuente autor

El microscopio que se utiliza para el análisis de las muestras es marca JEOL JSM-6490LV, las siglas LV significa que se puede utilizar en alto o bajo vacío para este caso de estudio se utilizó alto vacío porque muestra una mejor resolución de la imagen detectada por el espectrómetro de energías dispersas.

Figura 26. Microscopio electrónico de barrido

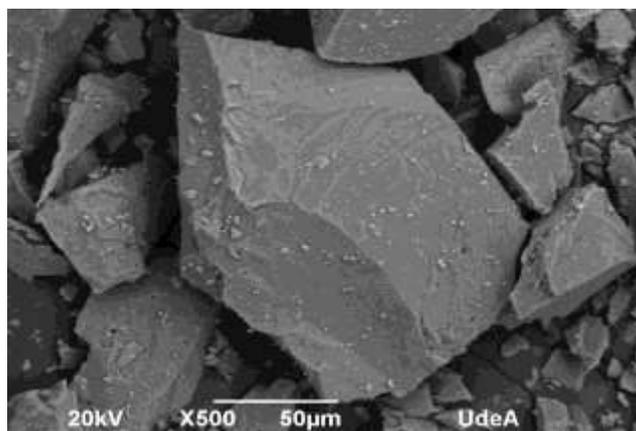


Fuente autor

La técnica de la microscopia electrónica de barrido permite ver y evaluar las características morfológicas para cada una de las muestras estudiadas por medio de imágenes, para el análisis se seleccionan imágenes A 500X porque se observa con mayor claridad la superficie y la forma de las partículas, en el anexo A se observan las imágenes a 100 X.

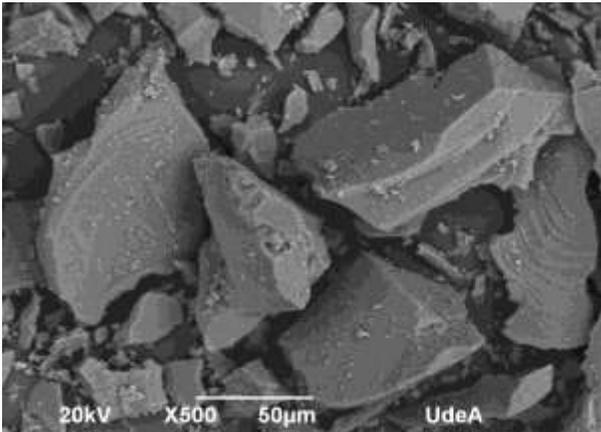
Las siguientes imágenes son obtenidas por el microscopio electrónico de barrido, en cada una de ellas se puede observar las características superficiales de las partículas, las pruebas fueron realizadas en la Universidad de Antioquia es por ello que en el extremo derecho de la imagen aparecen las siglas de esta universidad.

Figura 27. Micrografía a 500X de la muestra 1



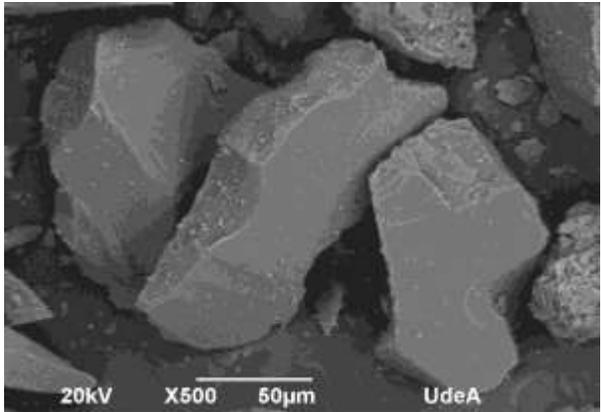
Fuente autor

Figura 28. Micrografía a 500X de la muestra 2



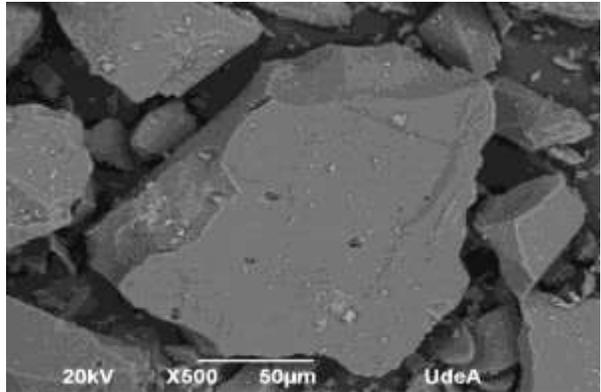
Fuente autor

Figura 29. Micrografía a 500X de la muestra 3



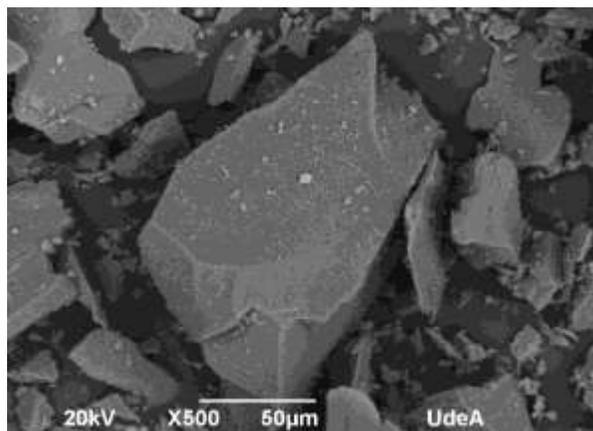
Fuente autor

Figura 30. Micrografía a 500X de la muestra 4



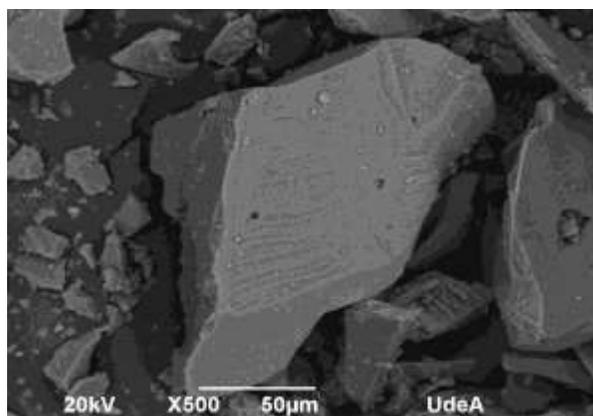
Fuente autor

Figura 31. Micrografía a 500X de la muestra 5



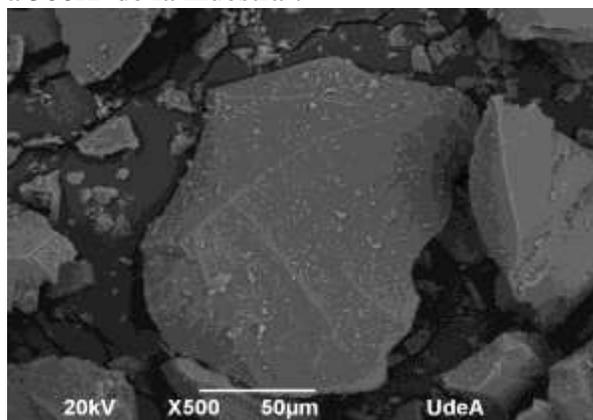
Fuente autor

Figura 32. Micrografía a 500X de la muestra 6



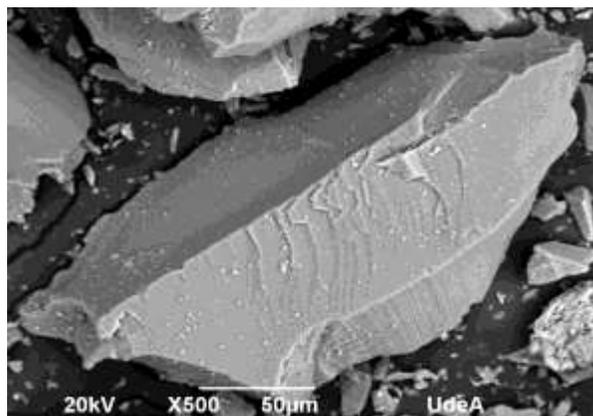
Fuente autor

Figura 33. Micrografía a 500X de la muestra 7



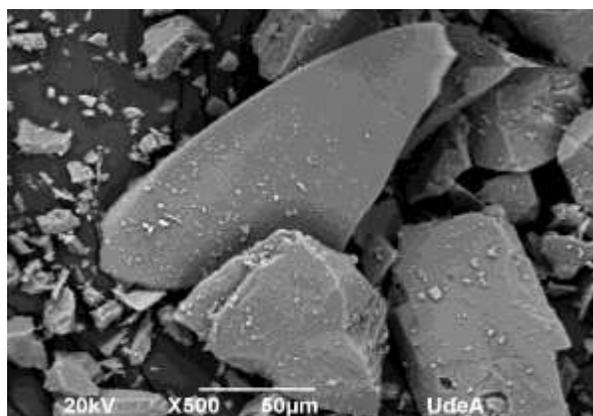
Fuente autor

Figura 34. Micrografía a 500X de la muestra 8



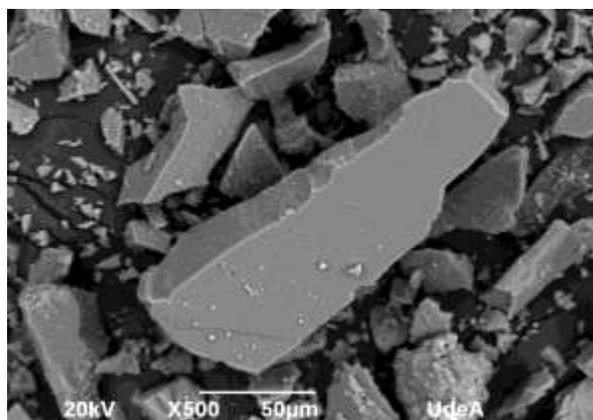
Fuente autor

Figura 35. Micrografía a 500X de la muestra 9



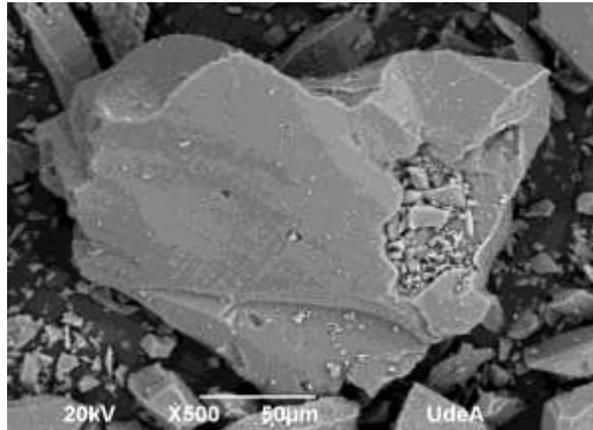
Fuente autor

Figura 36. Micrografía a 500X de la muestra 10



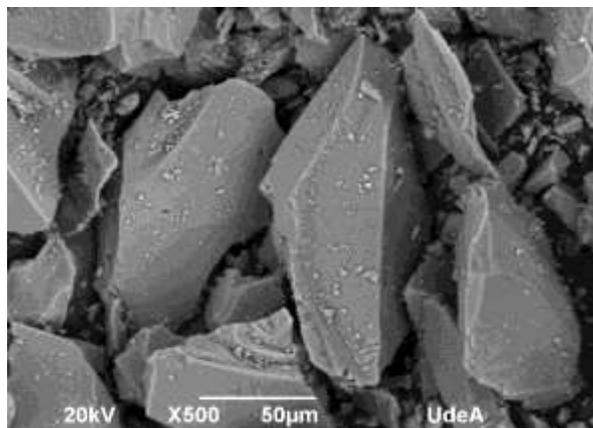
Fuente autor

Figura 37. Micrografía a 500X de la muestra 11



Fuente autor

Figura 38. Micrografía a 500X de la muestra 12



Fuente autor

Con el propósito de evaluar la composición elemental y establecer la presencia o no de elementos no relacionados con lo esperado se utiliza la técnica de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), la cual se complementa con una microsonda de dispersión energética de Rayos X (Espectrómetro de Energías Dispersas (EDS)) de alta precisión para la detección y análisis cuantitativo de elementos principales. Esta técnica permite realizar el análisis composicional y evaluar la presencia de los correspondientes elementos para cada muestra, el resumen de los resultados obtenidos se consigna en la tabla 6.

Tabla 6. Composición química del cuarzo utilizando el Espectrómetro de Energías Dispersas (EDS)

MUESTRA	% EN PESO			% ATÓMICO			% TOTAL
	O	Si	Fe	O	Si	Fe	
M ₁	52.56	46.39	1.05	66.29	33.33	0.38	100
M ₂	54.56	45.95		67.37	32.63		100
M ₃	55.99	44.01		69.07	30.93		100
M ₄	50.87	49.13		64.51	35.49		100
M ₅	52.07	47.93		65.60	34.40		100
M ₆	52.66	47.34		66.13	33.87		100
M ₇	53.88	46.12		67.22	32.78		100
M ₈	55.82	44.18		68.92	31.09		100
M ₉	56.93	43.07		69.88	30.12		100
M ₁₀	56.94	43.06		69.89	30.11		100
M ₁₁	55.19	44.81		68.37	31.63		100
M ₁₂	55.19	44.81		68.37	31.63		100

Fuente autor

6.5 DIFRACCIÓN DE RAYOS X

6.5.1 Descripción de la técnica, Difracción de polvo cristalino. La difracción de polvo es un método de análisis estructural, que permite identificar los minerales por su estructura cristalina, permite indirectamente estimar la composición de la muestra analizada con una buena aproximación del contenido en elementos mayoritarios.

La ley de Bragg establece que los rayos X se reflejan sobre los planos reticulares de los cristales según un ángulo (ángulo θ) que depende del espaciado d_{hkl} Ley de Bragg:

$$\lambda n = 2d_{hkl} \sin \theta \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

λ : es la longitud de onda de los rayos X.

n : es la reflexión de los planos atómicos que pueden ser de primero, segundo o tercer grado ($n=1,2,3,\dots$).

θ : es el resultado de dividir el ángulo 2θ de la mayor intensidad entre 2.

El instrumento para la medida del difractograma es el difractómetro de polvo. Consiste en una fuente productora de rayos X, un portamuestras montado sobre un goniómetro giratorio y un detector. El difractograma es un gráfico que en abscisas indica el ángulo de difracción

y en ordenadas la intensidad correspondiente. Los máximos o picos de intensidad corresponden a reflexiones de Bragg.⁸

6.5.2 Procedimiento. La técnica de difracción de rayos X se emplea a cuatro de las doce muestras analizadas, se selecciona una por estrato, porque el cuarzo es un mineral muy cristalino y los difractogramas obtenidos contienen la información necesaria para generalizar la cristalinidad del mismo. La cantidad de muestra utilizada para el ensayo fue aproximadamente de 700mg.

Para el empleo de la técnica de difracción de rayos x se utiliza un equipo marca Panalytical, cuya referencia es X'pert PRO MPD, el cual se puede ver en la gráfica 26. El tipo de radiación utilizada es radiación de cobre con una longitud de onda característica λ de 1,5406 Angstrong (Å). El barrido se realiza entre 6 y 70 grados, el paso es de 0,013 grados, el tiempo por paso es de 59 segundos. El tubo es polarizado con una potencia de 1,8 kW (40 mAmp, 45kV).

En los resultados que se obtienen se pueden observar la homogeneidad de las muestras de cuarzo en cuanto a su composición, porque las intensidades principales del mineral fueron reflejadas en los mismos valores de los intervalos angulares de la teoría consultada, en los difractogramas comprendidos de las figuras 15 a la 19 se puede notar la composición de las muestras analizadas.

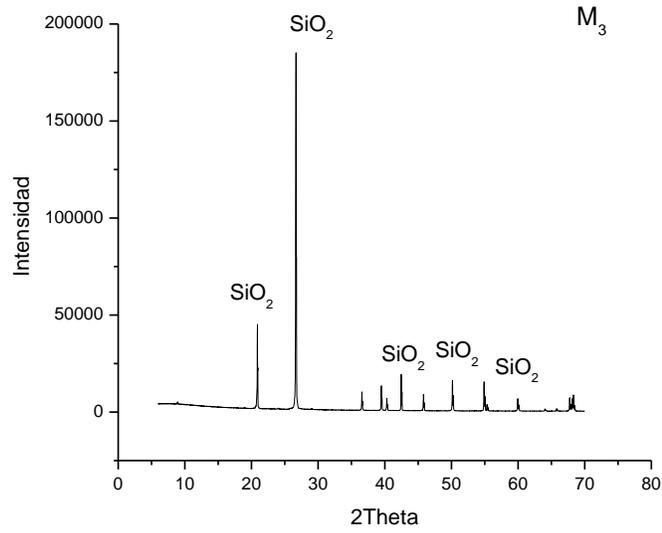
Figura 39. Difractometro de rayos X utilizado para la empleo de la técnica



Fuente autor

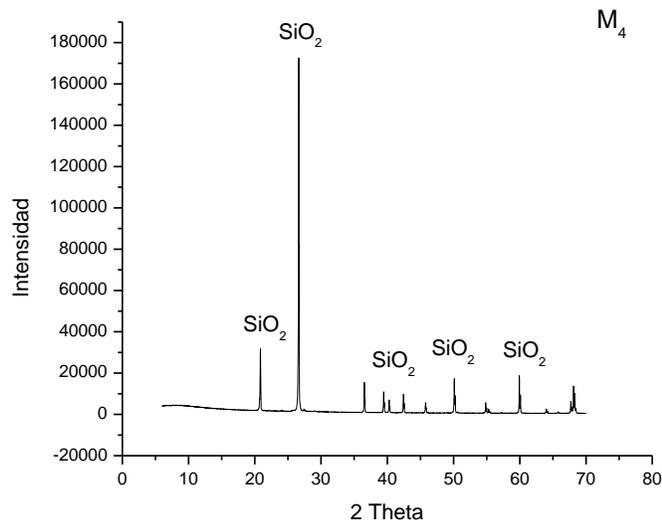
⁸ Joan Carles Melgarejo¹, Joaquín A. Proenza¹, Salvador Galí¹, Xavier Llovet. Técnicas de caracterización mineral y su aplicación y explotación minera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 62, 2010. p. 2

Figura 40. Difractograma correspondiente a la muestra 3.



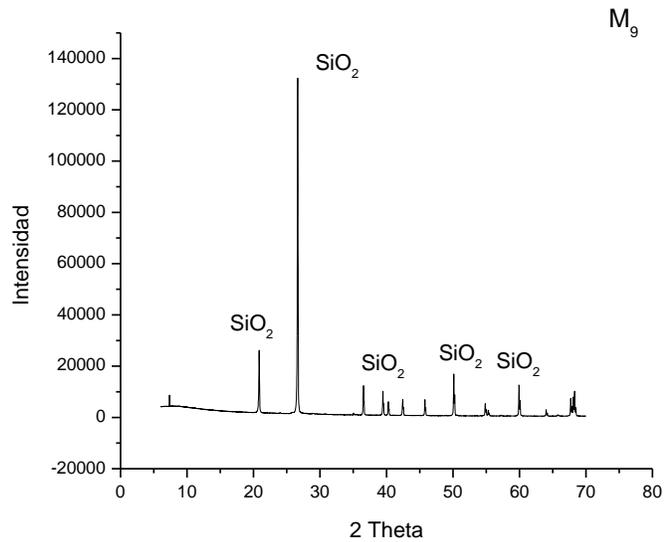
Fuente autor

Figura 41. Difractograma correspondiente a la muestra 4.



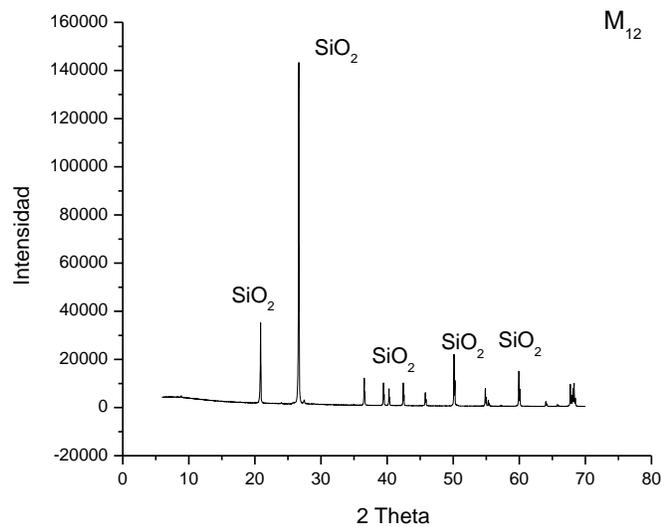
Fuente autor

Figura 42. Difractograma correspondiente a la muestra 9.



Fuente autor

Figura 43. Difractograma correspondiente a la muestra 12.



Fuente autor

Al analizar los resultados obtenidos en los difractogramas se proceden a encontrar los valores de las distancias entre los planos cristalográficos de los cristales de cuarzo por medio de la ecuación de Bragg, ecuación (3), se toma las tres intensidades con mayor pico, se ubica el valor del intervalo angular donde ocurre tal difracción y con las condiciones de

λ : 1,5406 Å, n: 1 (se elige este valor porque es imposible decir el orden de la reflexión), se determina las distancias entre los planos cristalográficos de las muestras.

Despejando d de la ecuación (3), tenemos:

$$d_{hkl} = \frac{\lambda n}{2 \sin \theta} \text{ Ecuación (4)}$$

Al reemplazar los valores de los intervalos angulares que se encuentran en la tabla 6, donde aparecen los mayores picos de intensidad en la ecuación 4 junto con las condiciones de λ y n se encuentran las distancias entre los planos cristalográficos del mineral cuarzo del municipio de la Playa de Belén, que son comparados con los datos de la figura 354 del manual de mineralogía de Dana (figura 31), la cual contiene la ficha ASTM del cuarzo, los resultados se resumen en la tabla 6.

Figura 44. Ficha ASTM del cuarzo

d	3.35	4.26	1.37	4.26	α -SiO ₂	α -SiO ₂				
I/I ₁	100	80	80	80	Silicon dioxide, alpha	α -Quartz				
Rad.	λ 1.5405		Filter	d	d <th>I/I₁</th> <th>hkl</th> <th>d <th>I/I₁</th> <th>hkl</th> </th>	I/I ₁	hkl	d <th>I/I₁</th> <th>hkl</th>	I/I ₁	hkl
Dia.	Cut off		Coll.		4.26	80		1.26	40	
I/I ₁			d, corr. abs.?		3.72B	30		1.23	20	
Ref	B				3.35	100		1.20	40	
	J. Ch. L. Favejee, Z. Krist. 100, 430 (1939)				2.46	60		1.18	50	
					2.28	60		1.15	30	
Sys.	Hex. (Rhomb. Div.)		S.G. D ₆ ⁴ . C ₃ ¹ 2; D ₃ ⁶ . C ₃ ² 2							
a ₀	4.903	b ₀	c ₀ 5.393	A	2.24	30		1.08	40	
α	β	γ	Z 3	C	2.13	50		1.05	30	
Ref	B				1.98	40		1.04	30	
	J. Ch. L. Favejee, Z. Krist. 100, 430 (1939)				1.82	70+		1.02	30	
8 α	n ω β * 1.5448		γ 1.55337	Sign +	1.67	50		0.988	40	
2V	D 2.653 mp		Color Various							
Ref	C.C. 2.654		Colorless in section		1.54	70				
Wn					1.45	20				
No calculations					1.42	10				
Transition to β at 573*					1.37	80				
*Sodium light					1.29	30				

Fuente manual de mineralogía de Dana-Hurlbut página 135

En los difractogramas de la figuras 27 a la 30 se observan diferentes picos de intensidades de rayos X difractados por la muestra de cuarzo, el valor más intenso se toma como 100 además se toman los otros dos picos más intensos y por regla de tres se halla la intensidad relativa (I/I₀) los datos son comparados con la tarjeta 33-116 de la base de datos PDF-2 Power Diffraction File, International Center Diffraction, de la Universidad Nacional de Medellín Antioquia, los resultados se resumen en la tabla 6.

Tabla 7. Distancia entre planos cristalográficos y valores de intensidad relativa de los picos I/I₀ de las muestras de cuarzo

	Angulo 2θ	Distancia d nanómetros (nm)	I/I ₀	Distancia d nanómetros (nm)*	I/I ₀ *
M ₃	26,61°	0,335	100	0,334	100
	20,851°	0,426	24,41	0,424	22
	50,158°	0,182	8,71	0,181	10
M ₄	26,614°	0,335	100	0,334	100
	20,856°	0,426	18,34	0,424	22
	50,119°	0,182	10,01	0,181	10
M ₉	26,618°	0,335	100	0,334	100
	20,856°	0,426	19,79	0,424	22
	50,132°	10,82	12,8	0,181	10
M ₁₂	26,618°	0,335	100	0,334	100
	20,849°	0,426	24,57	0,424	22
	50,132°	0,182	10,27	0,181	10

* PDF-2 Power Diffraction File, International Center Diffraction,
Fuente autor

Para calcular el tamaño de los cristalitas se utiliza la ecuación de Scherrer, este método se trata de extraer la información de tamaño de cristallito. Si la red cristalina está libre de deformación y los cristales predominan de manera general en las muestras entonces se puede estimar el tamaño promedio del cristal empleando la siguiente formula:

$$\beta = \frac{\lambda * k}{FWHM * \cos\theta} \text{ Ecuación (5)}$$

Donde:

β es el tamaño promedio de cristal

K es el factor de forma del cristal y su valor es de 0,89

λ es la Longitud de onda de la radiación utilizada (λ_{Cu}), es de 1,5406

θ es la posición del pico de difracción,

FWHM es el ancho a la altura media del pico de difracción de la muestra

Con la utilización de la ecuación (5) y utilizando el programa Excel para tabular los datos y encontrar los valores medios del ancho de los picos de difracción se procedió a calcular el tamaño de los cristales, cuyos resultados se resumen en la tabla 7.

Tabla 8. Tamaño de los cristalitas de cuarzo

	Angulo 2θ	Tamaño del cristal nanómetros (nm)
M ₃	26,61°	29,5630
M ₄	26,614°	28,2162
M ₉	26,618°	28,2169
M ₁₂	26,618°	28,2169

Fuente autor

Los cristales de los minerales se identifican por nombre de acuerdo al sistema y clase cristalina para esto se deben conocer aspectos como los siguientes

Eje de simetría o eje de rotación. Es una línea imaginaria a través del cristal, alrededor del cual puede hacerse girar el cristal y repetir su aspecto en dos o más veces durante una revolución completa.

Notación de la simetría. Para describir la simetría de un cristal es conveniente emplear una notación taquigráfica de los elementos de simetría. El eje de rotación viene dado por A_n , el eje de inversión giratoria por P y el centro por c.

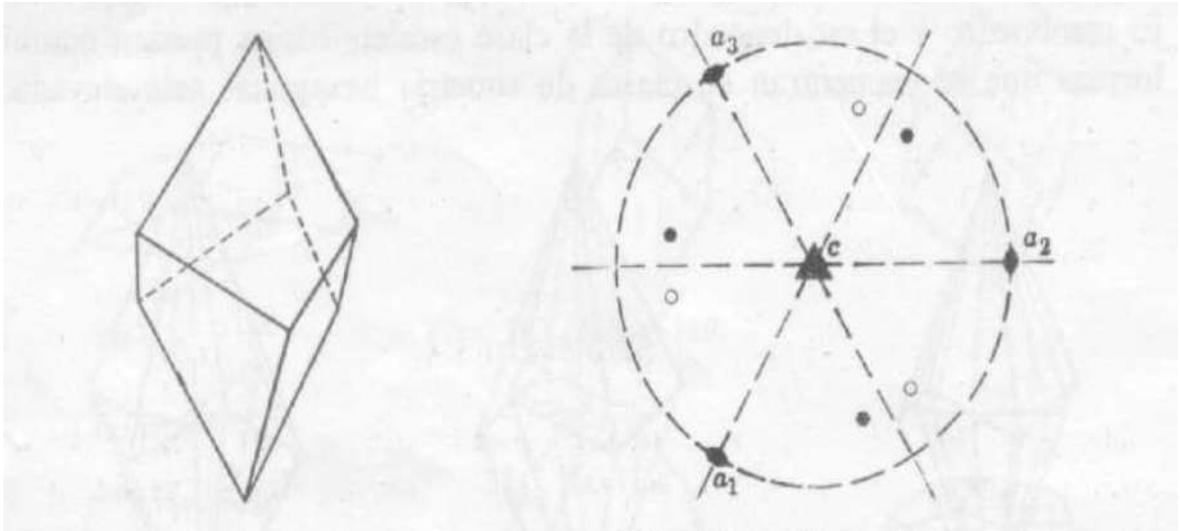
Sistemas cristalinos son grandes grupos en donde los cristales se dividen de acuerdo a características simétricas comunes en 32 clases cristalinas.

Sistema hexagonal. Es un sistema de las 32 clases cristalinas comunes, todos los cristales del sistema hexagonal tienen un eje de simetría ternario (3) o senario (6). Se toman cuatro ejes cristalográficos; tres ejes horizontales, iguales entre sí, que se cortan en ángulos de 120°, siendo el cuarto de longitud diferente a aquéllos y perpendicular al plano de los otros tres. El sistema hexagonal se divide en dos grupos la división hexagonal y la división romboédrica. Las clases cristalinas de división hexagonal tienen un eje de simetría senaria ordinaria o de inversión, mientras que las de división romboédrica lo tienen ternario.

División romboédrica. Los cristales presentan una simetría más baja que los de división hexagonal, la cual se reconoce normalmente por la presencia de un eje ternario en vez de uno senario. En la mineralogía descriptiva, el sistema cristalino de los minerales que cristalizan en la división romboédrica, se designa con el nombre HEXAGONAL-R.

Clase trapezoédrica trigonal. Simetría $1A_3, 3A_2$, el eje cristalográfico vertical es un eje de simetría ternaria (eje c) y que es perpendicular a los ejes cristalográficos horizontales son ejes de simetría binaria, que están separados 120° en el mismo plano.

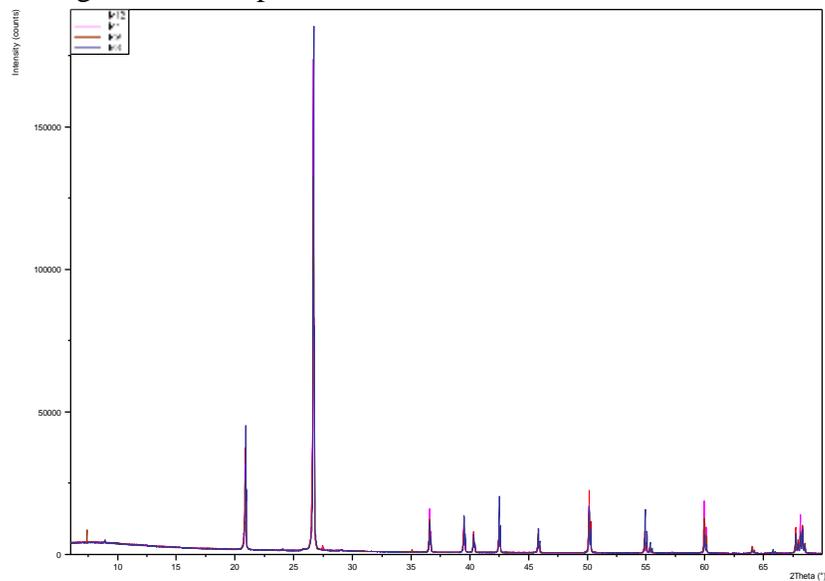
Figura 45. En la parte izquierda trapezoedro trigonal y en la derecha el estereograma del trapezoedro trigonal.



Fuente manual de mineralogía de Dana

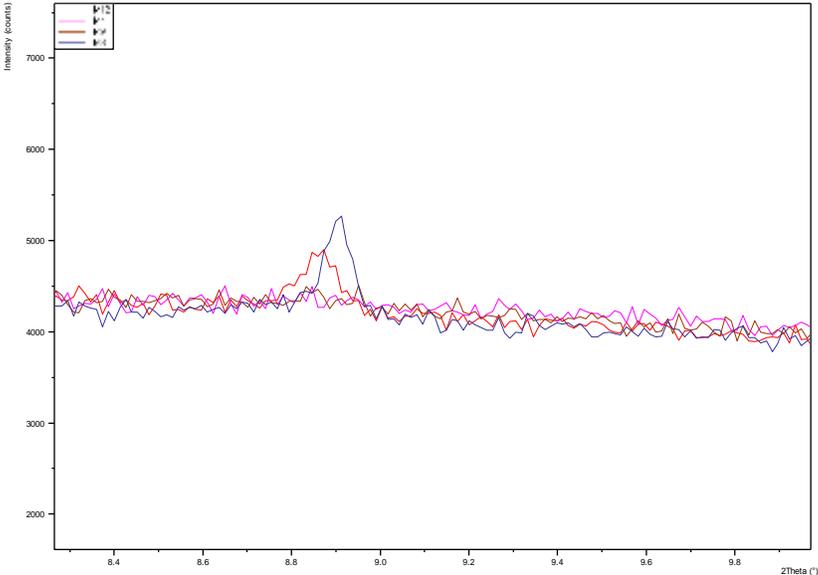
Cristalografía. Cuarzo α hexagonal-R; trapezoédrico-trigonal. Donde la longitud de los tres ejes binarios es $a_1 = a_2 = a_3 = 4,903 \text{ \AA}$ y la longitud del eje cristalográfico vertical $c_0 = 5,393 \text{ \AA}$.

Figura 46. Difractograma de comparación de las muestras estudiadas



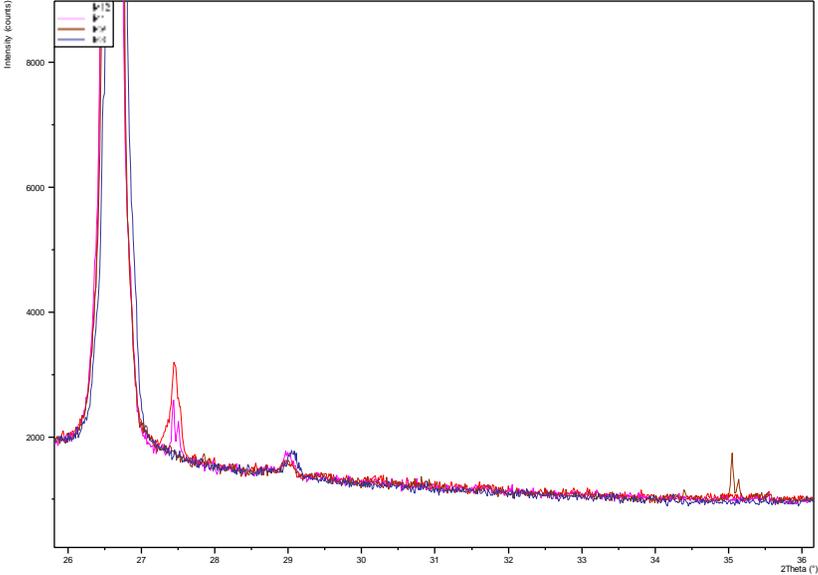
Fuente autor

Figura 47. Difractograma de las muestras 3 y 12 donde se muestra posible contaminación



Fuente autor

Figura 48. Difractograma de las muestras 4 y 12 donde se muestra posible contaminación



Fuente autor

7. CONCLUSIONES

La zona de estudio se dividió en cuatro estratos y por cada estrato se tomaron tres muestras de tres kilogramos, lo que permitió obtener muestras representativas que generalizan las propiedades del cuarzo del municipio de la Playa de Belén.

Con las tres técnicas elementales se determinó el tamaño del cristal, la distancia entre los planos cristalográficos, las fases cristalinas, la morfología de las partículas, la composición química, las transiciones de fase cristalina y la deshidratación de las muestras.

El porcentaje de humedad de las muestras es bajo, menor que 0,1%, esto se debe a que los enlaces que unen el mineral son considerados de tipo iónico en el 50% y covalente en el otro 50%, lo que hace del cuarzo un mineral con enlaces químicos fuertes y por esta característica no lo afecta la humedad.

La densidad de las muestras de cuarzo encontrada fue de $2,65 \text{ g/cm}^3$ con $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, que es igual al valor teórico estandarizado para el material de 2.65 g/cm^3 , lo que evidencia la pureza encontrada en la composición química y la calidad del mineral.

La relación entre la densidad y la composición química de cada una de las muestras corresponde a la teoría, dado que cuanto mayor es el porcentaje de silicio mayor es la densidad y viceversa cuanto menor es el porcentaje de silicio menor es la densidad.

Los termogramas permiten observar que alrededor de los 573°C , se presenta altas variaciones en las curvas pertenecientes a la derivada de la pérdida de masa (DTG), esto se debe al cambio de fase cristalina de cuarzo- α a cuarzo- β , transición de tipo desplazativo que indica que el volumen de la muestra aumenta debido al cambio en las dimensiones de la red cristalina sin que se presente ruptura de los enlaces.

Todos los termogramas presentan variación en la pérdida de masa y su derivada en el rango de temperatura de comprendido entre 60°C y 260°C debido a la deshidratación de los silicatos.

El cambio de fase de cristalización de cuarzo- α a cuarzo- β en algunas muestras está por debajo de la temperatura de 500°C , esta diferencia en el comportamiento de las muestras de cuarzo se debe a la composición y las variaciones estructurales y se justifica porque estas muestras tienen menor cantidad de silicio tanto en el porcentaje en peso como el porcentaje atómico.

En las micrografías se evalúa las características morfológicas para cada una de las muestras observadas a 500X, las imágenes permiten comprobar el tipo de fractura concoidal o en capas característica del cuarzo.

El espectrómetro de energía dispersas permitió determinar la composición química del cuarzo, todas las muestras son puras, excepto en la primera que aparece una pequeña inclusión de hierro de 1,05% del peso total de la muestra, debido a la contaminación durante la trituration.

En los diagramas de composición química se observan dos grandes picos pertenecientes al oxígeno y al silicio, que son los dos componentes principales del cuarzo, los otros dos pequeños picos hacen referencia al oro que fue utilizado para el recubrimiento de la muestra de estudio para hacerla conductora y el otro pico es de carbono perteneciente a la cinta de grafito utilizado para adherir el mineral al soporte.

Los picos del silicio en los diagramas de composición química, se notan más altos que los de oxígeno, porque el silicio se detecta con un número mayor de cuencas, es decir su peso atómico es más alto que el del oxígeno.

En las micrografías a 100X se observa que las partículas son homogéneas en su forma y distribución de grano, se aprecia algunas partículas de tamaño mayor de $75\mu\text{m}$ debido a salpicaduras en el tamizado.

Las intensidades encontradas en la Difracción de Rayos X se compararon con las descritas en el Manual de Mineralogía de Danna, y se comprobó que las intensidades corresponden al mismo valor del intervalo angular 2θ .

Las muestras de cuarzo coinciden tanto en intensidad de los picos relativos (I/I_0), como en distancias interplanares d (nm) con el cuarzo de la tarjeta 33-116 de la Base de Datos del Centro Internacional de Difracción.

En los difractogramas la única fase cristalina presente es el cuarzo y complementa los resultados obtenidos de composición química mediante la técnica del espectrómetro de energías dispersas donde se determinó la pureza de las muestras de cuarzo.

Las pequeñas intensidades encontradas en los difractogramas se debe a posible contaminación de las muestras y son irrelevantes al tener en cuenta que la intensidad reflejada no supera los 1000\AA , mientras que las intensidades reflejadas por el cuarzo están alrededor de los 180000\AA .

8. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio de tipo geológico para cuantificar el volumen de cuarzo en el municipio de la Playa de Belén.

Utilizar el cuarzo del municipio de la Playa de Belén en procesos de producción de vidrio, en aparatos ópticos y científicos, como material abrasivo, en la industria cerámica, esmaltes y en estudios de preparación de nuevos materiales como resinas compuestas por que es un mineral 100% puro.

BIBLIOGRAFÍA

BARAJAS RUIZ, Olga Lucila; BAYONA TARAZONA, Elibardo; SUAREZ FONSECA, Libardo; VARGAS ACEVEDO Joselito. Plan de manejo área natural única los estoraques. Colombia, 2004. 239p.

Daniel S. Behar Rivero. Metodología de la investigación. 2008 p21.

Municipio de la Playa de Belén. Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Dimensión ambiental. 2000. 88p.

Municipio de la Playa de Belén. Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Dimensión económica. 2000. 28p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Documentación. Presentación de trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C.:INCONTEC, 2008. 36p. NTC1486.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Práctica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C.:INCONTEC, 2008. 36p. NTC 3674.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Método para determinar la densidad del cemento hidráulico. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C. INCONTEC, 2008. 36p. NTC 221.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates, ASTM C 294

KLOCKMANN, F; RAMDOHR, P. Tratado de la mineralogía. Segunda edición. Barcelona. Editorial Gustavo Gili S.A. 1955. 736p.

K. Cornelius, K; Cornellis, S y G. Hurbult. “Manual de Mineralogía,” ., basado en la obra de J D Dana. Ed. Reverte, S.A. 653p.

M A Alfaro Siranvalle. Introducción al Muestreo Minero. Santiago de Chile. 2002. 82p.

F.G.H. Blyth, M. H. de Freitas. Geología para ingenieros. México: Sexta reimpresión. Compañía editorial continental S.A.1999. 440p.

Dana-Hurlbut. Manual de mineralogía. Segunda edición. Barcelona, Buenos Aires, México: Editorial REVERTÉ, S.A., 1960. 578p.

Danielle s. Klimesh; A. Ray. The use of DTA/TGA to study the effects of ground quartz with different surface areas in autoclaved cement: quartz pastes. Part 1: A method for evaluating DTA/TGA results. *Thermochimica Acta* 289. Australia. 1996. p41-54

Danielle s. Klimesh; A. Ray. DTA-TGA of unstirred autoclaved metakaolin-lime-quartz slurries. The formation of hydrogarnet. *Thermochimica Acta* 306. Australia. 1997. p149-154

Danielle s. Klimesh; A. Ray. The use of DTA/TGA to study the effects of ground quartz with different surface areas in autoclaved cement: quartz pastes. Use of the semi-isothermal thermogravimetric technique. *Thermochimica Acta* 306. Australia. 1997. p159-165

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Investigación descriptiva. [On line] [Citado el 27 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://manuelgalan.blogspot.com/2012_08_26_archive.html

Cuarzo. [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.pdvsa.com/lexico/museo/minerales/cuarzo.htm>

Plan de manejo del área natural única los estoraques, documento ejecutivo. [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/EjecutivoEstoraques.pdf>

Estudio sobre los impactos socio económico del sector minero en Colombia, informe la minería en Colombia. [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Estudio-sobre-los-impactos-socio-econ%C3%B3micos-del-sector-minero-en-Colombia-Informe-La-miner%C3%ADa-en-Colombia-180513.pdf>

Normatividad muestreo. [On line] [Citado el 18 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/?_file=/geo/contenidos/reclnat/geologia/doc/normpetr.pdf

Apunte metamórfica. [On line] [Citado el 19 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://www.cec.uchile.cl/~fegallar/apunte_metamorfica.rar.

Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso del sector la sierra, Sogamoso, Boyacá, Colombia. [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/caracterizacion-geomecanica-macizo-rocoso-sierra/caracterizacion-geomecanica-macizo-rocoso-sierra.pdf>

Características de cuarzos. [On line] [Citado el 7 de marzo de 2014] disponible en internet en: [http://www.sibiup.up.ac.pa/otros-enlaces/tecnociencias/Vol.%205\(1\)/Tecnociencia%20Articulo%2010%205\(1\)%2003.pdf](http://www.sibiup.up.ac.pa/otros-enlaces/tecnociencias/Vol.%205(1)/Tecnociencia%20Articulo%2010%205(1)%2003.pdf)

Vetas de cuarzo al sur de Santiago del Estero. [On line] [Citado el 5 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1666-94792012000200006&script=sci_arttext

Caracterización del cuarzo del yacimiento “El Cacahual” para la preparación de resinas compuestas. [On line] [Citado el 7 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://boletines.secv.es/upload/199433033.pdf>

Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi costa pacífica Cauca (Colombia). [On line] [Citado el 17 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4183/1/1947002011-I.pdf>

Cuarzo SiO₂. [On line] [Citado el 4 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.uantof.cl/salares/Fichas/Cuarzo.pdf>

Geología y Morfología del Terreno. [On line] [Citado el 7 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/obras_publicas/106/pdfs/GMT%2008%20Notas%20III.pdf

Minerales industriales: su importancia económica. [On line] [Citado el 7 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/3/Minerales%20Industriales%20su%20Importancia%20Economica.pdf>

Diseños de muestreo (II). [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://www.nureinvestigacion.es/FICHEROS_ADMINISTRADOR/F_METODOLOGICA/FMetod_12.pdf

Métodos de difracción de rayos x. [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://www.rpsqualitas.es/documentacion/downloads/instrumental/tecnicas_de_difraccion_d

Técnicas de Caracterización. Conceptos Generales. [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2681/IV_-_T%C3%A9nicas_de_caracterizaci%C3%B3n._Conceptos_generales.pdf?sequence=8

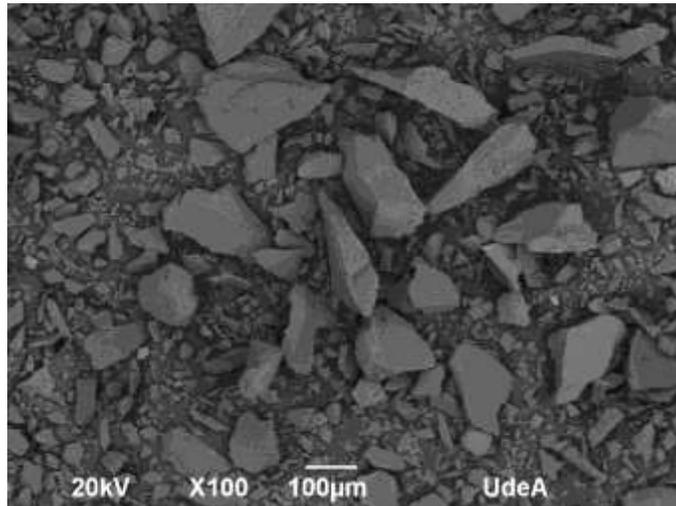
Apuntes de Microscopía Electrónica. [On line] [Citado el 13 de marzo de 2014] disponible en internet en: <http://www.icmm.csic.es/divulgacion/posters/TEC-Microscopia%20Electronica%20de%20Barrido.pdf>

Termogravimetría. [On line] [Citado el 15 de julio de 2014] disponible en internet en: http://www.upct.es/~minaees/analisis_termogravimetrico.pdf

ANEXOS

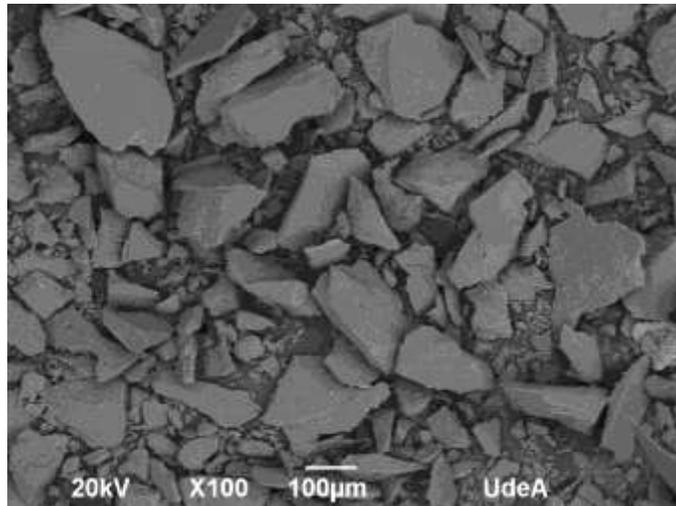
ANEXO A. Micrografía obtenidas por el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) a 100X.

Figura 1. Micrografía de la muestra 1 de cuarzo.



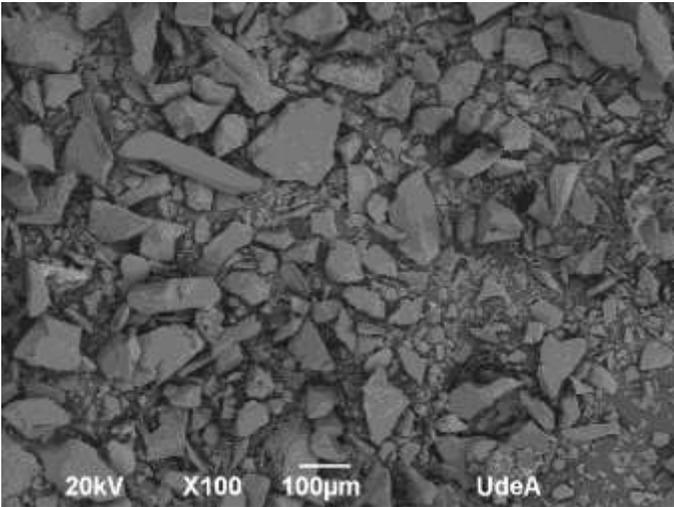
Fuente autor

Figura 3. Micrografía de la muestra 2 de cuarzo.



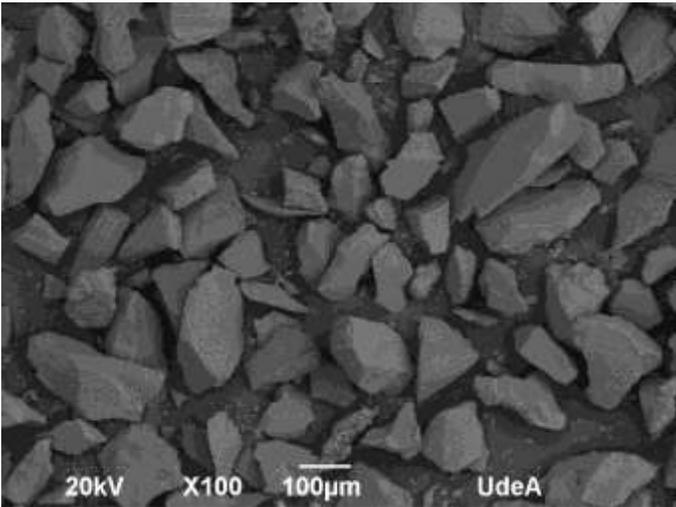
Fuente autor

Figura 3. Micrografía de la muestra 3 de cuarzo



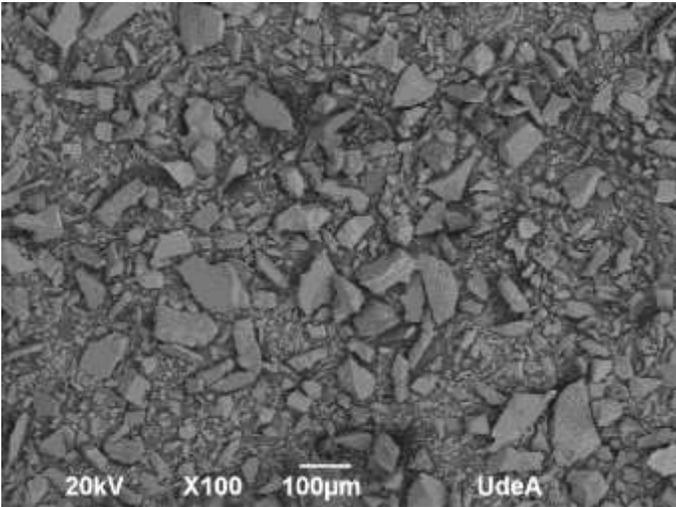
Fuente autor

Figura 4. Micrografía de la muestra 4 de cuarzo



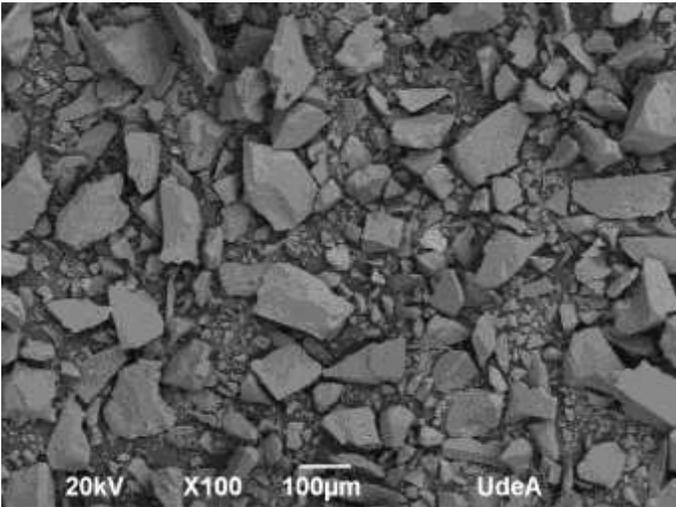
Fuente autor

Figura 5. Micrografía de la muestra 5 de cuarzo



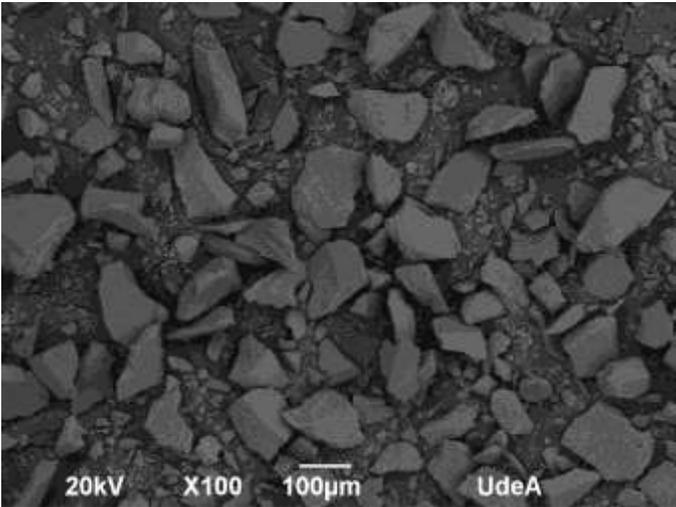
Fuente autor

Figura 6. Micrografía de la muestra 6 de cuarzo



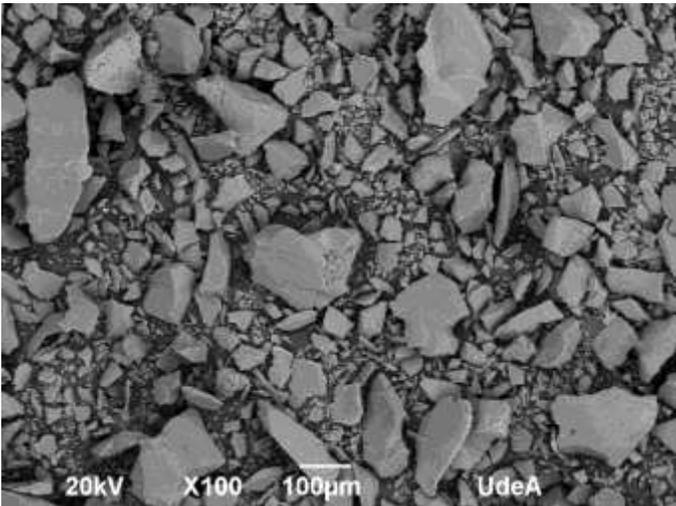
Fuente autor

Figura 7. Micrografía de la muestra 7 de cuarzo



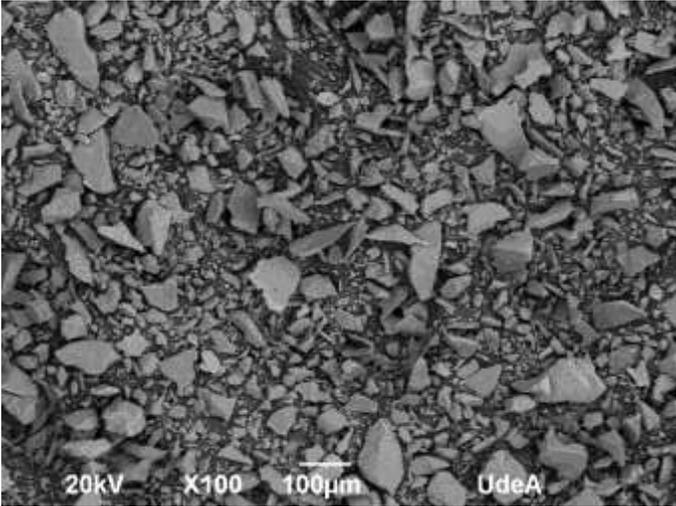
Fuente autor

Figura 8. Micrografía de la muestra 8 de cuarzo



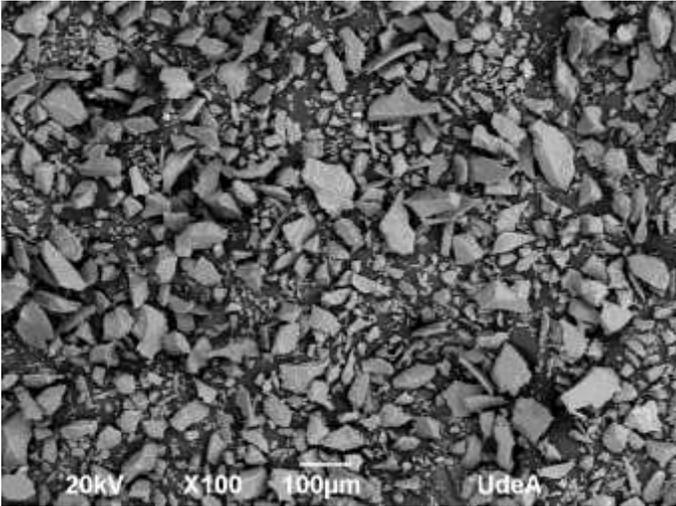
Fuente autor

Figura 9. Micrografía de la muestra 9 de cuarzo



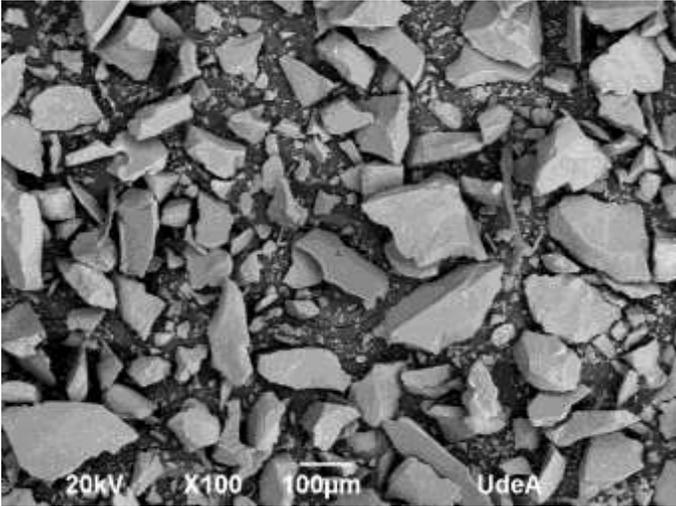
Fuente autor

Figura 10. Micrografía de la muestra 10 de cuarzo



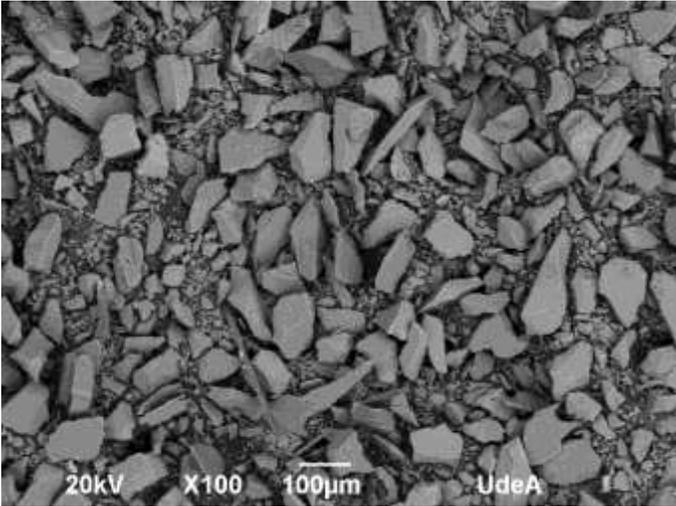
Fuente autor

Figura 11. Micrografía de la muestra 11 de cuarzo



Fuente autor

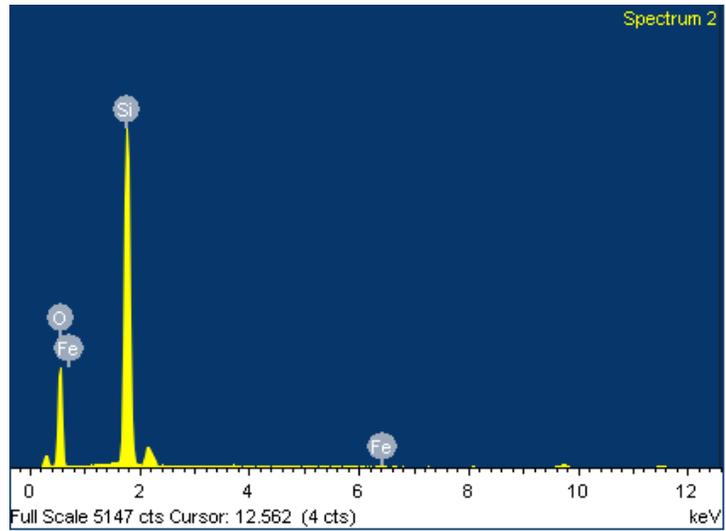
Figura 12. Micrografía de la muestra 12 de cuarzo



Fuente autor

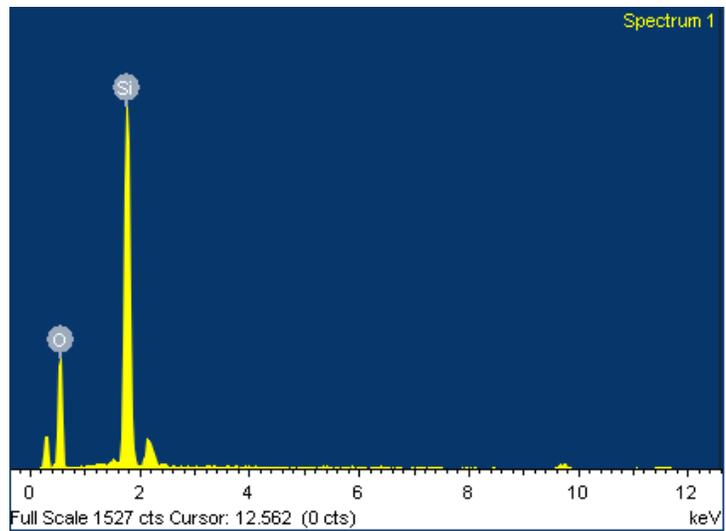
ANEXO B. Diagrama de la composición química de las muestras obtenido por medio del análisis del Difractometro de Energías Dispersas (EDS).

Figura 1. Diagrama de la muestra 1



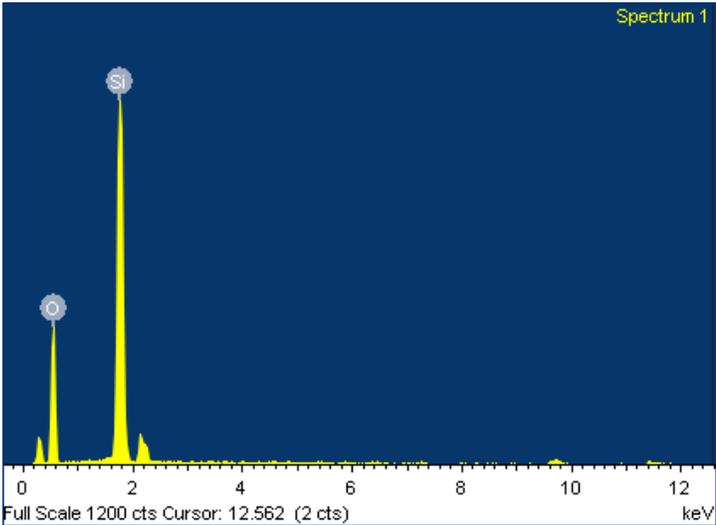
Fuente autor

Figura 3. Diagrama de la muestra 2



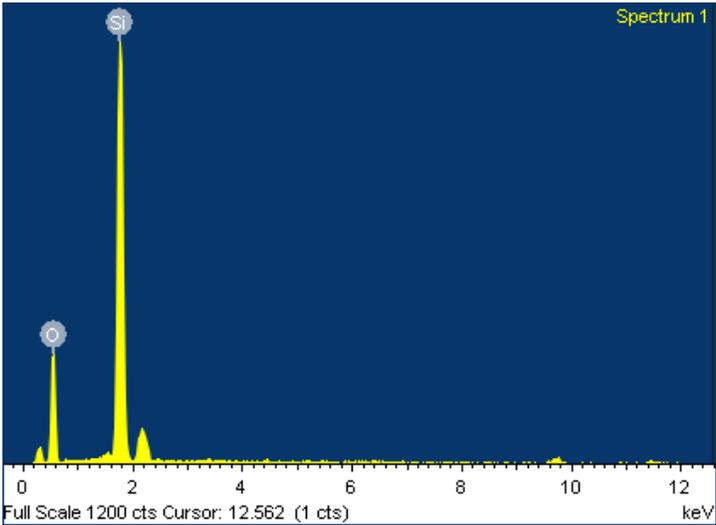
Fuente autor

Figura 3. Diagrama de la muestra 3



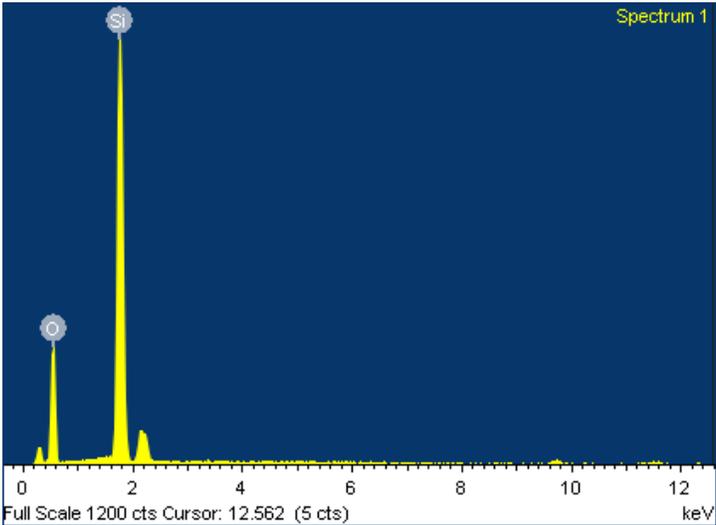
Fuente autor

Figura 4. Diagrama de la muestra 4



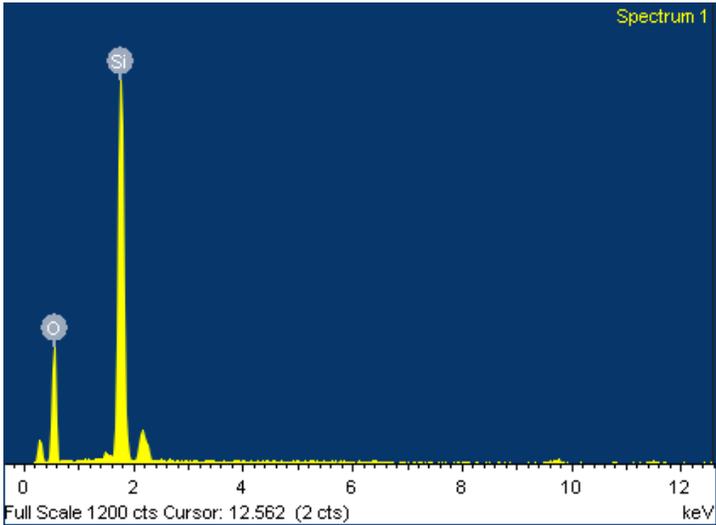
Fuente autor

Figura 5. Diagrama de la muestra 5



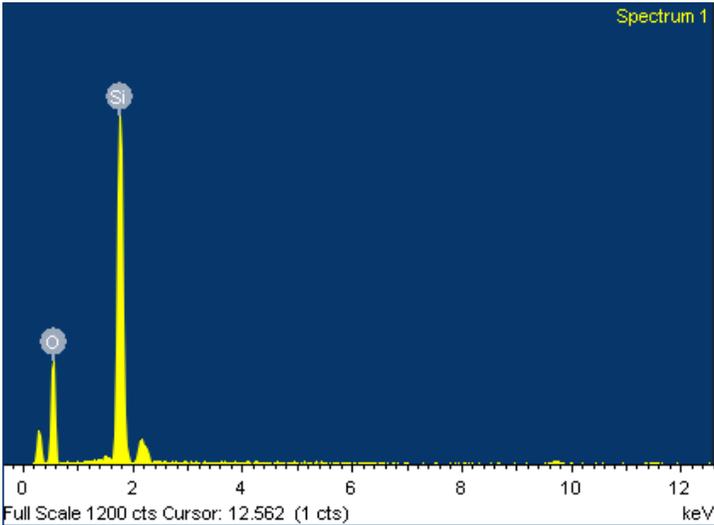
Fuente autor

Figura 6. Diagrama de la muestra 6



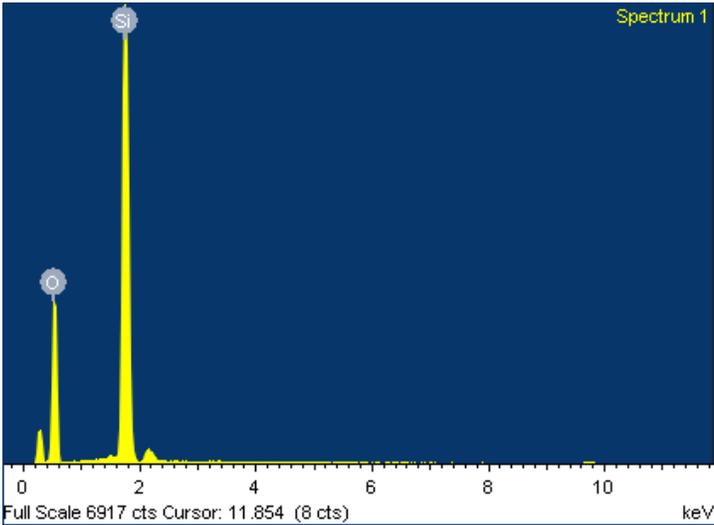
Fuente autor

Figura 7. Diagrama de la muestra 7



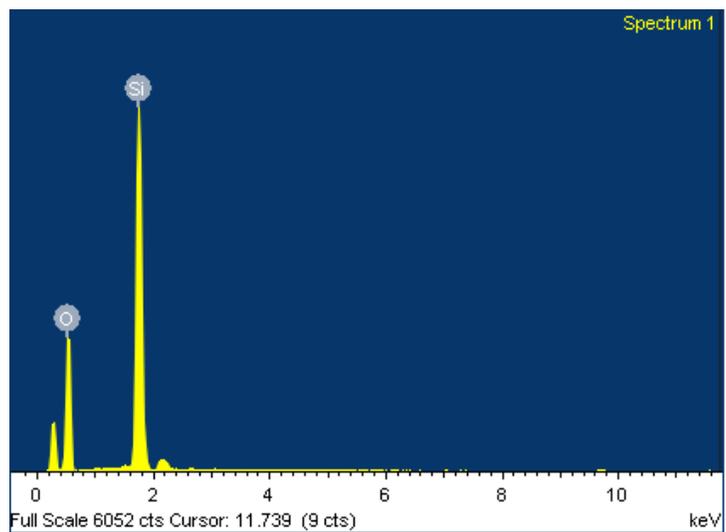
Fuente autor

Figura 8. Diagrama de la muestra 8



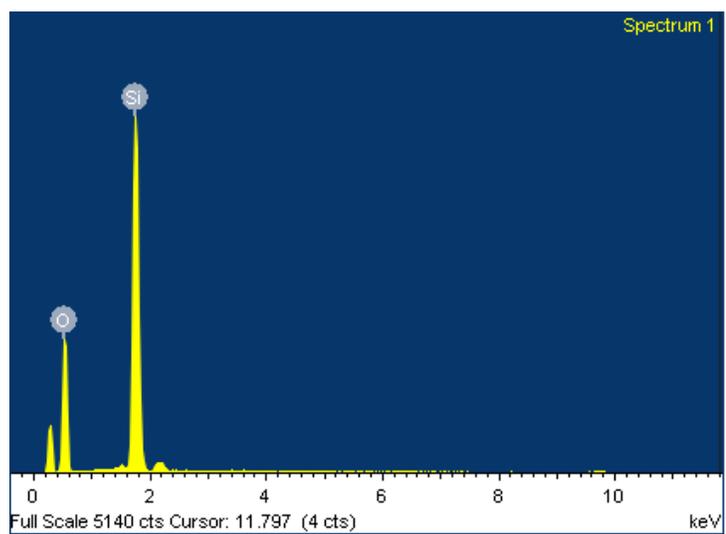
Fuente autor

Figura 9. Diagrama de la muestra 9



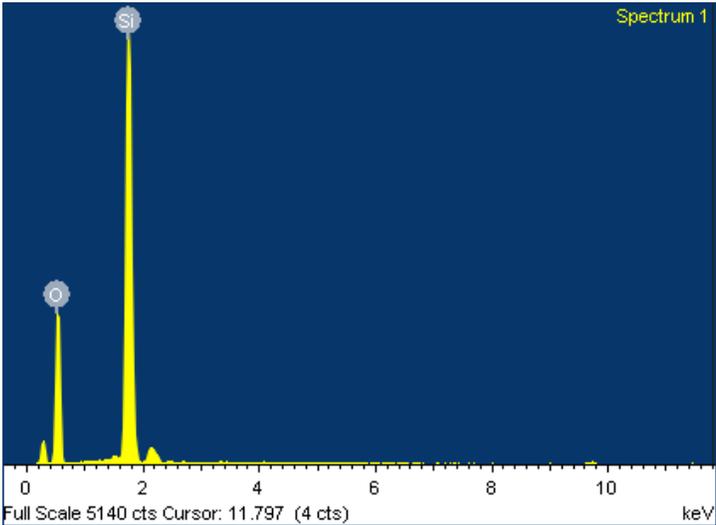
Fuente autor

Figura 10. Diagrama de la muestra 10



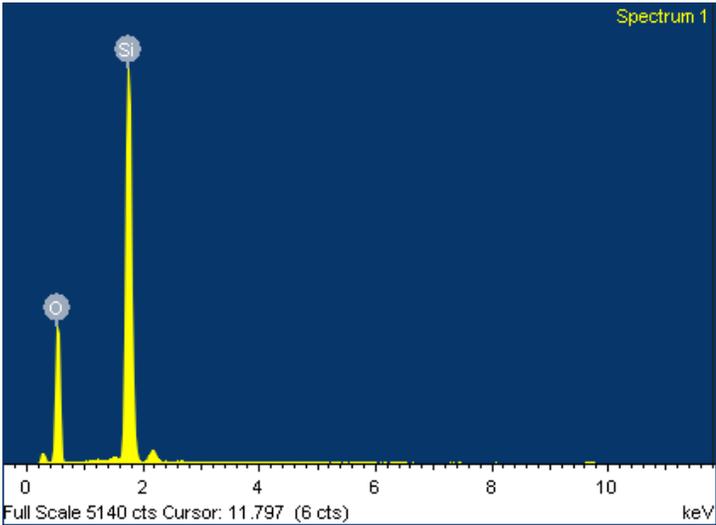
Fuente autor

Figura 11. Diagrama de la muestra 11



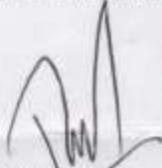
Fuente autor

Figura 12. Diagrama de la muestra 12

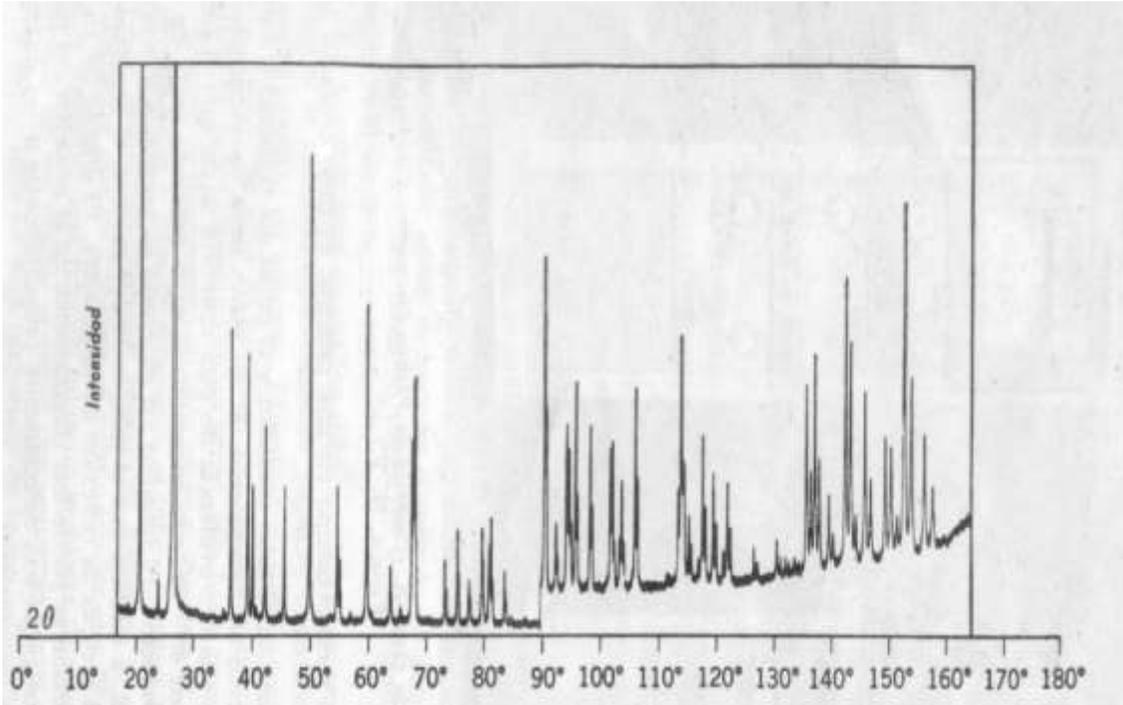


Fuente autor

Anexo C. Licencia Ambiental CORPONOR

	República de Colombia Sistema Nacional Ambiental SINA Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental																		
CORPONOR																			
6000.05																			
Ocaña,																			
Señor: YEIXON QUINTERO MARTINEZ Alumno UFPSO Carrera de Ingeniería Mecánica Celular 3178912141 Ocaña, Norte de Santander																			
		<table border="1"><tr><td></td><td>Radicado</td><td>528</td></tr><tr><td>CORPONOR</td><td>Territorial:</td><td>600</td></tr><tr><td>Fecha</td><td>15/04/2014</td><td>Hora 09:53:17</td></tr><tr><td>Serie</td><td>05</td><td>Vig Serie: 2003</td></tr><tr><td>Anexos</td><td>0</td><td>Oficios 1 Hoj: 1</td></tr></table>		Radicado	528	CORPONOR	Territorial:	600	Fecha	15/04/2014	Hora 09:53:17	Serie	05	Vig Serie: 2003	Anexos	0	Oficios 1 Hoj: 1		
	Radicado	528																	
CORPONOR	Territorial:	600																	
Fecha	15/04/2014	Hora 09:53:17																	
Serie	05	Vig Serie: 2003																	
Anexos	0	Oficios 1 Hoj: 1																	
Asunto: Respuesta a Solicitud.																			
Cordial saludo:																			
En atención a su oficio de fecha 09 de Abril de 2014, con radicado 560, me permito informarle que para esta Dirección Territorial es satisfactorio, colaborar en asuntos relacionados con la Universidad en temas a académicos de Investigación en Tesis de grado.																			
Así mismo esperamos que su visita al cerro los cristales haya sido satisfactorio de acuerdo al objeto trazado y a la coordinación realizada con el funcionario JUAN CARLOS RODRIGUEZ OSORIO funcionario de esta Corporación.																			
Atentamente,																			
RAFAEL DAVID REYES ALVAREZ Director Territorial 6000.05.560 de 09.04.2014																			
Revisó: Rafael David Reyes Álvarez – Director Territorial Elaboró: Juan Carlos Rodríguez Osorio – Profesional Universitario																			
<i>Unidos por el Agua y la Conservación</i>																			
Calle 13 Av. El Bosque 3E-27B PBX 5828484 FAX 5716219 A.A.3041 E-Mail: corponor@corponor.gov.co - Cúcuta - Norte de Santander - Colombia																			

Anexo D. Imagen del registro de un difractómetro correspondiente al cuarzo tomado de la página 138 del manual de mineralogía de Dana



Fuente manual de mineralogía de Dana