



Caracterización Mineralógica y Tecnológica de Muestras de Arcillas Pertencientes a la Provincia de Santa Elena – Ecuador

Juan Ricardo Allauca Romero⁽¹⁾, Cecilia Alexandra Paredes Verduga⁽²⁾

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción⁽¹⁾⁽²⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral⁽¹⁾⁽²⁾

Campus Gustavo Galindo km 30 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador⁽¹⁾⁽²⁾

rallauca@espol.edu.ec⁽¹⁾, cparedes@espol.edu.ec⁽²⁾

Resumen

A través del presente trabajo se definen los beneficios y aplicaciones que podemos obtener utilizando como materia prima la arcilla la cual está constituida por minerales en forma de granos. Puede ser un material muy moldeable al ser combinado con agua, por eso se le puede dar forma y luego, se endurece al secar o al ser sometida al calor. Por esas propiedades, la arcilla es ampliamente utilizada para realizar objetos cerámicos y ha tenido su considerable introducción en los nanomateriales. Se utilizaron 14 muestras de distintas zonas de la Península de Santa Elena. El objetivo principal fue determinar a qué tipo de arcilla pertenecen dichas muestras utilizando técnicas de caracterización como Difracción de Rayos X, Análisis de Tamaño de Partícula, Análisis Térmico Gravimétrico, Calorimetría Diferencial de Barrido, Espectroscopía de Infrarrojo y Microscopía Electrónica de Barrido.

Palabras Claves: *Aplicaciones, Arcilla, Nanomateriales, Técnicas de Caracterización.*

Abstract

Through this paper we define the benefits and applications that can be obtained using the clay as raw material which is made up of minerals in the form of grains. It can be a very malleable material when combined with water, so you can shape and then hardens when dry or when subjected to heat. For these properties, the clay is widely used to make ceramic objects and has had considerable input on nanomaterials. We used 14 samples from different areas of the Peninsula of Santa Elena. The main objective was to determine what type of clay are the samples using characterization techniques such as X-ray Diffraction, Particle Size Analysis, Thermal Gravimetric Analysis, Differential Scanning Calorimetry, Infrared Spectroscopy and Scanning Electron Microscopy and Scanning Electron Microscopy.

Key Words: *Applications, Clay, Nanomaterials, Characterization Techniques.*

1. Introducción

1.1. ¿Porqué Utilizar las Arcillas de la Península de Santa Elena?

La Península de Santa Elena tiene varias localidades donde pueden encontrarse fuentes de arcilla. Explotar sus beneficios mediante un estudio de caracterización para definir sus aplicaciones y como consecuencia obtener un incremento en el nivel económico de la PSE, es una de las razones principales del por qué utilizar estas arcillas. En la actualidad, las arcillas comerciales que son utilizadas como materia prima industrial tienen protagonismo entre los recursos minerales más importantes.

Un 90% de la producción de las arcillas industriales se dedica a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Solo un 10% se dedica a otras industrias como la fabricación del papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos, farmacéuticos, agricultura, entre otros.

La clase de arcilla utilizada para materiales de construcción es denominada como **arcillas cerámicas**, las cuales están conformadas por dos o más minerales de arcilla, en su mayoría illita y esméctica. La clase de arcillas industriales son denominadas **arcillas especiales**, las que están constituidas por un solo tipo de mineral de arcilla, a pesar de ser menos importantes en volumen, ocupan más del 70% del valor de las arcillas comerciales las cuales tienen mucha acogida en el comercio internacional. Las arcillas especiales se pueden dividir en caolines y arcillas caoliníferas, bentonitas, sepiolita y paligorskita.

Los caolines son arcillas compuestas principalmente de minerales del grupo del caolín, es necesaria una cierta preparación antes de ser utilizadas. El caolín se lo usa para cerámica blanca y recibe la denominación de China Clay.

La bentonita es una roca compuesta por minerales del grupo de las esmécticas y tiene criterios de clasificación muy rigurosos, basados en el comportamiento y propiedades físico-químicas. La clasificación industrial está enfocada a los tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento de agua: bentonitas sódicas (altamente hinchables), bentonitas cálcicas (poco hinchables), bentonitas intermedias (moderadamente hinchables).

Las sepiolitas y paligorskitas son arcillas con un contenido en dichos minerales superior al 50%. Su particular estructura les confiere una gran cantidad de propiedades, entre las que se puede resaltar que son excelentes para formar suspensiones, por lo que son poderosos decolorantes y absorbentes. También tienen

propiedades reológicas para formar geles y suspensiones estables de alta viscosidad a bajas concentraciones de sólido.

1.2. Localización de las Fuentes de Arcilla

La provincia de Santa Elena (PSE), localizada al suroeste del Ecuador, constituye un foco investigativo gracias a la potencial existencia de materias primas para la industria de la construcción. La PSE se encuentra a 170 Km. de Guayaquil, cuya principal vía de acceso es la carretera Guayaquil-Salinas. El acceso a los depósitos donde se recolectaron las muestras fue mediante carreteras secundarias no asfaltadas. La obtención de las muestras tuvieron lugar en cuencas de sedimentación, aprovechando afloramientos, cortes de taludes, pozos de agua y lechos de ríos presentes en áreas que corresponden a Ancón, Chanduy, Zapotal, San Vicente, Olmedo, Sucre, Villingota y Río Patiño.

A continuación se presenta la tabla de muestras con sus respectivas coordenadas y etiquetas de codificación.

N	E	ETIQUETA	ÁREA
9745448	515747	B1	ANCON
9728731	547056	B2	CHANDUY
9744013	545992	B3	ZAPOTAL
9738497	539857	B4	SAN RAFAEL
9744946	534159	B5	N. CHANDUY
9746504	532543	B6	N. CHANDUY
9752453	525178	B7	SAN VICENTE
9758586	526423	B8	SAN VICENTE
9736654	562952	X1	OLMEDO
9736604	562963	X2	OLMEDO
9735978	561029	X3	SUCRE
9739874	554189	X4	VILLINGOTA
9737888	558487	Y1	OLMEDO
9738047	558169	Y2	RIO PATIÑO

Figura 1. Coordenadas y Codificación de las muestras de la PSE

2. Materiales y Metodología

La metodología seguida para este trabajo estuvo constituida de dos etapas: el trabajo de campo y el trabajo de laboratorio; este último se lo llevo a cabo en el CIDNA, LEMAT y Laboratorio de Análisis y Reología de la FIMCP.

2.1. Preparación de Muestras

Las catorce muestras fueron trituradas empleando un molino de bolas aproximadamente 30 minutos a

una velocidad de 55RPM. Luego se guardaron las muestras en fundas herméticas.

Para determinar las fracciones granulométricas encontradas en las muestras se utilizaron elementos de laboratorio como: vasos de precipitación de 250, 500 y 1.000 ml, agitador magnético, estufa y agitador manual, probetas de 1.000 ml, tamiz de malla ASTM #270 (53 μm), pipetas de 10 y 50 ml.

La recuperación de la fracción arcilla fue realizada a través de el método de pipeta, el cual fue seguido de las normas propuestas por la EMBRAPA (1997). Consiste en el principio de velocidad de caída de las partículas. En la Figura 2 se muestra una relación entre la temperatura de la mezcla arcilla-agua destilada y tiempo de sedimentación. Antes de proceder, se utilizan reactivos para la eliminación de elementos que afectan la dispersión del sistema agua-arcilla. La presencia de materia orgánica y calcáreo son las sustancias perjudiciales para esta dispersión y para la separación granulométrica (Gómez, 1986).

Temperatura °C	Tiempo	Temperatura °C	Tiempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'
16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 58'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

Figura 2. Tiempo de Sedimentación de la Fracción de Arcilla Para Una Altura de 5 cm.

2.2. Análisis de Laboratorio

Para este trabajo se utilizaron las siguientes técnicas de caracterización: Análisis de Tamaño de Partícula, Difractometría de Rayos X, Análisis Térmico Gravimétrico, Calorimetría Diferencial de Barrido, Espectroscopia de Infrarrojo y Microscopía Electrónica de Barrido.

3. Resultados de la Investigación Mineralógica y Tecnológica

Las características mineralógicas y tecnológicas de las arcillas obtenidas de la PSE fueron determinadas a través de los diferentes análisis realizados en los laboratorios del LEMAT y CIDNA.

En las gráficas de las muestras B1, B2, B3, B4, B5, B6, B8, X1, X2, X3, X4 y Y2 se observó un comportamiento bi-modal en los cuales el mayor volumen que se considera fracción arcilla se encuentra en el primer pico (de izquierda a derecha), con un valor de tamaño menor a 1 μm . Las gráficas Y1 y B7 dieron como resultado un comportamiento tri-modal en los que el mayor volumen considerado como fracción arcilla se encuentra en los dos primeros picos (de izquierda a derecha), con un valor de tamaño de partícula menor a 1 μm en el primer pico y menor a 2 μm en el segundo pico.

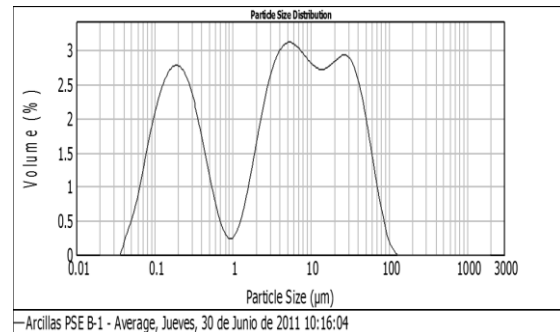


Figura 3. Distribución de Tamaño de Partícula de la Muestra B-1

A continuación se muestra en la figura 4 los resultados con los volúmenes y tamaños de partícula de las catorce muestras:

Muestra	Volumen $\leq 2 \mu\text{m}$ (%)	Tamaño de Partícula Representativo*	
		%	μm
B1	32,00	2,51	0,209
B2	33,45	3,34	0,138
B3	59,16	3,95	0,158
B4	47,16	3,33	0,158
B5	10,19	2,10	1,678
B6	8,64	3,58	2,188
B7	31,02	2,64	2,188
B8	52,68	3,94	0,182
X1	45,14	3,67	0,24
X2	72,37	4,62	0,182
X3	53,05	3,33	0,158
X4	58,27	3,49	0,182
Y1	24,62	1,37	0,209
Y2	78,88	5,14	0,158

*Corresponde al tamaño de partícula con mayor volumen en cada muestra.

Figura 4. Porcentaje de Fracción Arcilla y Tamaño de Partícula con Mayor Volumen.

La siguiente técnica de análisis es la Microscopía Electrónica de Barrido, los análisis fueron realizados a magnificación de 100X, 200X, 500X, 1000X y 1500X.

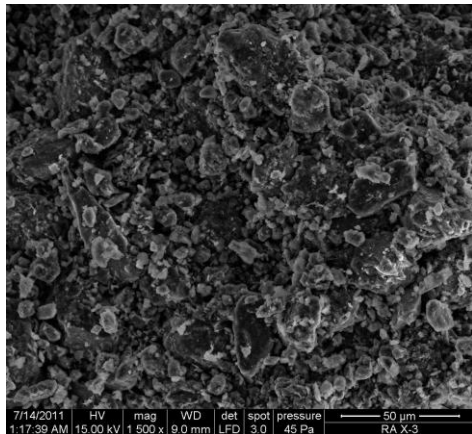


Figura 5. Micrografía de la Muestra X-1 a Magnificación de 1500X

En la figura 5 presentada anteriormente perteneciente a la muestra X-1 al igual que en el resto de muestras se puede observar una estructura laminar característica a las estructuras de las montmorillonitas, como también una aglomeración de las partículas. Según Jonas (1976) durante el proceso de secado de las partículas tienden a unirse nuevamente, producto de una carga superficial existente en cada una de las partículas. Además podemos confirmar que existe una cantidad considerable de aglomerado, lo cual ya fue evidenciado en el Análisis de distribución de tamaño de partícula.

La difracción de Rayos X es una técnica utilizada para la identificación de los arcillo-minerales y los no arcillo-minerales cristalinos. Se analizaron las catorce muestras de la fracción arcilla. La identificación de los arcillo minerales encontrados en las muestras fueron determinados con la ayuda del software X'Pert High Score Plus que en base a una lista de compuestos minerales e inorgánicos con su respectivo patrón de Difractometría fue posible conocer a qué clase de arcillo mineral pertenecen dichas muestras.

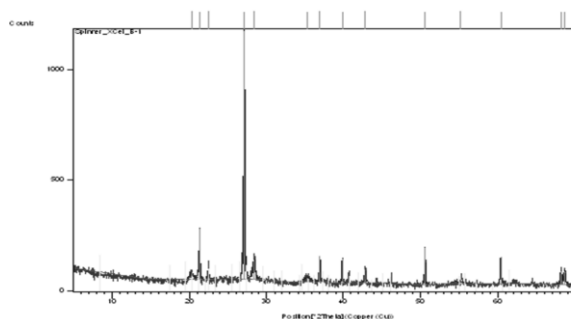


Figura 6. Difractograma Representativo de la Fracción Arcilla de la Muestra B-1

A continuación se presenta la identificación del arcillo mineral y la distancia interplanar d más representativa de su análisis.

Mineral	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
	d(Å)							
Montmorillonita	4,37	3,13	---	4,37	---	---	---	4,37
Cuarzo	4,16	4,15	4,37	4,16	4,16	---	4,15	4,17
Paligorskita	---	---	---	---	3,65	---	---	---
Yeso	2,53	2,52	---	2,47	---	---	3,13	---
Illita	3,95	---	---	---	2,52	---	---	---

Figura 6. Identificación Mineral de las Muestras de la Zona B

Mineral	X1	X2	X3	X4
	d(Å)			
Montmorillonita	---	2,53	15,22	---
Cuarzo	4,16	4,36	3,29	4,16
Paligorskita	---	---	---	---
Yeso	3,14	---	---	4,89
Heulandita	---	---	---	3,96

Figura 7. Identificación Mineral de las Muestras de la Zona X

Mineral	Y1	Y2
	d(Å)	
Montmorillonita	4,36	4,36
Cuarzo	3,28	3,29
Paligorskita	---	---
Yeso	---	---

Figura 8. Identificación Mineral de las Muestras de la Zona Y

El software utilizado para la identificación mineral nos muestra que el arcillo mineral predominante en las muestras es la montmorillonita, en el caso de la muestra B5 se obtuvo una ligera presencia de paligorskita y en la muestra X4 heulandita. La impureza predominante es el cuarzo y se incluye una ligera presencia de yeso.

El Análisis Térmico Gravimétrico se enfoca en el comportamiento de la masa con respecto al incremento de temperatura y la Calorimetría Diferencial de Barrido se enfoca en la energía que la muestra absorbe o expulsa a medida que se incrementa la temperatura.

La figura 9 contienen dos curvas, la curva de calor y la curva de peso; en las cuales se obtuvo picos de temperatura endotérmicos y exotérmicos, en estos picos la muestra libera y absorbe calor respectivamente. En la figura 10 se pudo localizar el valor pico de temperatura en donde la muestra pierde más peso respecto al tiempo.

Finalmente, se obtuvo el valor de porcentaje de pérdida de peso total en todo el análisis.

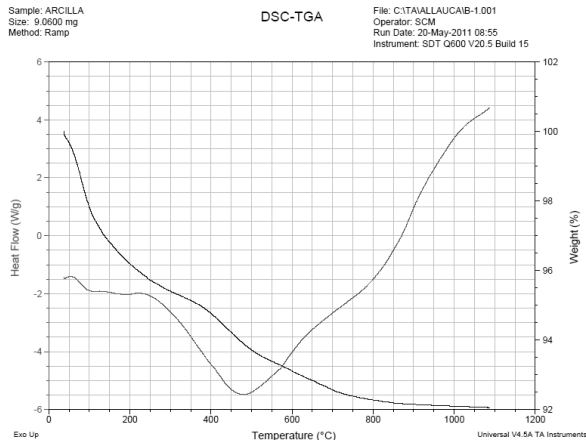


Figura 9. Análisis Térmico de la Muestra B-1

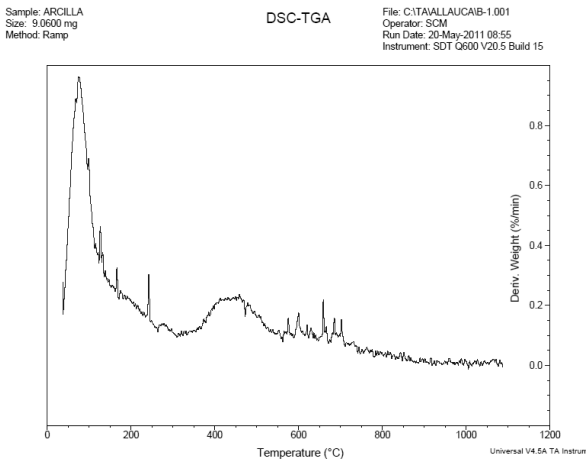


Figura 10. Análisis Térmico de la Derivada de Peso Respecto al Tiempo de la Muestra B-1

Al finalizar el Análisis Térmico Gravimétrico se puede observar que no existe mayor diferencia en las catorce muestras escogidas de las tres zonas de la PSE. Dichas muestras tienen un comportamiento similar característico de la caolinita y montmorillonita debido al pico endotérmico de gran consideración que tiene lugar entre 400 y 600 °C. En contadas curvas de calor se puede observar que no muestran pico exotérmico al llegar a los 1100 °C. Todas las muestras tienen un leve pico endotérmico antes de los 200 °C.

Muestra	Pto. Endotérmico		Pto. Exotérmico		Pérdida de Masa/t		Pérdida Masa Total %
	T (°C)	H (J/g)	T (°C)	H (J/g)	T (°C)	%mg/min.	
	B1	481,18	176,90	---	---	75,55	
B2	470,59	213,70	1021,53	136,60	81,60	1,11	9,51
B3	407,73	325,00	1032,13	111,20	83,11	2,02	15,14
B4	464,54	628,80	1023,04	145,20	83,11	1,70	12,27
B5	481,18	194,30	---	---	78,57	1,63	10,62
B6	461,51	152,60	1016,99	161,80	89,17	1,85	13,11
B7	479,67	210,90	1045,75	4,17	84,63	1,62	10,83
B8	476,64	262,70	1009,42	249,30	81,60	1,51	13,76
X1	476,64	334,50	979,15	79,00	78,57	1,11	10,01
X2	478,16	246,00	---	---	80,09	2,27	13,29
X3	472,10	166,10	1032,13	13,11	87,65	1,54	12,64
X4	467,56	255,10	1013,96	128,30	63,44	1,28	15,82
Y1	475,13	204,80	---	---	93,71	3,06	15,98
Y2	476,64	298,30	1026,07	311,10	96,74	2,62	16,01

Figura 11. Resultados Análisis Térmico de las 14 Muestras de la PSE

El Análisis de Espectroscopía de Infrarrojo se utiliza como técnica para reconocer los arcillo-minerales y no arcillo-minerales.

Fueron analizadas las catorce muestras, pertenecientes a la zona B, X y Y de la PSE. A continuación en la figura 12 se muestra el análisis representativo de la muestra B-1:

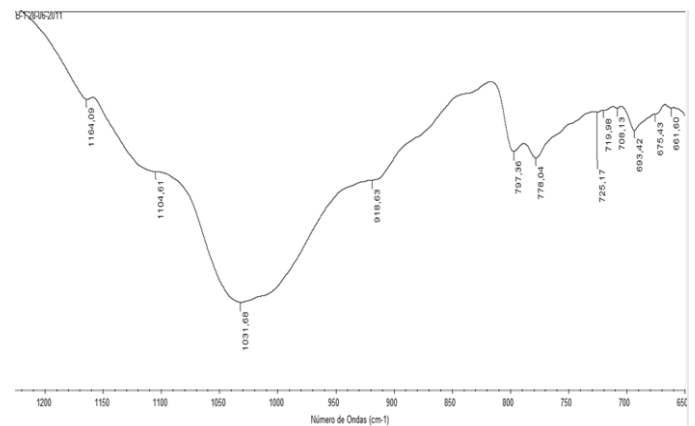


Figura 12. Espectros de Infrarrojo Representativos de la Muestra B-1

De acuerdo a los espectros obtenidos existe una **aproximada similitud** de mineralogía en las tres muestras analizadas. La caolinita, la montmorillonita + caolinita y mica fueron los arcillo-minerales predominantes, ocurriendo principalmente en la banda 1030 cm^{-1} . Existen otras bandas como la 1093 y 912 cm^{-1} características de la caolinita y la montmorillonita, además de estas; también están presentes las bandas 778,30 cm^{-1} característico del cuarzo.

A continuación en la figura 13 se muestra los resultados con su respectiva identificación mineral:

Muestras	Bandas (cm ⁻¹)	Identificación Mineral
B1	1031,68	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	997,36	-----
	918,63	Montmorillonita, Montmorillonita + Mica, Caolinita
B2	1028,4	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	1020,82	-----
	777,89	Cuarzo
B3	1026,4	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	912,98	Montmorillonita, Montmorillonita + Mica, Caolinita
	778,21	Cuarzo
B4	1026,32	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	912,27	Montmorillonita, Montmorillonita + Mica, Caolinita
	691,05	Caolinita, Cuarzo
B5	1025,9	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	797,15	Cuarzo, Montmorillonita + Cuarzo, Montmorillonita
	778,44	Cuarzo
B6	1029,81	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	921,88	Montmorillonita, Montmorillonita + Mica, Caolinita
	778,79	Cuarzo
B7	1024,41	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	1016,95	-----
	778,68	Cuarzo
B8	1112,52	Caolinita, Montmorillonita
	1031,95	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	916,5	Montmorillonita, Montmorillonita + Mica, Caolinita

Figura 13. Posible Identificación Mineral de las Muestras B

Muestras	Bandas (cm ⁻¹)	Identificación Mineral
X1	1029,33	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	1012,84	-----
	912,56	-----
X2	1030,25	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	911,59	-----
	779,44	Cuarzo
X3	1035,34	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	913,82	-----
	799,17	-----
X4	1033,47	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	1012,03	-----
	914,92	-----

Figura 14. Posible Identificación Mineral de las Muestras X

Muestras	Bandas (cm ⁻¹)	Identificación Mineral
Y1	1097,13	-----
	1030,81	Caolinita, Montmorillonita + Caolinita, Mica
	1012,14	-----
Y2	1108,75	Caolinita, Montmorillonita
	1005,44	-----
	912,23	-----

Figura 15. Posible Identificación Mineral de las Muestras Y

De acuerdo con los análisis de difracción, termogravimetría y espectroscopía de infrarrojo se puede corroborar que las muestras analizadas de las tres zonas B, X y Y tienen características propias de la caolinita y montmorillonita. En la mayoría de muestras existe un contenido de impurezas como el cuarzo y yeso. Sin embargo, con el análisis de difracción se puede definir que aunque existen en ciertas muestras resultados que indiquen la existencia de caolinita, este no aparece como una fase principal en el análisis mineralógico, por lo que principalmente

la fracción arcilla analizada en esta tesis corresponde a montmorillonita.

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Después del proceso de separación de la fracción arcilla del limo y la arena, obtuvimos un porcentaje bastante bajo de muestra fracción arcilla; las muestras con más contenido fueron: X1, B1, B2, B7, B8 con valores arriba del 20%, cabe mencionar que la muestra B6 sólo obtuvo un 2% de contenido fracción arcilla, lo cual nos indica que no se obtienen grandes beneficios al tratar de explotar esta localidad puesto que casi en su totalidad dicha localidad contiene solo arena.
- Del Análisis de Tamaño de Partícula, los gráficos obtenidos muestran porcentajes de volumen de fracción arcilla (menor o igual a 2µm), donde 8 de las 14 muestras estuvieron aproximadamente por el 50% de volumen que contienen fracción arcilla, a su vez dentro de estas 8 muestras tienen un gran protagonismo las muestras X2 y Y2 con un contenido del 72.37 y 78.88% del volumen respectivamente. La muestra B6 contiene el menor % respecto al tamaño de partícula menor o igual a 2µm, siendo el 8,64%.
- Por medio de la micrografía electrónica de barrido se observó que existe una considerable cantidad de aglomerado y partículas de limo y arena en las muestras, lo que concuerda con lo visto en el análisis de tamaño de partícula y los porcentajes de volumen de fracción arcilla obtenidos; adicionalmente, se aprecia una estructura laminar característica de las arcillas tipo montmorillonita y en algunas muestras como la X1 se observó que la fracción arcilla se presenta en forma de láminas que están sobrepuestas, comportamiento característico de las arcillas.
- En el análisis de difracción la muestra B6 no fue analizada debido a su bajo porcentaje de fracción arcilla mostrado en el análisis de distribución de tamaño de partícula, lo cual no permitió obtener la cantidad de muestra necesaria para dicho análisis. La muestra B6 fue considerada como arena por obtener solo 2% de fracción arcilla.
- En el análisis de Termogravimetría y Calorimetría Diferencial de Barrido se pudo obtener como resultado que las muestras tienen un comportamiento similar a la de la caolinita y montmorillonita. Además de ello también se pudo confirmar que las 14 muestras tienen el mismo

comportamiento, es decir, no existen diferencias entre las zonas B, X y Y.

- Al analizar los resultados obtenidos por medio de los análisis de Difractometría de Rayos X, Termogravimétrico, Calorimetría Diferencial de Barrido y Espectroscopía de Infrarrojo se pudo determinar que las muestras pertenecen a la clase de arcilla identificada como montmorillonita y contiene impurezas donde la principal presencia la obtiene el cuarzo.

Finalmente, a continuación se muestra una tabla con las diferentes aplicaciones que brinda este tipo de arcillo mineral:

Montmorillonita	
Propiedades Físico Químicas	Aplicaciones
Tamaño de Partícula Menor a 2µm	Arenas de Moldeo
Superficie Especifica= 80-300 m ² /gr.	Lodos de Perforación
Capacidad de Intercambio Cationico= 80-200 meq/100gr.	Peletización
Capacidad de Absorción	Absorbentes
Hidratación e Hinchamiento	Material de Sellado
Plasticidad	Ingeniería Civil
Tixotropía	Alimentación Animal
Viscosidad	Catálisis
	Industria Farmacéutica
	Industria de Detergentes
	Fabricación de Pinturas, Grasas, Lubricantes, Plásticos y Cosméticos
	Agricultura
	Aditivos Para Morteros
	Nanocompuestos Poliméricos

Figura 16. Propiedades y Posibles Aplicaciones de la Montmorillonita

4.2 Recomendaciones

- Para el análisis de tamaño de partícula tratar de en lo posible usar un agente dispersante de mayor efectividad como hexametáfosfato de sodio 1N para obtener la menor cantidad de aglomerado en las muestras.
- La montmorillonita se clasifica en: sódica, cálcica e intermedia. De acuerdo a esta clasificación tratar de implementar una técnica de caracterización adicional a las utilizadas en este trabajo que nos permita identificar a qué clase de montmorillonita pertenecen las muestras analizadas.

5. Referencias

[1] Emilia García Romero, Universidad Complutense (Madrid), Mercedes Suárez Barrios, Universidad de Salamanca, “Las Arcillas: Propiedades y Usos” <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm>
 [2] The Chemistry and Physics of Clays, Rex W. Grimshaw, Fourth Edition, 1971.

[3] Madgalena Rodas, “Bentonitas” http://www.ucm.es/info/crismine/Minerales_Industrial/es/Bentonitas_1.pdf

[4] Julio Rubio de Cubides, “Características Mineralógicas de la Fracción Inferior a Dos Micras de Algunas Arcillas de la Sabana de Bogotá”, Departamento de Química, Universidad Nacional, Bogotá.

[5] Vicente Coronel y Héctor A. Ayón, “Minerales de Arcilla en el Archipiélago de Jambelí”, Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador, Octubre 1980.