



GEORREFERENCIACIÓN DE ZEOLITAS NATURALES EN LA CORDILLERA CHONGON-COLONCHE DEL ECUADOR

GEOREFERENTIATION OF NATURAL ZEOLITES IN THE CHONGON-COLONCHE MOUNTAIN RANGE OF ECUADOR

Santiago Medina⁽¹⁾; Maritza Ureña⁽¹⁾; Christian Medina⁽²⁾; Diana Coello Fiallos⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Science and Technology of Materials Group, Dirección de Investigación y Desarrollo. Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador.*

⁽²⁾ *Universidad de Chile, Santiago - Chile.*

Email: dianacoello2@hotmail.com

<https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.160>

Resumen: *La geología ecuatoriana presenta afloramientos de zeolita natural, este mineral precioso se forma por los procesos volcanosedimentarios de muchos años y tienen propiedades excepcionales. Este trabajo presenta una investigación documental y de campo que permitió realizar un catastro que contiene información de 21 secciones donde se encuentran zeolitas naturales y mediante ArcGIS se realizó un mapa georeferenciado, ubicando estas secciones en la parte de la cordillera Chongón-Colonche que atraviesa la provincia del Guayas. En la parte norte de la cordillera por su geografía y accesibilidad se encuentran 15 secciones y en la parte sur encuentran las otras 6 secciones. Lo relevante es que solo 8 secciones se mantiene explotando zeolitas para aplicaciones reducidas al sector agrícola, ganadero y camaronero. Adicionalmente, a dos muestras de zeolita (ZC y ZR) extraída en roca en la sección ZN1, se realiza una caracterización geométrica mediante reducción de tamaño en la MAA y MTB, determinando que ZR presenta mayor dureza con respecto a ZC, y obteniendo mater fino para proyectos futuros sobre MCS.*

Palabras Clave: *ArcGIS, caracterización geométrica, catastro, Cordillera Chongón-Colonche, zeolita natural.*

Abstract: *The Ecuadorian geology presents deposits of natural zeolite; it is a precious mineral formed by the volcano-sedimentary processes of many years and has exceptional properties. This work was performed by in-situ and literature investigation that allowed developing a*

Recibido: 02 de enero de 2022

Online: 10 de marzo de 2022

Publicado como artículo científico en la Revista de Investigación Talentos 9 (1), 45-59

Aceptado: 03 de marzo de 2022

Publicación Vol 9 (1): 01 de enero de 2022

mineral cadastral that contains information of 21 sections where natural zeolites are found and through ArcGIS a georeferenced map was made, locating these sections in the part of the Chongón-Colonche mountain range that crosses the Guayas province. In the northern part of the mountain range, due to its geography and accessibility, there are 15 sections and in the southern part there are the other 6 sections. Actually, only 8 sections are found extracting zeolites for reduced applications in the agricultural, livestock and shrimp sectors. Additionally, two zeolite samples (ZC and ZR) extracted in rock in the section 1 section, a geometric characterization is carried out by means of size reduction in the MAA and MTB, determining that ZR presents greater hardness with respect to ZC, and obtaining fine material for future projects about MCS.

Keywords: *ArcGis, cadastral, geometric characterization, Chongón-Colonche mountain range, natural zeolite.*

1. INTRODUCCIÓN

Las zeolitas fueron reconocidas como un grupo mineral por el geólogo sueco A. F. Cronsted en 1756, su nombre se deriva de 2 palabras griegas zeo (que hierve) y lithos (piedra) (Cronsted, 1758), presentan propiedades únicas y de gran utilidad. Los yacimientos de zeolita se encuentran en cavidades de rocas basálticas que se formaron a partir de la interacción de la ceniza volcánica con el agua de mar y de lagos salinos que se solidificaron y mineralizaron en un periodo de millones de años (Bish y Ming 1955).

Se ha reportado presencia de zeolitas naturales en países como China, Cuba, Japón, Grecia, Ucrania, Ecuador, México, España, Canadá, EE. UU., Italia, Alemania, Hungría, África del Sur, Nueva Zelanda, Argentina, Australia, Indonesia, entre otros (Carballo et al., 1994; Vizcaino Ramon, 1998; Englert y Rubio, 2005; Costafreda Mustelier, 2018; Bilbao Chávez et al., 2018; Novo Fernández y Costafreda Mustelier, 2018). El Ecuador por su geología y al encontrarse en el “Cinturón de Fuego”,

presenta varios a, floramientos de minerales preciosos, entre estos, los aluminosilicatos cristalinos (zeolitas naturales) que se encuentran en la Cordillera Chongón-Colonche de la Formación Cayo, donde se ha reportado gran presencia de heulandita y clinoptilolita, así como mordenita, laumontita y en menor cantidad estilbita, erionita y faujasita (Guevara Gavilanes, 2002; Morante Carballo, 2004; Canales, M. y Chwastyk, M. W., 2019).

Guevara en el 2002 reporta un estudio mineralógico del yacimiento León que forma parte de la región montañosa de la cordillera de Chongón Colonche donde identifica material zeolitico (Guevara Gavilanes, 2002), después Morante (2004) realizó un estudio de las zeolitas naturales en Ecuador, empezando en Guayaquil y otros cantones donde las muestras fueron extraídas de diferentes yacimientos principalmente en la Formación del Cayo. Para sistematizar el afloramiento de la formación Cayo se definen 2 zonas: una zona rica en zeolita se encuentra en la parte superior de la sección (zona 1 espesor

~ 1,5 km) y una zona de albita cuarzcalcita (laumontita) se encuentra en la parte basal (zona 2, espesor ~ 1,5 km) (Cornejo et al., 2009; Morante et al., 2013; Cornejo et al., 2014). Los detalles de la formación Cayo fueron reportados por Machiels (2006a), que consiste en bloques piroclásticos y depósitos de flujo de cenizas, 70-80% de la unidad de roca interestratificado con tobas. Las zeolitas tipo clinoptilolita y mordenita fueron las primeras identificadas y luego se encontró heulandita, en Guayaquil y las menos comunes son laumontita, mordenita y analcima (Morante Carballo, 2004; Machiels et al., 2008), las zeolitas se encuentran a lo largo de la cordillera Chongón-Colonche, una cadena montañosa que se extiende al oeste de Guayaquil hacia la línea costera unos 100 km (Machiels et al., 2006b). Machiels reporta que en la región central, al sur de Isidro Ayora están presentes secuencias ignimbríticas en la cima de la unidad rocosa que tienen una mineralogía similar a la sección de Guayaquil, pero la parte basal de la unidad de roca, más de la mitad de la sección, está dominada por tobas verdes de mordenita. En la región occidental, en el cruce del río Ayampe, la heulandita es común en secuencias ignimbríticas, mientras que la mordenita (asociada con heulandita menor) es común en tobas riolíticas y algunas rocas sedimentarias (Machiels 2008).

Al conocer la presencia de zeolita, pequeñas canteras artesanales alrededor de la cordillera Chongon-Colonche han ido apareciendo a lo largo de los años, pero la explotación y aplicación local de estos minerales se ha limitado a la acuicultura y agricultura (SUPERCIAS, 2016; ARCOM, 2018). A nivel mundial las zeolitas por sus propiedades

excepcionales tienen amplias aplicaciones; entre las cuales se destaca para cuidado ambiental como adsorbente colorante y metales pesados (Calvo et al., 2009; Coello-Fiallos et al., 2018; Molinari et al., 2018; Calderón et al., 2021) y como material cementante suplementario (Mertens et al., 2009; Snellings et al., 2009). La producción minera mundial de esta clase de minerales en el 2021 fue de 1.6 millones de toneladas (Crangle, 2021). En Ecuador, la producción reportada por la Agencia de Regulación y Control Minero, ARCOM, en el 2004 fue de 3300 toneladas, un año pico en la explotación. Más tarde, existe una reducción significativa en los años 2010 y 2012, a 119.90 y 28.20 toneladas, respectivamente; los factores que han incidido se relacionan a un bajo nivel de estudio y conocimiento de sus reservas, a fin de establecer la posibilidad de aprovechamiento industrial (Arcom, 2018).

Este trabajo tiene como finalidad presentar una georreferenciación actualizada de las secciones de la cordillera Chongon-Colonche que contienen este mineral precioso, para lo cual se elabora un catastro actualizado con la ubicación, las coordenadas e información adicional de las secciones de zeolita natural, adicionalmente se realiza una primera caracterización geométrica de muestras obtenidas directamente en roca. Este trabajo brinda información para ubicar y obtener zeolitas naturales y ampliar sus aplicaciones en el Ecuador o en otros países.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Georreferenciación de Zeolitas Naturales

Se realiza una investigación documental sobre los minerales en Ecuador, donde las agencias que contienen esta información son la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SUPERCIAS, 2016) y Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM, 2018), obteniendo información reportada hasta el respectivo año de funcionamiento de las dos agencias sobre minería artesanal de zeolita natural para realizar la respectiva verificación mediante llamadas telefónicas y búsqueda de dichas minas por internet con el fin de comprobar su existencia y explotación en la actualidad. Luego se procede con la investigación de campo para obtener las coordenadas mediante el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), y también la información actual detallada de las secciones mineras en funcionamiento.

Con todos los datos que se recopilaron se elaboró el catastro que contiene 21 secciones de zeolita natural (ZN), luego con el programa ArcGIS (Sistema de Información Geográfica) se elaboró un mapa de toda la cordillera Chongón-Colonche y el mapa georeferenciado ubicando a cada sección de ZN investigada.

Caracterización Geométrica

En las visitas de campo, al identificar que el mayor agrupamiento es en el cantón Isidro Ayora, se obtienen muestras de zeolitas naturales extraídas en roca directamente

en un punto de coordenadas de acuerdo al GPS Norte: 9790357 y Este 594939. Se seleccionaron dos muestras debido a la diferencia de color y textura, por lo que las hemos denominado zeolita café (ZC) y zeolita roja (ZR), características que no toman en cuenta ya que las procesadoras toman todo el material de la zona y la reportan de color verde o turquesa.

La caracterización geométrica de las rocas de ZR y ZC se realiza usando dos equipos de molienda:

1. La Máquina de abrasión de los Ángeles (MAA) es marca Controls con tambor de diámetro interno de 711 mm, una longitud de 508 mm y rota a una velocidad de 31 a 33 rpm.
2. El Molino de tambor de bolas (MTB) es un molino diseñado en un proyecto de ingeniería mecánica (Cabezas Casco, 2017), las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Especificaciones técnicas del mtb

Especificaciones del MTB	
Potencia	0.5 HP
Reductor de velocidad	1:20
Velocidad de giro	74rpm
Máx. Capacidad de Carga	18Kg
Peso del tambor	8.5Kg
Tiempo de molienda	1-10 Horas
Longitud del molino	95 cm
Alto	51cm
Diámetro del tambor	21cm
Longitud del tambor	34cm
Nivel de ruido	85dB

El proceso empezó con el molido de acuerdo a las normas ASTM C131 C702 de las rocas ZC y ZR en la MAA durante 60 minutos cada una y se realiza un tamizado simple

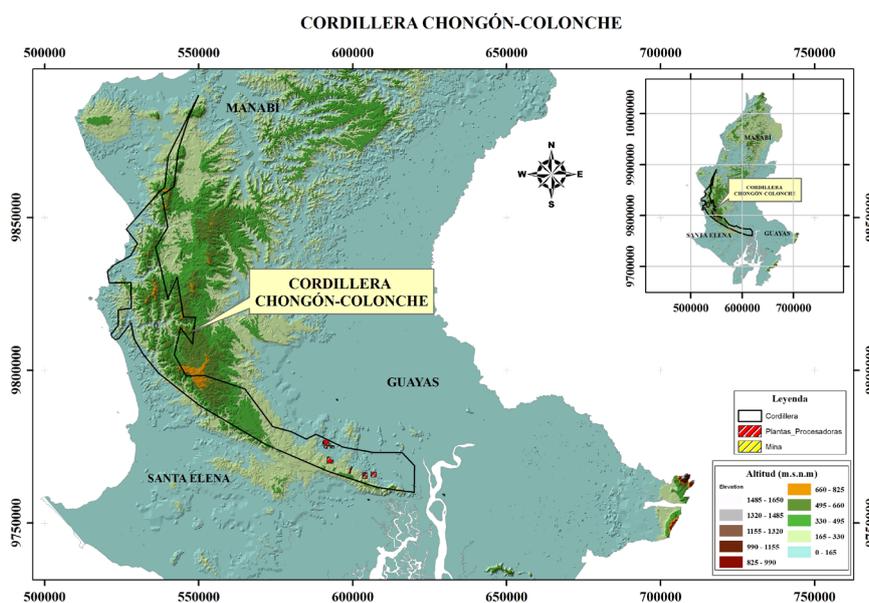
para separar el material resultante. Luego el material resultante de tamaño mayor a 75 μm se separa en 9 grupos dependiendo de los tamaños que presenta para cada muestra y se muele en el MTB variando tiempos de 10 a 120 min y se realiza el tamizado de cada grupo mediante la Norma ASTM-C136. La tamizadora y juego de tamices usados son de marca Controls. La caracterización geométrica se realiza con la final de obtener zeolitas naturales con finura semejante al cemento Portland (Sanjuan Barbudo, & Chinchón Yepes, 2014), para estudiar su aplicación como material cementante suplementario (MCS) que ayudaría a reducir la emanación de CO_2 por la producción de Clinker (Damtoft, 2008).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Catastro Minero y Georreferenciación de Zeolitas Naturales.

El sector en Ecuador que presenta mayor potencialidad de zeolitas Naturales es la cordillera Chongon-Colonche se ubica entre las provincias de Guayas, Santa Elena y Manabí, se desarrolla desde Guayaquil hasta el sector de Olón-Pedro Pablo Gómez, tiene un rumbo de $\text{N}110^\circ$, su geología comprende las rocas de la formación San Mateo, San Eduardo, Guayaquil, Cayo, Piñón y Las Masas como se puede observar en el mapa de la Fig. 1, que en contraste con lo reportado en anteriores investigaciones (Morante Carballo, 2004; Machiels et al., 2008), detalla información de la altitud en cada punto de la cordillera, y los afloramientos de zeolita se ubican a altitudes de 165 a 660 m.s.n.m. en la parte de la cordillera que está en la provincia de Guayas.

Fig. 1. Mapa ArcGIS de la ubicación de la cordillera Chongón-Colonche.



En la cordillera Chongón-Colonche, específicamente en la formación Cayo que tiene altos contenidos de minerales de zeolitas; ubicada al oeste de Guayaquil, limitada al norte y sur con las cuencas sedimentarias Manabí y Progreso, respectivamente, y la falla del Puerto Cayo al oeste, con una superficie de más de 1000km² compuesto por rocas marinas vulcanoclásticas y sedimentarias interestratificadas (Costafreda Mustelie, Jorge L Martín Sánchez, Domingo A; Costafreda Velázquez, 2018; Machiels et al., 2006). Una gran demanda para la utilización de aluminosilicatos viene de la producción cementera ya que en la costa la caliza existe en pocas cantidades las zeolitas de este depósito son muy aptas para el uso como puzolanas y puede ser agregado al cemento (Machiels et al., 2006; Morante Carballo, 2004; Sánchez et al., 2017).

La Tabla II presenta el Catastro de 21 secciones de zeolitas naturales ubicadas por cantones, con la respectiva área de concesión reportada y sus coordenadas GPS y UTM, información con la que se elabora el Mapa georeferenciado de las 21 secciones (Fig. 3). Adicionalmente a las áreas de concesión de la TABLA II, se investigó la existencia de una sección en la provincia de Loja cantón Saraguro de 15 hectáreas de zeolita natural (Morante Carballo, 2004; ARCOM, 2018), con esa información se presenta gráficos estadísticos en la Fig. 3 de las hectáreas registradas de extracción de zeolita en 5 cantones del país, evidenciando que el cantón Isidro Ayora contiene alrededor de 800 Ha seguido de Guayaquil con alrededor de 650 Ha que representan el 50 y 44 % respectivamente del total reportado.

A pesar de que algunas secciones no brindan información del área de concesión, se tiene agrupado el 94% de las hectáreas registradas, se pueden establecer o generar proyectos para el aprovechamiento adecuado y nuevas aplicaciones en el país.

Fig. 2. Gráfico de las áreas de zeolitas por cantones de Ecuador:

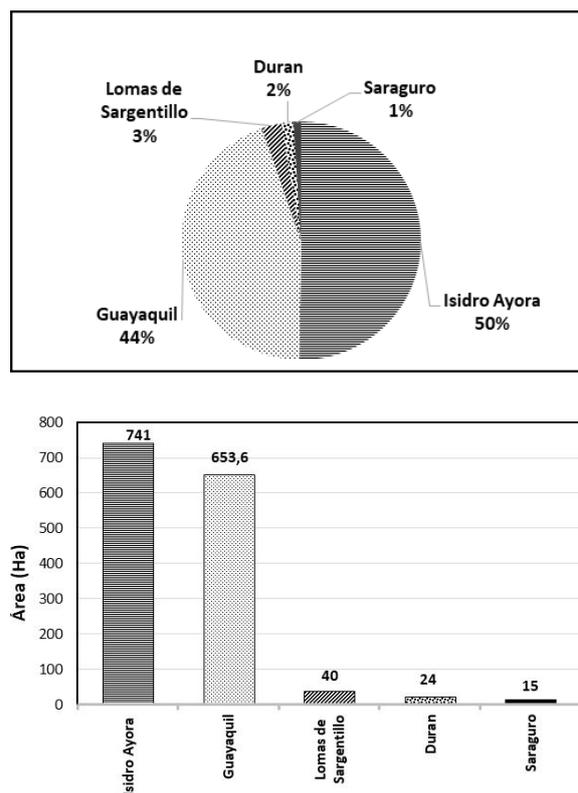


Tabla II. Catastro de zeolita natural ubicadas en la provincia de Guayas-Ecuador

#	Sección	Prov.	Cantón	Parroquia	Área (Ha)		Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM		
					Extracción	%	Cantonal	Latitud	Longitud	X	Y
1	<i>Zeonatec</i>		Isidro Ayora	Isidro Ayora	-			-1,8957	-80,1464	594939,00	9790357,00
2	<i>Fausto+</i>				2	0,14		-1,8949	-80,1476	595000,00	9790800,00
3	<i>Zeolita</i>		Lomas de Sargentillo	Lomas de Sargentillo	40	2,79	40	-2,0234	-80,1858	590551,66	9776334,58
4	<i>Elena</i>		Isidro Ayora	Isidro Ayora	225	5,68	741	-2,0229	-80,1774	591486,02	9776385,89
5	<i>Diana+</i>				4	0,28		-2,0279	-80,1687	592600,00	9776100,00
6	<i>Bexi</i>				190	3,24		-2,0348	-80,1794	591256,22	9775073,41
7	<i>Calpacsa S.A.+</i>				8	0,56		-2,0337	-80,1575	593698,65	9775185,19
8	<i>Río Paco+</i>				12	0,84		-2,0396	-80,1777	591449,80	9774535,87
9	<i>Pincopaz I+</i>				300	0,91		-2,0778	-80,1663	592000,00	9770000,00
10	<i>Chongón+</i>			Chongón	88	6,13	653,60	-2,1041	-80,1062	599352,96	9767364,65
11	<i>Clinop +</i>				4	0,28		-2,1124	-80,0657	604000,00	9766800,00
12	<i>El Refugio</i>	Guayas		Guayaquil	288	20,08		-2,1179	-80,0401	606200,00	9765400,00
13	<i>Pinto+</i>				150	10,46		-2,1174	-80,0660	603500,00	9765800,00
14	<i>Pinto II+</i>				120	8,36		-2,1249	-80,0646	603500,00	9765000,00
15	<i>Voluntad de Dios I+</i>				3,6	0,25		-2,1300	-80,0167	609347,80	9764537,45
16	<i>Crilarsa C.A</i>					-			-2,1926	-80,0518	605437,20
17	<i>Indami Cia Ltda</i>		Guayaquil	Chongón	-			-2,1935	-80,0543	605155,00	9757511,00
18	<i>Calmosacorp S.A.</i>				-			-2,1917	-80,0557	604994,00	9757706,00
19	<i>Biomarsa Kravets+</i>				-			-2,1961	-80,0719	603202,00	9757134,00
20	<i>Cerro del Tres I+</i>		Durán	Durán	24	1,67	24	-2,1773	-79,8347	629900,00	9759200,00
21	<i>ESPOL**+</i>		Guayaquil	Guayaquil	-			-	-	615139,76	9762722,52

Nota: +: No explotan actualmente; -: área no reportada

Fig. 3. Georreferenciación con ArcGIS de las secciones de zeolita natural con representación de área concesionada en la parte de la cordillera Chongón-Colonche

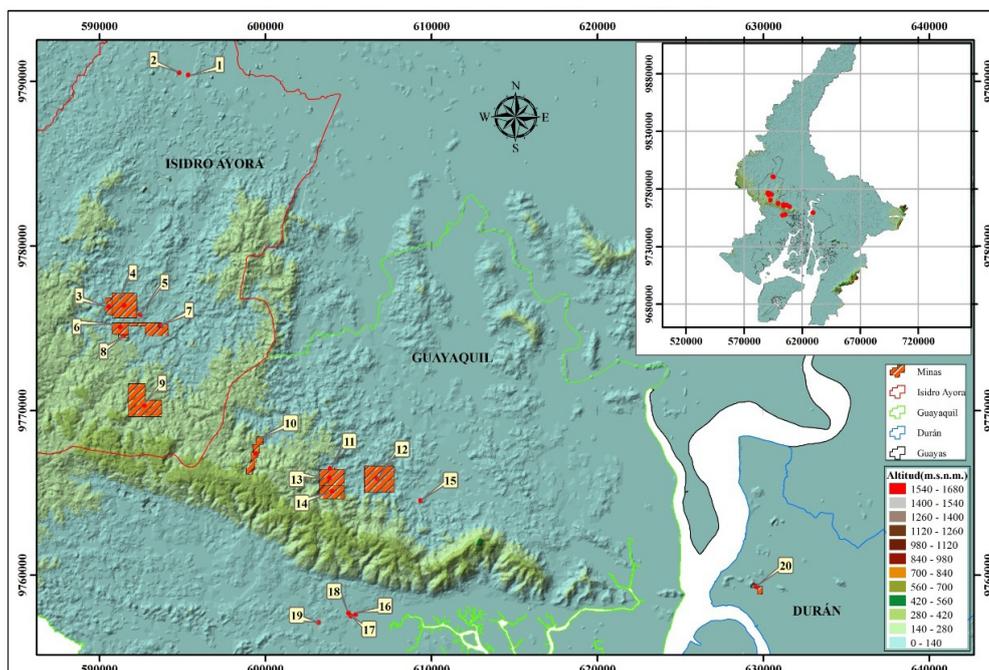


Tabla III. Información detallada de zeolita natural en Ecuador

Secciones	Contenido	Medida (mesh)	Aplicaciones	Exportación	Dirección	Contactos	Observaciones
Zeonatec	Clinoptilolita	40, 100, 200, 325	Acuícola Agricultura, Gandería, Filtros, Salud y Construcción	4 Países de Exportación	Km 1.8 Vía las Mercedes	Titular: Sr. Edison Arciniegas 042692752; 0960851639 www. zeonatec.com zeona- tecventas@gmail.com zeonatec@gmail.com	Dispone de mina y procesadora
Fausto	-	-	-	-	Coop. Renacer MZ. 142, Solar 24	Titular: Ascencio Ave- llán Fausto Daniel	
Zeolita	-	100	Acuícolas y camaroneras	No exportan	Bolivia 1211 Y Capitán Saeda	Titular: Escalante Cha- len Olga Gardenia, Sr. Wilson Villalta: 0994413356 Oficina: 042445585	Actualmente no están explotando.
Elena	-	malla talco	No comercializa	No exportan	Coop. Luis Vargas Torres MZ A2 So- lar 1	Titular: Chávez Sala- zar Rafael Guillermo: 0999120873	Se encuentra paralizada
Diana	-	-	-	-	Sauces 4	Titular: Lara Fiallos Diana Magali	
Bexi	Clinoptilolita	200	Agrícolas, Avícolas	Colombia	Las Mercedes	Titular: Vera Pazmiño Bexi Elizabeth María 0994654093	Análisis en Colombia, con- cesión minera tienen 20 Ha. para 150 años.

Calpacsa SA.	Clinoptilolita	100 325	Actualmente no explota	Actualmente no explota	RB Torres del Salado Km 11/5 Vía a la Costa	Torres Freire Rosa Delia/Gelo: 0985234516 asesor: 0988881237	Actualmente no explota, Ing. Angulo (asesor) en Isidro Ayora
Río Paco	-	-	-	-	Vacas Galindo y La 32	Titular: Noboa Apolinario Matilde Mariela	
Pincopaz I	-	-	-	-	Urdenor 1 Mz 137 Villa 18	Pincopaz S.A.	
Chongón	Ninguna	-	-	-	Vía a la Costa Km 10 1/2 Camino Real	Titular: Constructora Caminos y Minas Concamin CIA Ltda	No explotan, están por cerrar solo explotan minas de piedras.
Clinop	-	-	-	-	Calle Lorenzo de Garaycoa y Ayacucho/ Parroquia Bolívar	Titular: Alcivar Escobar Cayetano Damián	
El Refugio Pinto Pinto II	clinoptilolita mordenita heulandita	algunas medidas hasta 325	Abonos potásicos, alimentación animal y purificación de agua	Guatemala Colombia	Cdla. Santa Cecilia PLANTA: tras Monte Sinái	Gerente Patricia Lucas: 0996324960 https://1697-ec.all.biz/	Marcas de productos Zeoagro, zeofloc, zeoanimal, zeocama. Disponen de zeolitas con y sin actividad puzolánica.
Voluntad de Dios I	-	-	-	-	MZ 113 Lote 19 Voluntad de Dios Sector 3 Bocas	Titular: Chávez Salazar Julio Cesar	
Crilarsa C.A	zeolita verde	-	Aditivo en alimentos balanceados, control de olores	-	Km 22 Vía a la Costa	Titulares: Pazmiño Kravets Vadín Christopher Pazmiño Molina Cristobal Eduardo 0985211202, 0991917165, 042738254 www.crilarsa.com	Especificación: Al ₂ (SiO ₂) ₃ (silicato de aluminio) > 80% .
Indamia Cia Ltda	-	200	Agrícola, acuícola, avícola y agroindustria	-	Km 19,5 Vía Guayaquil-Salinas	Titular Juan Pablo Armas 04 204 6023, info@indami.com.ec http://indami.com.ec/	Distribución y procesamiento de productos.
Calmosacorp S.A.	-	40, máx 40%	Acuícola, agrícola, Avícola, Industrial, Pecuaria	-	Km. 20 Vía a la Costa	Titular: Hernán Armas C. Christel Quiñonez 0939861881;04-3901373 ventas@calmosacorp, https://calmosacorp.com	Distribución y procesamiento de productos.

Biomarsa Kravets	Clinoptilolita	<500 µm	Agrícola, Potabilización, Piscicultura e Industrial	-	Las Cumbres y Planta en Km 22 Vía a la Costa	097-860-8444; 098-521-1202 pedidos@biomarsa.com http://www.biomarsa.com/inicio.html	Dispuestos a colaborar
Cerro del Tres 1	-	-	-	-	Las Palmas 316 y La Sexta	0999791564	Poco contenido de zeolita no está comercializando.
Zeonat S.A.*	-	-	-	-	Colinas Alborada Intersección 765	04-6005153 0998365238 zeolitaecuador@gmail.com intnetmar@gmail.com	Explotación y Procesamiento de ZEOLITAS NATURALES
Georgy*	-	-	-	-	Manuel Vega 1090 y M Lamar	-	Titular: Sánchez Neira Jorge Teodoro

*Nota: *No constan en los registros de ARCOM o SUPERCIAS*

En la Tabla III, se da la información detallada de contacto de las secciones investigadas, se reporta que de las 21 secciones, solo 8 se mantiene comercializando este mineral para el sector acuícola (específicamente camaroneras), agrícola y/o ganadero, y de estas solo una está iniciando la comercialización para el sector de la construcción, información de importancia ya que en el libro “Las Zeolitas Naturales de Iberoamérica” de Costafreda et al., se presenta poca información sobre el Ecuador (Costafreda et al., 2018), siendo este un país de riqueza mineral importante como lo reporta en el artículo de alternativas geoturísticas en Guayaquil (Carrión-Mero et al., 2019).

Caracterización Geométrica

Las muestras ZC y ZR se obtienen directamente en una mina (Fig. 4), la ZC se obtuvo del Estrato 2 de los 3 estratos presentes en la mina y la ZR en la base.

-Las ZC fueron rocas de color café que presentaron formas amorfas con aristas

irregulares, poca oxidación en la parte superficial expuesta al ambiente, la estructura interna presentó varias capas la cual al aplicar una fuerza externa se separan fácilmente y además se observó la presencia de humedad en su interior.

-La ZR fueron rocas color rojizo de la misma mina, estas se encontraron fuera de los estratos anteriores, sus características es que son rocas amorfas con aristas irregulares y filosas, oxidación visible en la parte superficial expuesta al ambiente y son más compactas en relación a ZC.

Fig. 4. Secciones de la mina donde se obtuvo la muestra ZC y ZR



El proceso de molido presenta resultados diferentes para cada muestra a pesar de ser recolectadas en el mismo sitio, tienen características de abrasión diferentes, los resultados de tamizar el material obtenido de

la molida en la MAA presentados en la Tabla IV determinan que la ZR presenta mayor dureza en relación a ZC, esto se debe a que se reduce de tamaños las rocas ZC y solo se provoca abrasión en las rocas ZR.

Tabla IV. Tamizado del material obtenido en la masa.

Tamiz # dimensión (mm)	3/8 (> 9.5)	4 4.75-9.5	10 2-4.75	200 > 75 μ m	Fuente	Total
ZR (g)	0	2988.9	0	3115.2	1103.7	7207.8
ZC (g)	0	332.2	3788.1	7136.4	1022.7	12279.4

La masa de la fuente de la Tabla IV representa el 15 % y 8% para ZR y ZC respectivamente, evidencian que el proceso de abrasión para ZR da una cantidad considerable de material fino, pero la mayoría de material se mantiene en dimensiones mayores a 4mm. A pesar de que ZR resulta ser más dura presenta mayor material con dimensiones menores a 75 μ m (1103.7 g), ya que el objetivo adicional de este proceso es obtener zeolitas de dimensiones similares al cemento Portland, para usarla

como MCS en otras investigaciones.

La Tabla V indica las variables de tamaño, tiempo y masa de cada grupo que fue molido en el MTB, y el porcentaje que pasa el tamiz 200 después del proceso de tamizado. La caracterización geométrica en el MTB nos permitió obtener una relación eficiente entre las variables para conseguir la mayor cantidad de material con dimensiones deseadas (menos de 75 μ m), así para la ZC es linealmente creciente por lo que es mejor moler mayor

tiempo (ZC-8 y ZC-5) y para ZR el mayor porcentaje se obtiene con tiempos menores (ZR-2, ZR-4, ZR-6 y ZR-8).

Tabla V. Características para en mtb y porcentaje de granulometría de interés

Grupos	Tamaño (mm)	Masa (g)	Tiempo (min)	% Pasa tamiz N°200
ZC-1	4,75 - 9,5	300	10	14,84%
ZC-2	4,75 - 9,5	300	10+10=20	19,95%
ZC-3	2,00 - 4,75	300	20	20,35%
ZC-4	2,00 - 4,75	300	20+20=40	25,70%
ZC-5	2,00 - 4,75	300	40+20=60	34,87%
ZC-6	2,00 - 4,75	2000	20	2,56%
ZC-7	2,00 - 4,75	2000	20+20=40	6,59%
ZC-8	2,00 - 4,75	2000	40+80=120	19,98%
ZC-9	2,00 - 4,75	1000	120	33,36%
ZR-1	4,75 - 9,5	300	40	8,67%
ZR-2	4,75 - 9,5	1000	40	19,90%
ZR-3	4,75 - 9,5	1000	60	13,67%
ZR-4	2,00 - 4,75	300	40	35,94%
ZR-5	2,00 - 4,75	300	60	12,27%
ZR-6	> 0,075	300	40	28,22%
ZR-7	> 0,075	300	60	13,50%
ZR-8	> 0,075	1000	60	5,35%
ZR-9	> 0,075	1000	120	2,82%

en la cordillera, además tomar en cuenta que hay secciones que no revelaron el área concesionada y esto incrementa las casi 1500 ha, que no están siendo aprovechadas, ya que solo 8 de las 21 secciones están explotando para comercializar zeolitas en el sector agrícola, ganadero y camaronero en su mayoría, por lo cual es importante implementar políticas de estado que regulen de mejor manera los recursos minerales del país para aprovechar las zeolitas naturales.

La información obtenida en este estudio, detalla las características de cada sección que pueden ser consideradas para obtener zeolitas y el mapa donde se indica con claridad las secciones según su geografía. Las muestras ZR y ZC pueden usarse para sustituir parcialmente el cemento, ya que la actividad puzolánica de las zeolitas se mantiene y al reducir el tamaño tendrá mayor área específica para formar mortero o pastas con la ZC.

IV. CONCLUSIONES

Las zeolitas naturales son materiales prominentes en la actualidad y de un campo muy amplio de aplicaciones, al contar con una considerable cantidad en la geografía Ecuatoriana se debe aunar esfuerzos para aprovecharlas de la manera más beneficiosa para el país y el medio ambiente.

La investigación de campo realizada evidenció que la explotación de zeolitas la hacen empresas que tienen como actividad principal la explotación de cal, por lo que no es una prioridad implementar mejorar o usos más potenciales de las zeolitas presentes

V. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación agradece al soporte financiero a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato con el proyecto de investigación “Estudio de las propiedades físicas y morfológicas de aluminosilicatos para reemplazo parcial del cemento portland en el concreto estructural” aprobado mediante Resolución CONIN-P-200-2019, código PFICM020.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCOM (2018). Agencia de Regulación y Control Minero. Retrieved Febrero, 23, 2018.
- ASTM C131 International (2014). Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C702 International (2018). Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size.
- ASTM C136 International (2014). Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.
- Bilbao Chávez, M. C., Campos Pimentel, M., Villalba, M. de L., Colmenero Sujo, L. H., & Espino Valdés, M. S. (2018). Remoción de arsénico en agua mediante zeolita natural proveniente del Estado de Chihuahua, México. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 4(13), 6.
- Bish, D. L., & Ming, D. W. (1955). *Natural Zeolites: occurrence, properties, applications* (Vol. 45).
- Calderón, C., Levio-Raiman, M., & Diez, M. C. (2021). Cadmium removal for marine food application: Comparative study of different adsorbents. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-14.
- Costafreda Mustelier, J.L., Martín Sánchez, Domingo A., & Costafreda Velázquez, J. (2018). *Las Zeolitas Naturales de Iberoamérica*. Madrid: Fundacion Gomez Pardo.
- Calvo, B., Canoira, L., Morante, F., Martínez-Bedia, J. M., Vinagre, C., García-González, J. E., & Alcantara, R. (2009). Continuous elimination of Pb²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, H⁺ and NH₄⁺ from acidic waters by ionic exchange on natural zeolites. *Journal of hazardous materials*, 166(2-3), 619-627.
- Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., & Apolo-Masache, B. (2020). Evaluation of geosites as an alternative for geotouristic development in Guayaquil, Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 241, 45-56.
- Cornejo, M. H., Elsen, J., Paredes, C., & Baykara, H. (2014). Thermomechanical treatment of two Ecuadorian zeolite-rich tuffs and their potential usage as supplementary cementitious materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(1), 309-321.
- Coello-Fiallos, D. C., Espin-Lagos, S. M., Vacacela Gomez, C., Tavolaro, A., & Caputi, L. S. (2018). Comparison of pure membranes of 13X and 5A zeolite for removal of acridine orange dye from aqueous solutions. *Periodico Tche Quimica*, 15(29), 251-256.
- Carballo, F., Pérez, B. C., & López, L. C. (1994). *Las zeolitas de la costa de Ecuador (Guayaquil): geología, caracterización y aplicaciones*.
- Cronstedt, A. F. (1758). *Försök til mineralogie*,

- eller mineral-rikets uppställning. Suiza.
- Canales, M., & Chwastyk, M. W. (2019). El palpitante cinturón de fuego. *National geographic*, (10), 30-35.
- Damtoft, J. S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D., & Gartner, E. M. (2008). Sustainable development and climate change initiatives. *Cement and Concrete Research*, 38(2), 115–127.
- Englert, A. H., & Rubio, J. (2005). Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite. *International Journal of Mineral Processing*, 75(1-2), 21-29.
- FICEM, (2013). *Federación Interamericana del Cemento, Informe Estadístico 2013*.
- Guevara Gavilanes, A. F. (2002). “Explotación de Zeolitas a Cielo Abierto” Referencia: Concesión Minera El Refugio. Bachelor’s thesis, Guayaquil. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- Machiels, L. (2010). *La Roca Mágica-Zeolite occurrence and genesis in the Late Cretaceous Cayo arc of Coastal Ecuador*. Doctoral’s thesis, Belgica. Katholieke Universiteit Leuven.
- Machiels, L., Garces, D., Snellings, R., Vilema, W., Morante, F., Paredes, C., & Elsen, J. (2014). Zeolite occurrence and genesis in the Late-Cretaceous Cayo arc of Coastal Ecuador: Evidence for zeolite formation in cooling marine pyroclastic flow deposits. *Applied Clay Science*, 87, 108-119.
- Machiels, L., Morante, F., Snellings, R., Elsen, J., & Paredes, C. (2006). Quantitative mineralogy and genetic history of the natural zeolite deposits of coastal Ecuador. In *Book of Abstracts* (p. 166).
- Machiels, L., Morante, F., Snellings, R., Calvo, B., Canoira, L., Paredes, C., & Elsen, J. (2008). Zeolite mineralogy of the Cayo formation in Guayaquil, Ecuador. *Applied clay science*, 42(1-2), 180-188.
- Machiels, L., Snellings, R., Morante, F., Elsen, J., & Paredes, C. (2006). Mineralogía Cuantitativa de los Depósitos de Zeolitas en la Costa del Ecuador. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 19(1).
- Molinari, A., Mayacela Rojas, C. M., Beneduci, A., Tavolaro, A., Rivera Velasquez, M. F., & Fallico, C. (2018). Adsorption performance analysis of alternative reactive media for remediation of aquifers affected by heavy metal contamination. *International journal of environmental research and public health*, 15(5), 980.
- Morante Carballo, F. E. (2004). *Las Zeolitas De La Costa De Ecuador (Guayaquil): Geología , Caracterización y Aplicaciones*. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Morante, F., Garcés, D., Machiels, L., Mina, A., & Noriega, R. (2013). *Metodología de Investigación para la Prospección de Yacimientos de Zeolitas Naturales de Origen Vulcano Sedimentarios. Técnicas Aplicadas a La Caracterización*

- y Aprovechamiento de Recursos Geológico-Mineros, 31(643), 13.
- Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., & Espinoza-Santos, N. (2021). Cation exchange of natural zeolites: Worldwide research. *Sustainability*, 13(14), 7751.
- Novo Fernández, R., & Costafreda Mustelier, J. L. (2018). Las zeolitas naturales de México. In *Las zeolitas naturales de Iberoamérica* (pp. 280–321).
- Raggiotti, B. B., Positieri, M. J., Locati, F., Murra, J., & Marfil, S. (2015). Zeolite, study of aptitude as a natural pozzolan applied to structural concrete. *Revista de La Construcción*, 14(2), 14–20.
- Salcedo Rivera, V. E., & Coello-Fiallos, D.C. (2021). Estudio de las propiedades físicas de zeolita natural (aluminosilicato) de tipo clinoptilolita para remplazo parcial del cemento portland (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil).
- Sánchez, C., Lucas, N., & Rivadeneira, J. (2017). Levantamiento Geológico ESPOLCampusGustavoGalindo. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12806.27208>
- Sanjuan Barbudo, M. A., & Chinchón Yepes, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland. Universidad de Alicante.
- SUPERCIAS (2016). Superintendencia de compañías, valores y seguros. Resolución No. 97.1. 7.3. 0011, Doctrina, 65. Quito.
- Tubon Usca, G., Vacacela Gómez, C., Guevara, M., Tene, T., Hernández, J., Molina, R., & Caputi, L. S. (2019). Zeolite-assisted shear exfoliation of graphite into few-layer graphene. *Crystals*, 9(8), 377.
- Vizcaino Ramon, B. E. (1998). Identificación y Caracterización de la Zeolita Natural Tipo Clinoptilolita. In *Universidad Autónoma de Nueva León* (Vol. 1, Issue 071116072).
- Yanchaguano Toapanta, D. V., & Coello-Fiallos, D.C. (2021). Análisis de aluminosilicatos como material de sustitución parcial del cemento tipo GU en la construcción (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil).