



Ingeniería

ISSN: 1665-529X

ISSN: 2448-8364

ingenieria@correo.uady.mx

Universidad Autónoma de Yucatán

México

Díaz, María E.; Campos, Ricardo; Zamora, Sergio A.; Salgado, Rolando  
Cuantificación experimental del contenido masivo de SiO<sub>2</sub> en depósitos eólicos  
de arena en una región de la cuenca del río Papaloapan, Veracruz, México  
Ingeniería, vol. 22, núm. 1, 2018, Enero-, pp. 9-18  
Universidad Autónoma de Yucatán  
Mérida, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46757993003>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

[redalyc.org](http://redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

# Cuantificación experimental del contenido masivo de SiO<sub>2</sub> en depósitos eólicos de arena en una región de la cuenca del río Papaloapan, Veracruz, México

María E. Díaz<sup>1,\*</sup>, Ricardo Campos,<sup>1</sup> Sergio A. Zamora<sup>1</sup>, Rolando Salgado<sup>1</sup>

*Fecha de recepción: 1 de marzo de 2017 – Fecha de aprobación: 16 de febrero de 2018*

## RESUMEN

El dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) es una materia prima utilizada en la industria de la transformación entre ellos la fabricación de concretos, vidrios, aditivo en cerámicas, sellos industriales, aleaciones del acero, etc. En este artículo se presenta una metodología de análisis físico y químico para obtener la cantidad de sílice de los depósitos eólicos ubicados en la región de la cuenca del Papaloapan, Veracruz. Entre las técnicas empleadas está la difracción de Rayos X (difractómetro), granulometrías y módulo de finura. Se realiza un análisis de las áreas explotables como bancos de materiales y su posible impacto en el desarrollo de la zonas rurales y municipales. El material se clasifica según el SUCS como SP con alto contenido de sílice y mineral de cuarzo aproximadamente de 80 a 90%, las partículas son de forma angular y subangular, contiene también ferro magnesianos e impurezas como óxido de hierro, feldespatos y vidrio volcánico.

**Palabras clave:** arena, sílice, industria, transformación.

## Experimental quantification of the massive content of SiO<sub>2</sub> in sand wind deposits in a region of the Papaloapan river basin, Veracruz, México.

### ABSTRACT

Silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) is a raw material used in the processing industry including the manufacture of concrete, glass, additive in ceramics, industrial seals, steel alloys, etc. This article presents a methodology of physical and chemical analysis to obtain the silica quantity of the wind deposits located in the region of the Papaloapan basin, Veracruz. Among the techniques used is X-ray diffraction (diffractometer), particle size and fineness module. An analysis is made of the exploitable areas such as material banks and their possible impact on the development of rural and municipal areas. The material is classified according to the SUCS as SP with high content of silica and quartz mineral approximately 80 to 90%, the particles are angular and subangular, it also contains ferro magnesians and impurities such as iron oxide, feldspars and volcanic glass.

**Keywords:** sand, silica, industry, transformation.

### INTRODUCCIÓN

El dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) es un material utilizado en la fabricación de diversos productos, su materia prima la encontramos en la arena sílica y su uso frecuente se tiene en pisos epóxico, sandblast, filtros, canchas de

pasto sintético, canchas de vóleybol, impermeabilizante y se aplicación como medio granular filtrante en plantas de tratamiento. En la Ingeniería de vías terrestres se ha utilizado como producto estabilizador de suelos de desplante de las carreteras de consistencia

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Civil Universidad Veracruzana Región Veracruz, Av. Ruiz Cortines S/n Boca del Río Ver, México.

\*Autor de correspondencia: ediaz@uv.mx

**Nota:** Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 22, No. 1, 2018, ISSN: 2448-8364.

blanda aumentando la capacidad estructural medidos en el ensaye de CBR (Valor Soporte California) donde se considera un método viable para tratar el suelo arcilloso blando poco profundo para soportar el terraplén de la carretera (Seyed y Karamvand, 2017). Entre las aplicaciones en la cerámica, se ha observado que los polvos de forasterita producto del óxido de magnesio (MgO) y de la sílice amorfa (SiO<sub>2</sub>) incrementa la dureza (Nurbaiti 2017). En ramo de la joyería donde se realizan estudios partiendo de la materia prima natural, arena de sílice, se desarrolló un nuevo revestimiento, compuesto de 68% de arena y 32% de yeso, con adición de 50% de agua y estabilizado térmicamente a 350 °C, a través de la caracterización física-térmica y de pruebas de micro fundición se ha demostrado que el revestimiento es potencialmente apto para la fabricación de joyas con esmeraldas pre-engastadas, dada su capacidad para contener adecuadamente el metal durante el proceso y reproducir la geometría y los detalles del modelo en cera (Londono 2017). En los aceros hay estudios donde la arena sílica mejora las propiedades tribológicas (fricción, el desgaste y la lubricación) de las pastillas de freno (Lazima 2016). En medicina, los tratamientos contra el cáncer se obtuvieron dos tipos de nanopartículas de sílice, porosas y no porosas y con diferentes modificaciones químicas se demostró ser superior en comparación con la formulación de temoporfin (Brezániová 2017); se tiene investigaciones sobre la prevención de enfermedades en la salud ocupacional en la exposición a la arena de sílice (Arias 2017). Se han llevado a cabo estudios de la morfología y fracturamiento de los granos de la arena sílica, de los resultados de las simulaciones se produce un aumento en la rigidez macroscópica de pequeña deformación, lo que contribuye a lo que a menudo se denomina envejecimiento de la arena (Wang y Michalowski, 2015). La arena sílice se ha aplicado a experimentos para observar los coeficientes de fricción y el desgaste de las pastillas de freno (MatLazim et al., 2016). De las arenas sílicas se extrae la sílice donde se tiene el antecedente de producción en los Estados Unidos, Reino Unido, Francia y Canadá utilizándolas en diferentes procesos industriales, para ello,

debido a la cantidad de impurezas que presentan es necesario realizar su análisis para su uso industrial (Srdjan M. Bulatovic, 2015). A su vez, se ha utilizado en combinación con fibras de polipropileno en experimentos de columnas resonantes llevadas a las fallas (propiedades dinámicas), donde se varió los porcentajes de arena sílice bien graduada y la fibra desarrollando una fórmula que correlaciona la rigidez con la presión (Li y Senetakis, 2017). El terreno de interés en este estudio se localiza en la zona costera del estado de Veracruz, que es parte de la extensa región de depósitos sedimentarios producto de la interacción de los aportes fluviales dentro de la cuenca del río Papaloapan, las aguas del golfo de México y los vientos y oleajes predominantes. Es zona ganadera y se ha visto incrementado en los últimos años con una actividad relacionada con el acarreo de arena extraída y colocada en los acotamientos de la carretera, la cual es transportada mediante camiones de carga de grandes volúmenes a otros lugares, debido a esto es de interés conocer el contenido de este material para saber sus posibles usos en la industria. De acuerdo con el artículo quinto de la ley minera vigente este recurso mineral no es concesible, siendo el propietario del terreno el único beneficiario de este recurso. Su existencia es reciente por lo que se trata de formaciones de la era cuaternaria, especialmente del pleistoceno (Longwell y Flint, 1974). Donde el predominio de los minerales sílicos es patente por la evidencia que representan sus propiedades físicas de primer contacto, como son su dureza en la escala de Mohs, su peso específico, color, ralladura, clivaje, y fractura entre otras. Sin embargo, tiene adiciones de cloruros carbonatos, sulfatos y calcio de origen orgánico, debido al tratamiento complejo del medio marino en el pasado geológico. Su atacabilidad para su explotación es favorable debido a que es un depósito suelto de sedimentos gruesos según su distribución granulométrica.

El objetivo de la presente investigación es proporcionar la técnica de análisis de muestreo y ensayos de laboratorio necesarios para la obtención del contenido de sílice en los depósitos eólicos ubicados en la región de la

cuenca del Papaloapan, Veracruz para verificar su uso en las industrias en general y así obtener la distribución granulométrica de tamaños de granos de la arena, los porcentajes de arena y finos contenidos en el suelo a explorar, para determinar si el volumen y la calidad de los depósitos eólicos de arena sílice en el municipio de Alvarado, Veracruz pueden ser utilizados en alguna de las industrias que utiliza este mineral como materia prima, como en la industria del vidrio, en la producción de pastas abrasivas, en la de fundición, siendo esta investigación un ejemplo sencillo para calificar la calidad productiva de una formación geológica de acuerdo al producto de interés.

### **METODOLOGÍA**

La metodología consistió en que primero se obtuvieron las muestras alteradas en el Sitio Experimental, para posteriormente realizar los estudios correspondientes en el laboratorio.

### **Sitio Experimental**

El terreno de interés se localiza mediante dos líneas rectas, una, con longitud de 23 km hacia

el puerto de Alvarado, con Rumbo: S 65° E, y la otra, de 9 km hacia la cabecera municipal de Lerdo de Tejada, con Rumbo: N 30° W, en el estado de Veracruz. Y se extiende desde la línea de costa hasta la carretera federal No. 180, la cual comunica con los principales centros de beneficio, distribución y consumo igualmente cuenta con energía eléctrica y agua (Figura 1). Se realizaron sondeos ubicándolos con un posicionador GPS Garmin 12XL, brújula tipo brunton y cinta de lienzo, para aplicar el método de líneas paralelas para estimar el potencial del predio, se realizaron 3 compósitos (Figura 2), para determinar las propiedades índice básicas: contenido de agua, peso específico relativo de los sólidos y peso volumétrico, y con ellas, las relaciones gravimétricas y volumétricas para cuantificar, con auxilio de los ensayos mineralógicos, las 3 tomas de muestras se obtuvieron con métodos manuales, a los cuales se les asignó una nomenclatura y representación por ubicación, Pt1, Pt2 y Pt3 (Figura 3) que en total cubren 200 hectáreas.



Figura 1. Localización de sitio experimental.



Figura 2. Fotografía del sitio donde se tomaron las muestras experimentales.

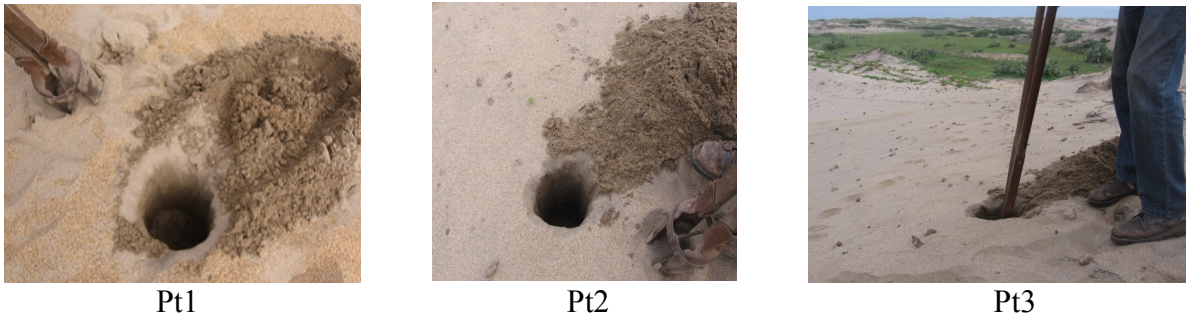


Figura 3. Toma de muestras.

Los muestreos fueron realizados con muestras alterada, los primeros dos pozos predios (Pt-1 y Pt-2) y sus correspondientes sondeos se encuentran cerca a la playa mientras que Pt-3 se encuentra cercana a la línea de carretera a tres y medio kilómetros de la playa.

**RESULTADOS**

En el Análisis de la distribución de tamaños de granos se encontró en Pt-1 arena muy fina de color café claro con tintes de color naranja, en el Pt-2 fue similar el Pt-1 y en el Pt-3 la arena de esta sección era más rojiza que las anteriores y la presencia de finos se notaba más físicamente que en las muestras anteriores. Los resultados coinciden con la humedad que presentan las arenas en su estado natural y característica de ellas, se realizó la granulometría del suelo ensayado para que perdiera sus finos dando como resultado del

lavado y secado en horno por 24 horas. En la Figura 4 se muestran las curvas granulométricas de cada muestra ensayada. Partiendo de las curvas granulométricas se tiene un coeficiente de Uniformidad (Cu) entre 1.47 a 1.80 que para arenas debe ser mayor que 6; para el caso del Coeficiente de Curvatura (Cc) oscilo entre 0.94 a 0.98 siendo para arenas entre 1 y 3, con estos resultados de Cu y Cc, en cuanto a los porcentajes de finos se tiene un rango entre 1.6 a 3.2%. Con estos resultados obtenidos según el criterio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se tiene una arena mal graduada clasificada como SP, el tamaño de grano predominante en las 3 muestras es de 0.15 0.25 mm, la humedad natural 4.9%. En cuanto a los módulos de finura (AFS) para pt1 es de 48.09, para pt2 de 48.66 y para pt3 de 52.59.

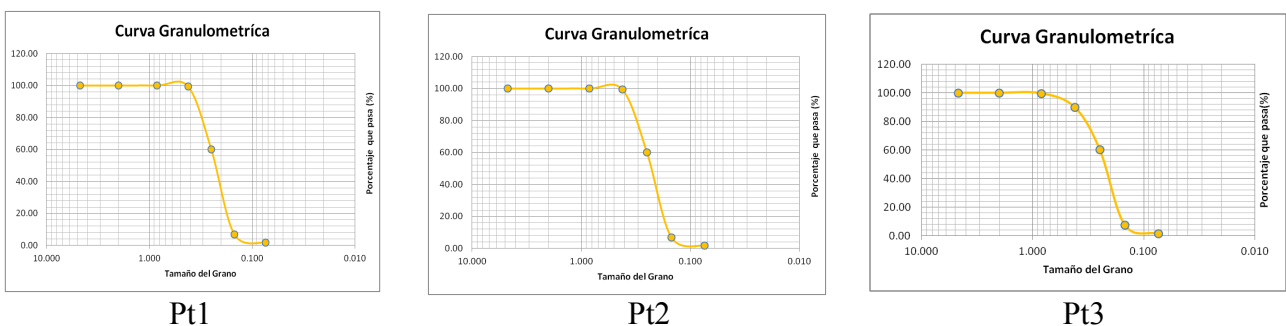


Figura 4. Gráficas granulométricas.

En los Análisis químicos, se contó con un equipo Difractómetro (fig 5) del Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología MICRONA, de la Universidad Veracruzana región Veracruz. El equipo tiene las características de este son las siguientes: es un bruker d8-advance con espejo göebel (muestras

no planas) con cámara de alta temperatura (hasta 900°C), con un generador de rayos-x Kristalloflex K 760-80F (Potencia: 3000W, Tensión: 20-60KV y Corriente: 5-80mA) y un Seifert modelo Jso-Debyeflex 2002 que está provisto de un cátodo de cobre y un filtro de níquel desde el ordenador se controlan las

condiciones de medida obteniéndose así el difractograma. Se dispone además de una base de datos JCPDS.



Figura 5. Fotografía del difractómetro.

En la Figura 6 se muestran los resultados del Difractómetro donde se refleja los minerales que contiene las muestras analizadas, se observa el predominio de Sílice y cuarzos.

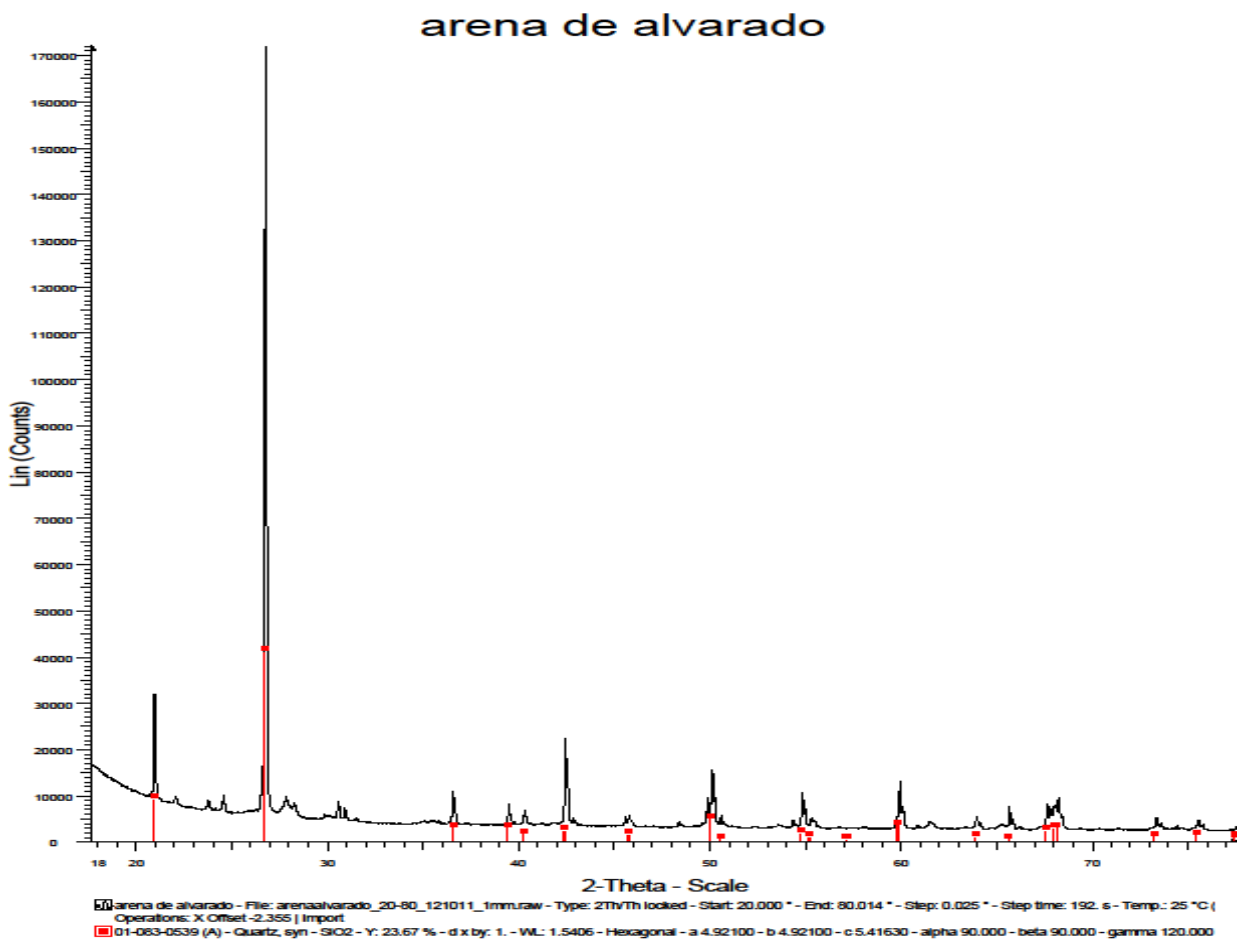


Figura 6. Resultados de la difracción de rayos X.

Contenido de Sílice de los materiales analizados se obtuvieron mediante este procedimiento nos indica que la arena tiene 88.2% de sílice, también observamos la forma del grano que fue angular y subangular, se puede obtener el potencial geológico minero en situ de arena la cual es de arena sílice, para la

su comercialización. En pequeñas proporciones promedio de los minerales de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) de 5.87%, óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) de 2.43%, oxido de potacio ( $K_2O$ ) de 1.20%, óxido de sodio ( $Na_2O$ ) de 1.33%, oxido de magnesio ( $MgO$ ) de 0.67%, óxido de calcio ( $CaO$ ) de 1.67% (Tabla 1).

Tabla 1: Resultados mineralógicos de las muestras ensayadas.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO
Pt1	89.2	4.5	2.6	0.8	1.0	0.6	1.2
Pt2	88.5	7.8	2.8	1.3	1.8	0.9	1.7
Pt3	87.1	5.3	1.9	1.5	1.2	0.5	2.1

La forma de los granos de la arena sílice analizada es angular y subangular para las muestras en Pt-1, en el caso de Pt-2 redondeado y subredondeado y para Pt-3 de angular a subangulosa.

Se analizaron las áreas de mayor concentración de arena sílice, En la zona experimental de una superficie de 781,400 m<sup>2</sup> según información de estudios topográficos realizados, se dividió en diferentes zonas donde se detectaron diferentes cantidades de arena sílice y se dividió en zonas y es como sigue: Zona 1 con una superficie de

115700 m<sup>2</sup> con un porcentaje de arena sílica del 88.2% promedio, Zona 2 de 169990 m<sup>2</sup> con un porcentaje de 30.0%, Zona 3 de 320910 m<sup>2</sup> de 10.0% y finalmente, Zona 4 de 174800 m<sup>2</sup> de contenido de arena sílica del 6.8%. En la Figura 7 y Tabla 2 se muestran el esquema de cada zona detectada, donde se muestran áreas aproximadas ubicadas por los sondeos de exploración realizados. El perímetro de explotación es de aproximadamente 30 km que abarca desde los municipios de Alvarado y Lerdo de Tejada Veracruz.

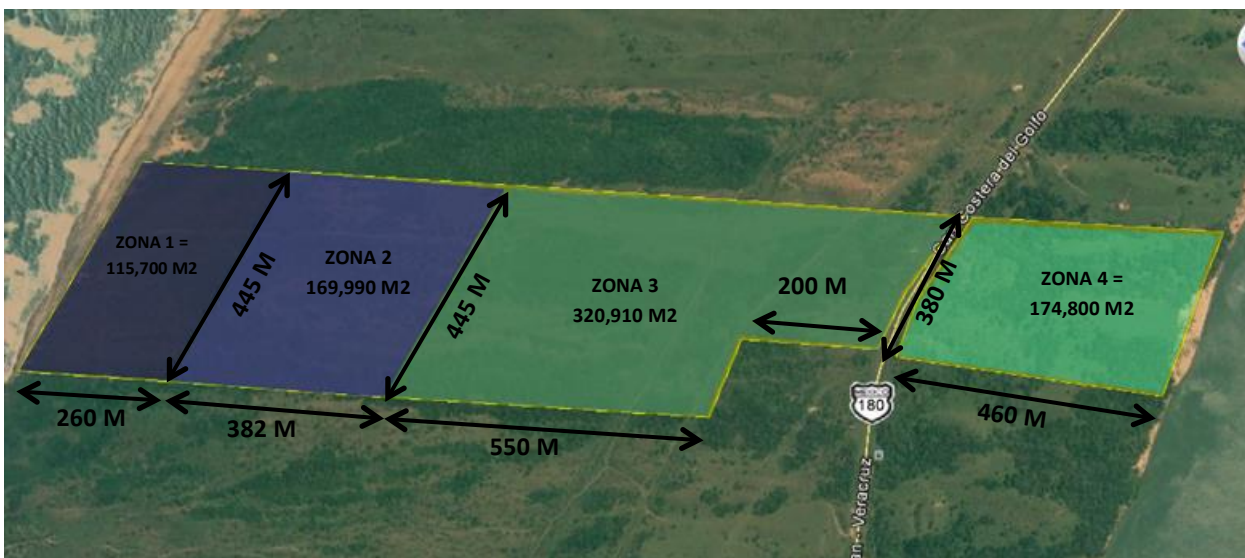


Figura 7. Áreas de explotación de arena sílice.

Tabla 2: Porcentajes de arena sílice en las zonas de explotación

ZONA DE EXPLOTACIÓN	ÁREA DE EXPLOTACIÓN (m <sup>2</sup> )	SONDEOS DE EXPLORACIÓN REALIZADOS (PCA)	PORCENTAJE PROMEDIO DE ARENA SÍLICA (%)
Zona 1	115, 700	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 y 19	88.2
Zona 2	169, 990	11, 13, 14 y 15	30.0
Zona 3	320, 910	16, 17, 18 y 20	10.0
Zona 4	174, 800	21 y 22	6.8

Por los estudios realizados, se detectó un área de mayor concentración de arena Sílica correspondiente en la Zona 1 que se muestra en la Figura 7. En esta Zona se detectó áreas comprendidas en lomas que superan hasta los 5 m de altura. Por los estudios realizados, a nivel de mar se tiene un espesor de explotación de 1.50 m, en este caso, en el área 1 se tiene una elevación de 2.0 m dando un total de espesor explotable de 3.50 m; en el área 2 se tiene una elevación aproximada de 5.0 m dando un espesor de 6.50 m; en el área 3 se tiene una

elevación de 3.0 m dando un espesor de 4.50 m y finalmente en el área 4 se consideró un espesor explotable de 1.50 m. En la Tabla 3 se muestran en resumen los espesores explotables dando un volumen de 336,480 m<sup>3</sup>, donde el 88.2% representa la arena sílice dando un volumen de 255,724.8 m<sup>3</sup>. Teniendo un peso volumétrico de la arena Sílice de 1.55 t/m<sup>3</sup>, teniendo 396,373.44 toneladas. En camiones de volteo de capacidad de 7m<sup>3</sup>, se tendrían 36,532 camiones.

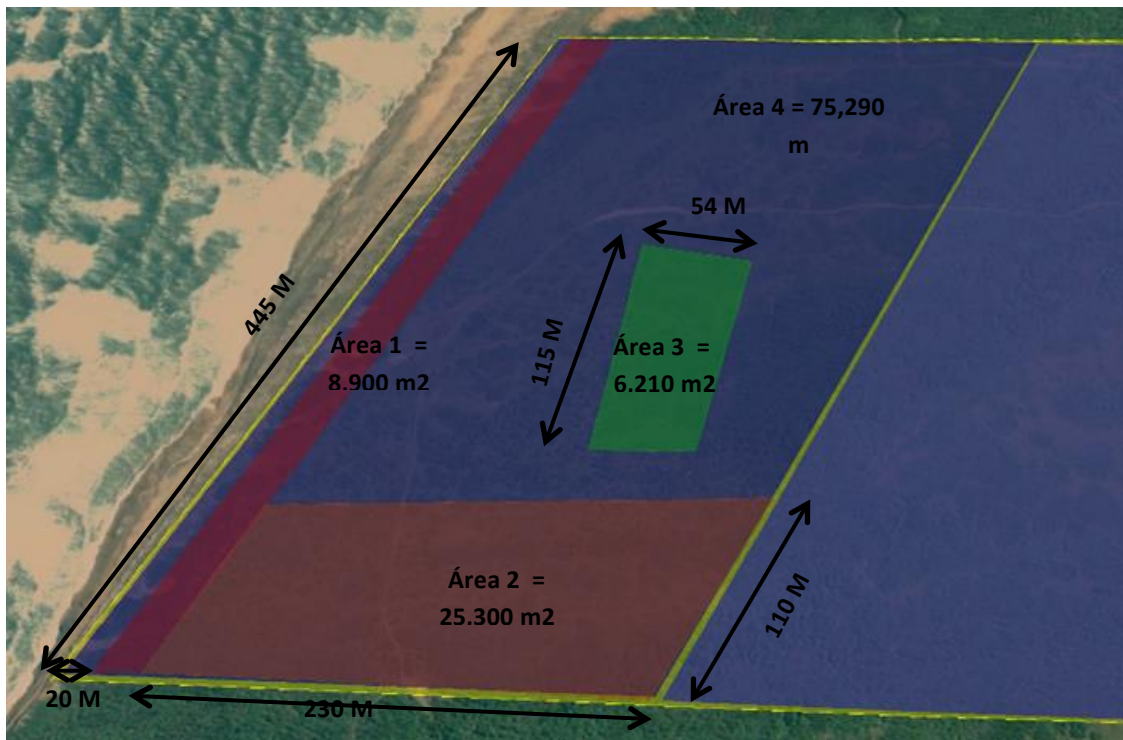


Figura 8. Visualización de la zona de mayor explotación, donde se ubican lomas y cerros con alto contenido de arena sílice.

Tabla 3: Zona 1 donde se tiene la mayor concentración de arena Sílica del 88.2%

<b>ZONA 1 DE EXPLOTACIÓN</b>	<b>ÁREA DE EXPLOTACIÓN (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ESPESOR EXPLOTABLE</b>	<b>VOLUMEN EXPLOTABLE (M<sup>3</sup>)</b>
Área 1	8900	3.50	31150
Área 2	25300	6.50	164450
Área 3	6210	4.50	27945
Área 4	75290	1.50	112935

Las mayores concentraciones de arena sílice es la zona del litoral, comprendida entre la línea costera al predio de 200 m aproximadamente teniendo un 88.2% de arena Sílica en su contenido. Para las mejoras de las características de la arena sílice sería eliminar los pequeños fragmentos de roca y ferromagnesianos aplicando el proceso de lavado o flotación. Donde se recomienda instalar un sistema para el tratamiento del mineral que incluya lavado, clasificación y secado de la arena (tromel y horno) para obtener un producto de mayor calidad.

Se puede explotar el banco de materiales, con un cribado de arena de manera manual y directamente en secciones del predio, se contempla una producción probable de 35 ton al día, esto aplicable en la zona de mayor concentración de arena Sílica (Zona 1) y datos proporcionados por las personas que han explotado banco de arenas sílica cercanos al predio.

En el mercado, la arena sílica se vende en varias presentaciones que van desde a granel (o greña) que presenta un bajo costo (por camiones de volteo de 7 m<sup>3</sup>) utilizada en la industria de la construcción. También tiene mercado en industrias mediante un procedimiento especial de mejoramiento de las características ya sea a granel o envasada. También se puede vender como materiales de filtros.

Cuando se tiene en el área de estudio la presencia de marea alta o los Nortes, la acción mecánica de las olas aporta hacia la costa mayor cantidad de arena Sílica incrementando

eventualmente de esta forma las reservas de este mineral.

### **CONCLUSIONES**

De acuerdo con la información de las pruebas mineralógicas y químicas se consideró un valor promedio del contenido de SiO<sub>2</sub>, del 88.2 % en la estructura sólida del suelo. Si la exigencia del producto es muy elevada, según el tipo de proceso industrial, es posible purificar el producto de la veta respecto al contenido de SiO<sub>2</sub> mediante diversos métodos de naturaleza física y química que escapan al contenido de este artículo. Pero que su empleo dependerá de la industria de que se trate. Por ejemplo, en la industria del cemento se requiere de un 14 a 15 % de sílice en la elaboración del clinker.

Además, recordemos que las artesanías, cuya producción es sumamente importante en nuestro país, no requieren de vidrios de gran pureza estructural ni de propiedades físicas especiales, para crear esculturas y aplicaciones artísticas que aprovechan la diversidad de coloraciones que producen en los vidrios de baja calidad las impurezas minerales que en el caso del material en estudio es de un 11.80 %. Por último, con este trabajo se propone un procedimiento sencillo, en la determinación de contenidos de mineral, mediante procedimientos físicos y procedimientos de ingeniería práctica como lo es el proceso de lavado directo con agua y cribado selectivo del producto extraído de la mina.

Los depósitos de arena sílice son parte importante del desarrollo de las comunidades aledañas y pueden contribuir en el desarrollo de la industria de la transformación. Es necesario realizar análisis como los que presenta este

artículo y ver su factibilidad de uso en la industria.

## REFERENCIAS

BrezániováIngrida ZárubaKamila KrálováJarmilab SinicaAllaa AdámkováHanaa UlbrichPavele PoučkováPavlad HrubýMartine ŠtěpánekPetre KrálVladimíraf. *Photodiagnosis and Photodynamic Thera*  
<https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2017.12.014>

Casagrande A., Fadum R.E. (1940). "Notes on Soil Testing for Engineering Purposes", Harvard Graduate School of Engineering Soil Mechanics Series, No. 8.

Cepeda, J.M. (1999). "Química de Suelos". Editorial Trillas, primera reimpresión. México. Secretaria de Economía, Coordinación General de Minería  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/5552/pm\\_silice\\_2014.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/5552/pm_silice_2014.pdf)

Cesar A. Arias-Mendoza , Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador  
Pol. Con. (Edición núm. 9) Vol. 2, No 8, Agosto. 2017, pp. 1298-1310, ISSN: 2550 - 682X  
DOI: 10.23857/casedelpo.2017.2.8.agos. 491-501

Ellis W. J. (1971). "Ingeniería de Materiales". Versión autorizada de la versión original. Gran Bretaña.

Fitz E.A. (1984). "Suelos", C.E.C.S.A., primera edición,. Madrid, España.

Haiwen Li y Kostas Senetakis. 2017. *Dynamic properties of polypropylene fibre-reinforced silica quarry sand. Soil Dynamics and Earthquake Engineering.*( 2017,) Pages 224-232.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726117301872>

Lambe T.W., Whitman R.V. (1972). "Mecánica de Suelos" parte II. Editorial Limusa Wiley, S.A. México.

Londoño M.C., Fernández T.M. y Córdoba T.E, *Desarrollo de revestimientos de sílice para el proceso de microfundición de joyería con pre-engaste de esmeraldas*  
Bol.Soc.Esp.Cerám.Vidr.(2017)  
<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2017.07.001>

Longwell y Flint. (1974). "Geología Física". Editorial Limusa, Cap. 14. México.

López H.A. (2010). "Exploración y comercialización de la sílice", Concesión Minera No Metálica Santa Rosa 94-1. Actual. Puebla, México.

Mat Lazim, A.R.; M. Kchaou; M.K. AbdulHamid y A.R. AbuBakar. *Squealing characteristics of worn brake pads due to silica sand embedment into their friction layers.* Wear 358–359, 123-136 (2016) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164816300448>

Moraño A.J. (2011) "El caolín y la arena sílicea como materiales de construcción". Disponible en: <http://oa.upm.es/13103/>

Seyed Esmail Mousavi y Aliakbar Karamvand, *Assessment of strength development in stabilized soil with CBR PLUS and silica sand*. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**. 4, 412-421.(2017)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416300708>.

Sowers G.B., Sowers G.F. (1985). "Introducción a la mecánica de Suelos". Editorial Limusa, segunda reimpresión. pág. 42. México.

Srdjan M. Bulatovic, *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*. 3: 121–127. (2015)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444530837000336>

Terzaghi, K, Peck R. B. (1987)." Mecánica de suelos en la ingeniería práctica", Ateneo.

Upik Nurbaiti Darminto Triwikantoro Mochamad Zaimuri Suminar Pratapa. "Synthesis and characteriation of silica sand-derive nano-foresterite" *Ceramics International* .

<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.12.198>

Zhijie Wang Radoslaw L. Michalowski. 2015. *Contact fatigue in silica sand—Observations and modeling*. *Geomechanics for Energy and the Environment*. Volume 4, December 2015, Pages 88-99. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352380815000416>.