



## Utilización de ceniza volcánica en la fabricación de materiales de construcción

*Use of volcanic ash in the manufacture of construction materials*

*Uso de cinzas vulcânicas na fabricação de materiais de construção*

Santiago Nathanael Toapanta-Santacruz <sup>I</sup>

[santiago.toapanta@epoch.edu.ec](mailto:santiago.toapanta@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-4378-3821>

Evelyn Avigail Gamez-Proaño <sup>II</sup>

[evelyn.gamez@epoch.edu.ec](mailto:evelyn.gamez@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-2745-5238>

Nancy Valeria Jimpikit-Wisum <sup>III</sup>

[nancy.jimpikit@epoch.edu.ec](mailto:nancy.jimpikit@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9701-7121>

**Correspondencia:** [santiago.toapanta@epoch.edu.ec](mailto:santiago.toapanta@epoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículos de investigación

\***Recibido:** 20 de agosto de 2021 \***Aceptado:** 15 de septiembre de 2021 \* **Publicado:** 01 de octubre de 2021

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago. Grupo de investigación GIRM.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago. Ingeniería Ambiental
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago. Ingeniería Ambiental.



## Resumen

Nuestro planeta se ve atemorizado por la fuerza natural que hace que los volcanes emitan ceniza a causa de las erupciones, la ceniza no es más que partículas menores a 2mm que son expulsados en grandes cantidades junto con el material piroclástico desde los volcanes en momentos de erupción, este es un fenómeno muy común en más de 400 volcanes que conforman el cinturón de fuego. Sin duda alguna, la ceniza es un contaminante considerado agresivo que no solamente afecta al aire sino también al suelo y agua, razón principal razón para que los expertos busquen una alternativa donde se pueda usar estas cenizas volcánicas para fabricar materiales en el área de construcción. Para ello se realizó una investigación bibliográfica que detalla considerablemente la importancia del uso de la ceniza volcánica como un agregado en la producción de los materiales de construcción como lo es el concreto y la demanda que impulsa a este uso. Así mismo, se ha propuesto al Cemento Portland como uno de los cementos más utilizado por su alta eficiencia en construcciones civiles e industriales.

**Palabras clave:** Volcán; ceniza; materiales de construcción; residuos; resistencia.

## Abstract

Our planet is frightened by the natural force that causes volcanoes to emit ash due to eruptions, the ash is nothing more than particles smaller than 2mm that are expelled in large quantities together with pyroclastic material from volcanoes in moments of eruption. This is a very common phenomenon in more than 400 volcanoes that make up the fire belt. Without a doubt, ash is considered an aggressive pollutant that not only affects the air but also the soil and water, the main reason why experts look for an alternative where these volcanic ash can be used to manufacture materials in the construction area. For this, a bibliographic research was carried out that considerably details the importance of the use of volcanic ash as an aggregate in the production of construction materials such as concrete and the demand that drives this use. Likewise, Portland Cement has been proposed as one of the most widely used cements due to its high efficiency in civil and industrial constructions.

**Keywords:** Volcano; ash; Construction materials; waste; endurance.

## Resumo

Nosso planeta se assusta com a força natural que faz com que os vulcões emitam cinzas devido às erupções, as cinzas nada mais são do que partículas menores que 2mm que são expelidas em grandes quantidades junto com material piroclástico de vulcões em momentos de erupção. Isso é muito comum fenômeno em mais de 400 vulcões que compõem o cinturão de incêndio. Sem dúvida, a cinza é considerada um poluente agressivo que afeta não só o ar, mas também o solo e a água, razão pela qual os especialistas procuram uma alternativa onde essas cinzas vulcânicas possam ser utilizadas para a fabricação de materiais na área de construção. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica que detalha consideravelmente a importância do uso da cinza vulcânica como agregado na produção de materiais de construção como o concreto e a demanda que impulsiona esse uso. Da mesma forma, o Cimento Portland tem sido proposto como um dos cimentos mais utilizados devido à sua alta eficiência na construção civil e industrial.

**Palavras-chave:** Volcano; cinza; materiais de construção; desperdício; resistência.

## Introducción

El presente artículo de revisión hace referencia a la utilización de la ceniza volcánica, dentro del área de la construcción. Se puede definir a la ceniza como una composición de partículas de roca y minerales menores a 2 mm de diámetro, resultantes de un periodo de actividad volcánica. Por su composición la ceniza varía de acuerdo al tipo de volcán.

La peculiaridad principal de este tipo de material es que se encuentra dentro de uno de los contaminantes ambientales más agresivos de procedencia natural que no se puede evitar.

Esta crisis ha concientizado a miles de personas a reutilizar cada material que provee la naturaleza, entre los innumerables componentes se encuentra la ceniza de origen volcánico, como material utilizado en la fabricación de productos para la construcción.

Uno de los productos finales que tiene la ceniza es el cemento o concreto, material fundamental manipulado en las obras civiles, la misma que cuenta con un proceso muy largo que requiere de la quema de grandes cantidades de gas inflamable, y a su vez la desintegración de piedra caliza la cual provoca descomunales cantidades de dióxido de carbono hacia la atmósfera, los cuales van en crecimiento en un índice de 6 al 7% de emisiones en todo el mundo.

Para examinar esta problemática y encontrar una forma de reutilizar este material es necesario conocer algunas muestras, por ejemplo América Latina es la cuna de una decena de volcanes activos con actividad constante y otros potencialmente peligrosos y destructivos, como es el caso del volcán de Fuego ubicado en Guatemala.

Del mismo modo Ecuador está constituido por 55 volcanes de los cuales 8 son considerados como los más activos entre ellos el Cotopaxi, debido a sus potentes erupciones, es más, Las islas Galápagos (territorio Ecuatoriano) también cuenta con ocho volcanes que mantienen una actividad regular y todos ellos son controlados por el instituto geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN).

Para elaborar los materiales de construcción por lo general se designa por materias primas de muy bajo costo y disponibilidad con el objetivo de ser duraderos. Uno de los cementos más utilizados actualmente es el cemento Portland, un material artificial hidráulico responsable del 8% de emisiones de dióxido de carbono en todo el mundo.

Por esa razón, estudios buscan reemplazar el cemento Portland por la ceniza volcánica la misma que se encuentra disponible en la naturaleza gracias a la cantidad de volcanes ubicados en el cinturón de fuego del pacífico.

(América Digital, 2020)

### **Origen e historia**

Su historia proviene de la población de Puzzuoli, localizado en la Ciudad metropolitana de Nápoles en Italia.

Su crecimiento fue dando vida a todo aquel material o producto que contenían características parejas a la puzolana en su origen esencial. (CENAPRED, 2016).

Estudios propuestos por la ASTM (Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales) hacen referencia a la puzolana como material silíceo el cual se encuentra en baja magnitud y contiene gran cantidad de elementos que se atraen y se une con la cal (óxido de calcio) al entrar en contacto con el agua, de este modo forma derivados compuestos con escasa disolución donde demuestran propiedades aglomerantes. (Instituto Geofísico, 2021).

Durante el año 1940 los Estados Unidos de norte américa comenzó a estudiar a los volcanes, exactamente el estudio fue a los materiales puzolánicos, después de estos estudios se intentó mezclar la ceniza volcánica en las empresas de cementos. En cierta medida estos análisis brindan

oportunidades a las industrias que proveen materiales de construcción, denotando su principal motivo como: obtener cementos sustentables, reciclar residuos e incorporarlos como nuevos productos al mercado, si bien se conoce el proceso de manufactura, para su fabricación artesanal no se requiere del uso de hornos que alcanzan los mil 500 grados centígrados (Quiñones, 1993)

### **Estudio cinvestav**

Un Grupo de científicos del centro de investigación y de estudios avanzados, estudian las cenizas volcánicas para la fabricación del cemento ecológico. Su estudio propuso resultados favorecedores, ya que el uso de materia prima, residuos y material natural ayudan a conseguir un cemento resistente y duradero.

El investigador Ph.D José Iván Escalante García, enfatizó los beneficios de bajo impacto ambiental, sobre las matrices de concretos brindando alternativas detalladas, como el producto más distribuido en todo el mundo detrás del agua, y por lo que se funda el cemento portland.

Para el desarrollo del caso, el investigador de Cinvestav, apunto que decidieron ese material debido a la cantidad, el bajo costo de adquisición, composición química y carácter amorfo que presenta su estructura atómica. Según Escalante García, alrededor de 7 de cada 13 cementos sustentables desarrollados en su centro de investigación no los elabora ningún otro laboratorio, por lo que “Cinvestav” unidad saltillo es el primero con el uso de los materiales reciclados para la sustentación de nuevos cementos para la utilización en construcción y otras industrias. De tal manera que sus investigaciones no se detienen a nivel mundial.

La metodología con la que se proyecta este tipo de cemento es: “La introducción dentro de un molino, a su vez se adicionan agentes activantes alcalinos y sulfaticos útiles en el comercio, donde se produce una aceleración química en combinación con el agua, generando un aglomerante y dando como resultado la creación de compuestos químico de cementos, también muestran excelentes virtudes ingenieriles.

Las elaboraciones de nuevos cementos poseen hasta 80% de material volcánico en su producto, por lo cual no necesitan implementar hornos con altos grados durante su elaboración. (García, 2019)

Este método sigue vigente hasta la actualidad y el cemento portland puzolanico es el más manipulado en las grandes construcciones de obras de ingeniería, esto debido a su larga durabilidad para las cuales fueron creadas.

Con este estudio se concreta al cemento portland puzolanico como el resultado obtenido después de añadirle al cemento común el material puzolanico, logrando cambiar en porcentajes que van desde el 15 al 50% de resistencia.

En tanto a sus propiedades, el cemento basado en cenizas volcánicas no solo es más económico en términos de producción, también en las pruebas realizadas en el cinvestav unidad saltillo, se ha podido confirmar que su funcionamiento se acerca a la del cemento portland, incluso sus parecidos son altos.

### **Ceniza volcánica**

En sí las cenizas volcánicas varían en propiedades, ya que depende del tipo de Volcán y su origen. Bien se sabe que en Ecuador existen yacimientos de puzolana natural es decir las que son provenientes de erupciones volcánicas. Es más, en la actualidad, se tiene en planes la recolección de la ceniza volcánica del Tungurahua en Ecuador, ya que presenta propiedades idóneas para ser tomada en consideración y pueda ser manipulada en alguna obra de construcción y brinde una ventaja económica y ambiental a las adversidades. (Suarez Avila & Urgiles Cabrera, 2010)

### **Composición**

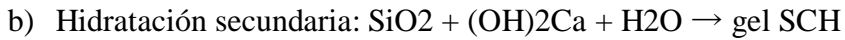
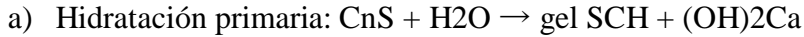
Las puzolanas o cenizas son incorporadas dentro del cemento donde tienen la capacidad de formar productos de hidratación a través de una reacción química secundaria donde prácticamente se combina con el  $\text{Ca(OH)}_2$  formado durante la hidratación de los compuestos sílico-calcáreos (C3S y C2S) denominada primaria, resultando compuestos SCH (sílico-calcáreos hidratados)

**Tabla 1.** Composición de las cenizas de erupciones, en porcentaje.

Material Constituyente	Fuego, 1975	Galunggung
$\text{SiO}_2$	52,30	61,30
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18,70	7,10
$\text{FeO}$	9,10	7,10
$\text{CaO}$	9,40	5,70
$\text{Na}_2\text{O}$	3,90	4
$\text{MgO}$	3,40	1,70
$\text{K}_2\text{O}$	0,80	1,50
$\text{TiO}_2$	1,20	1,3
$\text{P}_2\text{O}_5$		0,33

Según la comparativa de la tabla 1, donde se observa la composición mineralógica de las cenizas entre dos volcanes podemos distinguir que el Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es el material que más predomina en las cenizas volcánicas en una erupción. (Gomez, 2011)

### Reacción:



El  $SiO_2$  es aportado por la puzolana y el  $Ca(OH)_2$  es el subproducto generado durante la hidratación primaria. Durante la hidratación de las puzolanas no hay producción de  $(OH)_2Ca$ . Por lo tanto, se puede considerar positivo, ya que a medida que avanza el proceso de hidratación la cal libre disminuye, indicando la formación de productos de hidratación.

La ceniza además de sostener una baja cantidad de cal libre en la pasta de cemento, también obtiene un mayor porcentaje de volumen en productos SCH, para lo cual su relación agua-cemento es el mismo produciendo una menor porosidad por el refinamiento de poros y una menor permeabilidad respecto del cemento normal, producido a partir del mismo Clinker. (Torres, Ponce, & Gómez, 2017)

Las adiciones minerales más producidos son:

- cenizas volantes,
- escorias granuladas,
- micro sílice y otras puzolanas naturales o calcinadas.

La naturaleza de los productos formados durante la reacción puzolánica en los cementos mezclados depende de las propiedades de las puzolanas y del clinker utilizado para confeccionar el hormigón.

Los principales productos de reacción son:

- Silicato cálcico hidratado (CSH).
- Algunas cantidades de estringita.
- Aluminatos hidratados.

El equilibrio de los productos de reacción depende de las características químicas y mineralogía de las cenizas a usar.

Hoy en día existen variedad de productos en los que se usan las cenizas, donde predomina la producción de cemento Pórtland puzolánico, el cual brinda un infinidad de ventajas.

Esta ventaja es porque los aluminosilicatos que están en la ceniza, reaccionan con el Hidróxido de Calcio que expulsa en la hidratación del cemento Pórtland. Esta reacción lenta hace que disminuya el calor, mejorando su resistencia cuando está en ambientes ácidos, lo cual también hace que se



rellenen los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento, aumentando así la impermeabilidad y la resistencia mecánica. (Romero & Vázquez, 2010)

La reacción química del fraguado

Esta reacción del cemento se la plantea de manera siguiente:



Donde: C = CaO; S = SiO<sub>2</sub>; H = H<sub>2</sub>O

Sabiendo que el gel C-S-H viene a ser lo principal en las propiedades mecánicas del cemento.

El equipo de investigadores de Argentina, menciona que con las cenizas volcánicas se puede construir material de construcción que permitirá crear estructuras resistentes y eficientes, razón por la que se están realizando pruebas para reemplazar el cemento por ceniza volcánica. (Aguilar, 2018)

### **Desventajas**

A pesar de que el cemento puzolánico tiene buenas características, también tiene sus desventajas dentro de las que se pueden encontrar:

- Requerimiento de mayor cantidad de agua para el mezclado.
- Menor resistencia a la compresión en edades cortas, a partir de los 28 días de fraguado.
- Requiere mayor cuidado a la hora del curado, ya que al hidratarse el cemento se forma el silicato tricálcico y la cal que desprende es la que reacciona con la puzolana, favoreciendo a que no entren con gran facilidad los iones cloruros, los cuales son responsables de la corrosión del acero. (Quiñones, 1993)

### **Cemento Portland**

Polvo de color gris/verdoso, de gran valor como material estructural, alcanza la dureza pétreo después de ser amasado con agua, considerado un aglomerante hidráulico por excelencia (Herzoza, 2019).

Durante el proceso de fraguado del cemento portland puzolánico, se deben considerar las propiedades de los fragmentos en estado fresco y en estado endurecido.

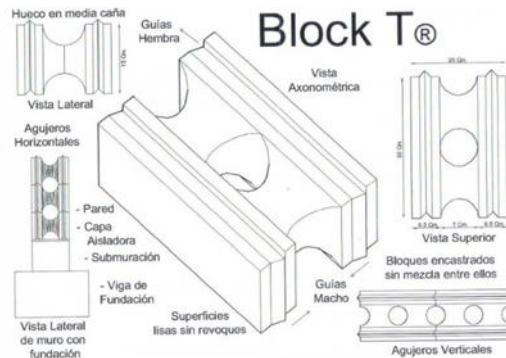
### **Propiedades en estado fresco**

Propiedades tales como forma, tamaño y distribución; dependen de las características de los materiales y de las proporciones usadas, destacándose la influencia de los agregados que suelen ocupar más del 70% del volumen del hormigón. Según varios experimentos realizados, las características del cemento portland puzolánico influyen en el comportamiento del hormigón,

debido a que posee características más finas que el cemento portland ordinario, por esta razón se requiere mayor demanda de agua para el hormigón.

Para que sea aprovechada la alta capacidad de retención de agua, los hormigones fabricados con puzolana, deben hacer uso de aditivos plastificantes, lo cual ayuda a disminuir el contenido de cemento en lo máximo. (Hermoza , 2019).

**Ilustración 1.** Ladrillos hechos a base de cenizas volcánicas.



Fuente:UNRN

Profesores investigadores de la Universidad Nacional de Río Negro, Argentina, diseñaron y fabricaron un bloque tipo T como se muestra en la ilustración 1, cuyo fin es de adaptarlos a construcciones de viviendas, utilizando material residual volcánico, como la ceniza, provenientes del volcán Puyehue.

### Características

- Gran durabilidad
- Baja permeabilidad
- Bajo grado de calor de hidratación
- Alta resistencia final

### Materiales contaminantes

Existen muchos materiales y los más comunes son los finos indeseables: limo y arcilla, materia orgánica, carbón, lignito, partículas ligeras, terrones de arcilla y otras partículas.

### El papel que juega las cenizas para obtener una interface de calidad.

- Producir retraso en el proceso de fraguado haciendo reacciones más lentas y de menor intensidad.
- Mejor docilidad en el cemento con menos requerimiento de agua

- Reducción de costos en la producción de cementos
- Reducción de calor de hidratación
- Más resistencia a la acción de los sulfatos y de los hidróxidos de calcio.

**La desventaja es en la resistencia final, mayor contracción al secarse y menor durabilidad.**

La investigación fue descriptiva, de carácter no experimental, de tipo comparativo, el cual investiga un problema para posteriormente describir a través de cómo son y cómo se manifiestan los problemas en la contaminación del medio ambiente, además tiene un diseño no experimental debido a que recolecta datos en un solo momento y en un tiempo único, donde analiza su incidencia.

Para el trabajo investigativo, junto con la validación de antecedentes se logró determinar los materiales que se emplean actualmente en la construcción con agregados de ceniza volcánica.

El alcance del proyecto es sistematizar los procesos que actualmente mantiene la actividad de la construcción con el uso de la ceniza volcánica y lo que conlleva a no destruir el ecosistema para lograr un ambiente sustentable.

De igual forma se detalla la técnica e instrumentos que se utilizó para la recolección de datos a partir de la información recaudada de las diferentes fuentes de información primaria, artículos científicos e investigaciones, al igual que resúmenes, libros, textos académicos, revistas relacionadas con la investigación y finalmente el uso de herramientas utilizadas para el desarrollo de crear nuevas habilidades de cuidar el medio ambiente.

Este proyecto investigativo fomenta la iniciativa de sistematizar toda la información recolectada a lo largo de esta investigación, en efecto el modelo de metodología ya nombrado cuenta con cuatro etapas las cuales son análisis, diseño, pruebas y documentación.

### **Análisis de resultados**

La ceniza es un problema que afecta a todo el ambiente en el que viven los seres vivos y es una crisis que al mismo tiempo lleva a los pobladores a preocuparse por contribuir a la reutilización de la ceniza volcánica en este caso como material para fabricación de productos de construcción.

Uno de los productos finales de la ceniza es el cemento, sin embargo, consta de un proceso en el que se necesita la quema de grandes cantidades considerables de gas inflamable, e incluso requiere

de una desintegración en particular de piedra caliza causando la existencia de dióxido de carbono, las cuales según investigaciones tiene un índice de 6 a 7% en todo el mundo.

### **Discusión**

La producción y consumo del cemento representa entre el 8% y el 10% del CO<sub>2</sub> antropogénico en el mundo. Dado que la industria de la construcción va de la mano con el alto crecimiento poblacional en las zonas urbanas, se dice que la fabricación del cemento generará un alto golpe ambiental en los próximos años, por lo que se propone una llamada de atención a los organismos vinculados, brindando alternativas inmediatas para una solución eficaz.

Lo anterior nos lleva a pensar que hacen falta más investigaciones para usar estas cenizas volcánicas en otros procesos de construcción.

### **Conclusiones**

El trabajo de revisión se concluye en base a las inferencias prioritarias por parte de las investigadoras donde el resultado es el fruto obtenido del proceso de investigación sobre la ceniza volcánica en el área de la construcción.

Por lo tanto:

- El uso de la ceniza volcánica como material introducido en la construcción es una oportunidad para las industrias dedicadas a esta función, donde pueden fabricar cementos con un alto grado de resistencia, sustentables con el medio ambiente, reutilizando residuos naturales.
- La ceniza volcánica es uno de los principales contaminantes ambientales de origen antrópico, debido a los gases que emiten en la fase de erupción.
- El cemento Portland, es uno de los tipos de cemento más utilizados a nivel mundial, debido a su elevada resistencia para obras civiles de mayor grado de magnitud.

### **Referencias**

1. Aguilar, J. (17 de Diciembre de 2018). Mundo Constructor. Obtenido de <https://www.mundoconstructor.com.ec/ceniza-volcanica-como-material-de-construccion/>
2. Alicia, H. G. (2019). Repositorio. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8146/AMMheguma.pdf?sequence=1&i>

[sAllowed=y&fbclid=IwAR16kiM2v0eRsus5QFqCHCATZrtGkiIALjnsvbBWzZJSxnH7wCt3IWPEkAA](https://www.americadigital.com/ciencia/descubren-que-la-ceniza-de-los-volcanes-puede-tener-un-mayor-impacto-en-el-clima-de-lo-que-se-pensaba-104819)

3. América Digital. (11 de Septiembre de 2020). América Digital. Obtenido de <https://www.americadigital.com/ciencia/descubren-que-la-ceniza-de-los-volcanes-puede-tener-un-mayor-impacto-en-el-clima-de-lo-que-se-pensaba-104819>
4. CENAPRED. (19 de Abril de 2016). Centro Nacional de Prevención de Desastres. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-es-la-ceniza-volcanica-cenapred>
5. El comercio. (24 de Abril de 2017). El comercio. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/tipos-cemento-necesidadesdiferentes-hogar.html>
6. El diario. (11 de Marzo de 2021). El diario. Obtenido de <https://www.eldiario.ec/centro/volcan-sangay-emite-cenizas-a-8-480-metros-que-cubre-varias-provincias-2/>
7. Eraikal. (29 de Mayo de 2012). Eraikal. Obtenido de <https://eraikal.blog.euskadi.eus/blog/2012/05/29/ladrillos-hechos-con-cenizas-volcanicas/>
8. García, J. I. (5 de Junio de 2019). Conexión Cinvestav. Obtenido de <https://conexion.cinvestav.mx/Publicaciones/emplean-material-volc225nico-para-cemento-sustentable?fbclid=IwAR35ifS5PddtUiltYeVr5P8-GOOFhyfFEewmerFrrrhFoZFDTVP88gjApGU>
9. Gomez, R. (Junio de 2011). Flap. Obtenido de <https://www.flap152.com/2011/06/composicion-de-las-cenizas-volcanicas-y.html>
10. Huaquisto Cáceres, S., & Belizario Quispe, G. (27 de Abril de 2018). Revista de Investigaciones Altoandinas. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572018000200007&fbclid=IwAR1JS66hM5u-PvRpbIPGvKZumrVlk6GV05y8ICRz5C2gpTSy8Co7vUasL58](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572018000200007&fbclid=IwAR1JS66hM5u-PvRpbIPGvKZumrVlk6GV05y8ICRz5C2gpTSy8Co7vUasL58)
11. Instituto Geofísico. (Julio de 2021). Igepn. Obtenido de <https://igepn.edu.ec/sangay>
12. Jaigua Romero, B. J., & Vázquez Urgilés, S. E. (25 de Octubre de 2010). Dspace. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/727/1/ti855.pdf?fbclid=IwAR2vpFo19aia mWVEoDJTzm2EGNlhvHNMYXxVcWVhB1YkcvV75wwmqvhwz10>

13. Quiñones, J. (Julio de 1993). Centro de Investigaciones de Ingeniería. Obtenido de [https://hdl-idrc.dspace.org/bitstream/handle/10625/24039/111832.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1UtqTr\\_8-WiVoveoWxlhX57GMAZqISR\\_sSf2tGd0VA5w4qY5kDq42rcN0](https://hdl-idrc.dspace.org/bitstream/handle/10625/24039/111832.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1UtqTr_8-WiVoveoWxlhX57GMAZqISR_sSf2tGd0VA5w4qY5kDq42rcN0)
14. Suarez Avila, A. E., & Urgiles Cabrera, M. P. (2010). Dspace. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/715/1/ti844.pdf?fbclid=IwAR2tyKksHbrCf0rwnzm9VEYDNNikGIBtW18oarihW0bZP2F0EUTVMbB8x70>
15. Torres , R. A., Ponce, P., & Gómez, D. (1 de Mayo de 2017). Boletín de Geología. Obtenido de [https://www.redalyc.org/pdf/3496/349651525005.pdf?fbclid=IwAR34OP4bN27cJi54FYSx4ZHPNbbYyndb\\_p1SS7ghyudtfsvw1Ua1mRNYLc](https://www.redalyc.org/pdf/3496/349651525005.pdf?fbclid=IwAR34OP4bN27cJi54FYSx4ZHPNbbYyndb_p1SS7ghyudtfsvw1Ua1mRNYLc)
16. Hermoza Gutiérrez, M. A. (2019). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA Maestra en Ciencias con mención en Ingeniería Ambiental. 112. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8146/AMMheguma.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR16kiM2v0eRsus5QFqCHCATZrtGkiIALjnsvbBWzZJSxnH7wCt3IWPEkAA>

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)