

# LA DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO ZEOLITA, COMO SOLUCIÓN DE DESARROLLO LOCAL

*Data de aceite: 01/04/2024*

### **Maria Shirlendy Guerrero Alcivar**

Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas Universidad Técnica de Manabí Portoviejo, Manabí, Ecuador  
MsC. Ingeniería Ambiental  
<http://orcid.org/0000-0002-3404-5413>

### **Olinda Elizabeth Caicedo Arévalo**

Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas Universidad Técnica de Manabí  
MsC. Ingeniería Ambiental  
<http://orcid.org/0000-0001-7032-2273>

### **Lucia Katherine Macias Sánchez**

Carrera de Ingeniería Construcciones Civiles y Arquitectura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas Universidad Técnica de Manabí  
MsC. En Geotecnia  
<https://orcid.org/0000-0002-9921-4943>

### **Peter Joshue Navarrete Guerrero**

Jefe de la unidad de planificación y prevención contra incendios, Cuerpo de Bomberos del cantón Esmeraldas  
Arquitecto  
<https://orcid.org/0009-0009-1037-6443>

### **Marjory Elizabeth Caballero Mendoza**

MsC Magister en Ingeniería Civil Construcciones Civiles y Arquitectura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Universidad Técnica de Manabí  
<https://orcid.org/0000-0002-7377-554X>

### **Bolívar Humberto Ortega Bravo**

MsC Arquitectura del Paisaje Construcciones Civiles y Arquitectura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Universidad Técnica de Manabí  
<https://orcid.org/0000-0002-1805-8732>

### **María Veneranda Pita Mera**

MsC. Arquitectura, Mención Proyectos Arquitectónicos Construcciones Civiles y Arquitectura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Universidad Técnica de Manabí  
<https://orcid.org/0000-0002-4480-4567>

### **María Belén Lozano Molina**

MsC. Arquitectura, Mención Proyectos Arquitectónicos y urbanos Construcciones Civiles y Arquitectura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Universidad Técnica de Manabí  
<https://orcid.org/0000-0002-5470-8827>

**Luzmila Elizabeth Burbano Mera**

MsC. Procesamiento de Alimentos, Ingeniera Agroindustrial,  
Departamento de Industrial, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Universidad  
Técnica de Manabí  
<https://orcid.org/0000-0002-6306-5528>

**Galo Arturo Perero Espinoza**

MsC. Administración Ambiental  
Departamento de Industrial, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Universidad  
Técnica de Manabí  
<http://orcid.org/0000-0002-3164-6264>

**RESUMEN:** Existe en la actualidad un mal manejo de las cuencas hidrográficas, esto ha provocado que cada día disminuya la calidad de agua potable. La contaminación de los acuíferos constituye un problema para la humanidad. En muchos lugares estas aguas son vertidas directamente a ríos, arroyos, lagos o mares antes de ser tratadas adecuadamente, resultando que se introduzcan elementos de contaminación que, acaben produciendo importantes daños ecológicos en el entorno ambiental y enfermedades de salud pública (causadas por virus y bacterias) en las personas y comunidades que entren en contacto con esas aguas contaminadas. El objetivo fue investigar si la zeolita puede servir para disminuir la contaminación con amonio de las aguas del río Portoviejo, mediante el aprovechamiento de recursos locales, se utilizó una metodología sencilla que puede ser aplicada directamente en las fuentes de contaminación, mediante la participación de los factores sociales comunitarios, donde se demuestra que hay materiales como la zeolita que puede ser utilizada como elemento purificador de las aguas residuales que se descargan al río, logrando con ello la reducción de la contaminación mediante el mejoramiento de los parámetros físicos-químicos asociados con la calidad del agua, en función de lo estipulado en la normativa ecuatoriana. Se tuvo como resultado que la zeolita presenta las características físico químicas adecuadas para ser utilizadas como material para descontaminar las aguas residuales de los afluentes del Río Portoviejo.

**Palabra claves:** Zeolita; contaminación ambiental; aguas residuales; amonio; nitrito.

## WASTEWATER DECONTAMINATION USING ZEOLITE, AS A LOCAL DEVELOPMENT SOLUTION

**ABSTRACT:** Currently, there is poor management of river basins, which is causing the quality of drinking water to decrease every day. Water pollution is a problem for humanity. In many places, these waters are discharged directly into rivers, streams, lakes, or seas before being adequately treated, introducing pollution elements that end up causing significant ecological damage to the environment and public health diseases (caused by viruses and bacteria). on the people and communities that come into contact with these contaminated waters. The objective was to investigate whether zeolite could be used to reduce ammonium pollution in the waters of the Portoviejo River, through the use of local resources, using a simple methodology that could be applied directly to the sources of pollution, through the

participation of community social factors. . , which demonstrates that there are materials such as zeolite that can be used as a purifying element for wastewater discharged into the river, thereby achieving the reduction of pollution through the improvement of the physical-chemical parameters associated with the quality of the water, depending of what is found. stipulated in Ecuadorian regulations. As a result, the zeolite presents suitable physical and chemical characteristics to be used as a material to decontaminate wastewater from tributaries of the Portoviejo River.

**KEYWORDS:** Zeolite; environmental pollution; sewage water; ammonium; nitrite

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de las fuentes de agua constituye un grave problema que enfrenta la humanidad en la actualidad. Los recursos naturales resultan insuficientes si se continúa con las políticas actuales de desarrollo y consumo. Esta situación provoca efectos colaterales como la sobre explotación de acuíferos, que unido a los problemas de contaminación de las cuencas hídricas, reduce la disponibilidad del agua para ser utilizada en los servicios públicos y la producción de bienes materiales, por lo que resulta necesario tomar medidas que permitan reducir la contaminación ambiental (Velázquez, 2023), (Rodríguez, Vázquez, & Millet, 2017), también influye la explosión demográfica y los altos costos de las instalaciones para lograr un buen tratamiento (Cárdenas É. P., 2022).

En el mundo existe un significativo déficit de tratamiento de las aguas residuales; en el informe del 2023 de la UNESCO, se plantea el riesgo inminente de una crisis mundial del agua donde existe más de 2.000 millones de personas (26% de la población mundial) no disponen de agua potable y 3.600 millones (el 46%) carecen de acceso a un saneamiento gestionado de forma segura, o simplemente no lo tenían, una de las causas son la creciente incidencia de sequías extremas y prolongadas también está estresando los ecosistemas (UNESCO, 2023)

Según estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que mundialmente se esté realizando un uso extensivo de aguas residuales; el 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales; 20 millones de hectáreas en 50 países son regadas con agua residual cruda o parcialmente tratada; el uso de agua gris creciendo en países desarrollados y en desarrollo y para América Latina se estableció la cifra de 118 294 910 de población sin saneamiento (Silva 2016).

Las aguas contaminadas no sólo afectan a los habitantes del lugar, sino que, escurriendo tanto por los arroyos como por el subsuelo, vuelcan en la ribera de los ríos sus impurezas, ampliando el área de contaminación y afectando esta importante fuente de agua dulce, esta también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente (ONU, 2023).

Una de las alternativas que se puede aplicar para minimizar el problema, es el tratamiento de aguas residuales con métodos ambientales que permitan reusar el agua recuperando los parámetros de calidad establecidos y capacitando a las personas en el uso correcto del agua y su protección (Castro & Moncada, 2022).

El tratamiento de aguas por el proceso de intercambio iónico conlleva a la necesidad de establecer las condiciones de operación más adecuadas (pH, tipo de resina, tiempo de contacto, etc.) para la remoción del contaminante clave.

La Universidad Técnica de Manabí ha desarrollado estudios encaminados a lograr el empleo de la zeolita como material de construcción y para la remoción de amonios en aguas residuales, con lo cual se logra ahorrar recursos económicos, al propio tiempo que se propicia el aprovechamiento de un mineral que se encuentra disponible en la región costera del Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización del agua residual se emplearon tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua residual, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. Para la determinación del índice de calidad del agua se utilizó la norma ecuatoriana de calidad y descarga de efluentes, contenida en el Libro IV/2010, del Ecuador (Aamblea Nacional Legislativa, 2023).

## DISEÑO DE EXPERIMENTO

Se utilizaron cinco filtros experimentales construidos con recursos propios, diseñados para trabajar con zeolita particulada de cuatro dimensiones como material filtrante, con el objetivo de realizar el filtrado de las muestras de agua residual recogidas.

**Las aguas residuales**, son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Gómez, 2015).

Más que el conocimiento químico exacto de la composición de las aguas residuales urbanas, tres son las características más importantes que se deben destacar, desde un punto de vista sanitario y en relación con el tratamiento (Espigares & Pérez, 2015).

- La gran cantidad de sólidos presentes.
- La abundancia de sustancias biodegradables.
- La presencia de un gran número de microorganismos.

Como se ha relacionado anteriormente, en las aguas residuales están contenidas una serie de sustancias que pueden ser utilizadas como alimento por los microorganismos presentes, siendo eliminadas de esta forma de las aguas residuales, denominándose por esta razón biodegradable.

La nutrición de los microorganismos se hace a expensas, no sólo de los sustratos solubles, sino también de los sustratos particulados e insolubles, ya que estos son adsorbidos en las superficies bacterianas, dónde son atacados por exoenzimas (esterasas, carbohidrasas, proteasas, etc.), disminuyendo su tamaño hasta el nivel molecular.

Las aguas residuales pueden ser clasificadas según su origen en la figura 1 se muestra su clasificación.

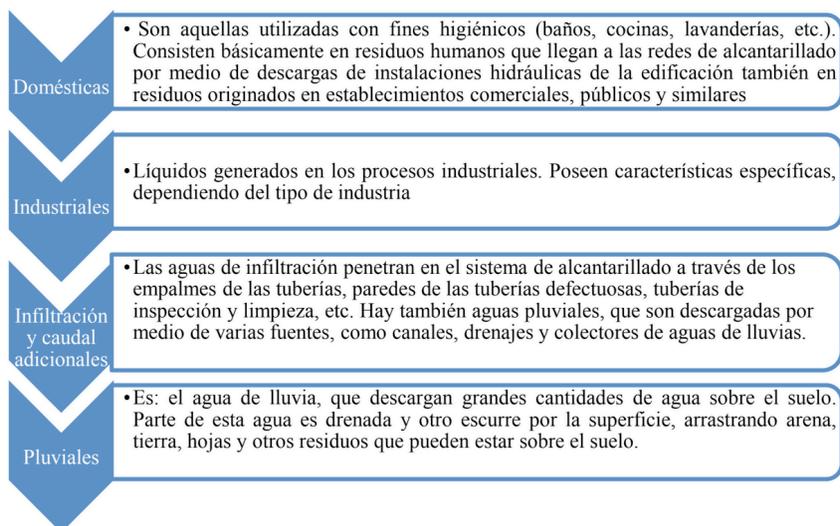


Figura 1. Clasificación de las aguas residuales

Fuente: (Castro & Moncada Rangel, 2022)

## LA CONTAMINACIÓN DERIVADA DE LAS AGUAS RESIDUALES

La contaminación por aguas residuales en la zona costera debe tomarse como una alarma histórica. Desde la Agenda de Estocolmo ya se había advertido sobre el problema de las aguas municipales. En la cumbre de Río (1992) se dijo que en el 2005 habría que intentar disminuirlas a un 50%, pero esto ha sido imposible de lograr (CEPAL, 2019).

El manejo inadecuado de las aguas residuales puede tener consecuencias muy graves para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo económico. Las aguas residuales no tratadas constituyen un potencial contaminador de las fuentes de suministro, lo que aumenta el riesgo de enfermedades infecciosas, el deterioro del agua subterránea y de otros ecosistemas locales.

Los principales impactos ambientales dan como resultado un aumento significativo de la mortalidad, debido a enfermedades como el cólera, parasitosis, entre otros, que son prevenibles. Los proyectos de tratamiento de aguas residuales son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes que estas contienen. Cuando estos proyectos son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo.

Las aguas contaminadas no sólo afectan a los habitantes del lugar, sino que, escurriendo tanto por los arroyos como por el subsuelo, vuelcan la contaminación en la ribera de los ríos, ampliando el área contaminada y afectando las reservas de agua dulce (Bofill, y otros, 2005).

En el año 2013 la Organización Mundial de la Salud (OMS) afirmó que, aproximadamente el 90% de todas las aguas residuales en los países en desarrollo, se descargan sin tratamiento directamente a los ríos, lagos o los océanos; el uso de aguas residuales se ha incrementado y muestra de ello es que 20 millones de hectáreas en 50 países son irrigadas con aguas residuales crudas o parcialmente tratadas; se piensa que el 10% de la población del mundo consume alimentos irrigados con aguas residuales, siendo muy difícil de cuantificar la extensión de esta situación, por la naturaleza informal de su práctica (OMS, 2013). Cuando las aguas residuales de tipo doméstico son lanzadas a los ríos o cuerpos de agua sin ningún tratamiento o desinfección, suelen contaminarlos con altas concentraciones de bacterias, virus y parásitos, creándose un grave problema de salud pública. Entre las principales enfermedades que se propagan por este mal manejo de las aguas residuales están las diarreas (bacterianas y víricas), la tifoidea y la paratifoidea, el cólera, la hepatitis infecciosa, la amebiasis, giardiasis, entre otras. Como es muy difícil detectar y cuantificar a todos los patógenos causantes de estas enfermedades, los ingenieros sanitarios y muchas autoridades de salud pública utilizan como organismo indicador de la contaminación por patógenos a los coliformes fecales (Sánchez & Guanasig).

La mayoría de las industrias producen descargas de desechos líquidos que tienen demandas bioquímicas de oxígeno (DBO) muy altas, pero concentraciones de coliformes fecales menores que las de las aguas residuales domésticas, pudiéndose decir que los desechos industriales constituyen un gran problema ecológico y los desechos domésticos un gran problema de salud pública aunque ambos coadyuvan en el deterioro general de la calidad del agua (OMS, 2013).

Los efectos de las aguas residuales en la zona costera dependen fundamentalmente de la conformación física de la misma. Estas características fijas del territorio parecen olvidarse cuando se trata del manejo de recursos costeros, lo que es más importante cuando se estima que la densidad de la población de las zonas costeras es grande, alcanzando más o menos 80 personas por km<sup>2</sup>, es decir, 2.5 veces superior al promedio total de la que habita en los continentes, lo cual indica la tendencia que ha presentado el hombre a desplazarse hacia estas zonas por las ventajas que representa la riqueza de sus recursos.

Todas las actividades humanas que se desarrollan en la costa y en especial aquellas que involucran manejo de aguas residuales, dependen para la descarga de sus desechos, por un lado, de la posición que ocupan dentro de una cuenca hidrológica, y por otro, de las corrientes marinas donde son vertidas, esto es lo que en un momento dado definiría la dilución de estas y la mitigación de sus efectos.

## EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales domiciliarias debe ser entendido, como una necesidad, a fin de mantener condiciones adecuadas de salud e higiene para la población, conservar la calidad de las fuentes de agua y propender a un uso racional y sustentable de los recursos acuáticos.

En la actualidad el tratamiento adecuado de las aguas residuales constituye una preocupación de primer orden para la sociedad. El vertido de aguas residuales urbanas sin depurar ejerce sobre los cauces receptores toda una serie de efectos negativos, estudios realizados en México destacan algunas de ellas (Jacobo, 2018).

- a. Aparición de fangos y flotantes que no sólo provocan un desagradable impacto visual, sino que, debido al carácter reductor de la materia orgánica, se puede llegar a provocar el agotamiento del oxígeno disuelto presente en las aguas y originar el desprendimiento de malos olores.
- b. Agotamiento del contenido de oxígeno presente en las aguas. Consumido el oxígeno disponible, los procesos degradativos vía anaerobia generan olores desagradables, al liberarse gases que son los causantes de estos olores.
- c. Aportes excesivos de nutrientes, causantes del crecimiento descontrolado de algas y otras plantas en los cauces receptores (eutrofización).
- d. Daños a la salud pública. Entre las enfermedades que pueden propagarse destacan el tifus, cólera, disentería y hepatitis A.

Las estaciones depuradoras van a eliminar una elevada proporción de los contaminantes presentes en las aguas residuales, vertiendo efluentes depurados, que puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores. Puede, por tanto, considerarse a las estaciones de tratamiento, como un complemento artificial de los procesos naturales que se dan en las masas acuáticas, al haberse sobrepasado ampliamente su capacidad de autodepuración.

De manera general el tratamiento de aguas residuales en las plantas convencionales consiste en hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos (IDRICA, 2022), entre los que se encuentran los siguientes:

1. Tratamiento preliminar: destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
2. Tratamiento primario: que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
3. Tratamiento secundario: que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación), para reducir la mayor parte de la DBO.
4. Tratamiento terciario o avanzado: que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

Pero la construcción de una planta de tratamiento es costosa y compromete un espacio de terreno que algunas veces no está disponible, también el costo del tratamiento de aguas residuales por los métodos convencionales puede resultar muy alto y frecuentemente los gobiernos locales no cuentan con recursos suficientes para tomar medidas atenuantes. Por lo tanto, en el proceso de elegir la tecnología de saneamiento adecuada se deben tener en cuenta alternativas eficaces y elegir la opción correcta para las circunstancias específicas.

Es cierto que en los últimos años el tratamiento de las aguas residuales se ha realizado por métodos centralizados, aplicando tecnologías masivas basadas en grandes plantas de tratamiento, que resultan costosas económica y ambientalmente y donde las localidades se limitan a jugar un papel pasivo en la gestión.

Se trata de adoptar nuevos conceptos, métodos y tecnologías de solución al problema de las aguas residuales desde el esquema de desarrollo local, donde los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales, puedan jugar un papel de responsabilidad activa mediante la aplicación de tecnologías descentralizadas, el empleo de recursos autóctonos y la puesta en práctica de una política de desarrollo sostenible y amigable con la naturaleza.

## **LA ZEOLITA PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

Las zeolitas son una colección de minerales no metálicos, cuyos yacimientos están limitados a no más de veinte países entre los que figura el Ecuador. Su uso ha ido ganando espacio a nivel mundial; pero aún se limita a países desarrollados del primer mundo como son: EE.UU; Alemania; Japón; Italia; y Rusia entre otros, actualmente se pretende desarrollar su empleo en el país, con algunas aplicaciones en la alimentación animal y para la purificación del agua, especialmente en la remoción de amonio y el mejoramiento de otros parámetros físicos y químicos del agua residual (Guerrero, Vázquez, & Rodríguez).

En Ecuador las investigaciones de la zeolita se vienen desarrollando desde los años 90 y desde el 2000, los investigadores de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) han realizado estudios tanto en el campus politécnico, como a lo largo de la cordillera Chongón Colonche, en cooperación con la Universidad de Lovaina en Bélgica y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) (Morantes & Graces, 2013).

Las zeolitas son minerales de aluminosilicatos hidratados con una estructura tipo jaula que, alberga grandes áreas tanto externa como internamente. Poseen una estructura de carga negativa debido a la sustitución isomórfica de cationes en el mineral. Por lo tanto, tienen una afinidad fuerte hacia cationes y solo una pequeña afinidad hacia aniones o moléculas orgánicas. La Clinoptilolita es la zeolita natural más abundante y, por lo tanto, es un material muy económico, además es muy eficiente para la remoción de nitrógeno amoniacal presente en aguas residuales (Amaya & Morales, 2021).

Las zeolitas están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con TO4 en forma tetraédrica, con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes. Las propiedades físicas proveen aspectos únicos para una variedad amplia de aplicaciones prácticas (Flores, Galvis, Hernández, González, & Payán, 2007).

Se ha comprobado que, adicionando adecuadamente zeolitas naturales en sus diversas modificaciones catiónicas en los sistemas de filtración, se pueden alcanzar niveles de purificación de aguas bastante notables y lograr no sólo la remoción de fosfatos, sulfatos, y cloruros; sino también, la eliminación de metales pesados como plomo, arsénico, níquel, cobre, y otros contaminantes (Carbonel, 2018).

Dentro de sus propiedades se puede señalar la hidratación y deshidratación, que es un fenómeno físico que varía en función de la presión y temperatura, así como de su armazón estructural, siendo el efecto directo endotérmico y la rehidratación exotérmico. La importancia de esta propiedad radica en el hecho de ocurrir sin que se produzcan alteraciones en el armazón estructural del mineral. Otra de las propiedades más importantes de las zeolitas, que las hace de uso obligado en muchos procesos de deshidratación, es su gran estabilidad térmica y el aumento de su capacidad de adsorción con la temperatura (Mejías, 2016).

En condiciones ambientales la cavidad central, así como sus canales se hallan repletos por moléculas de agua en forma de esferas que rodean a los cationes intercambiables. Si el agua es desplazada a temperatura adecuada (según el tipo de zeolita), estos serán capaces de adsorber moléculas cuyo diámetro sea inferior al de los canales y cavidad central, reteniéndolas dentro de las mismas. Ejemplo de esto es su selectividad por gases como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , entre otros (Sánchez L. Y., 2018).

Las zeolitas pueden ser catalizadores selectivos en cuanto a la forma, tanto por la selectividad del estado de transición o por exclusión de reactivos competidores en base al diámetro de la molécula. También se han utilizado como catalizadores de oxidación. Las reacciones tienen lugar dentro de los poros de la zeolita, que permite un mayor grado de control del producto. Las principales aplicaciones industriales son: refinamiento del petróleo, producción de fuel e industria petroquímica. Las zeolitas sintéticas son los catalizadores más importantes en las refinerías petroquímicas (Mejías, 2016).

La zeolita ofrece un efecto en el filtrado superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento. La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras. Las zeolitas están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden adsorber cationes, como metales pesados y amoníaco (Curi, Granda, Lima, & Sousa, 2006).

Es evidente que se está produciendo una contaminación descontrolada en ríos, cañadas y esteros por efluentes urbanos, industriales y mineros, siendo las zeolitas naturales una alternativa efectiva y barata para la descontaminación de estos efluentes al adsorber en su estructura los elementos más comunes de las aguas residuales como son: amoníaco, ácido sulfhídrico, metales pesados, entre otros; además de la retención de ciertas colonias de microorganismos, nocivos para la salud (Lombana, 2023).

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### Análisis del agua residual antes de aplicar el filtrado con zeolita

Considerando lo planteado anteriormente se ha considerado realizar una evaluación experimental sobre el uso de la zeolita como depurador de aguas residuales, en función de reducir su contaminación. La muestra está constituida por cinco efluentes de aguas residuales que vierten al río Portoviejo de la ciudad capital provincia de Manabí, según se muestran en el mapa de la figura 2.



Figura 2. Mapa con la localización de los cinco efluentes de aguas residuales estudiados

Para el filtrado se construyó un sistema tubular y en su interior se acondicionaron cuatro capas de zeolita con granulometría diferenciada, es decir cuatro tamaños diferentes de los granos, con el objetivo de propiciar un adecuado nivel de filtrado y un tiempo de retención breve en el sistema.

La zeolita del tipo clinoptilolita fue adquirida comercialmente en la empresa Zeonatec, ubicada en el cantón Isidro Ayora de la vecina provincia de Guayas y se adquirieron granos con la siguiente gravimetría: 1.70mm; 2mm; 2.63mm y; 4.75mm. Para el dispositivo de filtrado se utilizó un tubo de 6" (pulgadas). En la figura 3 se muestra un esquema técnico del sistema de filtrado donde se especifica la estructura gravimétrica de la zeolita.

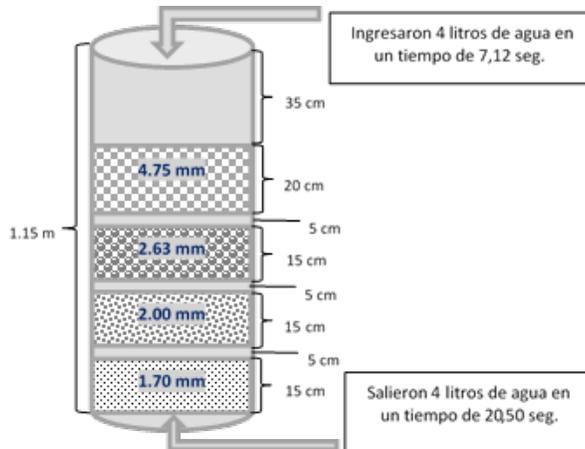


Figura 3. Esquema técnico del sistema de filtrado

Los resultados de los ensayos de laboratorio antes y después de realizar el filtrado con zeolita, permitieron comprobar la efectividad de este mineral para mejorar los parámetros de la calidad de las aguas residuales. Entre los parámetros químicos se encuentran los siguientes:

Se logró remover entre el 50 % y el 75 % del nitrógeno total y especialmente el nitrógeno amoniacal de las muestras tomadas. En la figura 4 se muestra un gráfico comparativo con el comportamiento del parámetro de nitrógeno total antes del filtrado y luego del filtrado.

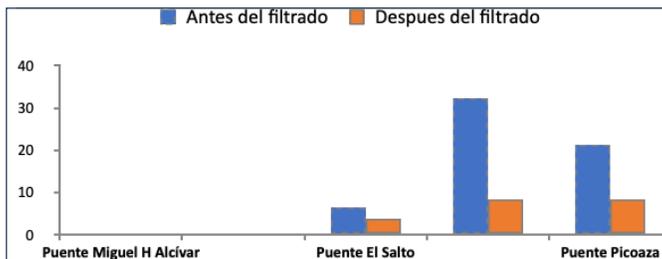


Figura 4. Gráfico comparativo sobre el comportamiento del nitrógeno total antes del filtrado y luego de realizado el mismo.

En la figura 5 se muestra la misma información, pero con relación al nitrógeno amoniacal.

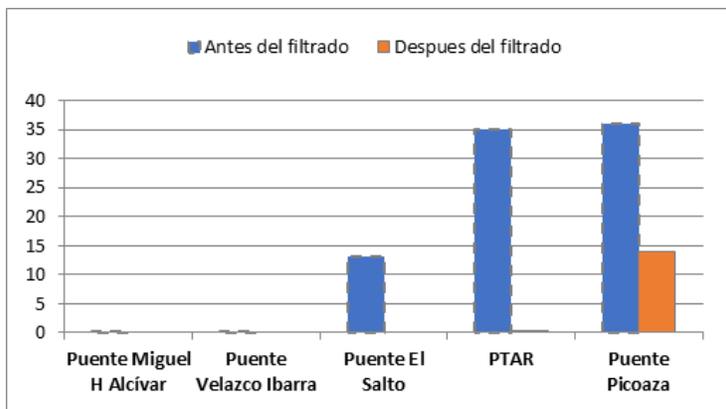


Figura 5. Gráfico comparativo sobre el comportamiento del nitrógeno amoniacal antes del filtrado y luego de realizado el mismo.

Se logró reducir el contenido de fosfato entre un 50% y un 95%, así como la demanda bioquímica de oxígeno, que puede mejorarse hasta en un 45%. En la figura 6 se muestra el Gráfico comparativo sobre el comportamiento del fosfato antes del filtrado y luego de realizado el mismo.

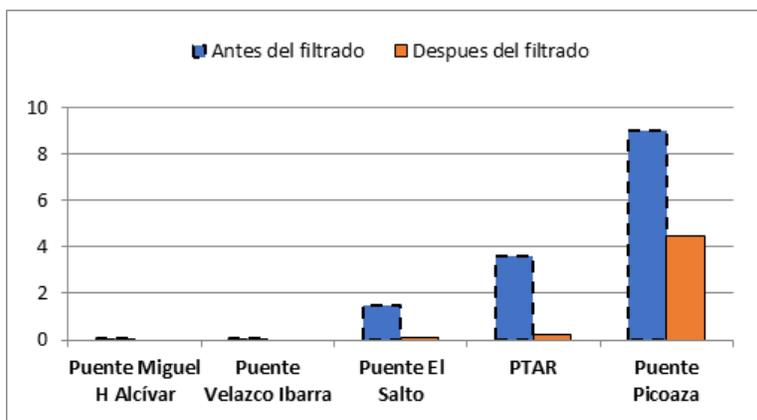


Figura 6. Gráfico comparativo sobre el comportamiento del fosfato, antes del filtrado y luego de realizado el mismo.

En la Figura 7 se muestra la misma información, pero para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

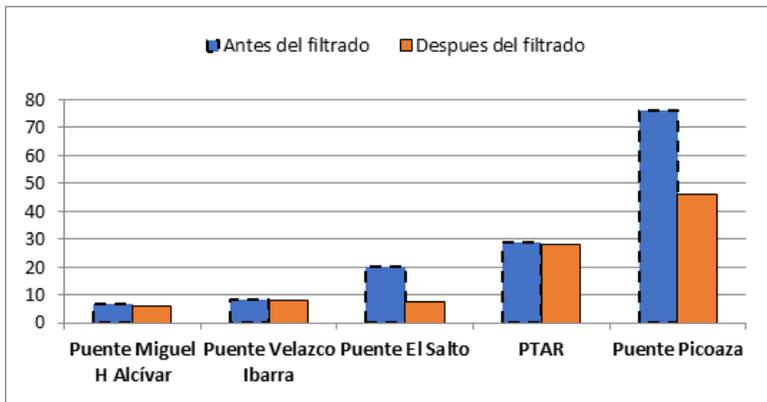


Figura 7. Gráfico comparativo sobre el comportamiento de la DBO, antes del filtrado y luego de realizado el mismo.

Entre los parámetros físicos que pueden ser mejorados mediante el filtrado con zeolita, se encuentran los siguientes:

Se logran reducir los sólidos disueltos entre un 2% y un 8%, así como los sólidos suspendidos que pueden reducirse entre un 35% y un 85%. En la figura 8 se muestra el gráfico comparativo sobre el comportamiento de los sólidos disueltos antes del filtrado y luego de realizado

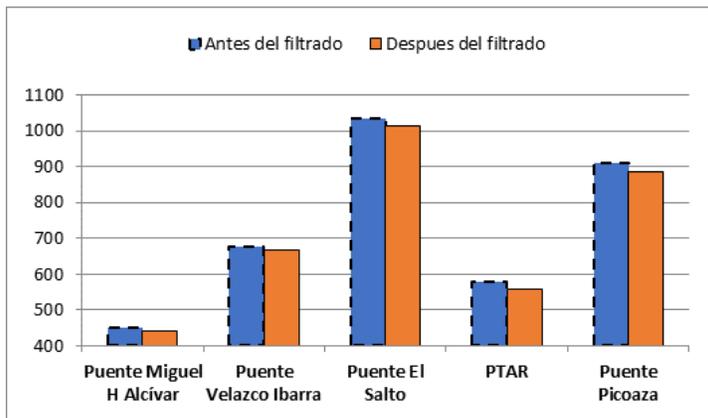


Figura 8. Comportamiento de los sólidos disueltos, antes del filtrado y luego de realizado el mismo.

En la Figura 9 se muestra el gráfico comparativo sobre el comportamiento de los sólidos suspendidos.

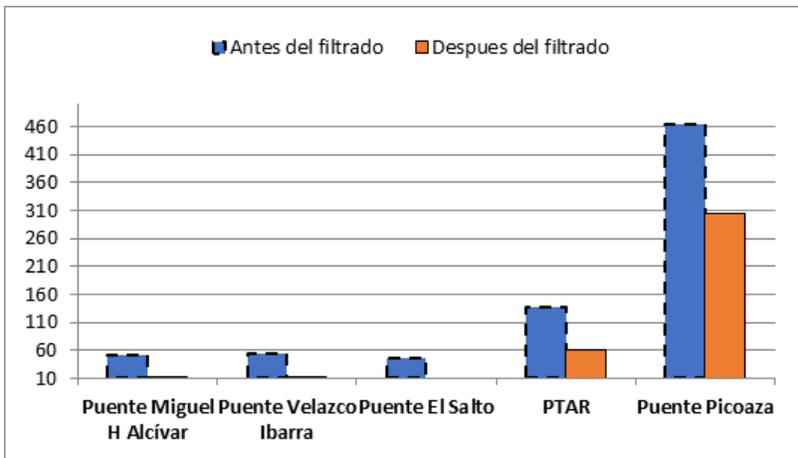


Figura 9. Comportamiento de los sólidos suspendidos.

Se logró mejorar la conductividad eléctrica hasta en un 3% y el oxígeno disuelto se logra mejorar entre un 2% y un 7%.

En la figura 10 se muestra el gráfico comparativo sobre el comportamiento de la conductividad eléctrica relacionada con el oxígeno disuelto después de filtrado el mismo.

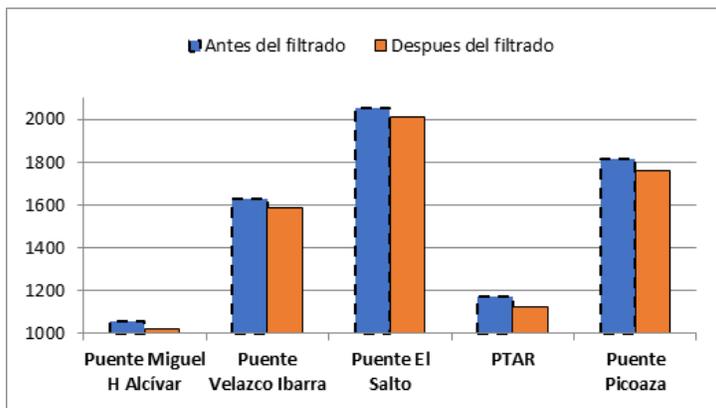


Figura 10. Comportamiento de la conductividad eléctrica, antes del filtrado.

En la Figura 11 muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica después del filtrado.

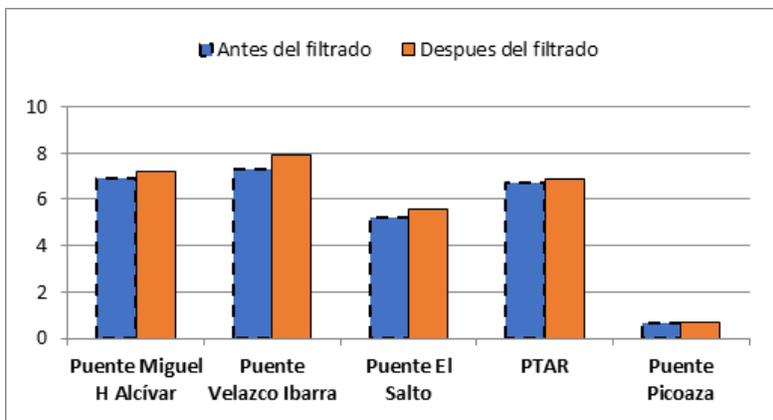


Figura 11. Comportamiento del oxígeno disuelto, después del filtrado.

Como se ha venido describiendo la investigación permitió verificar las propiedades de la zeolita en función de mejorar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales.

Los valores de vacíos de aires que se han logrado obtener para el diseño propuesta con asfalto convencional modificado con polímero, están dentro del rango recomendado por el Manual de Especificaciones del Instituto del Asfalto; es decir, de 3 a 5 % , por lo consiguiente el comportamiento de la mezcla será adecuado.

## CONCLUSIONES

Mediante análisis de laboratorio se logró definir la caracterización fisicoquímica del agua residual de cinco efluentes que desembocan en el río Portoviejo, pudiendo identificar los que corresponden a la planta de tratamiento de aguas residuales y del puente de Picoaza, como los más contaminados con amonio.

La posibilidad de poder utilizar la zeolita como material de base para la purificación de las aguas residuales de los efluentes del Río Portoviejo, demuestra la potencialidad de poder aplicar soluciones de tratamiento de aguas residuales en el marco del esquema de desarrollo local, utilizando recursos autóctonos y métodos técnicos menos costosos y amigables con el ambiente, lo que asegura la sostenibilidad de la propuesta, demostrando que con el empleo de polímeros se tiene un producto de mejores características, la misma que puede ofrecer un mejor comportamiento tanto en resistencia como a las deformaciones (fisuras- ahuellamientos- etc.)

## REFERENCIAS

Corradine , J. E., & Espitia , G. A. (2015). Deterioro De Una Base Estabilizada con Asfalto por Factores del Medio Ambiente. *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas* .

Figueroa Infante, A. S., Reyes Lizcano, F. A., Hernandez Barrera, D., Jimenez, C., & Bohurquez, N. (2007). Analisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfaltica densa en caliente. *Ingenieria e investigación*, 5-15 .

Aamblea Nacinal Legislativa. (2023). *Revision y actuaiación de la norma de calidad ambiental y de descarga de afluentes : Recurso agua*. Presidencia de la República, Norma de calidad y descarga de efluentes: Recurso agua. Obtenido de <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>

Alvarez Lugo, A. E., Arámbula Mercado, E., & Spinel, S. C. (2008). Tomografía computarizada con rayos-x y sistema de imágenes de agregados (AIMS) para el estudio de mezclas asfálticas y agregados. *Revista ingenieria e investigación*, 142-151.

Amaya, A. M., & Morales, F. R. (2021). *Determinación de las características físicas desustancias reactivas: Piroclastos volcánicos,Zeolita*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32615/1/Tesis%20I.%20C.%201478%20-%20Amaya%20Diaz%20Ana%20Mar%C3%ADa.pdf>

ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, [www.astm.org](http://www.astm.org). (s.f.).

*ASTM C131 / C131M-14, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*, ASTM International, West Conshohocken, PA. (2006).

ASTM D1559-89 Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus (Withdrawn 1998). (s.f.).

ASTM D3515-01, Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures (Withdrawn 2009), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, [www.astm.org](http://www.astm.org). (s.f.).

Bofill, S., Clemente, P., Albiñana, N., Maluquer, C., Hundesa., & Girones, R. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 253-269. Obtenido de [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_isoref&pid=S1135-57272005000200012&lng=es&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S1135-57272005000200012&lng=es&tlng=es)

Campoverde, J., Naula, F., Coronel, K., & Romero, A. (2018). The change of the energy matrix in Ecuador; a perspective of its reality. *Acordes*, 8. Obtenido de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/acordes/article/view/4349/3220>

Carbonel, D. (2018). Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética. *Ingeniería*, 23(3), 252-273. doi:<https://doi.org/10.14483/23448393.13418>

Cárdenas , J., & Fonseca, E. (2009). Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polimeros reciclado, estudiada desde la relación viscosidad temperatura. *Revista EIA*, 125-137.

- Cárdenas, É. P. (2022). El agua potable en la agenda pública de las instancias metropolitanas en Guadalajara. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 9(1), 15-34. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2462-91032022000100015](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2462-91032022000100015)
- Castro, O. E., & Moncada Rangel, J. A. (2022). Educación ambiental para el manejo sustentable del agua en la comunidad Toro Muerto, Río Caronil. *Revista Digital del Doctorado en Educación*, 8(15), 61-84. doi:<https://doi.org/10.55560/arete.2022.15.8.3>
- Castro, O., & Moncada, J. A. (2022). Educación ambiental para el manejo sustentable del agua en la comunidad Toro Muerto río Carní. *Castro, Omar Enrique, & Moncada Rangel, José Alí*, 8(15), 61-84. doi:<https://doi.org/10.55560/arete.2022.15.8.3>
- CEPAL. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Copyright © Naciones Unidas. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>
- Curi, A., Granda, W., Lima, H., & Sousa, W. T. (2006). Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros. *Información tecnológica*, 17(6), 11-118. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600017>
- Espigares, M., & Pérez, J. A. (2015). *Aguas residuales. Composición*. Obtenido de [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Flores, A., Galvis, A., Hernández, T. M., González, F., & Payán, F. (2007). Efecto de la adición de zeolita (clinoptilolita y mordenita) en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el crecimiento de avena. *Interciencia*, 32(10), 692-696. Obtenido de [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007001000010#:~:text=Las%20zeolitas%20son%20aluminosilicatos%20con,%C3%B3nico%20con%20el%20medio%20circundante](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001000010#:~:text=Las%20zeolitas%20son%20aluminosilicatos%20con,%C3%B3nico%20con%20el%20medio%20circundante)
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Gómez López, J. A., Romero, S. A., & Alarcón Orta, H. A. (2004). Aspectos del diseño volumetrico de mezclas asfálticas. *Intituto Mexicano del Transporte* .
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Gomez Lopez, J. A., & Alvarado Gonzalez, M. (2004). Comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con SBR. *Secretaria de comunicaciones y transporte*.
- Gómez, H. R. (2015). *Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)*. Ministerio del Ambiente de Perú,. Obtenido de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Guerrero, M. S., Vázquez, A., & Rodríguez, M. (s.f.). La zeolita en la descontaminación de aguas residuales. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA, Especial(2)*, 109-117. Obtenido de <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/download/73/74/>
- IDRICA. (2022). *Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/#:~:text=Normalmente%20se%20distribuyen%20en%204,obtenidos%20en%20los%20diferentes%20tratamientos>
- Jacobo, F. d. (2018). Aguas residuales urbanas y sus efectos en la comunidad de Paso Blanco, municipio de Jesús María, Aguascalientes. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(6), 267-293. doi:<https://doi.org/10.21696/rcsl9162018760>

Jimenez, G., & Torres, M. E. (2013). Superficie de rodadura. En *Norma Ecuatoriana vial NEVI-12 - MTOP*. Quito.

Lombana, O. (2023). *Revisión del estado de avance de las aplicaciones de la nanotecnología para la reucción de contaminantes presentes en los vertimientos de la industria textil*. Repositorio Unversidad de Las Américas. Obtenido de <https://repositorio.uamerica.edu.co/bitstream/am/20.500.11839/9124/1/5656272-2022-II.GA.pdf>

Macias Sanchez , L. K., Ortiz Hernández, E. H., Quiroz Fernandez, L. S., & Ruiz Parraga, W. E. (2018). Determination of Physical and Mechanical Properties of Quarries Dos Bocas Mouths and Mine Copeto for High Resistance Concretes. *InternationalResearch Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 33-40.

Mejias, F. S. (2016). *Zeolitas: generalidades, potenciales y sus aplicaciones en energía*. Repositorio. Obtenido de <https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/197/MejiaRodriguezFerneySantiago2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Morantes, F., & Graces, D. (2013). *Caracterización Mineralógica Del Depósito De Zeolitas Naturales En El Río Guaraguau (Isidro Ayora, Provincia Del Guayas) Y Su Aplicación En La Remoción De Amonio En Aguas Residuales*. Repositorio ESPOL. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24645>

OMS. (2013). *Guías de OMS, uso seguro de aguas residuales y excretas*. Obtenido de [https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod\\_page/content/148/Session3a\\_Medlicott\\_WHO\\_En.pdf](https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/148/Session3a_Medlicott_WHO_En.pdf)

OMS. (2013). *OMS, Safe Use of Wastewater, Greywater and excreta. Guías de OMS Uso seguro de aguas residuales y excretas, 2013. Consultado el 2 de noviembre de 2017. Disponible el: [http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod\\_page/content/148/Session3a\\_Me](http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/148/Session3a_Me)*. Obtenido de [http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod\\_page/content/148/Session3a\\_Me](http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/148/Session3a_Me)

ONU. (2023). Acerca de nuestro trabajo para los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Ecuador. Obtenido de <https://ecuador.un.org/es/sdgs>

ONU. (2023). <https://www.un.org/es/global-issues/water>. Obtenido de <https://www.un.org/es/global-issues/water>

Ortiz Hernández, E. H., Ortiz Moncayo, E. H., Macias Sanchez, L. K., & Pachana de Cardero, R. (2017). Behavior of Clayey Soil Existing in the Portoviejo Canton and Its Neutralization Characteristics. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research (IRJEIS)*, 1-10.

Reyes Ortiz, O. J., Camacho Tauta, J. F., & Londoño León, A. (2013). Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo. *Revista científica General José María Córdova*, 215-232.

Rodríguez, M. V. (2017). La ordenación territorial y las fuentes renovables de energía. *ConFigSIG*. Obtenido de <https://filosofia.uazuay.edu.ec/memorias/article/download/74/68>

Rodríguez, M., Vázquez, A., & Millet, Z. (2017). Fuentes de energía renovables y desarrollo local. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades ( IJSSH )*, 1(2), 10-19. doi:<https://doi.org/10.29332/ijssh.v1n2.31>

Sacyr. (2023). *Análisis geográfico enfocado a potenciar las energías renovables*. Obtenido de <https://www.sacyr.com/-/analisis-geografico-enfocado-a-potenciar-las-energias-renovables>

Sánchez, L. Y. (2018). *Empleo de Zeolitas en procesos de adsorción y separación de hidrocarburos de cadena corta*. Universidad de Valencia. Obtenido de <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/107362/S%C3%81NCHEZ%20-%20Empleo%20de%20zeolitas%20en%20procesos%20de%20adsorci%C3%B3n%20y%20separaci%C3%B3n%20de%20hidrocarburos%20de%20cadena%20corta.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Sánchez, S. A., & Guangasig, V. H. (s.f.). Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano: La realidad en el Ecuador. *LATAM, IV(2)*, 2023. doi:<https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.690>

UNESCO. (2023). <https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>. Obtenido de <https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>

Vargas Nordebeck, A. (2013). *Evaluación del desempeño de mezclas asfáltica en caliente con y sin adición de polímeros modificantes para mezclas típicas en Costa Rica*. San Jose, Costa Rica.

Vázquez, A. (2022). *El manejo de fuentes renovables de energía para el desarrollo local endógeno y sostenible en la provincia de Manabí*. Alicante: Universidad de Alicante. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/129052>

Velázquez, L. d. (2023). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25. doi:<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>