

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Título:

**Efluentes Regenerados y Aprovechamiento Energético de Fangos
Deshidratados por Geotubos en Depuradoras de Aguas Residuales.**

Autores:

Suárez Villamar, René Marcelo
Cabrera Solís, José Roberto

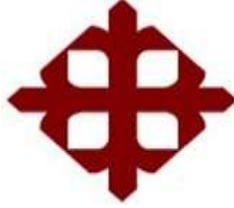
**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Civil**

Tutor:

Ing. Gilberto Martínez Rehpani MSc.

Guayaquil, Ecuador

09 de febrero del 2024



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Certificación

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Cabrera Solís, José Roberto** y **Suárez Villamar, René Marcelo**, como requerimiento parcial para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

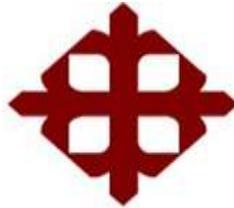
Guayaquil, a los 09 días del mes de febrero del año 2024

Tutor

Ing. Gilberto Martínez Rehpani MSc.

Directora de carrera

Ing. Stefany Alcívar Bastidas MSc.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Declaración de responsabilidad

Nosotros, **Cabrera Solís, José Roberto** y **Suárez Villamar, René Marcelo**

Declaramos que:

El Trabajo de Titulación: **Efluentes regenerados y aprovechamiento energético de fangos deshidratados por Geotubos en depuradoras de aguas residuales**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme a las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente, este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, la veracidad y el alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 09 días del mes de febrero del año 2024

LOS AUTORES



**JOSE ROBERTO
CABRERA SOLIS**

f. _____

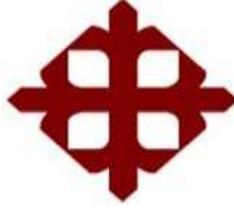
Cabrera Solís, José Roberto



**RENE MARCELO SUAREZ
VILLAMAR**

f. _____

Suárez Villamar, René Marcelo



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Autorización

Nosotros, **Cabrera Solís, José Roberto** y **Suárez Villamar, René Marcelo**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: *Efluentes regenerados y aprovechamiento energético de fangos deshidratados por Geotubos en depuradoras de aguas residuales*, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 09 días del mes de febrero del año 2024

LOS AUTORES:



JOSE ROBERTO
CABRERA SOLIS

f. _____

Cabrera Solís, José Roberto



RENE MARCELO SUAREZ
VILLAMAR

f. _____

Suárez Villamar, René Marcelo

REPORTE DE COMPILATIO

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

CABRERA JOSÉ,
SUÁREZ_MARCELO_Borrador 01Fe24



Nombre del documento: CABRERA JOSÉ, SUÁREZ_MARCELO_Borrador 01Fe24.docx ID del documento: 48b675b3f19594f7ab3a1cdad86a70087b0e0973 Tamaño del documento original: 30,66 MB	Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos Fecha de depósito: 2/2/2024 Tipo de carga: Interface fecha de fin de análisis: 3/2/2024	Número de palabras: 23.230 Número de caracteres: 161.098
--	--	---



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/9317/6638/3/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf.zip 35 Fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 2% (657 palabras)
2	www.redalyc.org https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf 8 Fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 2% (629 palabras)
3	repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/9317/6596/3/T-UCSG-PRE-ING-IC-163.pdf.zip 23 Fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (436 palabras)
4	dspace.ups.edu.ec http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23913/4/Calidad de agua en el río Dauile 2023.pdf 10 Fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (503 palabras)
5	Documento de otro usuario #381927 El documento proviene de otro grupo 4 Fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (342 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	zeolitanatural.blogspot.com Zeolita Natural https://zeolitanatural.blogspot.com/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
2	Documento de otro usuario #181564 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
3	sites.google.com OBRAS HIDRAULICAS - INGENIERÍA CIVIL https://sites.google.com/site/mde/la-e/campos-de-aplicacion/obras-hidraulicas	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	dspace.uazuay.edu.ec http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8339/1/14060.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
5	Documento de otro usuario #361441 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.zeonatec.com/post/descubriendo-los-diversos-usos-de-la-zeolita>
- <https://www.primato.gr/nuestras-noticias-es/zeolitas-en-el-tratamiento-de-aguas-es>
- <https://www.linkedin.com/in/patricia-lucas-mina-de-zeolitas-b1b81128/?originalSubdomain=ec>
- <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5990?show=full&locale-attribute=en>
- <https://neilsanz07.wordpress.com/2015/07/25/la-zeolita-una-estupenda-opcion-cuan-piensas-en-obtener-agua-pura/>

Tutor

Ing. Gilberto Martínez Rehpani MSc.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este Trabajo de Titulación. Este logro no habría sido posible sin el apoyo, la orientación y el estímulo de diversas personas y recursos a lo largo de este arduo pero gratificante camino.

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor de tesis, el ingeniero Gilberto Martínez, por su inquebrantable compromiso, paciencia y guía durante todo el proceso. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para dar forma a esta investigación y llevarla a buen puerto. Sus valiosas sugerencias y retroalimentación constructiva fueron la brújula que orientó cada paso.

Mi gratitud se extiende a mi compañero de tesis, Marcelo Suárez, quien compartió sus conocimientos y experiencias, ayudándonos mutuamente, creando un entorno propicio para el intercambio de ideas y el aprendizaje mutuo.

A mi familia, les agradezco por su apoyo incondicional y comprensión a lo largo de este desafiante proceso. Su aliento constante y amor han sido mi fuente de fortaleza y motivación. A mi papá que, aunque ya no se encuentre conmigo, siempre me apoyó en todo momento y donde sea que esté, estará feliz de poder llegar a esta instancia.

Finalmente, agradezco a todos mis amigos y enamorada, que de una u otra manera, contribuyeron a la culminación exitosa de este trabajo. Cada aporte, por pequeño que parezca, ha dejado una huella significativa en este proyecto.

José Roberto Cabrera Solís

Dedicatoria

A mi papá, estés donde estés, esto es para ti. Hubiera deseado que estuvieras aquí conmigo en este momento crucial de mi vida; sin embargo, el Señor tiene otros planes. No obstante, no cabe duda de tu apoyo incondicional y amor que siempre me diste. Siempre estarás para mí.

A mi mamá, que, a pesar de los malos momentos, siempre me apoyó y me brindó fuerzas y ánimos a lo largo de este camino. Incluso cuando todo parecía perdido, tú siempre me apoyaste de cualquier manera e hiciste de todo para que yo pudiera seguir adelante.

Esto también es para mi abuelo y mi familia, quienes, a pesar de todas las complicaciones, siguieron creyendo en mí y me apoyaron para seguir creciendo profesionalmente.

A mis amigos/as, quienes con su aliento y comprensión han sido el sostén emocional en los momentos más desafiantes. Su presencia ha convertido esta travesía en un viaje compartido, lleno de risas y aprendizajes.

A mi enamorada, Majito, quien, cuando tuve los peores momentos, estuvo apoyándome y ayudándome en todo momento para no rendirme.

A mi tutor y guía académica, cuya sabiduría y orientación han sido la brújula que ha dirigido cada paso de este proyecto. Su compromiso y dedicación fueron la inspiración que necesitaba para alcanzar mis metas.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la presencia de cada uno de ustedes. Gracias por ser parte fundamental de este capítulo significativo en mi vida.

José Roberto Cabrera Solís

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de haber llegado hasta estas instancias de mi vida, por brindarme su protección, sabiduría, guiándome de la forma correcta proponiéndome un camino lleno de felicidad y expresándome su infinito amor con cada obstáculo superado.

Quiero agradecer desde lo más profundo de mi ser a mis padres que son el motor fundamental de este proceso educativo, tanto en lo moral, sentimental y económico. Realizaron sus mayores esfuerzos para darme una profesión, por demostrarme de su fe en mí y saber que en todo momento existe la recompensa de su gran apoyo. Mis hermanas que de una u otra forma fueron consejeras de bien, generando un ambiente acogedor en el que brindan su apoyo y alentando para que seguir adelante. Una infinita gratitud por estar presentes en cada obstáculo que hicieron tomar mejor decisiones mediante sus palabras, y puedo decir que todo esfuerzo tiene su recompensa.

Agradezco a personas que en el transcurso de mi vida y de mi etapa universitaria llegaron a formar parte fundamental de este logro. Demostrando ser pilares del saber, ofreciendo conocimientos y expresando su gran afecto.

No menos importante quiero extenderle mi agradecimiento a mi tutor de tesis al Ing. Gilberto Martínez, por tener la gentil amabilidad de demostrar que existe un ambiente muy amplio dentro de la vida profesional, su paciencia, por ser nuestro guía y dar su apoyo incondicional. Extender las gracias a todos mis docentes catedráticos, compañeros, que impartían sus conocimientos y te ofrecían la ayuda que necesitabas para comprender las cosas.

Marcelo Suárez Villamar

Dedicatoria

La vida tiene grandes y bajos logros pero lo importante son las personas te dan su apoyo. Este Trabajo de Titulación lo quiero dedicar a Dios que es el todopoderoso, a mis padres (Irma Villamar y René Suárez) que desde un principio tuvieron la confianza de apoyarme, ver que con gran esfuerzo tuvieron el fruto de verme feliz y comprometido en convertir la gran ayuda incondicional en exitos. Siempre sera para ellos y por ellos mis exitos.

Mis hermanas, otros familiares y en especial a un gran tio que en paz descanse y donde quiera que este que sepa que lo extraño, personas que estuvieron en el proceso de aprendizaje por estar pendientes a que pueda sobrellevar muchos aspectos que se puedan presentar en la vida estudiantil, cada ocasión, cada adversidad que me supieron extender la mano y levantarme de cada caída.

Marcelo Suárez Villamar



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tribunal de sustentación

f.

PhD. Ing. Federico von Buchwald de Janon.

Decano

f.

PhD. Nancy Varela Terreros

Docente de la Carrera

f.

Ing. Clara Glas Cevallos, MSc.

Oponente

Contenido

Introducción	2
Problemática ambiental	2
Antecedentes	4
Contexto ambiental de la Cuenca Baja del Guayas	4
Descripción del problema	6
Situación problemática.....	8
Justificación del estudio	16
Objetivos	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
Capítulo I. Marco teórico.....	20
1.1 Marco legal.....	20
1.2 Ley Orgánica de Educación Superior (LOES).....	21
1.3 Estatuto de la UCSG	22
1.4 El perfil del egresado de ingeniería civil.....	22
1.5 Sustentabilidad y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	22
1.6 ODS 6: agua limpia y saneamiento.....	23
1.7 ODS 9: industria, innovación e infraestructura.....	23
1.8 ODS 11: ciudades y comunidades sostenibles	24
1.9 La Cuenca Baja del Guayas	24
1.9.1 Ubicación geográfica	24
1.10 Área de provincias dentro de la Cuenca Baja del Guayas	26
1.11 Generalidades de la Cuenca Baja del Guayas	26
1.12 Hidrografía	27
1.13 Subcuencas hidrográficas de la Cuenca Baja del Guayas	28
1.14 Golfo de Guayaquil (GG).....	29
1.15 Hidrografía del Golfo de Guayaquil	31
1.16 Aguas residuales.....	32
1.17 Clasificación de las aguas residuales	33
1.18 La contaminación derivada de las aguas residuales.....	35

1.19	Resultados que conducen los vertidos.....	37
1.20	Contaminación de los ríos de la Cuenca Baja del Guayas	41
1.21	Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR).....	46
1.22	Clasificación del tratamiento de aguas residuales.....	48
1.22.1	Tratamiento preliminar o pretratamiento	48
1.23	Tratamiento primario	49
1.24	Tratamiento secundario.....	49
1.25	Tratamiento terciario o avanzado.....	51
1.26	Lodos residuales.....	51
1.27	Procedencia de los lodos	51
1.28	Caracterización de los lodos.....	52
1.29	Tratamientos y métodos empleados en los lodos	53
Capítulo II. Fundamentos teóricos.....		56
1.30	Las Zeolitas para Desinfección de Aguas Residuales.....	56
1.30.1	Propiedades de la zeolita	57
1.30.2	Acción de la zeolita.....	58
1.30.3	La zeolita para reducir la contaminación de aguas residuales	59
1.30.4	Zeolita en la filtración de Agua Residual.....	63
1.31	Geotubos	64
1.32	Lagunas de estabilización	71
1.32.1	Funcionamiento de lagunas de estabilización	73
1.32.2	Esquema de una laguna de estabilización	76
1.33	Secadora solar	77
1.33.1	Secado de lodos residuales por efecto invernadero.....	78
1.33.2	Sistema estructural de la secadora solar.....	79
1.34	Reúso de aguas residuales regeneradas.....	82
1.35	Uso de lodos residuales.....	84
1.35.1	Uso de incineración para producir combustible.....	87
Capítulo III. Propuesta Regenerativa del Agua Residual y Lodos Residuales Deshidratados		90
1.36	Propuesta Regenerativa del Agua Residual Proveniente de los Emisarios.....	90
1.36.1	Aprovechamiento del Agua Residual Tratada	101

1.37Propuesta Granulométrica de Material de Transición para piscina regenerativa.....	102
1.37.1 Aprovechamiento del Lodo Residual Deshidratado.....	107
1.38Resultados y Discusión	110
Conclusiones y Recomendaciones	115
Referencias.....	117

Lista de figuras

Figura 1 <i>Red hidrográfica de la Cuenca Baja del Guayas</i>	4
Figura 2 <i>Contaminación del río Daule</i>	6
Figura 3 <i>Contaminación de la red hidrográfica del Guayas</i>	7
Figura 4 <i>Casas flotantes del río Babahoyo</i>	8
Figura 5 <i>Contaminación directa a la población</i>	9
Figura 6 <i>Descarga a los esteros de la ciudad de Guayaquil</i>	10
Figura 7 <i>Intoxicación por consumo de pescado con contenido de arsénico</i>	11
Figura 8 <i>Delfín en el Golfo de Guayaquil</i>	12
Figura 9 <i>Lanzamiento de excretas al Estero Salado</i>	14
Figura 10 <i>Toxicidad cutánea por ingestión de pescado</i>	14
Figura 11 <i>Eutrofización en el Estero Salado</i>	15
Figura 12 <i>Mapa de la Cuenca Baja del Guayas</i>	25
Figura 13 <i>Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule</i>	28
Figura 14 <i>Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule</i>	29
Figura 15 <i>Ubicación del Golfo de Guayaquil en América del Sur</i>	30
Figura 16 <i>Golfo de Guayaquil</i>	31
Figura 17 <i>Preocupación por presencia de manchas de hidrocarburo en la ría Guayas</i>	34
Figura 18 <i>Descargas domiciliarias de aguas residuales en Estero Salado por filtración de pozo séptico</i>	34
Figura 19 <i>Ductos del mercado Caraguay, en el sur de Guayaquil, desfogon aguas residuales del área de mariscos y otros desechos directo a la ría Guayas</i>	35
Figura 20 <i>Descargas de aguas residuales, plásticos y demás basura descomponen un estero de Yaguachi</i>	36
Figura 21 <i>Contaminación en el Estero Salado por aguas residuales y otros derivados</i>	37
Figura 22 <i>Cientos de peces, pequeñas corvinas y bagres, la mayoría de unos 10 centímetros, emergieron muertos</i>	39
Figura 23 <i>Aparición de materiales flotantes que contaminan el Estero Salado en Guayaquil</i>	39
Figura 24 <i>La tierra tiene una tonalidad oscura en una de las descargas de aguas servidas detectadas en el puente del Centro Comercial Albán Borja, en el noroeste de Guayaquil</i>	40

Figura 25 <i>Presencia de metales pesados en ríos de Ecuador</i>	41
Figura 26 <i>En Santo Domingo hay cuatro de estos con mayor contaminación, y el principal es el Pove</i>	42
Figura 27 <i>Contaminación del Estero Salado</i>	43
Figura 28 <i>Mancha de origen y contenido desconocido</i>	44
Figura 29 <i>Aguas blanquecinas en las que flota basura desembocan en uno de los ramales del Estero Salado en el sector de la 19 y El Oro del suburbio oeste de Guayaquil</i>	45
Figura 30 <i>Contaminación en el río Daule</i>	46
Figura 31 <i>Separación de materiales sólidos de las aguas residuales</i>	49
Figura 32 <i>Tratamiento secundario: proceso biológico para reducir compuestos orgánicos presentes en aguas residuales</i>	50
Figura 33 <i>Tratamiento de deshidratación de lodos y aguas residuales en el parque industrial de Chuan Sing, Taiwán</i>	52
Figura 34 <i>Valores característicos de los parámetros más frecuentemente estudiados en los lodos</i>	53
Figura 35 <i>Concentraciones permisibles para los metales pesados en los lodos</i>	53
Figura 36 <i>Recolección de zeolitas</i>	56
Figura 37 <i>Zeolitas en el tratamiento de aguas</i>	57
Figura 38 <i>Zeolita natural</i>	58
Figura 39 <i>Zeolita ubicado en la vía La Costa, Guayaquil</i>	59
Figura 40 <i>Canteras de zeolitas en distintas zonas de la Cuenca Baja del Guayas</i>	60
Figura 41 <i>Cantera Verdu Pascuales, Vía a Daule y Guayaquil</i>	61
Figura 42 <i>Filtros de zeolita para pozos</i>	62
Figura 43 <i>Geotubo para aguas residuales</i>	64
Figura 44 <i>Llenado de geotubo para agua residual</i>	67
Figura 45 <i>Geotubo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Conques-Villalier</i>	67
Figura 46 <i>Deshidratación de lodos</i>	69
Figura 47 <i>Deshidratación de lodos procedentes del tratamiento de lixiviados con Geotubos</i>	70

Figura 48 <i>Las lagunas de Estabilización, situadas en la autopista Narcisa de Jesús Guayaquil-Guayas.</i>	72
Figura 49 <i>Laguna de Estabilización donde se tratan las aguas servidas antes de ser vertidas al río Daule (Guayaquil-Ecuador)</i>	73
Figura 50 <i>Esquema del diseño de una laguna de Estabilización de tipo anaerobia</i>	74
Figura 51 <i>Interacción de bacterias y algas en una laguna facultativa</i>	75
Figura 52 <i>Proceso de una laguna facultativa</i>	75
Figura 53 <i>Esquema general de un proceso de lagunaje</i>	76
Figura 54 <i>El secador solar detiene el aumento de los costes de eliminación de lodos. ..</i>	77
Figura 55 <i>Robot encargado de mezclar el material dentro de la cámara solar.</i>	78
Figura 56 <i>Secadora solar Thermo-System vista exterior.</i>	80
Figura 57 <i>Estructura de una secadora solar</i>	81
Figura 58 <i>Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule</i>	84
Figura 59 <i>Lodos residuales usados como compost en el área agrícola.</i>	85
Figura 60 <i>Hormigón ligero con adiciones de lodos residuales.</i>	86
Figura 61 <i>Fabricación de ladrillos con adiciones de lodos residuales</i>	87
Figura 62 <i>Material sólido de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales precedentemente a la quema en la cámara solar.</i>	88
Figura 63 <i>Laguna de Estabilización en el Cantón Daule</i>	90
Figura 64 <i>Lagunas de Estabilización en el Cantón Milagro.</i>	90
Figura 65 <i>Lagunas de Estabilización en el Cantón Guayaquil</i>	91
Figura 66 <i>Lagunas de Estabilización en el Cantón Palestina</i>	91
Figura 67 <i>Lagunas de Estabilización en el Cantón Pedro Carbo</i>	92
Figura 68 <i>Lagunas de Estabilización en el Cantón Naranjito</i>	92
Figura 69 <i>Efluente de Laguna de Estabilización</i>	93
Figura 70 <i>Vista del Sistema complementario de regeneración de aguas residuales.</i>	94
Figura 71 <i>Vista del bombeo de los efluentes de la laguna de Estabilización al Geotubo.</i>	94
Figura 72 <i>Vista lateral de la línea de conducción del emisario fluvial de las lagunas de estabilización hacia el Geotubo.</i>	95
Figura 73 <i>Sistema de Bombeo de las aguas residuales desde las lagunas de oxidación.</i>	95

Figura 74 *Tratamiento propuesto por los autores para la regeneración de los efluentes provenientes del emisario final.* 97

Figura 75 *Vista de la cámara de desinfección por zeolita, donde el agua filtrada proveniente del Geotubo es tratada.*..... 98

Figura 76 *Vista de la Cámara de zeolita y tratamiento complementario.*..... 98

Figura 77 *Vista en Planta de la cámara de zeolita y piscina regenerativa para el tratamiento complementario.* 99

Figura 78 *Material retenido dentro del geotubo, donde será transportado a la cámara solar a través de volqueta.* 99

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Provincias dentro de la Cuenca Baja del Guayas</i>	26
Tabla 2 <i>Granulometría obtenida posterior al proceso de tamización.</i>	106
Tabla 3 <i>Energía producida por lodos residuales en la Cuenca Baja del Guayas.</i>	106
Tabla 4 <i>Producción del material de mejoramiento a base de arcilla expansiva.</i>	106

Resumen

El presente trabajo investigativo estudia y analiza los Efluentes regenerados y aprovechamiento energético de fangos deshidratados por Geotubos en depuradoras de aguas residuales, que pretende resolver los problemas socio ambientales que ocurren en la Cuenca Baja del Guayas, este trabajo está enfocado para las cabeceras cantonales y parroquiales de las diferentes provincias del Guayas, para que el material de construcción recolectado sea de uso de las mismas cabeceras cantonales.

Para la elaboración de lograr el trabajo, fue necesario realizar un levantamiento bibliográfico con la finalidad de obtener información del uso del geotubo para el tratamiento de aguas residuales y posteriormente la reutilización de los subproductos obtenidos a partir del mismo.

Siguiendo el proceso metodológico, para la realización de esta novedad científica se elaboraron representaciones gráficas que permiten poder mostrar el sistema complementario de regeneración de las aguas residuales producidas en la Cuenca Baja del Guayas, donde se muestra el proceso y regeneración de las aguas y lodos residuales deshidratados.

Mediante un estudio granulométrico se estudió el material de transición ubicado en el fondo de la piscina regenerativa complementaria, que es parte del sistema complementario de regeneración. Esta propuesta sustentable es viable debido que reutiliza el lodo residual proveniente del emisario fluvial de la laguna de estabilización existente, regenerando, obteniendo energía limpia y sustentable.

Palabras Claves: Efluentes Regenerados, Fangos Deshidratados, Aprovechamiento Energético, Geotubos, Novedad Científica, Sistema Complementario, Regeneración de las Aguas Y Lodos Residuales, Emisario Fluvial.

Abstract

This investigative study examines and analyzes the regenerated effluents and energy utilization of dehydrated sludge through geotubes in wastewater treatment plants. The aim is to address socio-environmental issues in the Lower Guayas Basin. The focus of this work is on the municipal and parish heads of different provinces within Guayas, with the intention that the collected construction material be used in the same municipal and parish areas.

To achieve the objectives of this study, a literature review was conducted to gather information on the use of geotubes for wastewater treatment and the subsequent reuse of by-products. Following the methodological process, graphical representations were developed to illustrate the complementary regeneration system for wastewater produced in the Lower Guayas Basin, highlighting the process and regeneration of dehydrated wastewater and sludge.

Through a granulometric study, the transitional material at the bottom of the complementary regenerative pool, integral to the complementary regeneration system, was examined. This sustainable proposal is viable as it reuses residual sludge from the fluvial emissary of the existing stabilization lagoon, achieving regeneration and obtaining clean and sustainable energy.

Keywords: Regenerated Effluents, Dehydrated Sludge, Energy Utilization, Geotubes, Scientific Innovation, Complementary System, Regeneration of Wastewater and Sludge, Fluvial Emiss

Introducción

Problemática ambiental

La Constitución de Ecuador señala que su ciudadanía tiene derecho a vivir en un ambiente sano y libre de contaminación; sin embargo, estas obligaciones no se cumplen. Para el caso específico de la Cuenca Baja del Guayas, donde las autoridades cantonales hacen uso de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y lagunas de Estabilización para el tratamiento de las excretas urbanas, se presentan serias dificultades con la disposición final de los lodos residuales.

A pesar de la posibilidad de uso en compostaje, muchos de estos lodos van a dar a la red hidrográfica de la Cuenca Baja del Guayas, lo que genera problemas de salubridad para las comunidades en general y para las especies acuáticas. De acuerdo con la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG, 2015), “la mayor parte de las aguas residuales de la ciudad son descargadas después de un pretratamiento a la ría Guayas por medio de 3 descargas en: EB Progreso, EB Pradera y Lagunas Guayacanes-Samanes, y el emisario subfluvial del Guasmo”. Del mismo modo, Ordoñez (2007) afirmó que en Guayaquil también existen otros contaminantes que aportan a la problemática ambiental:

El relleno hidráulico sin previo estudio de impacto ambiental ha causado la proliferación de enfermedades en tales áreas. Los asentamientos cerca de las riberas del Estero Salado y de la ría Guayas: la búsqueda de lugares no ocupados ha dado origen a los asentamientos humanos en este sector estrechando su cauce natural, arrojando sus excretas y basuras directamente sobre estos cuerpos, lo cual ha alterado el equilibrio ecológico (p. 16).

Obras en áreas de asentamientos informales sin control: el relleno hidráulico sin previo estudio de impacto ambiental ha causado la proliferación de enfermedades en tales áreas, debido a que se ha echado de la ría Guayas vertiéndose en el ambiente y llegando de esta manera hasta los seres humanos que habitan el área (p. 16).

De hecho, existen estudios que demuestran una alta concentración de metales en sedimentos de ríos localizados en zonas altamente urbanas y/o industrializadas (Nguyen *et al.*, 2016), además de que, al ser un país en desarrollo, no se han implementado los procedimientos

adecuados para realizar los tratamientos correctos a las aguas residuales que salen de la ciudad, por lo que existe un flujo constante de toxicidad arrojado al río (Caamaño, 2022).

En ese sentido, la extensa red de ríos y afluentes que atraviesa la Cuenca Baja del Guayas, en su camino hacia el Golfo de Guayaquil, ha sido objeto de una creciente carga de efluentes fecales y contaminantes de origen humano e industrial. La falta de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales ha dado lugar a la descarga de material fecal directamente en estos cuerpos de agua, lo que ha generado una serie de problemas ambientales y de salud pública de magnitud preocupante.

Ahora bien, la contaminación de los cuerpos de agua, como la ría Guayas y el Golfo de Guayaquil, ha tenido un impacto devastador en la biodiversidad, y un ejemplo de ello es la extinción de los delfines en esta región costera. Además, ha aumentado significativamente el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua entre las comunidades locales.

Por consiguiente, este proyecto no solo representa una oportunidad para abordar una problemática crítica en la Cuenca Baja del Guayas, sino que también se convierte en un ejemplo de cómo la innovación tecnológica y la colaboración pueden transformar los desafíos ambientales en soluciones que beneficien tanto a la sociedad como al ecosistema.

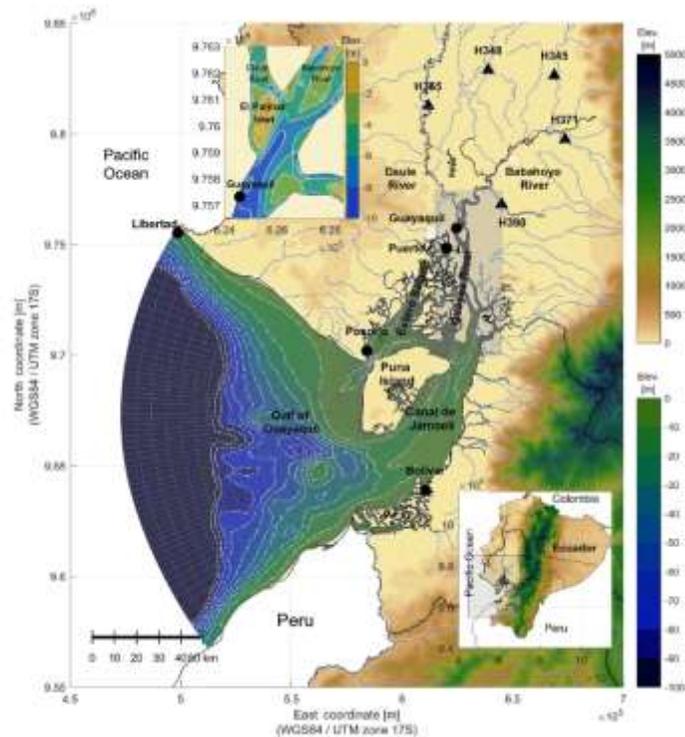
Antecedentes

Contexto ambiental de la Cuenca Baja del Guayas

La Cuenca Baja del Guayas, situada en la región costera de Ecuador, es un área de gran importancia ecológica y económica. Su extensa red de ríos y afluentes, donde se incluye la ría Guayas, sirve como una arteria vital para la región que brinda agua para la agricultura, el consumo humano y la generación de energía. Además, el Golfo de Guayaquil, que se encuentra en la desembocadura de la ría Guayas, es un hábitat crítico para una rica biodiversidad marina, y este incluye especies como los delfines.

Figura 1

Red hidrográfica de la Cuenca Baja del Guayas



Nota. Tomado de *Sediment budget analysis of the Guayas River using a process-based model*, por Barrera, 2019.

Sin embargo, a medida que la región ha experimentado un rápido crecimiento poblacional y un desarrollo industrial en las últimas décadas, el entorno ambiental de la Cuenca Baja del Guayas ha sufrido un deterioro significativo. La contaminación de cuerpos de agua en Guayaquil, en particular, ha sido un desafío persistente y preocupante.

El río Daule es parte de uno de los sistemas fluviales más importantes del Ecuador. Años atrás, gozaba de gran popularidad porque servía de cruce para muchos viajeros, quienes lo consideraban como uno de los más lindos y sumisos afluentes. Con el paso del tiempo esto ha cambiado, ahora el río toma, por tramos, una coloración verdosa y, por momentos, más oscura, en especial cuando su caudal baja por la época de verano, y se remueven sus riberas deforestadas por las descargas existentes sin tratar. Las dificultades que surgen en el río son justamente la alta tasa de deforestación en las riberas y la realización de malos usos agrícolas y ganaderos. (Caamaño, 2022, p. 32)

Un estudio de la Prefectura del Guayas refiere que un indicador de la contaminación orgánica son las altas concentraciones de coliformes fecales en Balzar, El Rosario, El Empalme y aguas abajo del cantón Daule y la actividad agrícola mal manejada debido a la presencia de plaguicidas. (Caamaño, 2022, p. 33)

También se han encontrado niveles altos de arsénico en el río Daule, lo cual puede generar enfermedades a largo plazo para todos los habitantes de dicha zona, quienes suelen usar el río como un balneario. Cabe resaltar que el arsénico presente en el agua no tiene olor, color o sabor; y, gracias a los resultados que se han obtenido y dan validez a esta investigación, se constata que existe este metal dañino para la salud (Caamaño, 2022).

Aun así, las autoridades dicen que no existe tal contaminación y que el río está fuera de riesgo en lo que respecta a la salud de los habitantes aledaños; sin embargo, cada día hay más sospechas de que los altos niveles de arsénico en el agua empleada para la agricultura podrían desgastar los suelos y, por ende, reducir las cosechas y transferirse a los alimentos. Más aún, la gran amenaza por arsénico en el río Daule establece un riesgo del 25 % para la salud de los habitantes, dado que las familias que se encuentran instaladas en el río Daule ingieren directamente el agua de las riberas sin ningún tratamiento (Caamaño, 2022). Igualmente, Gordillo, durante su investigación llegó a la siguiente conclusión:

Se observó que muchas personas utilizan el agua del río Daule para actividades cotidianas, como cocinar, aseo personal y hasta usan para su consumo. Algunas personas encuestadas que viven cerca al río no tienen conocimiento de que existen algunas áreas de desagüe a lo largo de la ribera, donde se encontró alto contenido de sólidos totales disueltos. La mayoría de los moradores tienen la idea de que esa agua es más pura que el agua potable. (p. 69)

Figura 2

Contaminación del río Daule



Nota. Tomado de *Interagua suspende suministro de agua por contaminación en el Daule*, por La República, 2016, <https://www.larepublica.ec/blog/2016/06/21/interagua-suspende-suministro-agua-contaminacion-daule/>

De ese modo, se está induciendo a un número significativo de individuos a la creencia de que están ingiriendo agua potable pura y sin contaminación. No obstante, como se ha señalado, el río en cuestión actúa como un receptor de residuos que se originan desde la región de Daule hasta Palmar y la provincia de Manabí. Este fenómeno, junto con el deficiente tratamiento que se está aplicando al agua, resulta especialmente preocupante, considerando que el río Daule es la fuente principal de captación de agua para la planta de tratamiento destinada a la ciudad de Guayaquil.

Descripción del problema

En la Cuenca Baja del Guayas, la densidad poblacional ha superado los seis millones de habitantes, y esto constituye un porcentaje significativo de la demografía regional. Este incremento demográfico ha generado un aumento sustancial en la generación de aguas residuales de origen doméstico e industrial. Lamentablemente, la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en la mencionada región no ha experimentado un desarrollo proporcional, y eso ha dado lugar a la descarga directa de aguas no tratadas en los ríos y afluentes que integran la cuenca.

Figura 3

Contaminación de la red hidrográfica del Guayas



Nota. Tomado de *¿Qué es reciclaje?*, por Contaminación Ríos GYE, 2016., contaminacionriosgye.blogspot.com

De esa forma, los ríos y cuerpos de agua del Guayas se han convertido en receptáculos de una amplia gama de contaminantes: nutrientes en exceso, patógenos, productos químicos industriales y metales pesados. Esta contaminación ha tenido efectos perjudiciales en la calidad del agua, y ello amenaza la salud de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad que depende de ellos. Adicionalmente, el impacto ambiental de la contaminación en la Cuenca Baja del Guayas ha sido objeto de diversos problemas ambientales, y se han documentado la degradación de los ecosistemas acuáticos, la reducción de la biodiversidad y el aumento en la carga de enfermedades transmitidas por el agua en las comunidades que dependen de estos cuerpos para sus necesidades diarias. Además, se han observado pérdidas económicas debido a la disminución de la pesca y el turismo en la región.

En Jujan, cerca de la unión de los ríos Amarillo y Chilintomo, Marino Aguirre informó que diariamente observa cómo ambos ríos transportan una variedad de desechos, plantas y animales muertos. En Barreiro, un barrio suburbano de Babahoyo, el relleno hidráulico actual provoca la saturación de miles de pozos sépticos en la zona, lo que resulta en la filtración de residuos líquidos a través de la arena hacia los ríos San Pablo y Catarama.

Figura 4

Casas flotantes del río Babahoyo



Nota. Tomado de *Repartiendo ilusión: casas flotantes de Babahoyo, Ecuador*, por Zaki, 2012,

De otra parte, se tiene que estos ríos están separados por distancias considerables; y, aun así, comparten dos características: a) ambos desembocan en el río Babahoyo, y b) tienen una carga de contaminación derivada de las áreas agrícolas y los núcleos urbanos por los que pasan. Los numerosos afluentes contribuyen al aumento del cauce y el caudal del río, donde también se observan casas flotantes sobre el río Babahoyo, dado que estas familias usan el río como lugar para lanzar las excretas, y eso lo convierte en un receptor principal de diversos contaminantes.

Situación problemática

Un estudio de la Universidad Agraria del Ecuador identificó las fuentes principales de bacterias coliformes fecales, que representan un riesgo para la salud en los balnearios a lo largo de los ríos Catarama-Babahoyo y Quevedo-Vinces. Además, se destacan los residuos de plaguicidas y pesticidas en el agua, así como nutrientes que fomentan el crecimiento de plantas acuáticas. Ambos aspectos están vinculados al uso agrícola de las tierras en esta cuenca.

Figura 5

Contaminación directa a la población



Nota. Tomado de Calidad de agua en el río Daule, por Caamaño *et al.*, 2022, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23913>

Asimismo, la presencia de residuos de plaguicidas se ve relacionada con la actividad agrícola. Los bajos niveles de oxígeno y la presencia de arsénico en todos los tramos del río plantean preocupaciones para la vida acuática, y la presencia de bacterias coliformes fecales sugiere riesgos para la salud humana en los balnearios de las áreas Catarama-Babahoyo y Quevedo-Vinces. En resumen, la situación requiere medidas de advertencia en estos lugares recreativos.

En cuanto al contexto ambiental de la Cuenca Baja del Guayas, se observa un escenario crítico de contaminación de cuerpos de agua y degradación ambiental. Esta situación requiere de soluciones innovadoras y sostenibles para abordar los desafíos ambientales, proteger la biodiversidad marina y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales.

Figura 6

Descarga a los esteros de la ciudad de Guayaquil



Nota. Tomado de *Descargas al Estero siguen a once años de plan para recuperarlo*, por El Universo, 2011, <https://www.eluniverso.com/2011/07/31/1/1445/descargas-estero-siguen-once-anos-plan-recuperarlo.html/>

Mucho de esto se puede ver reflejado en los esteros de la ciudad de Guayaquil, donde el olor se puede tornar insoportable, y cuya contaminación proviene también de los desechos que, debido a las mareas altas o los cambios de corriente, terminan depositados en la ría Guayas y encaminados hacia los cantones que se ubican al norte. En suma, es un ciclo sin fin, pues la ría Guayas y sus adyacentes siguen en una constante contaminación. Esto último es perjudicial para las personas que suelen realizar actividades turísticas y de pesca en el río, pues hay que tener en cuenta que el agua está contaminada con material biológico, lo que afecta a las personas con enfermedades y a los peces que habitan en estos lechos.

A pesar de lo señalado, estos riesgos no afectan a todos los habitantes directamente, pero sí de manera indirecta, debido a la contaminación de las aguas de la ría Guayas, el Golfo de Guayaquil y los manglares aledaños, que desembocan en el mar. Así se practica la pesca deportiva y artesanal, y muchos de estos peces se consumen al ignorar la situación referente a la contaminación de los ríos Babahoyo y Daule, que se concentra en la ría Guayas.

Figura 7

Intoxicación por consumo de pescado con contenido de arsénico



Nota. Tomado de *Calidad de agua en el río Daule*, por Caamaño *et al.*, 2022, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23913>

Por otra parte, el consumo habitual de organismos marinos residentes en aguas contaminadas ha sido asociado con la incidencia de enfermedades y casos de intoxicación. Se ha observado que ciertas malformaciones congénitas y patologías de nacimiento pueden ser atribuibles a la ingesta de estos organismos marinos por parte de mujeres embarazadas, niños y personas mayores, quienes, debido a sus sistemas inmunológicos más vulnerables, presentan un mayor riesgo de sufrir efectos adversos derivados de dicha práctica alimentaria.

Al observar la situación, se puede afirmar que en Ecuador no se le brinda la suficiente importancia al tratamiento de aguas residuales que vienen de hogares o industrias y que llegan a los ríos cercanos. Por consiguiente, es necesario conocer los efectos ocasionados para poder tomar medidas correctivas y preventivas. Además, se puede llegar a tener un mejor control sobre las aguas grises en los hogares, centros comerciales e industrias, donde la mayoría del material fecal se empuja con agua potable, lo cual es incoherente y resulta un desperdicio.

Con respecto a la fauna marina en la Cuenca Baja del Guayas, esta solía ser un tesoro de biodiversidad; sin embargo, debido a la contaminación de los cuerpos de agua, se ha presenciado el efecto devastador sobre este frágil ecosistema. Los impactos negativos de la contaminación en la fauna marina son múltiples: desde los efectos locales hasta las consecuencias a largo plazo en toda la cadena alimentaria, y un ejemplo de ello es la pérdida de la biodiversidad a causa de las aguas residuales sin tratar, dado que estas afectan la salud y la reproducción de muchas especies de peces, crustáceos y otros organismos marinos.

Otro caso es el de la extinción de los delfines nariz de botella y el bufeo, que es una subespecie insigne que reside en el Golfo de Guayaquil y que se ha visto afectada directamente por la contaminación de sus hábitats y la reducción de su fuente de alimento. De acuerdo con el informe periodístico de Mongabay (2020):

La población de delfines en el estuario del Golfo de Guayaquil ha disminuido en alrededor del 50 % en la última década. La biodiversidad del Golfo de Guayaquil está reaccionando a las actividades humanas que impactan el ecosistema. Cuando Fernando Félix empezó a estudiar a los delfines nariz de botella entre 1990 y 1992, la comunidad en el estuario del golfo era de 637 individuos. Hoy, la población es de 36 delfines y solo hay cinco hembras en edad reproductiva (p. 1).

Figura 8

Delfín en el Golfo de Guayaquil



Nota. Tomado de *Los delfines del Golfo de Guayaquil están muriendo: estas son las causas y lo que se hace para evitar su extinción*, por X. Ramos, 2022, <https://www.eluniverso.com/larevista/ecologia/los-delfines-del-golfo-de-guayaquil-estan-muriendo-estas-son-las-causas-y-lo-que-se-hace-para-evitar-su-extincion-nota/>

Al respecto, se menciona lo siguiente:

Existen delfines que están migrando a otras partes del Golfo de Guayaquil debido a la contaminación que se da en estos sectores, a pesar de que se comunique de que están bien

las cosas con el tratamiento de estas aguas, pues claramente este es un indicio de que no lo están (Mongabay, 2020, p. 1).

De esa forma, la acumulación de contaminantes y nutrientes en los cuerpos de agua conduce a la proliferación de algas y la formación de zonas muertas, donde la falta de oxígeno hace que la vida marina sea insostenible. Esto impacta en los hábitats naturales de muchas especies, lo que hace que estas deban desplazarse o reduce su capacidad para sobrevivir y reproducirse. En otras palabras, la contaminación no solo afecta a las especies individuales, sino que también puede acumularse a lo largo de la cadena alimentaria. Los organismos marinos contaminados pueden ser consumidos por depredadores superiores, lo que lleva a una mayor concentración de contaminantes en estos animales. Esto no solo amenaza a las especies en la cima de la cadena alimentaria, como tiburones y aves marinas, sino que también representa un riesgo potencial para la salud humana cuando se consumen los organismos contaminados.

Ahora bien, además de los delfines, otras especies emblemáticas de la región, como las tortugas marinas y aves costeras, también se han visto afectadas por la contaminación. La acumulación de agua sucia y otros desechos en los hábitats marinos representa una amenaza significativa para estas especies, que pueden ingerir estos materiales o quedar atrapados en ellos. En ese sentido, la contaminación de los cuerpos de agua en la Cuenca Baja del Guayas ha causado daños significativos a la fauna marina, lo que resulta en la pérdida de biodiversidad, la alteración de hábitats, los efectos acumulativos en la cadena alimentaria y las consecuencias económicas y sociales adversas. Por eso abordar esta problemática es esencial para la preservación de la rica biodiversidad marina y para garantizar la sostenibilidad de las comunidades locales que dependen de estos recursos naturales.

Aunado a lo anterior, se tiene la contaminación de las fuentes de agua potable en muchas comunidades de la Cuenca Baja del Guayas, que puede exponer a la población a contaminantes químicos y biológicos peligrosos, lo que aumenta el riesgo de enfermedades y trastornos. En cuanto a esto, se reconoce que la exposición a contaminantes puede incluir la presencia de sustancias químicas tóxicas, como metales pesados, pesticidas y productos químicos industriales, con las cuales se puede entrar en contacto a través del consumo de agua o la pesca, y ello puede tener efectos negativos a largo plazo en la salud, como el aumento en el riesgo de cáncer, los daños al sistema nervioso y los trastornos hormonales.

Figura 9

Lanzamiento de excretas al Estero Salado



Nota. Tomado de *Los delfines del Golfo de Guayaquil están muriendo: estas son las causas y lo que se hace para evitar su extinción*, por X. Ramos, 2022, <https://www.eluniverso.com/larevista/ecologia/los-delfines-del-golfo-de-guayaquil-estan-muriendo-estas-son-las-causas-y-lo-que-se-hace-para-evitar-su-extincion-nota/>

En este punto, cabe señalar que la pesca y la recolección de mariscos son actividades comunes en la región; no obstante, los organismos marinos contaminados pueden acumular contaminantes en sus tejidos, lo que pone en peligro la seguridad alimentaria.

Figura 10

Toxicidad cutánea por ingestión de pescado



Nota. Tomado de *Toxicidad cutánea por ingestión de pescado*, Hoogstra, 2017., <https://doctorhoogstra.com/wiki/toxicidad-cutanea-por-ingestion-de-pescado/>

Del mismo modo, las enfermedades transmitidas por el agua y la falta de acceso a agua potable pueden tener un impacto significativo en la salud comunitaria: carga de enfermedades, necesidad de atención médica y pérdidas económicas relacionadas con el tratamiento de dichas enfermedades. Así, se puede concluir que la contaminación de los cuerpos de agua en la Cuenca Baja del Guayas representa una amenaza directa para la salud humana, y los riesgos incluyen la propagación de enfermedades por exposición a contaminantes químicos, la afectación de la seguridad alimentaria y el impacto en la salud comunitaria. Por consiguiente, es fundamental para proteger la salud de la población local y garantizar un acceso seguro a recursos hídricos vitales.

Figura 11

Eutrofización en el Estero Salado



Nota. Tomado de *Intervención para el rescate del Estero Salado*, por J. J. Sabando, 2023, <https://medium.com/@juanjosesabando/intervenci%C3%B3n-para-el-rescate-del-estero-salado-622300f98614>

En contraste, la contaminación de cuerpos de agua con nutrientes en exceso, como nitrógeno y fósforo, puede conducir a la eutrofización. Esto se manifiesta en la proliferación de algas y la formación de zonas muertas, donde la falta de oxígeno limita la vida marina. La eutrofización tiene efectos graves en la calidad del agua y en la biodiversidad. La calidad del agua superficial está directamente relacionada con la salud de los ecosistemas acuáticos, y la presencia de contaminantes químicos y la proliferación de algas afectan la biodiversidad marina, lo que tiene consecuencias negativas en la pesca, la reproducción de especies y la supervivencia de la fauna marina.

Igualmente, la exposición a agua contaminada con patógenos y sustancias químicas representa un riesgo para la salud humana. La calidad del agua superficial también influye en la seguridad de la pesca y la calidad de los alimentos marinos, lo que puede afectar la salud de las comunidades locales que dependen de estos recursos. Por consiguiente, la crisis ambiental que la ha enfrentado la Cuenca Baja del Guayas por la contaminación de cuerpos de agua ha llevado a la extinción de delfines, y ha hecho que especies marinas busquen migrar del Golfo de Guayaquil, lo que representa una amenaza para la salud de las comunidades locales.

Justificación del estudio

En Ecuador se requiere diseñar soluciones innovadoras e implementar tecnologías, como los Geotubos para la deshidratación de fangos y el aprovechamiento de residuos sólidos y líquidos, pues esto ofrece una solución innovadora y sostenible para la contaminación de aguas. De igual manera, el ciclo de recuperación de recursos es vital, dado que desde la conversión de residuos en recursos se puede generar energía, y las aguas depuradas pueden emplearse en el riego. Con esto, se puede crear un ciclo de recuperación de recursos que beneficia tanto al medioambiente como a la economía.

De otra parte, se tiene que la Cuenca Baja del Guayas es una región vital en Ecuador, pero esta enfrenta desafíos ambientales críticos que amenazan la salud de sus ecosistemas acuáticos y la calidad de vida de las comunidades locales. Así, en el corazón de esta problemática, se encuentra la gestión de aguas residuales y la contaminación asociada en las plantas de tratamiento. La creciente presión sobre los recursos hídricos, combinada con prácticas insostenibles, ha desencadenado una cadena de consecuencias ambientales negativas. Según un estudio realizado por el Ministerio del Ambiente de Ecuador en 2022, el 70 % de las comunidades rurales de la Cuenca Baja del Guayas no tiene acceso a sistemas de saneamiento adecuados, por lo que alrededor de dos millones de personas en la región no tienen acceso a servicios de alcantarillado, letrinas o pozos sépticos.

Este estudio también reveló que el 80 % de las comunidades rurales que no tienen acceso a sistemas de saneamiento adecuados vierten sus excretas directamente a los ríos, arroyos y lagunas, y esa es una importante fuente de contaminación de la red hidrográfica de la región. Ante esto, los efectos del problema de la contaminación de la red hidrográfica por lanzamiento de

excretas humanas en la Cuenca Baja del Guayas son diversos, pero los principales son los siguientes.

- Problemas de salud: la contaminación del agua por excretas humanas puede causar enfermedades como la diarrea, el cólera, la hepatitis y la disentería. Estas enfermedades pueden provocar la muerte, especialmente en niños pequeños.
- Contaminación del medioambiente: las excretas humanas pueden causar la eutrofización de los cuerpos de agua, lo que se traduce en un aumento de la proliferación de algas y plantas acuáticas. Esto puede provocar la disminución del oxígeno en el agua, lo que puede afectar la vida acuática.

En síntesis, se debe mencionar que este proyecto se propuso abordar de manera integral la problemática ambiental en la Cuenca Baja del Guayas; ello, al centrarse en la mejora de la gestión de aguas residuales y la reducción de la contaminación causada por el mal manejo de sólidos en las plantas de tratamiento e industrias. En ese sentido, y a través de un enfoque basado en evidencia y soluciones sostenibles, se buscó no solo mitigar los impactos actuales, sino también establecer un camino hacia la restauración y la reutilización de estos desechos que son depositados nuevamente al río, a fin de darle un buen uso al residuo sólido o líquido.

Para terminar, este proyecto no solo representa una oportunidad para abordar una problemática crítica en la Cuenca Baja del Guayas, sino que también se convierte en un ejemplo de cómo la innovación tecnológica y la colaboración pueden transformar los desafíos ambientales en soluciones que beneficien tanto a la sociedad como al ecosistema.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una propuesta piloto que permita el uso de los fangos deshidratados mediante la utilización de Geotubos y de la desinfección solar en las EDAR urbanas. Para ello, se debe fundamentar el aprovechamiento energético de estos sólidos desecados, así como el de los efluentes líquidos regenerados.

Objetivos específicos

Fase 1. Analizar de manera global tres investigaciones relacionadas con el aprovechamiento energético de fangos deshidratados provenientes de EDAR urbanas, y el uso de los efluentes líquidos regenerados.

Fase 2. Sistematizar esquemáticamente una propuesta de diseño innovadora que permita el uso de los fangos deshidratados mediante la utilización de Geotubos y la desinfección solar en las EDAR urbanas.

Fase 3. Sistematizar esquemáticamente una propuesta de diseño innovadora replicable para recargar acuíferos subterráneos mediante la utilización de lagunas de infiltración, canales y pozos de recarga hídrica que reciban aguas de EDAR que hayan sido tratadas previamente.

Fase 4. Definir con ensayos en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) un filtro granular con materiales naturales que proteja los pozos de infiltración, lagunas y canales propuestos en la tercera fase de la colmatación por presencia de arcillas; ello, para realizar las recargas en los acuíferos subterráneos.

Capítulo I. Marco teórico

Capítulo I. Marco teórico

1.1 Marco legal

La Asamblea Nacional Constituyente de 2008, en el Título V de la Constitución de la República, toma mención sobre la organización territorial del Estado; y, específicamente en el capítulo tercero, mencionó a los Gobiernos autónomos descentralizados y regímenes especiales, donde se planteó lo siguiente:

Artículo 264. Los Gobiernos municipales tendrán los siguientes objetivos exclusivos sin desventaja de otras que determine la ley:

Facilitar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

Artículo 281. La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente. Para ello, el Estado tendrá una la obligación y responsabilidad de:

Prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos.

Artículo 397. En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas [...]. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

De otra parte, el Congreso Nacional de 2004, como parte de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Capítulo 2, sobre la prevención y el control de la contaminación de las aguas, buscó estabilizar un control mediante lo siguiente:

Artículo 6. Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

Artículo 9. Los ministerios de salud y del ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, también, están facultados para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta ley.

Asimismo, de acuerdo con la Empresa Cantonal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (ECAPAG, 2000), en el numeral 4.2.2.1 del contrato de concesión sobre la prestación de servicios de saneamiento, se señaló:

Recolección, tratamiento y disposición final de aguas servidas, la concesionaria está obligada a operar y mantener las actuales instalaciones de bombeo, conducción y tratamiento primario; asimismo será responsable de la planificación, el financiamiento y la construcción de las futuras plantas de tratamiento de aguas servidas, incluyéndolas en su próximo plan quinquenal de inversión. La operación y mantenimiento de las nuevas plantas de tratamiento de aguas servidas incorporadas al sistema serán de responsabilidad de la concesionaria (p. 7).

1.2 Ley Orgánica de Educación Superior (LOES)

La LOES (2018) menciona en el artículo 13 sobre las funciones del sistema de educación superior en el literal m que estas son:

Promover el respeto de los derechos de la naturaleza, la preservación de un ambiente sano, una educación y cultura ecológica. Esto representa de forma en que la ley orgánica de educación superior incentivara el respeto a muchos factores de la naturaleza y así tomar ventaja sobre el impacto que presentan la contaminación del territorio ecuatoriano.

1.3 Estatuto de la UCSG

En 2019, el estatuto de la UCSG indicó lo siguiente:

Artículo 3. Las responsabilidades sustantivas de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en gestión de crear una excelente educación haciendo mención sobre:

La gestión del conocimiento y los saberes de manera ética, crítica y prospectiva para la solución de los problemas de la sociedad, el desarrollo humano y la institucionalidad democrática.

La formación de personas será la base fundamental para buscar un objetivo general generado por el impacto ambiental, proporcionando posibles soluciones sobre la contaminación.

1.4 El perfil del egresado de ingeniería civil

Según la UCSG (2019), el perfil del egresado de ingeniería civil es el que se describe a continuación:

Desarrollar investigación y estudios experimentales con la aplicación de los fundamentos teóricos de las ciencias básicas de la ingeniería y el uso de la tecnología; considera, en la realización de investigaciones y trabajos experimentales, las normativas ambientales nacionales aplicables con el fin de mantener un ambiente sustentable. Y, posee una actitud de servicio a la comunidad a través del desarrollo de obras de infraestructura civil que permitan soluciones económicas de vivienda, vías de acceso, etc. (p. 1).

1.5 Sustentabilidad y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La introducción del desarrollo sostenible en la ingeniería es un nuevo desafío que trata de conciliar las necesidades del hombre con la capacidad del planeta. De hecho, si los actuales patrones no cambian, la expansión de la construcción destruirá o al menos perturbará los hábitats naturales y la vida salvaje en más de un 70 % de la superficie de la tierra para 2032, principalmente por el incremento de la población, la actividad económica y la urbanización (Rodríguez y Fernández, 2010).

La sustentabilidad y la ODS en trabajo conjunto demuestran que es favorable y genera un mejoramiento para un planeta sostenible, tomando en cuenta que la sobrepoblación puede ser una problemática dentro del mismo, pero con la construcción ingenieril se garantiza un progreso de la sociedad para un futuro y un ambiente sano.

En ese sentido, los ODS, también conocidos como objetivos globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad mediante los 17 ODS, que están integrados y reconocen que la acción en un área podría afectar los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Así las cosas, los países se han comprometido a priorizar el progreso de los más rezagados (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2023).

1.6 ODS 6: agua limpia y saneamiento

El ODS 6 busca mejorar la calidad del agua, eliminar los vertimientos sin tratamiento y aumentar el reciclado y la reutilización de estos mediante diferentes estrategias que contemplen los tres pilares de la sostenibilidad mencionados. Una de estas es la implementación y/o el aumento de cobertura de servicios de saneamiento básico tanto en áreas urbanas como rurales, que minimizan los impactos ambientales, mejoran la calidad de vida de las poblaciones y generan una disminución en los costos de explotación de las infraestructuras (Ballesteros *et al.*, 2023).

1.7 ODS 9: industria, innovación e infraestructura

El PNUD (2023) mencionó lo siguiente:

El objetivo de desarrollo sostenible de industria, innovación e infraestructura, impulsan particularmente al crecimiento y desarrollo de la economía generando funciones que contribuyan con los avances tecnológicos teniendo una oportunidad de promover industrias sostenibles e innovadoras y de esa forma obtener resultados sobre un desarrollo sostenible, los avances tecnológicos también con esenciales para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales, al igual que la oferta de nuevos empleos y la promoción de la eficiencia energética. Otras formas significativas para facilitar el desarrollo sostenible son la promoción de industrias sostenibles y la inversión en investigación e innovación científicas (p. 66).

1.8 ODS 11: ciudades y comunidades sostenibles

Este ODS busca demostrar el rápido crecimiento de las urbes en el mundo en desarrollo como resultado de la creciente población y del incremento en la migración, en tanto que ello ha provocado un incremento explosivo de las megaurbes, y los barrios marginales se están convirtiendo en una característica más significativa de la vida urbana. Por ese motivo, es necesario mejorar la seguridad y la sostenibilidad de las ciudades, a fin de garantizar el acceso a viviendas seguras y asequibles y el mejoramiento de los asentamientos marginales (PNUD, 2023).

Desde hace un tiempo, se busca integrar el término *sostenibilidad* a diferentes áreas de desarrollo del ser humano, de tal forma que se logren satisfacer las necesidades de la población actual, sin comprometer los recursos para el sostenimiento de las generaciones futuras. Por lo tanto, la gestión de las aguas residuales puede abarcarse bajo los tres pilares fundamentales: el social, que considera el bienestar y salud pública; el ambiental, relacionado con los impactos y la biodiversidad; y el económico, que abarca la inversión para implantación y explotación de la infraestructura (Ballesteros *et al.*, 2023).

1.9 La Cuenca Baja del Guayas

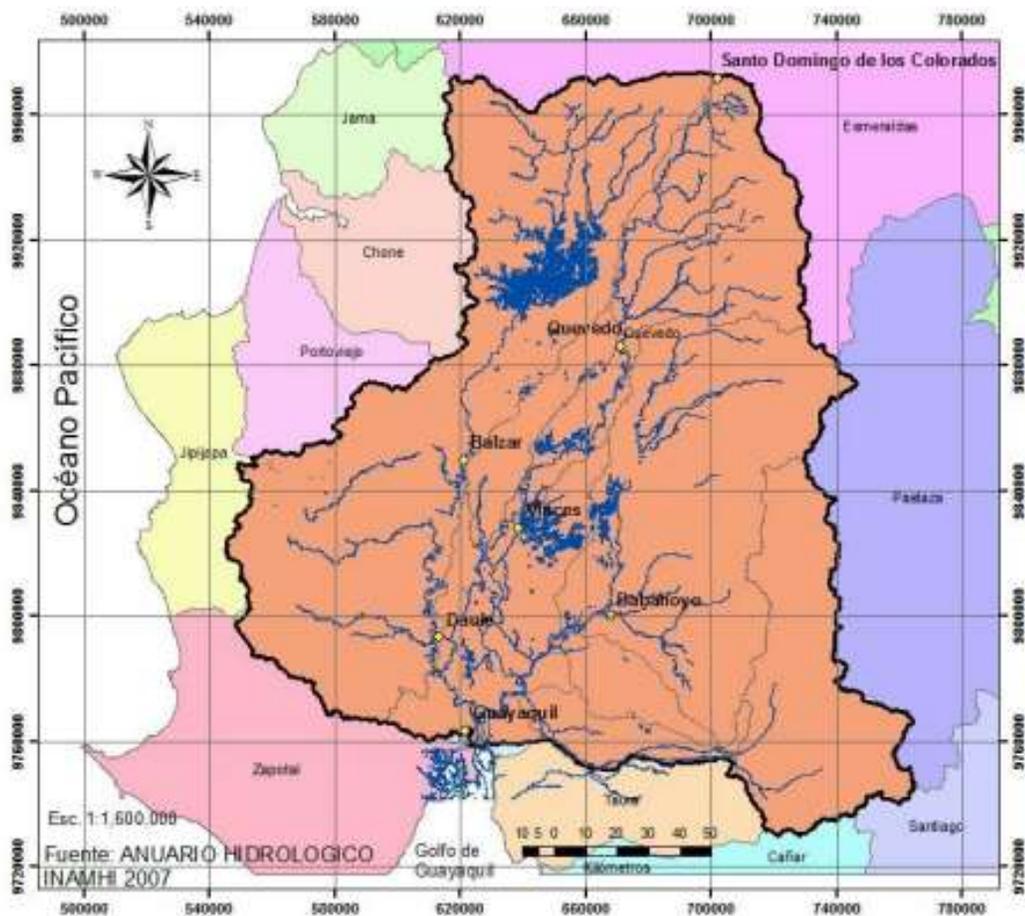
1.9.1 Ubicación geográfica

De acuerdo con el autor Tapia (2012):

La Cuenca Baja del Guayas está localizada entre las provincias de los Ríos, Guayas, Cotopaxi, Bolívar, Manabí, Cañar, Chimborazo, Tungurahua y Santo Domingo, en el centro occidental del Ecuador. Delimita al norte con la cuenca del río Esmeraldas; al sur con las cuencas de los ríos Zapotal, Taura, Cañar y Santiago; al este con las cuencas de los ríos Esmeraldas y Pastaza; y al oeste con las cuencas del Jama, Chone, Portoviejo y Jipijapa. Se extienden entre los paralelos 00° 14' S, 02° 27' S y los meridianos 78° 36' W, 80° 36' W (p. 51).

Figura 12

Mapa de la Cuenca Baja del Guayas



Nota. Tomado de “Problemática y conflictos sobre recursos hídricos por efectos del cambio climático”, en *Disponibilidad, usos y aprovechamientos del recurso hídrico*, por Huayamave, 2013.

1.10 Área de provincias dentro de la Cuenca Baja del Guayas

Tabla 1

Provincias dentro de la Cuenca Baja del Guayas

Provincia	Área de Provincia km ²	Área de provincia dentro de la Cuenca del Río Guayas km ²
Bolívar	3.931	3.931
Chimborazo	6.491	2.367
Cotopaxi	6.015	2.444
Los Ríos	7.224	7.224
Santo Domingo de los Tsachilas	3.488	1.653
Manabí	18.889	5.594
Cañar	3.152	162
Guayas	15.822	8.351
Tungurahua	3.384	1
No delimitado	487	487
total	32.214	32.214

Nota. Tomado de *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*, por Huayamave, 2013, https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11262/4/0693918_00000_0000.pdf

1.11 Generalidades de la Cuenca Baja del Guayas

Este río pertenece a la vertiente del Pacífico, con un área aproximada de 34 500 km², y contribuye a la generación de energía hidroeléctrica nacional. “El área de la cuenca corresponde al 12.57 % del territorio nacional, la población que habita en esta Cuenca se estima en 5 592 025 habitantes, representado al 39.37 % del total de la población nacional” (Secretaría Nacional del Agua [SENAGUA], 2009, p. 52).

Aproximadamente tres cuartas partes de la población habitan en la Cuenca Hidrográfica del Guayas demostrando que es una de las más importantes del territorio ecuatoriano. Además, su contenido pluvial es muy considerable ya que junto a otras Cuencas desarrollan descargas en el Golfo de Guayaquil, promocionando cualquier tipo de contaminantes sobre la zona.

Su ancho fluctúa entre 1.5 km y 3 km, excepto a la altura de la ciudad de Guayaquil donde se divide en 2 ramales que bordean a la Isla Santay con 5 km de ancho, su profundidad varía entre 5 m y 12 m respecto al MLWS2. La ría Guayas descarga anualmente 30 mil millones de m³ de agua, la abundante disponibilidad del recurso agua llega a 8847

m³/hb/año, siendo superior a la media mundial de 6783 m³/hb/año (SENAGUA, 2009, p. 53).

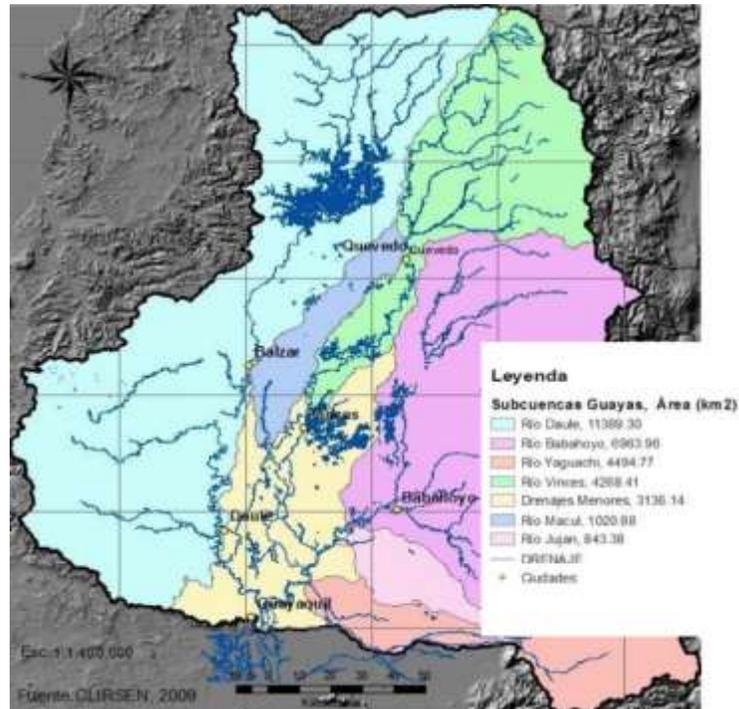
La ría Guayas está conformado por la unión de los ríos Daule y Babahoyo frente a la ciudad de Guayaquil; su caudal varía estacionalmente de acuerdo con la pluviosidad; en verano el caudal promedio de la ría Guayas es de aproximadamente 230 m³/s, mientras que durante la estación de lluvias se incrementa más de 1500 m³/s (Tapia, 2012, p. 53).

1.12 Hidrografía

La Cuenca Baja del Guayas pertenece a la vertiente occidental, constituye el sistema fluvial más importante de la costa sudoccidental del Pacífico, está conformada por siete subcuencas cuya red de drenaje nacen en las estribaciones occidentales de la cordillera de los Andes y en la vertiente oriental de la cordillera costanera Chongón-Colonche que conforman los ríos Daule y Babahoyo, los cuales unen sus caudales 5 kilómetros antes de la ciudad de Guayaquil dando origen a la ría Guayas el cual tiene una longitud de 93 km desde La Puntilla en la provincia del Guayas hasta Punta Arenas en la Isla Puná (estuario) para desembocar al océano Pacífico en el Golfo de Guayaquil (Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada [INOCAR], 2010, como se citó en Tapia, 2012, p. 52).

Figura 13

Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule



Nota. Tomado de *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*, por Huayamave, 2013, https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11262/4/0693918_00000_0000.pdf

1.13 Subcuencas hidrográficas de la Cuenca Baja del Guayas

Según la actual demarcación hidrográfica establecida por SENAGUA en el año 2011, en la cuenca de la ría Guayas se reconocen 6 subcuencas y un área denominada de drenajes menores. Estas subcuencas son: Daule, Vinces, Macul, Babahoyo, Yaguachi y Jujan. La subcuenca más extensa es la del río Daule que drena algo más de la tercera parte (36 %) de la cuenca del Guayas con una superficie equivalente a 11 567 km². Le sigue, aunque con una notable diferencia, la subcuenca del río Babahoyo que ocupa una superficie de 7 mil km², esto es cercano a una cuarta parte (22 %) de la superficie total de la DHG. Unas menores extensiones registran las subcuencas de los ríos Yaguachi (14 %), Vinces (13 %), Macul (3 %) y Jujan (3 %). Las denominadas áreas menores abarcan 3000 km², en este caso, un significativo 9 % de la superficie total de la cuenca (Hurtado, 2012, p. 33).

Figura 14

Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule

Subcuencas hidrográficas	Áreas de drenaje (km ²)
Río Daule	11.567,15
Río Vinces	4.276,32
Río Macul	978,10
Río Babahoyo	7.016,55
Río Yaguachi	4.501,75
Río Jujan	820,57
Drenajes menores	3.056,74

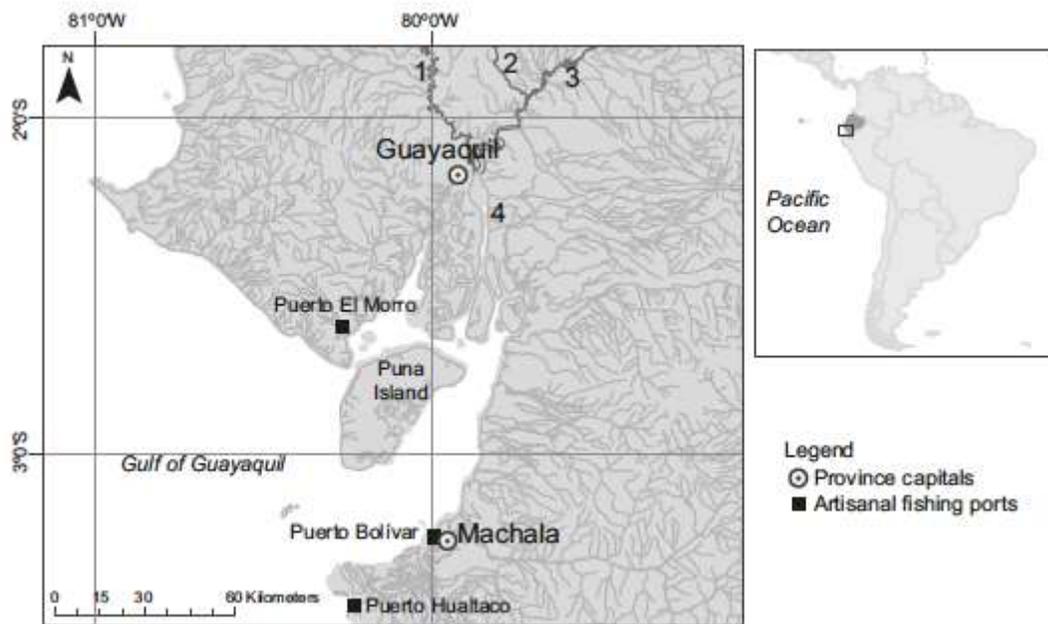
Nota. Tomado de *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*, por Huayamave, 2013,

1.14 Golfo de Guayaquil (GG)

El Golfo de Guayaquil (GG) es el ecosistema estuarino más grande de la costa del Pacífico de América del Sur. Se estima que su superficie cubre 13 711 km² y su profundidad varía entre 20 y 180 m. Recibe agua de 24 de las 79 cuencas hidrográficas del país, lo que resulta en un caudal promedio anual de 1654,5 m³/s (Navarrete *et al.*, 2019).

Figura 15

Ubicación del Golfo de Guayaquil en América del Sur.



Nota. Tomado de Heavy metals contamination in the gulf of Guayaquil: even limited data reflects environmental impacts from anthropogenic activity, por G. Navarrete *et al.*, 2019, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3).

Según Merritt (1981):

El Golfo de Guayaquil se divide naturalmente en un estuario exterior que se origina cerca al costado occidental de la Isla Puna ($80^{\circ}15' W$) y que termina a lo largo de la longitud de los $81^{\circ}W$, y un estuario interior que se extiende otros 74 km desde Isla Puna en dirección nordeste, antes de estrecharse y formar el canal de la ría Guayas. Sin embargo, la influencia oceánica en forma de mareas, se extiende río arriba hasta el puerto de la ciudad de Guayaquil y más allá. La ría Guayas es la vía principal de desagüe de agua dulce en la cuenca de derrame de la región (p. 2).

El Golfo de Guayaquil es un importante patrimonio natural del territorio ecuatoriano, representado como el más significativo con un amplio ecosistema costero del país, y la unidad ambiental más interesante de la costa sudamericana del Pacífico. Según Cucalón (1996):

La gran productividad biológica de las aguas del Golfo de Guayaquil, su condición de hábitat de una biota rica y diversa que soporta las más importantes pesquerías del país, la presencia de manglares en todos los bordes del estuario, las aportaciones de material orgánico transportado por los ríos que descargan en él, la influencia de varias corrientes marinas, la convergencia de diferentes masas, [...] lo individualizan y destacan por sobre otros ambientes comparables del área (p. 8).

Figura 16

Golfo de Guayaquil.



Nota. Tomado del *Golfo de Guayaquil Ubicación: 2°58'07"S 80°30'23"W*, por Google Earth, 2024., <https://earth.google.com/web/?hl=es-419>

1.15 Hidrografía del Golfo de Guayaquil

De acuerdo con Benites (1975), en el Golfo de Guayaquil desembocan las aguas de varias cuencas hidrográficas del territorio ecuatorial cuya extensión total es de 50.489 km², que

representa cerca del 54% de la superficie total de la vertiente occidental de los Andes ecuatoriano. Estas cuencas se agrupan en tres grupos característicos:

- **Vertiente Sur-Occidental:** drenan la zona más árida que comprende entre la Puntilla de Santa Elena y la Cordillera de Chongón-Colonche. Las cuencas principales son de los ríos Zapotal, Chongón, Daular. Todos son ríos que circulan solo en temporadas lluviosas. El área de las cuencas es de 4.500 km²
- **Vertiente Sur-Oriental:** comprende aproximadamente 14 cuencas fluviales de corta longitud que atraviesan la angosta faja costera que está entre Taura y la frontera con el Perú. Estos ríos descienden abruptamente desde los Andes y drenan una zona de alta pluviosidad, por lo que constituyen a veces destructivos torrentes [...] El área total de estas cuencas es de 15.428 km² siendo las cuencas más importantes las de Jubones (5.350 km²), Cañar (3.324 km²) y Taura (1.820 km²)
- **La ría Guayas:** La Cuenca Baja del Guayas con sus 32.400 km² de área aproximadamente constituye el sistema fluvial más importante no solo del Golfo de Guayaquil sino de toda la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes (pp. 11-12).

1.16 Aguas residuales

Según Guerrero *et al.* (2018):

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. 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:

- La gran cantidad de sólidos presentes.
- La abundancia de sustancias biodegradables.
- La presencia de un gran número de microorganismos (p. 110).

1.17 Clasificación de las aguas residuales

De acuerdo con Guerrero *et al.* (2018), las aguas residuales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Domésticas: consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.
- Industriales: son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- Infiltración y caudal adicionales: las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.
- Pluviales: son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otro escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo (p. 111).

Figura 17

Preocupación por presencia de manchas de hidrocarburo en la ría Guayas



Nota. Tomado de Preocupación por presencia de manchas de hidrocarburo en la ría Guayas. Cabildo de Guayaquil identificó empresa que incumple normas ambientales; sanción debe venir del ministerio, por El Universo, 2021, <https://n9.cl/quy2t>

Figura 18

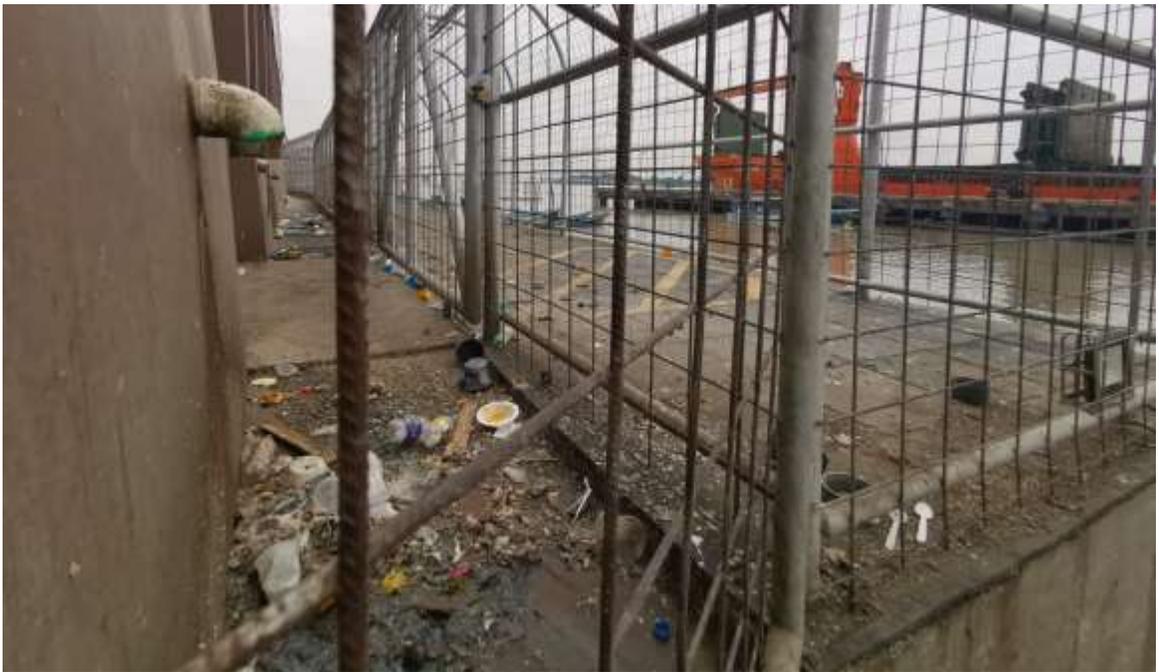
Descargas domiciliarias de aguas residuales en Estero Salado por filtración de pozo séptico



Nota. Tomado de Plan de gobierno para recuperar brazo de mar en Guayaquil se frena porque municipio y empresa privada no hicieron su tarea, por Delgado (2010). <https://esterosalado.blogspot.com/2016/03/la-desidia-de-las-autoridades.html>

Figura 19

Ductos del mercado Caraguay, en el sur de Guayaquil, desfogon aguas residuales del área de mariscos y otros desechos directo a la ría Guayas



Nota. Tomado de *Crisis en mercados de Guayaquil: aguas residuales, directo a la ría Guayas*, por Primicias, 2024, <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/mercados-guayaquil-aguas-residuales-rio-guayas/>

1.18 La contaminación derivada de las aguas residuales

La contaminación hídrica se entiende como la acción de introducir algún material en el agua para alterar su calidad y composición química. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada “cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural” (Guadarrama *et al.*, 2016, p. 2).

Más aún, el manejo inadecuado de las aguas residuales puede tener consecuencias muy graves para la salud humana, el medioambiente 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, al igual que el deterioro del agua subterránea y otros ecosistemas locales. Así, los principales impactos ambientales dan como resultado un aumento significativo de la mortalidad, debido a enfermedades como el cólera o la parasitosis (Guerrero *et al.*, 2018).

Figura 20

Descargas de aguas residuales, plásticos y demás basura descomponen un estero de Yaguachi.



Nota. Tomado de *Estero en descomposición en Yaguachi*, por Diario Ecuavisa (2019). https://www.ecuavisa.com/ecuaterra/yaguachi?fbclid=IwAR37Z_8JOj7Px67OGxxNRSyls986wweAMH4QZIt04FE25PgpYtQIgsVdS0M

En ese sentido, cuando las aguas residuales domésticas se vierten en ríos o cuerpos de agua sin recibir tratamiento o desinfección, suelen contaminarlos con concentraciones elevadas de bacterias, virus y parásitos, y ello da lugar a un serio problema de salud pública. Este manejo deficiente de las aguas residuales propaga diversas enfermedades, como diarreas (bacterianas y víricas), tifoidea, paratifoidea, cólera, hepatitis infecciosa, amibiasis y giardiasis; y, debido a la dificultad para detectar y cuantificar todos los patógenos responsables de estas enfermedades, los ingenieros sanitarios y autoridades de salud pública suelen utilizar los coliformes fecales como indicadores de la contaminación por patógenos (Guerrero *et al.*, 2018).

Figura 21

Contaminación en el Estero Salado por aguas residuales y otros derivados



Nota. Tomado de *Eliminar descarga de aguas residuales, requisito para volver recreativo el Estero Salado*, por El Universo, 2018, <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/11/27/nota/7071867/eliminar-descarga-aguas-residuales-requisito-volver-recreativo/>

1.19 Resultados que conducen los vertidos

- Aparición de fangos y flotantes

Existen en las aguas residuales sólidos en suspensión de gran tamaño que cuando llegan a los cauces naturales pueden dar lugar a la aparición de sedimentos de fango en el fondo de dichos cauces, alterando seriamente la vida acuática a este nivel, ya que dificultará la transmisión de gases y nutrientes hacia los organismos que viven en el fondo. Por otra parte, ciertos sólidos, dadas sus características, pueden acumularse en las orillas formando capas de flotantes que resultan desagradables a la vista y, además, pueden acumular otro tipo de contaminantes que pueden llevar a efectos más graves (Peñas, 2009, p. 13).

- Agotamiento del contenido en oxígeno

Los organismos acuáticos precisan del oxígeno disuelto en el agua para poder vivir. Cuando se vierten en las masas de agua residuos que se oxidan fácilmente, bien por vía química o por vía biológica, se producirá la Estabilización con el consiguiente consumo de oxígeno en el medio. Si el consumo de oxígeno es excesivo, se alcanzarán niveles por debajo del necesario para que se desarrolle la vida acuática, dándose una muerte masiva de seres vivos. Además, se desprenden malos olores como consecuencia de la aparición de procesos bioquímicos anaerobios, que dan lugar a la formación de compuestos volátiles y gases (Peñas, 2009, p. 13).

- Daño a la salud pública

Para Peñas (2009), “los vertidos de efluentes residuales a cauces públicos pueden fomentar la propagación de virus y bacterias patógenos para el hombre” (p. 13). Precisamente estos contaminantes, que son producto de la actividad humana y que son vertidos a ríos, generan múltiples problemáticas para la salud, desde virus concebidos por su acumulación de desechos a un afluyente hasta el ingreso de productos alimenticios.

- Eutrofización

Un aporte elevado de nitrógeno y fósforo en los sistemas acuáticos propicia un desarrollo masivo de los consumidores primarios de estos nutrientes; zoo y fitoplancton y plantas superiores. Estas poblaciones acaban superando la capacidad del ecosistema acuático, pudiendo llegar a desaparecer la masa de agua (Peñas, 2009, p. 13).

- Otros efectos

De acuerdo con el autor Peñas (2009), estos “pueden ser muy variados y van a ser consecuencia de contaminantes muy específicos, como valores de pH por encima o por debajo de los límites tolerables, presencia de tóxicos que afecta directamente a los seres vivos, etc.” (p. 13). De esta forma, se presenta un gran número de resultados que llevan a la contaminación de los efluentes.

Figura 22

Cientos de peces, pequeñas corvinas y bagres, la mayoría de unos 10 centímetros, emergieron muertos



Nota. Tomado de *Plan de gobierno para recuperar brazo de mar en Guayaquil se frena porque municipio y empresa privada no hicieron su tarea*, por Delgado, 2010, <https://esterosalado.blogspot.com/2016/03/la-desidia-de-las-autoridades.html>

Figura 23

Aparición de materiales flotantes que contaminan el Estero Salado en Guayaquil



Nota. Tomado de *¿Qué cree que hace falta para lograr descontaminar el Estero Salado en Guayaquil?*, por El Universo, 2016, <https://www.eluniverso.com/opinion/2016/03/06/nota/5445435/que-cree-que-hace-falta-lograr-descontaminar-estero-salado-guayaquil/>

Figura 24

La tierra tiene una tonalidad oscura en una de las descargas de aguas servidas detectadas en el puente del Centro Comercial Albán Borja, en el noroeste de Guayaquil



Nota. Tomado de *Ramal de Puerto Hondo también recibe drenajes*, por El Universo, 2011b, <https://www.eluniverso.com/fotogalerias/ramal-de-puerto-hondo-tambien-recibe-drenajes/>

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 (Guerrero *et al.*, 2018, p. 111).

Figura 25

Presencia de metales pesados en ríos de Ecuador



Nota. Tomado de *Presencia de metales pesados en los ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas*, por El Universo, 2017, <https://www.eluniverso.com/vida/2017/10/08/nota/6420019/presencia-metales-pesados-rios-santo-domingo/>

1.20 Contaminación de los ríos de la Cuenca Baja del Guayas

Según Huayamave (2013):

La Cuenca Baja del Guayas es una de las 72 cuencas hidrográficas del Ecuador, es la más grande del país, toma el nombre de la ría Guayas, está conformado por la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo, ríos que atraviesan extensas zonas de varias provincias y confluyen en la ciudad de Guayaquil, la ría Guayas tiene una longitud aproximada de 55 km y un caudal promedio en época seca que se estima en 350 m³/s, en época de invierno es de 1500 m³/s. En su desembocadura en el océano Pacífico forma el Golfo de Guayaquil es un sitio único en la costa del Pacífico Sur, posee una rica flora y fauna (pp. 7-8).

La Cuenca Baja de Guayas presenta una problemática de contaminación por muchos temas relacionados, en su mayoría por el ser humano al dar de destino a la basura en cuerpos de agua provenientes de este territorio. Su desembocadura por el Golfo de Guayaquil realiza un evento negativo de contaminación, ya sea agrícola, industrial, municipal, entre otras.

Figura 26

En Santo Domingo hay cuatro de estos con mayor contaminación, y el principal es el Pove



Nota. Tomado de *Huesos, químicos, aguas servidas y basura contaminan los ríos*, por El Diario, 2010, https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/167272-huesos-quimicos-aguas-servidas-y-basura-contaminan-los-ros/#google_vignette

Figura 27

Contaminación del Estero Salado



Nota. Tomado de *Contaminación del Estero Salado, en la mira en Día del Ambiente*, por El Universo, 2016, <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2018/06/06/nota/6795557/contaminacion-estero-mira-dia-ambiente/>

La ría Guayas es el más afectado en el crecimiento poblacional por la descarga cada vez mayor de agua residual. Este río es de agua dulce y depende del flujo y reflujo de las mareas, pero en los últimos años hay un mayor deterioro en su calidad, tomando en cuenta que tiene una gran riqueza de flora y fauna acuática, además tiene importantes usos que ayudan a la economía de la región (Baquerizo *et al.*, 2019, p. 64).

El sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Guayaquil está compuesto por 3400 km de redes colectoras y 55 estaciones de bombeo de aguas residuales, proveyendo servicio a un área de aproximadamente 8000 hectáreas. Dentro de esta área un 58 % de la población cuenta con servicio de alcantarillado sanitario. Se estima que 98 % de las aguas residuales generadas en Guayaquil son descargadas a los ríos Daule y Guayas, siendo el restante descargado al Estero Salado. En Guayaquil se genera aproximadamente 280 000 m³/día de aguas residuales durante la época seca, y 350 000 m³/s en la época lluviosa (EMAPAG, 2014, p. 2).

Para EMAPAG se facilita identificar como el agua está siendo potencialmente contaminada mediante alcantarillados, no obstante, la población que habita en la Cuenca Baja del Guayas es principalmente un observador y cómplice de esta contaminación. Los cuerpos de aguas residuales que descargan en ríos o vertientes presentan todo tipo de materia orgánica que afectan al sistema acuoso provocando afectaciones a la población.

Figura 28

Mancha de origen y contenido desconocido



Nota. Tomado de *Mancha de origen y contenido desconocido afecta humedal Isla Santay*, por Delgado, 2011, <https://www.islasantay.info/2011/01/mancha-de-origen-y-contenido.html>

Un breve estudio sobre la contaminación de la ría Guayas y sus afluentes denotó que una de las principales causas de contaminación es la descarga constante de aguas no tratadas de diversas industrias y aguas residuales de hogares domésticos. Asimismo, se tiene la acumulación de sólidos en el cuerpo de agua y la aplicación descontrolada de fertilizantes, agroquímicos y plaguicidas, que se encuentran entre los principales causantes de contaminación (Baquerizo *et al.*, 2019). En estos casos, la contaminación por actividades de la población en esta zona tiene como consecuencias las afectaciones a la salud.

La contaminación del agua es un problema emergente en las zonas industriales. Esta contaminación es causada por las malas prácticas de las industrias y las actividades de la población. La contaminación del agua tiene un impacto negativo en la salud humana y los ecosistemas acuáticos.

Figura 29

Aguas blanquecinas en las que flota basura desembocan en uno de los ramales del Estero Salado en el sector de la 19 y El Oro del suburbio oeste de Guayaquil



Nota. Tomado de *Ramal de Puerto Hondo también recibe drenajes*, por El Universo, 2011b, <https://www.eluniverso.com/2011/07/31/1/1445/ramal-puerto-hondo-tambien-recibe-drenajes.html?amp>

Según EMAPAG (2014):

A medida que la población urbana de la ciudad de Guayaquil va creciendo, aumenta también el volumen de aguas residuales y desechos orgánicos que contaminan el medioambiente, por lo que resulta imperativo tomar medidas esenciales para contrarrestar la contaminación ambiental para:

- Prevenir enfermedades y proteger la salud de la población.
- Prevenir molestias.

- Mantener las aguas limpias para el baño y otros procesos recreativos.
- Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.
- Conservar el agua para potenciales usos turísticos, industriales y agrícolas.
- Prevenir el azolvamiento de los canales navegables (p. 7).

Figura 30

Contaminación en el río Daule



Nota. Tomado de *Contaminación en el río Daule*, por Martínez, 2016, <https://www.iagua.es/blogs/andres-martinez/contaminacion-rio-daule>

1.21 Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR)

Según Peñas (2009):

Las aguas residuales producidas en la vida diaria deben ser transportadas y tratadas adecuadamente. Se necesita una infraestructura compuesta de alcantarillas y colectores, y de unas instalaciones denominadas Estaciones de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) que, en un conjunto, posibiliten la devolución del agua al medioambiente en condiciones compatibles con él (p. 17).

La estación depuradora de aguas residuales también conocida como planta de tratamiento de aguas residuales, son encargadas específicamente del tratamiento de las aguas servidas para poder obtener una mejor calidad de las aguas que ingresan a partir de una masa de agua contaminada.

Una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) tiene como objetivo conseguir, a partir de aguas negras o mezcladas y mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características de calidad, tomando como base ciertos parámetros de contaminación normalizados. En general, las EDAR tratan agua residual local procedente, en su mayor parte, del consumo ciudadano, así como de la escorrentía superficial del drenaje de las zonas urbanizadas (Vilanova *et al.*, 2017, p. 218)

Figura 29

EDAR Las Esclusas - Guayaquil



Nota. Tomado de *Más de un millón de habitantes se beneficiarán con PTAR Las Esclusas*, por Metro Ecuador, 2022, <https://www.metroecuador.com.ec/noticias/2022/08/16/mas-de-un-millon-de-habitantes-se-beneficiaran-con-ptar-las-esclusas/>

Para depurar el agua generalmente es preciso combinar varios tratamientos elementales cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas, y cuyo efecto es eliminar en primer

lugar las materias en suspensión, a continuación, las sustancias coloidales, y después las sustancias disueltas (minerales u orgánicas). Por último, deben corregirse ciertas características (pH, nivel de cloro, etc.) para que el agua resultante sea asimilable por la naturaleza (Peñas, 2009, p. 17).

1.22 Clasificación del tratamiento de aguas residuales

1.22.1 Tratamiento preliminar o pretratamiento

En toda EDAR resulta necesaria la existencia de un tratamiento previo o pretratamiento que elimine del agua residual aquellas materias que pueden obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores. Con el pretratamiento se elimina la parte de polución más visible: cuerpos voluminosos, trapos, palos, hojas, arenas, grasas y materiales similares, que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada (Peñas, 2009, p. 23).

Figura 30

Recolección de materiales de gran tamaño habituales en aguas residuales mediante rejillas



Nota. Tomado de *Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales*, por Idrica, 2022, <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/>

1.23 Tratamiento primario

De acuerdo con Vera (2017):

Su objetivo básico es eliminar todas las materias gruesas y/o visibles que lleva el agua residual. El vertido de estas materias al medio receptor produce un impacto fundamentalmente estético. Si pasan a etapas posteriores de la línea de depuración se generan problemas y un deficiente funcionamiento de los procesos (p. 536).

Figura 31

Separación de materiales sólidos de las aguas residuales



Nota. Tomado de *Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales*, por Idrica, 2022, <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/>

1.24 Tratamiento secundario

En el tratamiento secundario la reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculantes que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aireadas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85 % al 95 % (Rojas, 2002, p. 13).

Figura 32

Tratamiento secundario: proceso biológico para reducir compuestos orgánicos presentes en aguas residuales.



Nota. Tomado de *De aguas servidas a agua “tratada y limpia” que desemboca en la ría Guayas. Estos son los siete procesos que pasa el agua en la nueva planta de tratamiento Las Esclusas*, por El Universo, 2022, <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/de-aguas-servidas-a-agua-tratada-y-limpia-que-des>

El autor Troconis (2010) señaló:

El tratamiento secundario de aguas es la fase de tratamiento final antes de la desinfección y del regreso del agua al ecosistema. Un tanque de tratamiento secundario (clarificador secundario) recibe las aguas residuales del clarificador primario y del aireador después de que tuvo lugar la evacuación inicial de lodos y de las impurezas de la superficie. En este punto, ya han sido retirados del 40 al 60 por ciento de los sólidos. El proceso de tratamiento secundario retira aún más. Después de esta etapa se han retirado del agua el 90 por ciento de los contaminantes (p. 18).

1.25 Tratamiento terciario o avanzado

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias. Una mejor posibilidad para el tratamiento terciario consiste en agregar uno o más estanques en serie a una planta de tratamiento convencional. El agregar esos estanques de “depuración” es una forma apropiada de mejorar una planta establecida de tratamiento de aguas residuales, de modo que se puedan emplear los efluentes para el riego de cultivos o zonas verdes y en acuicultura (Troconis, 2010, p. 2).

1.26 Lodos residuales

Los lodos provenientes de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) son el producto de la concentración de los sólidos contenidos en el efluente, o de la formación de nuevos sólidos suspendidos resultantes de los sólidos disueltos. Estos lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos de purificación de las aguas servidas en las EDAR. Contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micronutrientes, metales pesados y agua. Están formados principalmente por agentes contaminantes, debido a la acumulación de materias en suspensión y compuestos orgánicos en las condiciones de tratamiento (Amador-Díaz *et al.*, 2015, p. 1).

1.27 Procedencia de los lodos

Los lodos provenientes de las EDAR presentan diferentes composiciones en relación con la procedencia de las aguas. Estos pueden ser generados durante el tratamiento de las aguas residuales domésticas o de las aguas industriales. Además, las características de los lodos están estrechamente vinculadas al proceso empleado en las EDAR, que influirá en las características y propiedades de los biosólidos y la viabilidad de la alternativa a emplear en la gestión (Amador-Díaz *et al.*, 2015, p. 2).

Figura 33

Tratamiento de deshidratación de lodos y aguas residuales en el parque industrial de Chuan Sing, Taiwán



Nota. Tomado de *Home*, por ACE Geosynthetics, 2015, <https://www.geoace.com/es/case/Industria-Minera-/Tratamiento-de-deshidrataci%C3%B3n-de-lodos-y-aguas-residu>

1.28 Caracterización de los lodos

La caracterización de los lodos es la clave para cuantificar las concentraciones de nutrientes para su aplicación en los suelos y de los compuestos dañinos que deben ser eliminados. Para el adecuado manejo de lodos se debe evaluar la composición química (incluida la concentración de metales pesados), así como el contenido de patógenos y parásitos que posean. Para la determinación de las demandas química y bioquímica de oxígeno DQO y DBO se utilizan técnicas espectrofotométricas, mientras que para los sólidos se utiliza el método gravimétrico o el volumétrico. En el caso del nitrógeno total se emplea el método de Kjeldahl y para determinar el fósforo total el de cloruro de estaño. Los metales pesados se analizan mediante absorción atómica. Todas las técnicas que se pueden utilizar se encuentran descritas (Amador-Díaz *et al.*, 2015, p. 3).

Figura 34

Valores característicos de los parámetros más frecuentemente estudiados en los lodos

Indicadores	Máximo	Minimo
DQO total (mg/L)	90000	6000
DBO total (mg/L)	30000	2000
Nitrógeno total (mg/L)	1500	200
Fósforo total (mg/L)	300	40
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100000	7000
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	60000	4000
pH	8,5	7,0
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	10 ⁸	10 ⁶

Nota. Tomado de *Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones* (Amador-Díaz et al., 2015).

Figura 35

Concentraciones permisibles para los metales pesados en los lodos

Metal	Concentración (mg/kg de lodo seco)
Cadmio	20-40
Cobre	1000-1750
Níquel	300-400
Plomo	750-1200
Zinc	2500-4000
Mercurio	16-25
Cromo	1000-1500
Arsénico	20-40
Selenio	50-100
Molibdeno	10-25

Nota. Tomado de *Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones* (Amador-Díaz et al., 2015).

1.29 Tratamientos y métodos empleados en los lodos

Con el espesamiento se logra una disminución de volumen, del lodo de alrededor de un 30 % a un 80 %, teniendo lugar directamente en el tanque de almacenamiento. Esto puede ser beneficioso para tratamientos posteriores tales como la estabilización y desinfección, ya que se necesitaría menos espacio para estas operaciones (Amador-Díaz et al., 2015, p. 6).

La estabilización aeróbica se puede realizar simultáneamente en plantas de lodos activos donde los lodos, tanto primarios como secundarios, son continuamente aireados durante largos periodos de tiempo. La estabilización química de los lodos es la Estabilización húmeda y estabilización térmica bajo condiciones de temperatura y presión elevadas, con lo que se alcanza una disminución del 30 % al 35 % de los sólidos suspendidos, así como reducir la presencia de patógenos y olores desagradables (Amador-Díaz *et al.*, 2015, p. 6).

Los porcentajes en espaciamiento y estabilización aeróbica demuestra valores muy significativos en los lodos residuales, mismo que, se presenta como un beneficio para poder procesar de mejor manera el agua mediante lagunas de Estabilización y obtener una solución favorable de los fangos residuales.

El acondicionamiento de los lodos permite liberar la mayor cantidad de agua posible de sus partículas para mejorar la eficiencia del proceso de deshidratación. El objetivo de este tratamiento es facilitar la aglomeración de sólidos. Antes de ejecutar el proceso de deshidratación, el líquido de los lodos debe drenarse, lo que permite obtener un lodo seco y poroso. Es necesario tener en cuenta las condiciones limitantes como: cantidad, estructura, disposición, regulaciones, disponibilidad y personal. Este proceso puede considerarse útil, si se realiza posterior a la estabilización, con el objetivo de facilitar el manejo de los lodos (Amador-Díaz *et al.*, 2015, p. 6).

Mediante el secado térmico de los lodos es posible reducir su peso y eliminar organismos patógenos. El secado se realiza mediante la evaporación del agua que existe en los lodos por calentamiento en hornos, incineración y exposición al sol, los cuales son los métodos más utilizados. La desinfección es la última etapa de tratamiento empleada para eliminar los organismos patógenos, lo que ha adquirido una gran importancia debido a las restrictivas normas que existen para garantizar la protección de la salud. Según algunos autores, los medios más adecuados para desinfectar los lodos son: la pasteurización y el almacenamiento a largo plazo (Amador-Díaz *et al.*, 2015, p. 6).

Capítulo II. Fundamentos teóricos

Capítulo II. Fundamentos teóricos

1.30 Las Zeolitas para Desinfección de Aguas Residuales

Las zeolitas son un grupo de minerales no metálicos [...] 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. Esta zeolita es muy eficiente para la remoción de nitrógeno amoniacal presente en aguas residuales (Guerrero *et al.*, 2018, p. 113).

Figura 36

Recolección de zeolitas



Nota. Tomado de *Descubriendo los diversos usos de la zeolite*, por Zeonatec, 2023, <https://www.zeonatec.com/post/descubriendo-los-diversos-usos-de-la-zeolita>

Figura 37

Zeolitas en el tratamiento de aguas



Nota. Tomado de *Zeolitas en el tratamiento de aguas*, por Primato, 2008, <https://www.primato.gr/nuestras-noticias-es/zeolitas-en-el-tratamiento-de-aguas-es>

Las zeolitas provienen de la roca volcánica natural producida por millones de años de alteraciones de cenizas volcánicas de aguas alcalinas, lo que permitía la cristalización del material. Por esta razón, sus yacimientos naturales no son tan abundantes y comunes en el mundo. Las zeolitas son conocidas también como tamices moleculares, dado que tienen la propiedad de permitir o no la entrada de moléculas, de acuerdo con su tamaño, a través de los diferentes canales. “La estructura ordenada de este mineral, junto con su elevada área superficial interna disponible para la adsorción selectiva de moléculas, convierte a estos materiales en unos perfectos absorbentes moleculares” (Fierro y Ramírez, 2016, p. 34).

1.30.1 Propiedades de la zeolita

Para Fierro y Ramírez (2016), las propiedades de la zeolita incluyen:

Las propiedades físicas, químicas y capacidad como tamiz molecular están dadas principalmente por el tamaño de poro y por la naturaleza de este, puesto que en ellos es donde se encuentran mayormente los sitios activos de la zeolita. Las zeolitas se caracterizan por tener las siguientes propiedades:

- Alto grado de hidratación.
- Baja densidad.
- Sirven como tamices moleculares.

- Intercambian iones
- Alta porosidad
- Capacidad de adsorción (p. 37).

1.30.2 Acción de la zeolita

La zeolita [puede] quedar moléculas tóxicas como el arsénico (diámetro 1,8 Å) y, en cambio, no [actúa] sobre moléculas de minerales útiles como el potasio (diámetro 2,8 Å). Una vez cumplido su objetivo (captar elementos nocivos), la zeolita cargada de sustancias tóxicas abandona rápidamente el organismo, sin dejar señas. Siendo la zeolita un aluminosilicatos, vale aclarar que sus moléculas de aluminio están rodeadas por átomos de oxígeno, por lo cual no pueden pasar al organismo (aluminio no intercambiable). Tampoco pueden absorber moléculas de aluminio tóxico presente en el cuerpo (Gómez, 2012, párr. 1).

Figura 38

Zeolita natural



Nota. Tomado de *Zeolita: propiedades y beneficios*, por Gómez, 2012, <https://www.casapia.com/blog/salud-natural/la-zeolita-propiedades-y-beneficios.html>

Formada por tetraedros que dan lugar a una red tridimensional, en la cual cada átomo de oxígeno es compartido por dos átomos de silicio (tectosilicato). Estas estructuras forman jaulas o canales que permiten el movimiento interno de iones y moléculas, convirtiendo a la zeolita en un verdadero tamizador (colador) molecular. La zeolita equilibra el pH orgánico, al evitar la dispersión de iones ácidos y tiene un demostrado efecto antioxidante e inmunoestimulante. Se

trata, por ello, de un suplemento totalmente natural y no tóxico, ideal para uso seguro a largo plazo (Gómez, 2012, párr. 2).

Figura 39

Zeolita ubicado en la vía La Costa, Guayaquil



Nota. Tomado de *Home*, por Zeolitas S. A., 2021., <https://www.linkedin.com/in/patricia-lucas-mina-de-zeolitas-b1b81128/?originalSubdomain=ec>

1.30.3 La zeolita para reducir la contaminación de aguas residuales

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. 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 solo la remoción de fosfatos, sulfatos, y cloruros; sino también la eliminación de metales pesados como plomo, arsénico, níquel, cobre, y otros contaminantes (Guerrero *et al.*, 2018, p. 113).

Las Zeolitas 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 (Guerrero *et al.*, 2018 p. 113).

La zeolita tiene la función comprometedor de filtrar el agua contaminada, absorbe y hace un intercambio iónico provocando la eliminación de bacterias existente, siendo una innovación y sostenibilidad para el tratamiento de aguas residuales. Su fácil acceso de este material en la Cuenca Baja del Guayas es muy sencillo, ya que, cuenta con cantidades de canteras y contribuye con la economía de la región de estudio.

Figura 40

Canteras de zeolitas en distintas zonas de la Cuenca Baja del Guayas



Nota. Tomado de *Vecinos de vía a la costa piden a cabildo asumir control de canteras o su cierre*, por El Universo, 2019, <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/01/31/nota/7165517/vecinos-piden-cabildo-asumir-control-canteras-o-su-cierre>

Figura 41

Cantera Verdu Pascuales, Vía a Daule y Guayaquil.



Nota. Tomado de *Cantera Verdu Pascuales, Vía a Daule y Guayaquil*, por G.N Proaño, 2009, <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5990?show=full&locale-attribute=en>

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 Estabilización. 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 (Guerrero *et al.*, 2018 p. 113).

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 (Guerrero *et al.*, 2018 p. 113).

- Filtro de zeolita

Los filtros de zeolita son una de las mejores opciones disponibles para filtrar el agua. La zeolita es superior a la arena, entregándonos un agua mucho más pura y un mejor flujo, logrando una importante reducción en costos de mantenimiento, y requerimientos de energía.

Los filtros de zeolita tienen la capacidad de retener sedimentos hasta 3 a 5 micras, también son capaces de absorber metales pesados, amonio, olores, cafés, sangre, pintura, tinta, desechos radioactivos, arsénico, y otras sustancias tóxicas y orgánicas encontradas en el agua (Natural Core AD, 2023, párr. 1-2).

Figura 42

Filtros de zeolita para pozos



Nota. Tomado de *La zeolita una estupenda opción cuando piensas en obtener agua pura*, por Restrepo, 2015, <https://neilsanz07.wordpress.com/2015/07/25/la-zeolita-una-estupenda-opcion-cuan-piensas-en-obtener-agua-pura/>

1.30.4 Zeolita en la filtración de Agua Residual

La zeolita como medio filtrante es muy utilizada, tanto así que existen filtros de agua para pozo que contienen zeolita, la zeolita también ha sido utilizada como medio filtrante para el agua residual, un recurso económico y ecológico para poder filtrar el agua (Guerrero Alcívar,, Vázquez Pérez, & Rodríguez Gámez , 2018) mencionan: “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” (p.110).

Debido a sus propiedades la zeolita es la seleccionada para filtrar aguas con cierta concentración alta tal y como Guerrero *et al.* (2018) mencionan:

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 solo la remoción de fosfatos, sulfatos, y cloruros; sino también, la eliminación de metales pesados como plomo, arsénico, níquel, cobre, y otros contaminantes (p. 110).

Como medio filtrante para agua residual la zeolita ha demostrado ser capaz de poder remover elementos contaminantes que se encuentran el agua residual tal como Fierro y Ramírez (2016) indican:

Se disminuyó aproximadamente en un 58,20% el hierro y en un 67,98% la turbidez, respecto a la muestra de pretratamiento por el método de filtración por adsorción con zeolita natural Clinoptilolita. También se observó que los factores que tienen mayor influencia en la remoción de hierro son la altura de la capa de zeolita y el tipo de zeolita natural virgen o activada, debido a que estas variables intervienen directamente con la capacidad de adsorción de hierro (p. 84).

Para Guerrero *et al.* (2018) mencionan que:

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 trata-miento 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 (p. 116).

Cabe recalcar que el uso final para el agua residual filtrada no es recomendado para el consumo humano, sin embargo, se puede dar diferentes usos como el riego, recarga de acuíferos, dependiendo de los estándares de patógenos y calidad de agua de las autoridades competentes correspondiente al uso del agua residual tratada previamente mediante procesos químicos adicionales.

1.31 Geotubos

También se sabe que son estructuras hechas con geotextiles de alta resistencia, especialmente desarrolladas con propiedades únicas de filtración y retención: almacenan, conforman, drenan y consolidan materiales en su seno mediante el uso de dragas, barcos areneros o tolvas especialmente diseñadas, la mezcla de llenado es conocida como “slurry”, y corresponde a un 80 % de agua y un 20 % de material arenoso fino (Ruiz, 2019, p. 2).

Figura 43

Geotubo para aguas residuales



Nota. Tomado de *Dsecación de Geotubos*, por XY Geosynthetics, 2019., <https://es.xygeosynthetics.com/geofabriform/geotube/geotube-dewatering.html>

Las geoestructuras son tubos hechos con telas sintéticas y luego llenados con material dragado, presentando en las esquinas forma de almohada cuando están llenos. El geotextil

utilizado es del tipo tejido con altas propiedades mecánicas e hidráulicas. Cada geotubo es fabricado a medida y suministrado en varios tamaños y longitudes para adaptarse a los requisitos de diseño e instalación. Son ideales para instalaciones en tierra firme o en profundidades hasta 15ft (5 m) (Ruiz, 2019, p. 2).

- Propiedades de Geotubos

Con respecto al material del cual están hechos los Geotubos, Ruiz (2019) señaló que “los geosintéticos poseen propiedades importantes como lo son unidad de masa (peso), gravedad específica, la rigidez y el grosor. Considerándolas como las propiedades más 20 resaltantes y que hay que tener en cuenta en su uso” (p. 51). Así, los Geotubos se clasifican de acuerdo con cuatro propiedades variadas, las cuales se describen a continuación.

1. Propiedad física

Se refiere a la fabricación o recepción de geotextiles, así como a su control de calidad. Se tienen en cuenta las siguientes propiedades:

- a. Gravedad específica.
- b. Espesor.
- c. Rigidez.

2. Propiedad mecánica

Esta característica hace referencia a las fuerzas de tensión generadas por cargas aplicadas y/o condiciones de instalación. En este contexto, se cuenta con las siguientes:

- a. Resistencia a la costura.
- b. Resistencia a la tensión.
- c. Resistencia al punzonamiento.
- d. Resistencia al rasgado.

3. Propiedad hidráulica

Las pruebas demandan la introducción de nuevos conceptos, métodos y dispositivos, así como la creación de interpretaciones y bases de datos originales. Esto se debe a que los primeros no son utilizados en la industria textil, por lo que no sirven como referencia para los geotextiles. A continuación, se detallan las pruebas realizadas tanto en geotextiles solos como en su combinación con el suelo:

- a. Retención del suelo.

- b. Tamaño de abertura aparente.
- c. Permitividad.

4. Propiedad de durabilidad

Se trata de las modificaciones que experimenta el geotextil con el transcurso del tiempo y debido a la exposición a factores externos, lo que conlleva a la disminución de sus características.

Se observan las siguientes propiedades:

- a. Degradación por la luz solar.
- b. Degradación por temperatura.

En cuanto a las aplicaciones del geotubo, se tienen en cuenta las siguientes:

- a. Protección de riveras.
- b. Estructuras de encauces de ríos.
- c. Aplicaciones costeras.
- d. Recuperación de playas (espigones, rompeolas y escolleras).
- e. Islas artificiales.
- f. Construcción de diques.
- g. Almacenamiento de material contaminado.
- h. Estructuras de disipación de energía.
- i. Control de socavación marina.

Figura 44

Llenado de geotubo para agua residual.



Nota. Tomado de *Aplicaciones y Diseño con Geoestructuras*, por L. Gómez, 2013, <https://es.scribd.com/document/462054547/Geoestructuras-pdf>

Figura 45

Geotubo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Conques-Villalier.



Nota. Tomado de *La depuradora de aguas residuales de Conques-Villalier equipada con Geotubos*, por La Depeche.fr, 2013, <https://www.ladepeche.fr/article/2013/04/17/1607417-la-station-d-epuration-de-conques-villalier-equipee-de-geotubes.html>

Las geoestructuras necesitan de un criterio de diseño, el cual depende de su aplicación. Al respecto, Gómez (2013) aseguró:

Generalmente los proyectos de geoestructuras se originan a partir de un diseño hidráulico que indica el dimensionamiento de los elementos a incluir dentro del sistema a utilizar en el proyecto. El diseño hidráulico deberá ser establecido por un ingeniero especialista en hidráulica, ajustándose a las condiciones de la corriente y la aplicación definitiva del proyecto (p. 1).

- Geotubos para deshidratación de lodos

El método de deshidratación de lodos mediante el geotubo es simple pero funcional, y hace las veces de una EDAR. Al mismo tiempo, este usa una menor cantidad de químicos. Ante esto, Magnusson *et al.* (2011) afirmaron:

Los productos químicos que se utilizan actualmente son del mismo tipo que se utilizan en el tratamiento del agua en general en la sociedad, p.e. en las depuradoras municipales. El consumo de productos químicos aquí es mucho mayor que en la industria de la construcción. Cuando se trata del uso de productos químicos, por supuesto es importante que la industria de la construcción siga las reglas existentes, pero también la práctica que existe en el resto de la industria del tratamiento de agua (p. 1).

Figura 46

Deshidratación de lodos



Nota. Tomado de Home, por ACE Geosynthetics, 2015,

<https://www.geoace.com/es/case/Industria-Minera-/Tratamiento-de-deshidrataci%C3%B3n-de-lodos-y-aguas-residu>

La deshidratación de lodos mediante el geotubo es uno de los tres métodos más importantes, como acotaron Magnusson *et al.* (2011). En ese sentido, los métodos de deshidratación utilizados se pueden dividir según tres principios fundamentales:

- a. Deshidratación pasiva mediante sedimentación en balsas o depósitos de lodos (sin adición de productos químicos).
- b. Deshidratación mecánica mediante equipos mecánicos (adición de productos químicos).
- c. Deshidratación con Geotubos, que es un proceso intermedio entre la deshidratación pasiva y la mecánica (adición de productos químicos).

De esa forma, el funcionamiento del geotubo como deshidratador de lodo se explica a continuación, en palabras de Magnusson *et al.* (2011):

Los Geotubos son contenedores fabricados con geotextil permeable que actúan como filtro. La deshidratación se realiza bombeando material al interior del tubo, lo que provoca que se acumule una sobrepresión. De este modo, el agua es expulsada a través de los poros del material textil. Para facilitar el drenaje, se puede añadir polímero al lodo como floculante. Si no se añade ningún polímero, el efecto puede ser que el lodo fluya directamente a través

de los poros del geotubo. Los tubos se colocan encima de una capa de drenaje que a su vez se coloca sobre una capa de sellado donde se recoge el agua drenada (p. 9).

Figura 47

Deshidratación de lodos procedentes del tratamiento de lixiviados con Geotubos



Nota. Tomado de *La depuradora de aguas residuales de Conques-Villalier equipada con Geotubos*, por La Depeche.fr, 2013, <https://www.ladepeche.fr/article/2013/04/17/1607417-la-station-d-epuration-de-conques-villalier-equipee-de-geotubes.html>

El geotextil funciona como un filtro para el agua residual, la cual lo separa de las partículas que poseen diferentes propiedades, también es usado para el drenaje y filtro del agua residual tal y como lo dice Chancasanampa (2013):

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales, al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además, debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión (p. 26).

El geotubo es utilizado para la separación de aguas residuales, en donde se separa los sólidos de los líquidos para poder dar diferentes usos a los lodos residuales, Cárdenas (2022) Indica:

El uso de Geotubos parte de bombear los lodos del fondo sin abatir previamente el nivel del agua con una draga o bomba, luego, se disponen los lodos en el geotubo, dejando

sedimentar y deshidratar los subproductos, de modo que el agua residual proveniente de la deshidratación de los lodos se retorne al sistema de tratamiento (p. 88).

En el geotubo se va a almacenar el lodo residual deshidratado, mientras que el agua residual filtrada evacua con un nivel de contaminación bajo, Verdugo y Moscoso (2018) aseguran:

Para la implementación de la Tecnología Geotubo se decidió [...] con el fin de generar únicamente sólidos volátiles, los cuales, según experiencias de la Empresa TENCATE se retendrán dentro de la malla del Geotubo y este filtrará agua con una concentración relativamente baja (p. 196).

1.32 Lagunas de estabilización

Son cuerpos de agua creados artificialmente también conocida como laguna de Estabilización. El proceso de tratamiento es una combinación de sedimentación, digestión y conversión de desechos orgánicos por bacterias y algas, por lo que generan su propia reproducción, que puede ser anaerobia, aerobia o una combinación de ambas (Montero, 2021, p. 31).

Las lagunas de Estabilización son sistemas de tratamiento que utilizan técnicas biológicas para realizar una correcta descontaminación, es decir, las aguas residuales ingresan a una laguna lo cual se almacena para que se degraden por microorganismos. Este método de tratamiento es empleado ya que resulta económica realizar en zonas rurales, en las zonas urbanas el proceso es distinto ya que la demanda es alta y en climas tropicales.

Según Castro y Castillo (2020), las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Estas son constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra, y generalmente toman una forma rectangular o cuadrada. El tratamiento de aguas a través de lagunas de Estabilización tiene tres objetivos:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- Eliminar los microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- Reutilizar su efluente para distintas finalidades.

Figura 48

Las lagunas de Estabilización, situadas en la autopista Narcisa de Jesús Guayaquil-Guayas.



Nota. Tomado de Las lagunas de Estabilización, situadas en la autopista Narcisa de Jesús Guayaquil-Guayas. Tomado de (Almeida, 2021). <https://www.extra.ec/noticia/actualidad/guayaquil-hedor-lagunas-oxidacion-dana-jama-ruca-57025.html>

Figura 49

Laguna de Estabilización donde se tratan las aguas servidas antes de ser vertidas al río Daule (Guayaquil-Ecuador)



Nota. Tomado de *Para junio se espera informe sobre plantas para tratar aguas residuales*, por El Universo, 2013, <https://www.eluniverso.com/2013/04/08/1/1445/junio-espera-informe-sobre-plantas-tratar-aguas-residuales.html>

1.32.1 Funcionamiento de lagunas de estabilización

Lagunas anaerobias

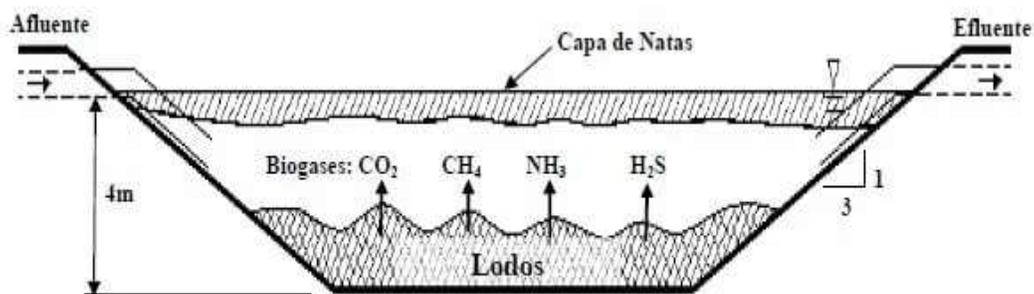
Las lagunas anaerobias son por lo general el primer tipo de laguna (las más pequeñas de la serie) que se encuentra al inicio de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Ellas tienen de dos a cinco metros de profundidad y se caracterizan porque pueden recibir una carga orgánica alta (normalmente > 100 g DBO/m³ día, equivalente a > 3000 kg/ha día para una profundidad de 3 m). Estas lagunas no contienen oxígeno disuelto ni tampoco algas, aunque de vez en cuando una película delgada de *Chlamydomonas* puede estar presente en la superficie (Castro y Castillo, 2020, p. 156).

Las lagunas de estabilización anaeróbica contienen protozoarios y rotíferos cuya función es pulir el efluente final. En estas lagunas, las partículas sólidas cubren tres cuartas partes de la laguna y los sólidos suspendidos están sobre la superficie de la laguna dificultan la

penetración de la radiación solar, por lo tanto, es insuficiente el oxígeno. Ellas trabajan como tanques sépticos abiertos, y su función principal es la eliminación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Las lagunas anaerobias funcionan muy bien: una laguna anaerobia bien diseñada, debe lograr una remoción mínima de DBO del 60 % a 20° C (Castro y Castillo, 2020, p. 157).

Figura 50

Esquema del diseño de una laguna de Estabilización de tipo anaerobia



Nota. Tomado de *Lagunas de Estabilización definición y características*, por Fibras y Normas de Colombia S. A. S., 2023., <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/definicion-y-caracteristicas-de-las-lagunas-de-oxidacion/>

Lagunas facultativas

Como lo expresaron Cortez *et al.* (2017), el tratamiento del agua residual en lagunas facultativas considera tres zonas:

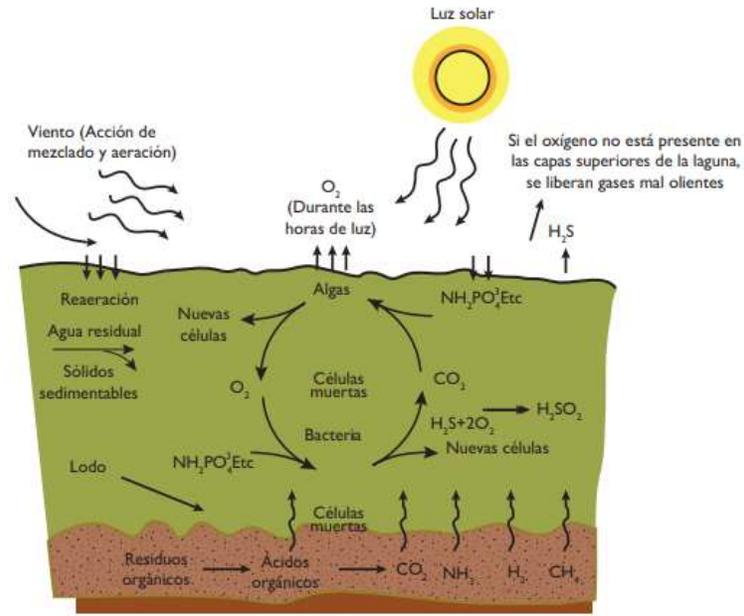
- Se establecen condiciones aerobias en la parte superior; es decir, existe oxígeno disuelto.
- Una parte facultativa intermedia en donde las bacterias aerobias, anaerobias y facultativas (las bacterias facultativas pueden vivir tanto en condiciones anaerobias como aerobias) llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica (DBO).
- Una zona anaerobia en la parte inferior de la laguna, donde los sólidos que sedimentan se descomponen de manera fermentativa (pp. 10-11).

Los factores ambientales que favorecen el adecuado proceso son: radiación solar, sedimentación, elevado potencial de hidrógeno (pH), altas concentraciones de oxígeno disuelto y tiempo de retención hidráulico, entre otros. La profundidad sugerida es de 1.5 a 2.5 metros. Si el

proyecto solo considera lagunas facultativas y de maduración; es decir, lagunas facultativas como primarias, la profundidad mínima recomendada es de 1.5 metros (Cortez *et al.*, 2017, p. 13).

Figura 51

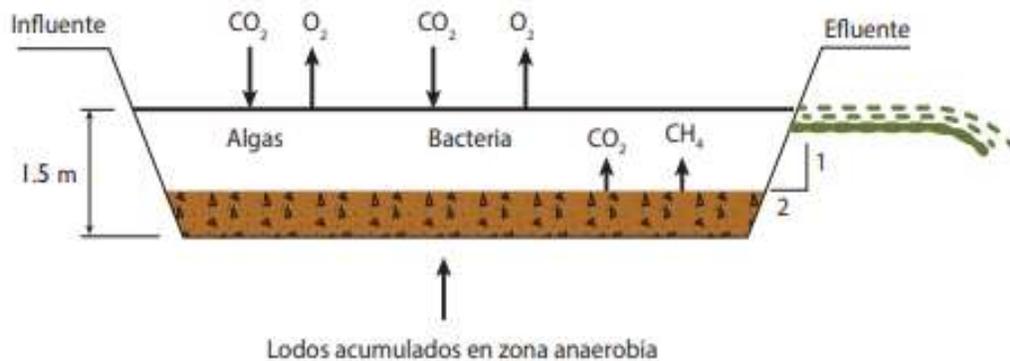
Interacción de bacterias y algas en una laguna facultativa



Nota. Tomado de *Interacción de bacterias y algas en una laguna facultativa*. Fuente: adaptada de Conagua/ IMTA (2007)

Figura 52

Proceso de una laguna facultativa



Nota. Tomado de Oakley (2005)

Lagunas de maduración o pulimiento

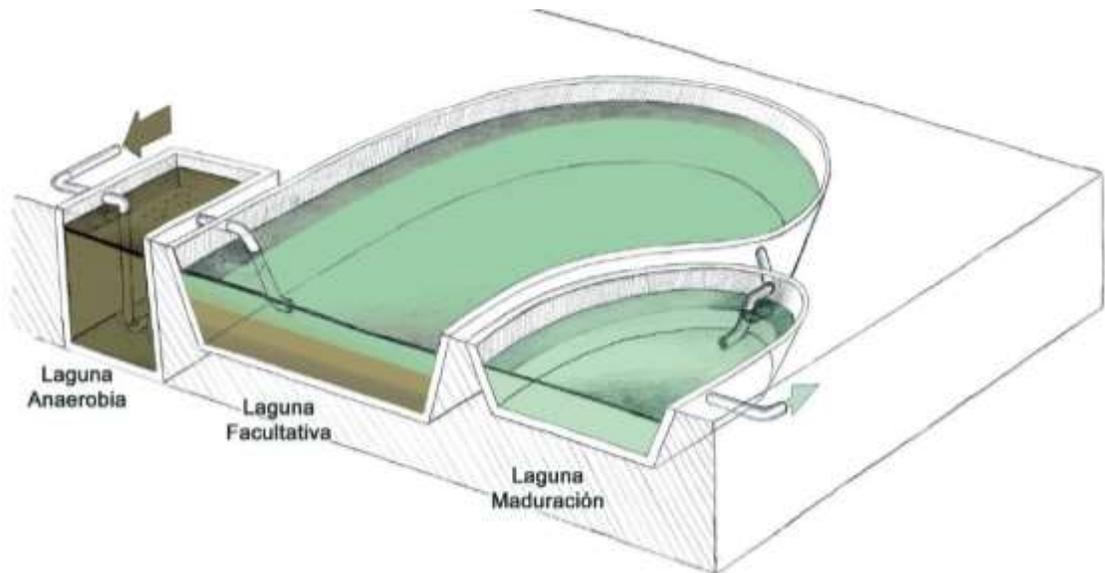
Las condiciones del tratamiento son totalmente aerobias en toda la laguna. El propósito es reducir los coliformes fecales hasta cumplir con la norma de descarga del agua residual tratada a los cuerpos receptores. Los factores que intervienen para el tratamiento son: potencial de hidrógeno alto, rayos ultravioletas del sol, existencia de depredadores, existencia de oxígeno disuelto y carencia de nutrientes. Las lagunas de maduración o pulimiento pueden recibir aguas residuales previamente tratadas por otros sistemas de tratamiento secundario: lodos activados o biofiltros.

El número de lagunas y sus dimensiones se determinan por el tiempo de retención necesario para la eliminación de coliformes fecales. Dos sugerencias importantes en el diseño de estas lagunas son: considerar la eliminación del organismo indicador hasta un 99.999 % y definir la profundidad entre 0.6 a 1.5 metros (Cortez *et al.*, 2017, pp. 13-15).

1.32.2 Esquema de una laguna de estabilización

Figura 53

Esquema general de un proceso de lagunaje



Nota. Tomado de *Lagunas anaerobias*, por Depura Natura, 2011, <https://depuranatura.blogspot.com/2011/05/lagunas-anaerobias.html>

1.33 Secadora solar

“Una de las alternativas para el secado de lodos residuales es la utilización de energía solar para disminuir los costos energéticos que implica la evaporación del agua contenida en estos y reducir su volumen” (Valencia, 2008, p. 1). Por su parte, Salas *et al.* (2007) aseveraron:

El aspecto novedoso de esta utilización de energía está en que el consumo energético de la misma es muy bajo, ya en las secadoras solares son sistemas de utilización de tecnología limpia, pues el motor de trabajo en el secado tiene su base en la utilización del calor generado por los rayos solares (p. 4).

Figura 54

El secador solar detiene el aumento de los costes de eliminación de lodos.



Nota. Tomado de *El secador solar HUBER detiene el aumento de los costes de eliminación de lodos*, por Huber Technology, 2018., <https://www.huber-technology.cl/es/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/el-secador-solar-huber-detiene-el-aumento-de-los-costes-de-eliminacion-de-lodos>

Una opción para deshidratar lodos implica aprovechar la energía térmica proporcionada por la radiación solar. La utilización de la energía solar con fines de deshidratación puede considerarse como la forma más eficaz de emplear este recurso. Dado que el proceso de deshidratación depende de la presencia de luz solar diurna (en la generación de energía, la demanda máxima no siempre coincide con el pico de generación), es necesario contar con sistemas de almacenamiento de energía. Los rayos solares impactan en la superficie, se absorben y se

transforman directamente en calor, lo que permite su utilización directa como aire para el proceso (Dry Tec Solar, 2015).

1.33.1 Secado de lodos residuales por efecto invernadero

El secado de los lodos residuales en la mayoría de los países desarrollados es algo muy común y también sostenible, dado que consiste en la transformación de la energía solar en calórica, como lo mencionó Armijos (2014):

El proceso de deshidratación de lodos mediante el uso de invernaderos se ha convertido en una práctica en boga en naciones avanzadas. En dichos lugares, la escasez de materias primas para la explotación y los impactos ambientales adversos derivados de la extracción intensiva en las sociedades contemporáneas han generado la posibilidad de reutilizar diversos elementos, como los lodos sanitarios o residuos de fangos.

Una de las variantes disponibles consiste en convertir la energía solar en energía térmica mediante un proceso de transposición implementado por una estructura similar a un invernadero. Aunque la forma de estas estructuras puede variar según las cantidades, la disponibilidad de recursos y la ubicación, el principio mecánico es uniforme: deshidratación de lodos a través del secado (p. 17).

Figura 55

Robot encargado de mezclar el material dentro de la cámara solar.



Nota. Tomado de *Una planta de secado solar aligerará con ayuda de un robot los lodos de Arazuri*, por Diario de Navarra, 2021, <https://n9.cl/2556y>

Al respecto de este tema, el autor Díaz (2016) aseguró:

Este tipo de tecnología aprovecha el recurso solar en función del desarrollo del reúso de lodos residuales en el sector de la construcción a través de la formación de agregados.

Las ventajas de este sistema de secado se enlistan a continuación:

- No es necesario contar con sistemas de gran complejidad técnica ni incurrir en costos elevados para llevar a cabo el mantenimiento.
- La disminución de los costos asociados con la demanda de energía primaria implica, por ende, una reducción en los gastos necesarios para obtener energía térmica.
- Reducción de los altos costos de energía (hasta un 95 %) y emisiones de CO₂.
- Fortalecimiento de la competitividad.
- Control absoluto del proceso de secado (p. 42).

1.33.2 Sistema estructural de la secadora solar

Uno de los objetivos de la secadora solar es proporcionar la transformación de energía de manera limpia y sustentable. Debido a esto, la construcción de la secadora debe ser amigable para el medioambiente, como lo aseguró Díaz (2016):

El objetivo primordial del diseño de la cámara fue construir una estructura económica, confeccionada con materiales endémicos y nativos del lugar. Así se logró edificar una cámara en base a caña guadua, especie vegetal de libre crecimiento en la zona del valle de La caña, tiene un elevado nivel de resistencia al peso y movimiento, por lo que se eligió componente principal de la estructura (p. 54).

Figura 56

Secadora solar Thermo-System vista exterior.



Nota. Tomado de *Sistema de Secado Solar de Lodos*, por B&FDias, 2023., bfdias.com.br

No obstante, existen diferentes tipos de secadora solar, como las de tipo domo para granos de café. Así las cosas, como mencionaron Cruz *et al.* (2010), los dos elementos básicos de una secadora solar son los siguientes:

- El colector, donde la radiación solar calienta el aire.
- La cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que circula.

Estos dos elementos pueden diseñarse de diferentes formas para integrarse a diversos equipos de secadora solar. Ahora bien, en lo que concierne a los tres tipos de secadoras solares, estos son los que se describen a continuación:

- Secadora solar indirecta: los dos elementos están separados. El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Esta secadora es esencialmente de carácter convencional en la que el sol actúa de fuente energética.
- Secadora solar directa: los dos elementos pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto, también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.

- Secadora solar mixta: finalmente puede darse el caso en que la colección de radiación se realice tanto en un colector solar previo a la cámara, como en la misma cámara (p. 130).

De otra parte, es importante el uso de acrílicos o plásticos de polietilenos en sus paredes y techos para facilitar la fuga del vapor de agua y la penetración de los rayos ultravioleta, que proveen el calor. Como Díaz (2016) mencionó, en el proceso de construcción de la secadora solar:

La cubierta fue montada con plástico de polietileno y pendiente pronunciada de 67° para facilitar la fuga de vapor de agua, con la finalidad de disipar el agua condensada bajo la superficie. El plástico utilizado, de naturaleza transparente, con espesor de 150 micras, fue tensado, cubriendo las laterales y frontales, dejando una parte libre para el ingreso humano. Se procedió a colocar cal en la entrada para mitigar efectos contaminantes en el área experimental (p. 54).

Figura 57

Estructura de una secadora solar



Nota. Tomado de *Procagica apuesta por las secadoras solares para un mejor café*, por IICA, 2020., <https://iica.int/es/prensa/noticias/procagica-apuesta-por-las-secadoras-solares-para-un-mejor-cafe>

En el caso de los autores Cruz *et al.* (2010), estos aseguraron que en la construcción de la secadora solar tipo domo fue importante el uso de acrílicos para la cubierta. Ello se evidencia en el siguiente fragmento.

El funcionamiento y la operación de la secadora solar son simples:

- El principio básico es calentar el aire del interior mediante los rayos del sol, disminuyendo así su humedad relativa.
- Dicho aire caliente, al contacto con el café húmedo, tiende a absorber agua, secando por tal razón el grano.
- Debido a las diferencias de temperatura existentes entre el aire del interior y del exterior, el aire circula por el fenómeno de convección natural, de esta forma el café perderá gradualmente la humedad (p. 132).

1.34 Reúso de aguas residuales regeneradas

Con mucha más frecuencia, en las últimas décadas se viene hablando del reúso de las aguas residuales tratadas, llamadas en Europa, “aguas residuales regeneradas”. La demanda creciente de agua para satisfacer las necesidades domésticas, agrícolas e industriales se incrementa en la medida en que la población crece y el modelo económico impone una tendencia cada vez más consumista. Entre las alternativas no convencionales para aprovechamiento de agua, pueden citarse las siguientes:

- Escorrentía.
- Agua residual regenerada.
- Agua de mar desalinizada.
- Agua salobre desalinizada (CYTED - Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2017, p. 1).

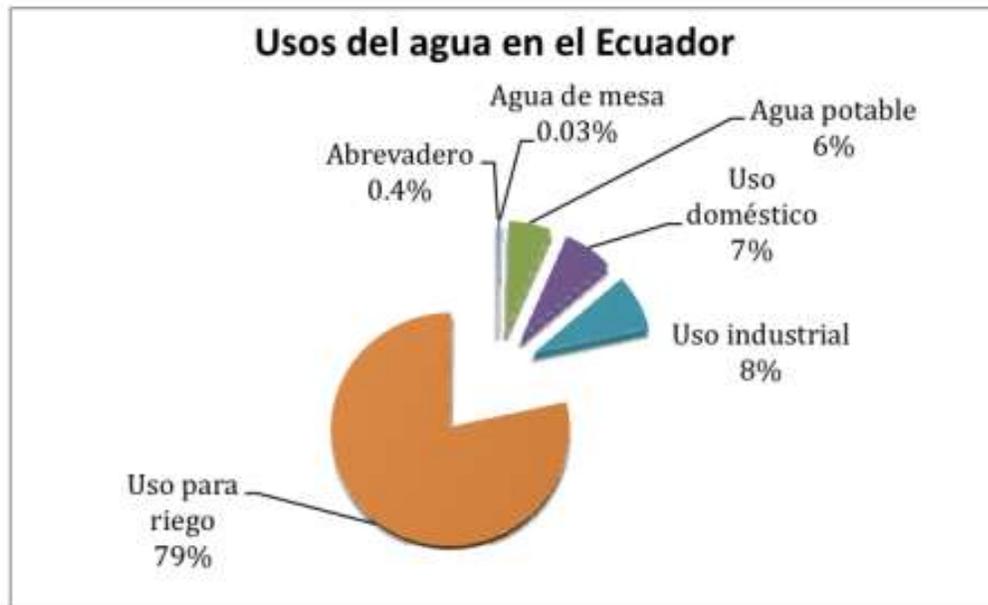
De estas alternativas, la más importante en volumen y disponibilidad es la de agua residual regenerada, la cual tiene una ventaja adicional: es una fuente de caudal continuo; por esta razón, desde hace muchas décadas, esta se ha empleado de manera directa o indirecta, especialmente para riego de cultivos. No obstante, dichas prácticas son consideradas de gran riesgo para la salud pública en la actualidad por los patógenos asociados a este tipo de aguas (Lozano, 2012). Según Lozano (2012), las aguas residuales regeneradas tienen un uso adecuado establecido por el Real Decreto 1620/2007:

- a) Usos domésticos y urbanos:
 - Riego de jardines privados, parques y campos deportivos.
 - Descarga de artefactos sanitarios.
 - Limpieza de calles.
 - Sistemas contraincendios.
- b) Usos agrícolas:
 - Riego de cultivos.
 - Riego de pastos para alimentación de ganado.
 - Acuicultura.
 - Cultivos de flores ornamentales.
- c) Usos industriales:
 - Aguas de proceso.
 - Torres de refrigeración.
- d) Usos recreativos:
 - Riego de campos de golf.
 - Lagos y fuentes ornamentales sin acceso público al agua.
- e) Usos ambientales:
 - Recarga de acuíferos.
 - Riego de bosques y zonas verdes sin acceso público.
 - Silvicultura.
 - Mantenimiento de humedales (p. 142).

En el Ecuador la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) ejerce la rectoría de la gestión y administración del agua, y para la entrega de concesiones del agua para lo cual dispone de 11 agencias de aguas [...]. A nivel nacional se tienen 68 244 concesiones para usos consuntivos y no consuntivos, que representan un caudal total de 2890.29 m³/s, de los cuales 2251.3 m³/s corresponden a usos no consuntivos que representan un 77.89 %, el 22.1 % es de usos consuntivos. Los usos consuntivos incluyen; abrevadero, recreación, uso doméstico, agua potable, agua de mesa, piscícolas, termales, riego y otros. En la Figura 7, se indican los usos consuntivos del agua a nivel nacional (Huayamave, 2013, pp. 22-23).

Figura 58

Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule



Nota. Tomado de *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*, por Huayamave, 2013, https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11262/4/0693918_00000_0000.pdf

En la figura Presenta que el destino del agua en Ecuador esta enfocada que el 79% del agua se utiliza para riego, lo que implica que la gran extensión de la Cuenca Baja del Guayas aproximadamente el 40 % de territorio ecuatoriano, presenta demanda del agua para satisfacer cultivos entre otras variedades.

1.35 Uso de lodos residuales

- **Uso como abono**

Una de las metodologías es el uso como abono en la actividad agrícola mediante el compostaje, es ampliamente reconocido como una enmienda orgánica que tiene un impacto beneficioso sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. El compost mejora la estructura del suelo, lo que provoca una disminución de la formación de costras, la escorrentía superficial y la erosión. Aumenta la porosidad del suelo, la retención de agua y la conductividad hidráulica (Głąb *et al.*, 2020).

Figura 59

Lodos residuales usados como compost en el área agrícola.



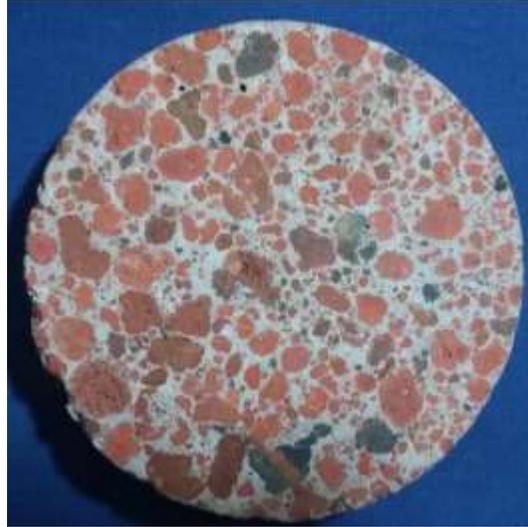
Nota. Tomado de *El potencial fertilizante y económico de los lodos de depuradora para los cultivos agrícolas*, por Portar Frutícola, 2018, <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/10/26/el-potencial-fertilizante-y-economico-de-los-lodos-de-depuradora-para-los-cultivos-agricolas/>

- **Uso como materia prima para la elaboración de materiales de construcción**

Con respecto a Moncada (2016) expresa que una técnica eficiente para obtener lodos residuales como materia prima en el hormigón es a través del aprovechamiento de metales pesados como: el cobre, cromo, plomo y zinc para elevar su resistencia a la compresión, es decir, presenta ser una alternativa sostenible en el sector de la construcción por evitar que continúe con la contaminación de los fangos residuales en el medio ambiente y darle otro potencial objetivo.

Figura 60

Hormigón ligero con adiciones de lodos residuales.



Nota. Tomado de *Hormigón ligero a partir de fangos sobrantes de plantas de tratamiento de aguas residuales*, por Moncada, 2016, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6594/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-162.pdf>

La fabricación de ladrillos es uno de los recursos más requeridos en el área de la construcción, este material de mampostería acude a procesos de gran complejidad. La adición de material residual de plantas de tratamiento (fangos residuales deshidratados) disponen de resultados efectivos en las propiedades de los ladrillos de arcilla como: porosidad, mayor resistencia a compresión, mayor contracción y pesos ligeros. Así como demuestra ventajas en los procesos de obras de construcción por su gran demanda es una opción sostenible, dado que realiza una disminución muy funcional de la contaminación del medio ambiente (Orellana, 2015, p. 15).

Figura 61

Fabricación de ladrillos con adiciones de lodos residuales



Nota. Tomado de *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos*, por X. Orellana, 2015, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4344/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-128.pdf>

1.35.1 Uso de incineración para producir combustible

Los lodos residuales pueden ser utilizados para producir energía sostenible mediante la pirólisis o la creación de un combustible ecológico:

Los lodos de depuradora generados representan una amenaza tanto para el medioambiente como para los seres humanos, debido a la presencia de contaminantes de metales pesados, una alta proporción de contenidos orgánicos y toxinas. A pesar de estar cargado de contaminantes, el uso sostenible de esta creciente cantidad de lodos de depuradora producidos puede convertirlos en un recurso valioso. Tras su procesamiento, los lodos de depuradora pueden servir como materia prima o sustrato para la generación de energía (Enebe *et al.*, 2023).

Además, el biogás y el gas de síntesis se han identificado como dos importantes vectores de energía renovable, capaces de sustituir parcialmente a los combustibles fósiles, que podrían

producirse a partir de lodos de depuradora. Esto se logra mediante dos tecnologías competitivas, a saber: la digestión anaeróbica (DA) y la gasificación (Enebe *et al.*, 2023).

El combustible ecológico implica la transformación de los lodos residuales en un material sólido que pueda ser utilizado como combustible, por ejemplo: en concreto, la EDAR puede transportar los lodos residuales a un horno y utilizarlos como combustible para generar energía eléctrica. Esta energía eléctrica se puede utilizar para alimentar los motores, bombas y demás equipos de la planta (Linares, 2020).

Figura 62

Material sólido de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales precedentemente a la quema en la cámara solar.



Nota. Tomado de *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero*, M. Díaz, 2016, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6638/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf>

**Capítulo III. Propuesta Regenerativa del Agua Residual y Lodos Residuales
Deshidratados**

Capítulo III. Propuesta Regenerativa del Agua Residual y Lodos Residuales Deshidratados

1.36 Propuesta Regenerativa del Agua Residual Proveniente de los Emisarios

Figura 63

Laguna de Estabilización en el Cantón Daule



Nota. Google Earth

Para la elaboración de la propuesta de este Trabajo de Titulación, se va a trabajar en base a los efluentes de los emisarios de las lagunas de Estabilización existente en los cantones y parroquias de la Cuenca Baja del Guayas, como se mencionó anteriormente estas lagunas contienen aguas y sólidos suspendidos.

Figura 64

Lagunas de Estabilización en el Cantón Milagro.



Nota. Ubicación: 2°08'26"S 79°37'16"W

Figura 65

Lagunas de Estabilización en el Cantón Guayaquil



Nota. Ubicación: 2°07'02"S 79°52'49"W

Figura 66

Lagunas de Estabilización en el Cantón Palestina



Nota. Ubicación: 1°37'32"S 79°59'17"W

Figura 67

Lagunas de Estabilización en el Cantón Pedro Carbo



Nota. Ubicación: 1°49'13"S 80°13'02"W

Figura 68

Lagunas de Estabilización en el Cantón Naranjito



Nota. Ubicación: 2°13'19"S 79°25'49"W

Figura 69

Efluente de Laguna de Estabilización

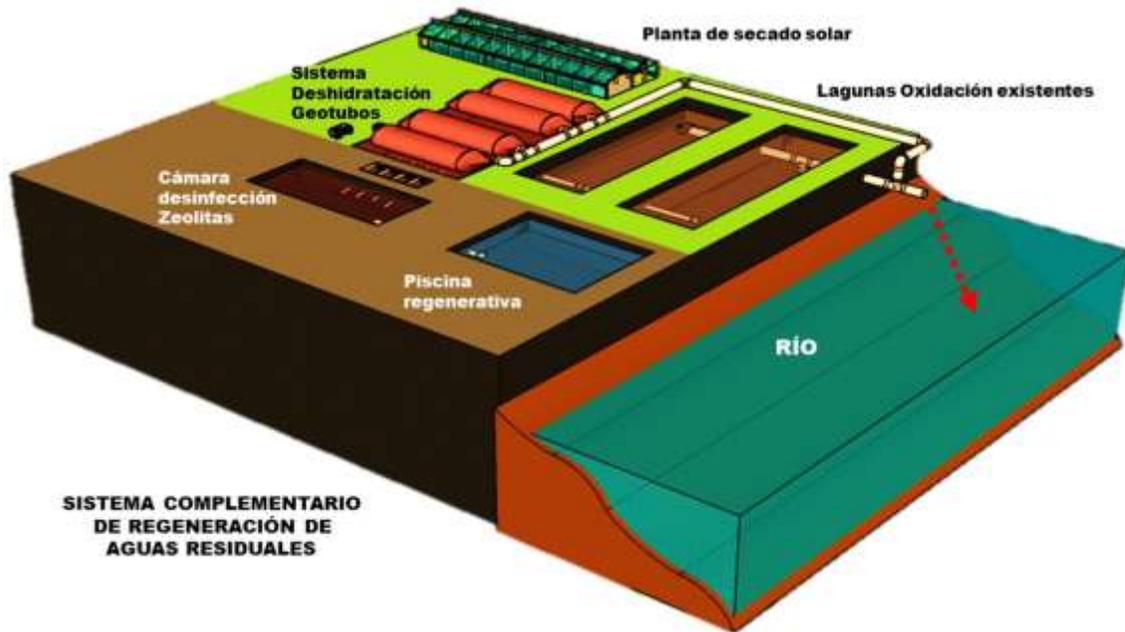


Nota. Tomado de *Problemática ambiental en la Laguna de Oxidación de Cachiche*, por B. Quispe *et al.*, 2012, <https://pdfcoffee.com/gestion-laguna-de-oxidacion-3-pdf-free.html>

La propuesta regenerativa del agua que proviene de los emisarios de las lagunas de Estabilización de todas las cabeceras cantonales y parroquiales que lanzan el material tratado en estas lagunas a los ríos y afluentes de la Cuenca Baja del Guayas. Se va a bombear el sistema del geotubo desde los emisarios de estas lagunas hacia este sistema propuesto por los autores, donde se va a obtener dos subproductos lo cuales se van a dividir en aguas residuales clarificadas y lodos residuales deshidratados.

Figura 70

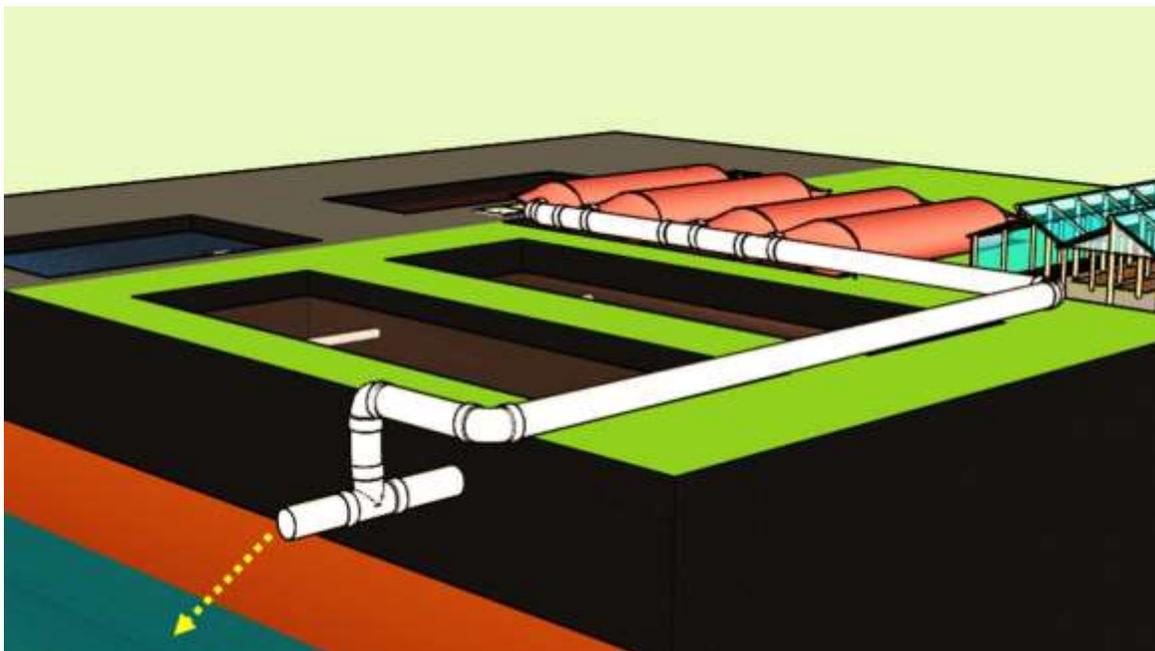
Vista del Sistema complementario de regeneración de aguas residuales.



Nota. Elaboración Propia.

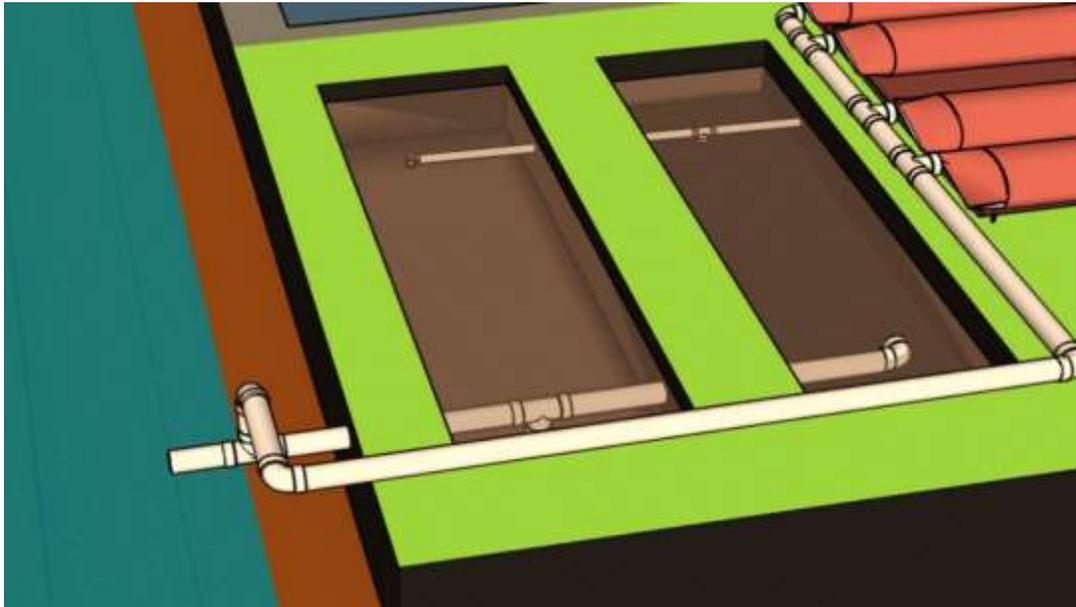
Figura 71

Vista del bombeo de los efluentes de la laguna de Estabilización al Geotubo.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 72



Vista lateral de la línea de conducción del emisario fluvial de las lagunas de estabilización hacia el Geotubo.

Nota. Elaboración Propia.

Figura 73

Sistema de Bombeo de las aguas residuales desde las lagunas de oxidación.

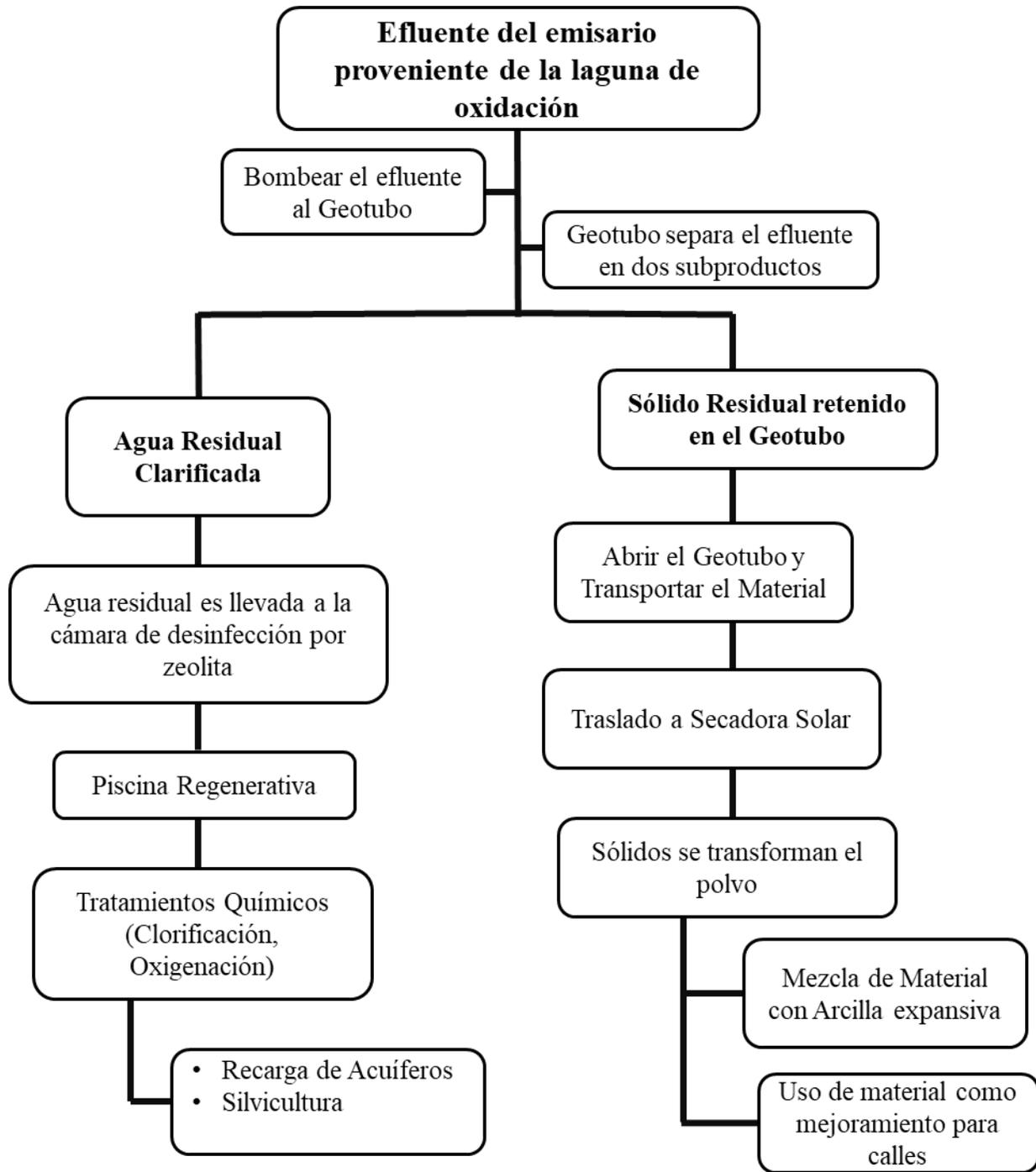


Nota. Elaboración Propia.

Las aguas residuales clarificadas se llevan hacia el sistema de cámara de desinfección por zeolitas donde el agua ya desinfectada, es dirigida a la piscina regenerativa donde se va realizar tratamiento como ozono, tratamiento con cloro, tratamiento con oxígeno y otros sistemas de tratamientos químicos, después se va a realizar la recarga de acuíferos superficiales, usos en sistema de riego como la silvicultura (normado por las OSHA), donde se bombea el agua residual tratada a bosques secos cerca de la planta de tratamiento, siendo bombeado hacia los mismos. Si los niveles patógenos residuales están de acuerdo con los niveles mínimos requerido por las autoridades competentes, se puede hacer recarga de acuíferos.

Figura 74

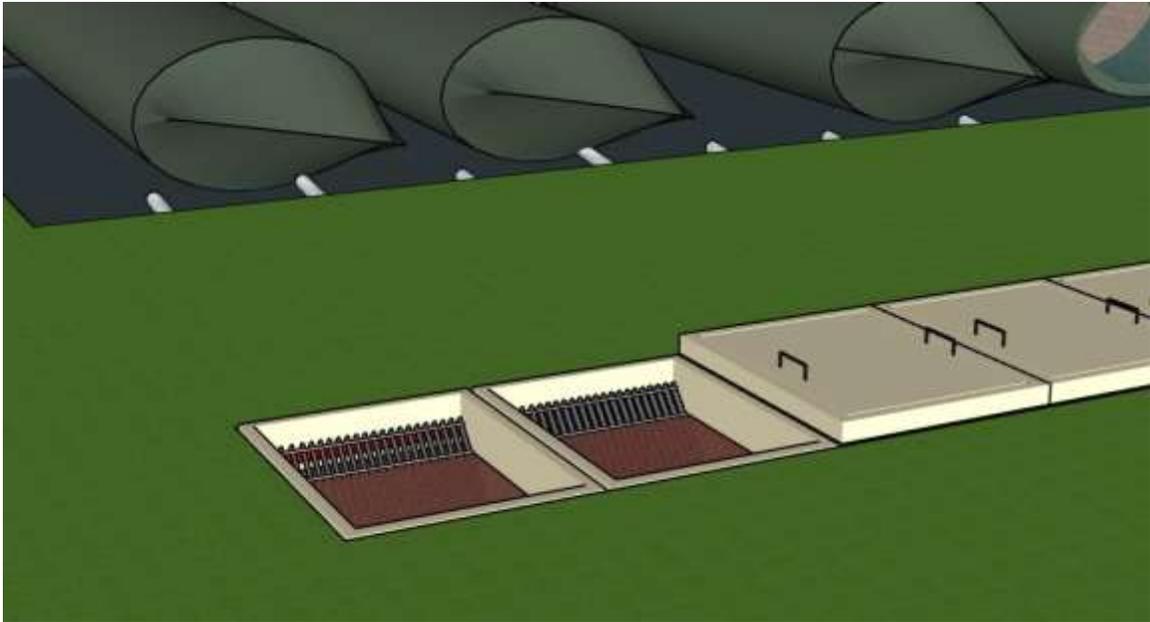
Tratamiento propuesto por los autores para la regeneración de los efluentes provenientes del emisario final.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 75

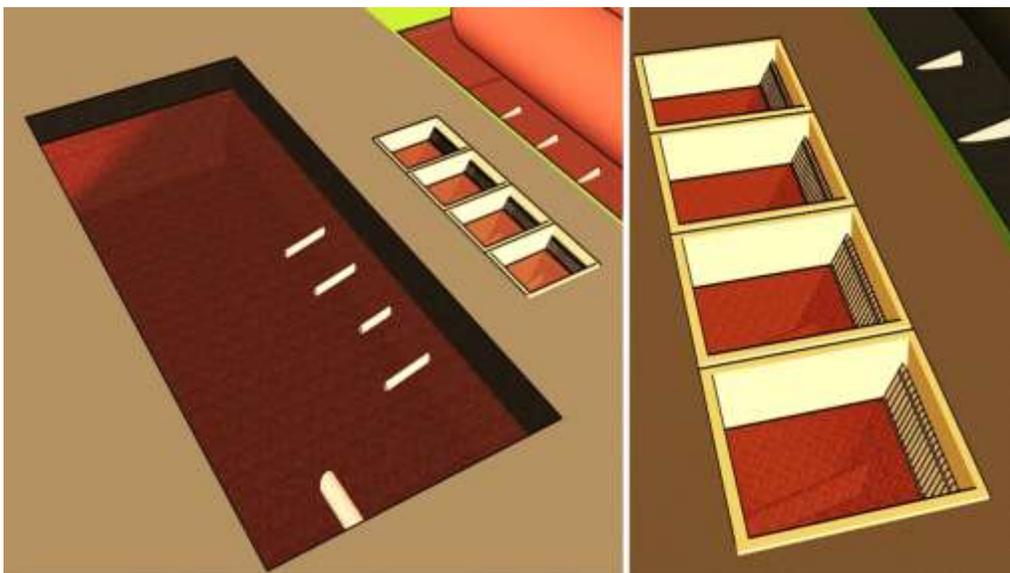
Vista de la cámara de desinfección por zeolita, donde el agua filtrada proveniente del Geotubo es tratada.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 76

Vista de la Cámara de zeolita y tratamiento complementario.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 77

Vista en Planta de la cámara de zeolita y piscina regenerativa para el tratamiento complementario.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 78

Material retenido dentro del geotubo, donde será transportado a la cámara solar a través de volqueta.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 79

Vista de la Cámara Solar



Nota. Elaboración Propia.

Figura 80

Lodo Residual deshidratado dentro de la cámara solar, donde es utilizado como combustible para ser transformado en polvo para su uso posterior correspondiente.



Nota. Elaboración Propia.

Respecto al proceso mostrado anteriormente, se obtuvieron dos subproductos que como parte importante de esta investigación es poder reutilizar y darle un nuevo uso a los materiales sólidos como líquidos obtenidos a través del Geotubo. A continuación, se presentan las alternativas y usos que van a ser focalizados al agua residual tratada y a los lodos residuales deshidratados.

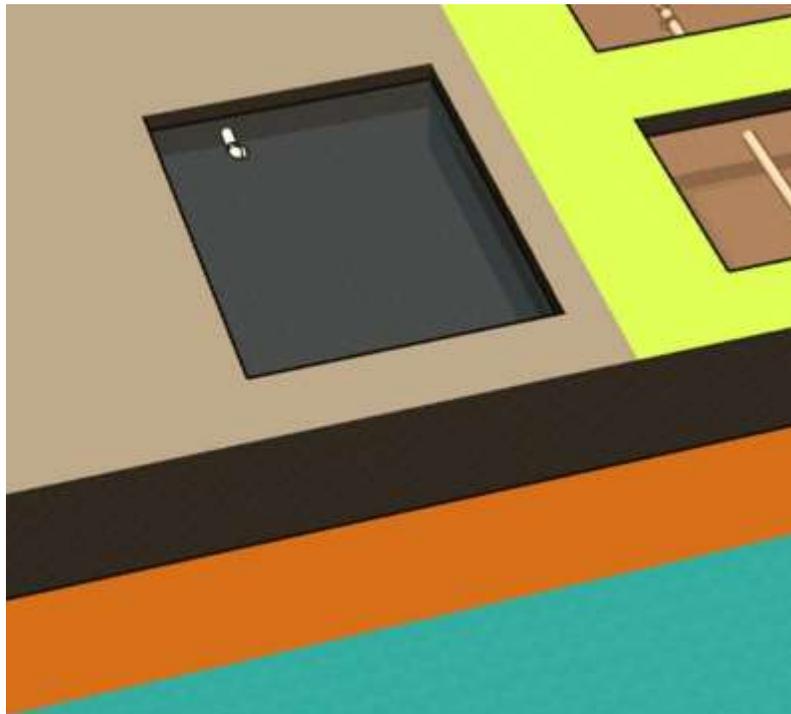
1.36.1 Aprovechamiento del Agua Residual Tratada

El primer producto obtenido a través del geotubo es el agua residual tratada, la cual fue sometida a una piscina regenerativa donde se aplicaron procesos químicos para su clarificación y filtrado a través de la cámara por zeolita. El agua residual tratada y filtrada por la cámara de zeolita, llega a tener los niveles de patógenos residuales y están cumpliendo con los niveles mínimos requerido por las autoridades competentes, se puede hacer recarga de acuíferos superficiales a través de inyecciones.

En la piscina regenerativa se va a tener como un fondo un filtro de granito lavado para la protección de suelo donde se encuentra la piscina, evitar socavaciones e infiltraciones y posteriormente una posible degeneración del suelo donde se va a depositar el agua residual.

Figura 81

Piscina de Regenerativa, donde va a ser depositada el agua residual tratada proveniente de la cámara de zeolita donde será sometida al tratamiento complementario.



Nota. Elaboración Propia.

1.37 Propuesta Granulométrica de Material de Transición para piscina regenerativa

A la piscina regenerativa el cual va a tener un fondo de granito lavado como filtro protector para el suelo de la piscina que se emplea como propuesta, se realizó su respectivo ensayo, tamización, lavado del material y posteriormente obtención de la curva granulométrica, los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UCSG por los autores de este trabajo de investigación cumpliendo con todas las normas recomendadas. El objetivo principal fue poder entender la capacidad del granito lavado como fondo de la piscina regenerativa.

Figura 82

Separación del material de transición. Conglomerado de origen ígneo #1, #2, #3.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 83

Toma de muestras por separado del material de transición conglomerado #1, #2, #3.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 84

Lavado del material de transición #1, #1, #3 por separado.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 85

Secado del material de transición entreverado, a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener peso constante.



Nota. Elaboración Propia.

Para registrar los pesos de las muestras del material de Transición se debe tomar muestras del material conglomerado #1, #2, #3, según la norma ASTM C136 para el tamaño de la muestra de ensayo, después del secado, deberá ser de 300 g como mínimo. El peso de 440 g es el peso del recipiente más el granito lavado.

- Registro de muestra inicial:

Realizar una mezcla del material de transición #1, #2, #3.

Como resultado obtiene un valor de 900g de muestra sin contar el peso del recipiente.

- Tamizar la muestra:

Después de tener una muestra inicial de 900 g se procede a llevar la muestra en los tamices.

Figura 86

Proceso de Tamización manual, realizado en el laboratorio de suelos de la UCSG.



Nota. Elaboración Propia.

Tabla 2

Granulometría obtenida posterior al proceso de tamización.

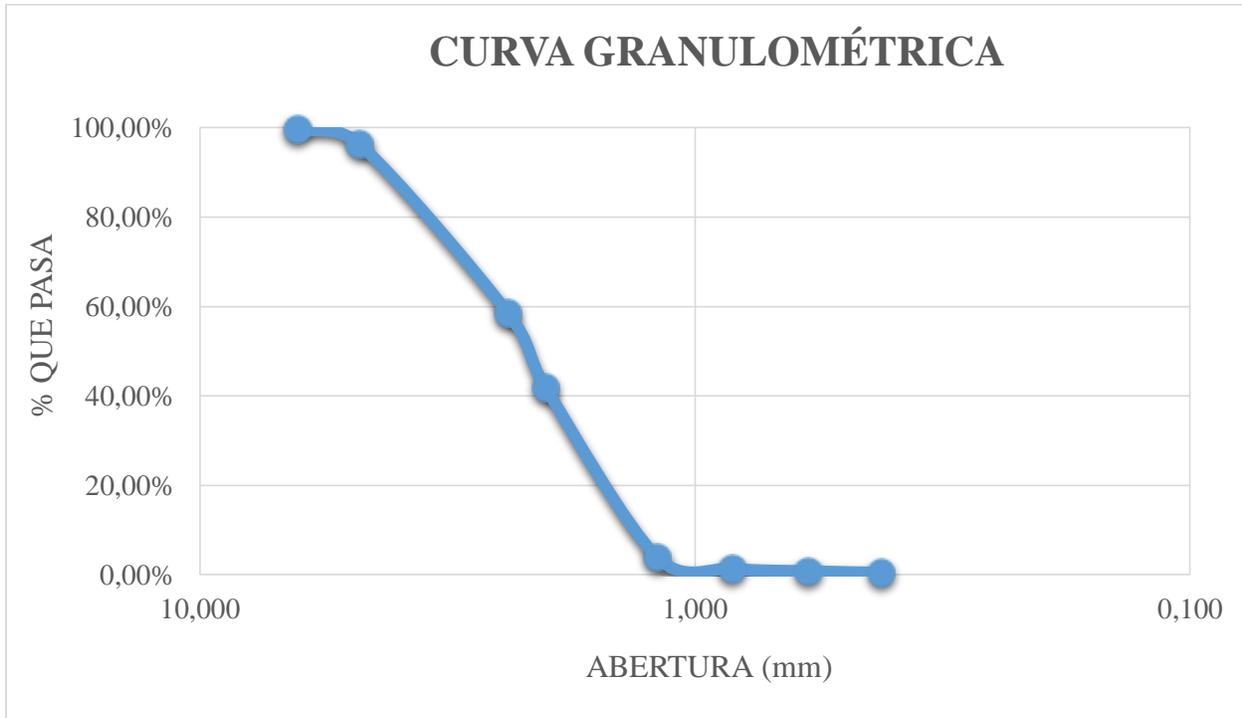
TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULAD	% QUE PASA
1/4"	6,350	4,000	0,45%	0,45%	99,55%
No4	4,760	29,000	3,25%	3,70%	96,30%
No8	2,380	338,000	37,93%	41,64%	58,36%
No10	2,000	148,000	16,61%	58,25%	41,75%
No16	1,190	338,000	37,93%	96,18%	3,82%
No20	0,840	22,000	2,47%	98,65%	1,35%
No30	0,590	5,000	0,56%	99,21%	0,79%
No40	0,420	3,000	0,34%	99,55%	0,45%
Fondo		4,000	0,45%	100,00%	0,00%
TOTAL		891,000	100,00%	-	-

Nota. Elaboración Propia

La variación en el ensayo granulométrico se cifra en 9 gramos en comparación con la muestra inicial. Este margen de error se debe principalmente a las partículas que quedan retenidas en las aberturas durante el proceso de tamizado, denominadas “pérdidas”.

Figura 87

Curva Granulométrica obtenida del proceso de tamización del material de transición de la piscina regenerativa.



Nota. Elaboración Propia.

1.37.1 Aprovechamiento del Lodo Residual Deshidratado

El lodo residual que se retuvo en el Geotubo y después fue llevado a la secadora solar, se le va a mezclar con arcilla expansiva, se obtendrá material para el mejoramiento de calles, ambos materiales entrarán a la secadora solar donde se convertirán en polvo.

Figura 88

Muestras de Arcilla expansiva y lodo residual posterior el proceso de Secado y utilización para ensayo.



Nota. Tomado de *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto 98io*

El tiempo de secado es de aproximadamente de 48 horas, y los materiales secados se destinarán a la fabricación de materiales de construcción, como se ha hecho previamente. Al respecto, Díaz (2016) aseguró:

Los materiales obtenidos en esta primera etapa servirán para la fabricación de gravas con la granulometría necesaria para la elaboración de hormigón ligero y material para subbase de vías. Estos estudios se encuentran en fase de pruebas técnicas dentro del área experimental de la facultad de Ingeniería en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil. (p. 84)

Figura 89

Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales después de cocción.



Nota. Tomado de *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero*, M. Díaz, 2016, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6638/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf>

Figura 90

Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en el hormigón ligero.



Nota. Tomado de *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero*, M. Díaz, 2016, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6638/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf>

Figura 91

Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en subbase de vías.



Nota. Tomado de *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero*, M. Díaz, 2016, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6638/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf>

1.38 Resultados y Discusión

Los autores del presente Trabajo Investigativo han logrado adaptar técnicas modernas de regeneración de aguas residuales utilizadas en el primer mundo en los sistemas de tratamiento ya establecidos para los distintos cantones de la Cuenca Baja del Guayas, en esta propuesta innovativa se separan los sólidos de los líquidos a partir de Geotubos para aguas residuales, los mismos que son conducidos a plantas de deshidratación solar donde el material resultante serán utilizados como energía térmica y en la fabricación de nuevos materiales de construcción.

La propuesta integral para el manejo sostenible de las aguas residuales contempla diversas etapas y tecnologías que permitirán su reutilización de manera efectiva y responsable. En primer lugar, se plantea la posibilidad de aplicar un tratamiento químico adicional a las aguas residuales para garantizar su adecuada purificación. Una vez tratadas, estas aguas podrán ser redirigidas hacia

una laguna regenerativa, aprovechando la capacidad de este ecosistema para continuar con la depuración natural.

Posteriormente, se destaca la versatilidad de las aguas tratadas, las cuales podrán ser utilizadas en diversas aplicaciones beneficiosas. Entre estas se incluyen zonas de riego destinadas a la silvicultura, promoviendo así el crecimiento de áreas forestales de manera sostenible. Además, se plantea la posibilidad de emplear estas aguas tratadas en la recarga de acuíferos, contribuyendo a la preservación y mantenimiento de los recursos hídricos subterráneos.

En el contexto específico de la propuesta, se propone la implementación de cámaras de desinfección por zeolita, un material abundante en la cordillera Chongón-Colonche del litoral ecuatoriano. Esta elección se basa en la eficacia de la zeolita para eliminar contaminantes presentes en el agua, asegurando un nivel óptimo de calidad. Asimismo, se introduce la idea de utilizar un material de transición en el fondo de la piscina regenerativa, siendo este abundante en la costa y la Cuenca Baja del Guayas. Este material adicional contribuirá a la optimización del proceso de regeneración y mejorará la retención de nutrientes esenciales para el ecosistema acuático.

En cuanto a los resultados y análisis de esta propuesta, es crucial destacar que su desarrollo está diseñado de manera que no interfiera con los procedimientos habituales llevados a cabo por los distintos cantones y juntas parroquiales en el tratamiento de aguas residuales. En lugar de afectar estos procesos existentes, la propuesta se enfoca en aprovechar el material que normalmente se descarga a través del emisario final en los ríos y afluentes de la red hidrográfica de la Cuenca Baja del Guayas.

Uno de los aspectos más destacados de esta propuesta es la posibilidad de obtener energía a partir de la quema de lodos residuales deshidratados. Esta energía resultante puede integrarse al sistema nacional interconectado, contribuyendo significativamente al abastecimiento de energía eléctrica en el país. Además, se plantea la opción de utilizar dicha energía en la fabricación de materiales de construcción mediante la mezcla de los lodos con arcillas expansivas locales, seguida de un proceso de quema. Esta innovadora técnica no solo ofrece una solución sostenible para la gestión de residuos, sino que también promueve la creación de materiales de construcción eco amigables que podrían ser empleados para el mejoramiento de calles y vías.

Para la energía se tomó en consideración algunos datos ya existentes sobre la quema de materiales similares y la cantidad de agua residual generada por persona. Romero (2001) asegura: “Para dar una idea de la generación de lodos residuales esta es aproximadamente de 80gr por persona, por día”. Por lo tanto, se puede aplicar a esta propuesta, tomando en consideración datos existentes como que 200 litros es lo que consume una persona en Ecuador aproximadamente por cada día. Para el análisis se consideró entonces una producción de 0.4 gr de lodos residuales, por persona, por día, por cada litro de agua consumida Romero (2001).

En el caso de la generación de energía, tomando en cuenta los datos de las termoeléctricas, las mismas que generan energía a partir de carbón, Hinrichs *et al.* (2006) menciona que: “Las centrales de carbón requieren grandes cantidades de materia prima. Una central de carbón de 1.000 MW utiliza 9.000 toneladas de carbón por día”.

Tabla 3

Energía producida por lodos residuales en la Cuenca Baja del Guayas.

Energía Producida por Lodos Residuales en la Cuenca Baja del Guayas			
CANTÓN	POBLACIÓN	Producción de Lodo Residual por persona, por día, por litro de agua consumido. 0.4 gr. (Romero, 2001)	Energía producida por quema 9 Ton = 1 MW (Heinrich, 2006).
Milagro	150.970 habitantes	12,07 Ton por día	1,34 MW por día
Daule	161.498 habitantes	12,92 Ton por día	1,44 MW por día
Guayaquil	2'698.000 habitantes	215,84 Ton por día	23,98 MW por día
Cuenca Baja del Guayas. Se incluye Milagro, Daule y Guayaquil	5'800.000 habitantes	464,00 Ton por día	51,56 MW por día

Nota: Se considera que cada habitante ecuatoriano consume 200 litros de agua diarios, en promedio (Romero, 2001).

Nota. Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 3, se puede deducir que se obtienen beneficios a partir de la energía derivada de los lodos residuales. Estos datos se han contrastado con la energía generada mediante la combustión de carbón en plantas termoeléctricas. El presente Trabajo Investigativo se centra en la comparación de los lodos residuales con la quema de carbón, ya que esta perspectiva científica innovativa carece de información suficiente en la literatura.

Adicionalmente, los autores mencionan como ejemplo a la energía generada en la ciudad de Milagro, Ecuador, lograda a partir de la quema del bagazo de la caña de azúcar, mediante el proceso de biomasa. Según Verdezoto *et al.* (2021), se sostiene que con este enfoque "representaría la cogeneración de 9.94 GWh/año de energía, capaz de satisfacer la demanda energética promedio de 1560 familias" (p. 11).

Tabla 4

Producción del material de mejoramiento a base de arcilla expansiva.

Producción de Material de Mejoramiento por quema de Arcillas Expansivas con Lodos Residuales			
	POBLACIÓN	Producción de Lodo Residual por persona, por día, por litro de agua consumido. 0.4 gr. (Romero, 2001)	Material de mejoramiento quemado con el 10% de lodos residuales (Orellana, 2015).
Milagro	150.970 habitantes	12,07 Ton por día	120,7 Ton por día
Daule	161.498 habitantes	12,92 Ton por día	129,2 Ton por día
Guayaquil	2'698.000 habitantes	215,84 Ton por día	2.158,4 Ton por día
Cuenca Baja del Guayas. Se Incluye Milagro, Daule y Guayaquil	5'800.000 habitantes	464,00 Ton por día	4.640,00 Ton por día

Nota. Elaboración propia.

Con la misma cantidad de lodo residual calculado por litro de agua consumida, se elaboró la Tabla 4 con los valores del material para mejoramiento, obtenido con el 10% de lodos residuales. Los Autores recomiendan el uso del lodo residual para la elaboración de material de mejoramiento. Este material no solo brinda propiedades favorables en cuanto a la contaminación y alta capacidad de soporte, sino que también es un material económico. Este material generado reemplazaría a los materiales obtenidos de canteras lejanas para la construcción de calles y avenidas el sistema

complementario con la venta del material de construcción y también material de mejoramiento, elaborado con el lodo residual seco proveniente de la cámara solar.

La integración de la propuesta con los procesos existentes y la diversificación de sus aplicaciones no solo apunta a una gestión más eficiente de los desechos, sino que también abre nuevas posibilidades para la generación de energía limpia y la producción de materiales de construcción innovativos. Estos resultados subrayan la viabilidad y el potencial impacto positivo de la presente propuesta en términos ambientales, energéticos y de infraestructura. Además, esta estrategia alinea sus objetivos con la búsqueda de soluciones integrales y sostenibles para los desafíos asociados con el tratamiento de aguas residuales y la gestión de residuos.

Esta propuesta está desarrollada para no interferir con el normal desarrollo de los tratamientos que realizan los distintos Cantones y Juntas Parroquiales. Se utiliza el material lanzado a través del emisario final a los ríos y afluentes de la red hidrográfica de la Cuenca Baja del Guayas. La energía que se podrá obtener a partir de la quema de los lodos residuales deshidratados podrá ser utilizada por el sistema nacional interconectado para abastecimiento de energía eléctrica en el país, como también puede ser utilizado en la fabricación de materiales de construcción, a partir de la mezcla de este material con las arcillas expansivas locales y la posterior quema. Se podrá lograr la fabricación de materiales para ser utilizados en el mejoramiento de calles y vías.

Conclusiones y Recomendaciones

- Está claro que la Cuenca Baja del Guayas es una extensa área que abarca algunas EDAR en las provincias que lo conforman, lo que genera una problemática en temas de la contaminación ambiental a través de la existencia de aguas contaminadas. Las recepciones de aguas residuales están sometidos a procesos para mejorar la calidad del agua. Después del proceso de retirar la mayor parte de contaminantes en las lagunas de estabilización de una EDAR, los efluentes pasan por Geotubos para aguas residuales, logrando que exista una separación completa entre lodos residuales deshidratados y agua residual regenerada, teniendo en consideración el potencial que cada uno podría prestar dentro del campo de la construcción.
- Se propone la utilización de los Lodos Residuales deshidratados en una Cámara de Secado Solar. Estos lodos podrán ser utilizados como combustible una vez que estén completamente secos. Se propone su uso en la generación de energía en Plantas Termoeléctricas, para la quema de clínker en fábricas de cemento o para la producción de materiales de construcción. Los autores también proponen la fabricación de materiales de mejoramiento para calles, ante la ausencia de canteras cercanas en la Cuenca Baja del Guayas.
- De la misma manera, se propone el uso de las Aguas Residuales tratadas a partir de una Cámara de Desinfección por Zeolitas y el tratamiento químico posterior, en una Laguna Regenerativa independiente. Estas Aguas Residuales podrán ser recicladas de acuerdo con los ensayos respectivos y el criterio de las autoridades competentes. Podrán ser utilizadas en riego para silvicultura, recarga de acuíferos o lanzamiento a los ríos.
- El presente Trabajo Investigativo no solo ha proporcionado una propuesta concreta y detallada, sino que también destaca la importancia de la colaboración entre diferentes disciplinas y la aplicación de tecnologías avanzadas en la gestión responsable del agua. En última instancia, la implementación exitosa de esta propuesta contribuirá significativamente a la conservación y uso sostenible de los

recursos hídricos, marcando un paso adelante en la búsqueda de soluciones efectivas para los retos socioambientales contemporáneos.

Referencias

- ACE Geosynthetics. (2015). *Home*. <https://www.geoace.com/es/case/Industria-Minera-/Tratamiento-de-deshidratacion-de-lodos-y-aguas-residu>
- Almeida (2021). *Las lagunas de Estabilización, situadas en la autopista Narcisca de Jesús Guayaquil-Guayas*. <https://www.extra.ec/noticia/actualidad/guayaquil-hedor-lagunas-oxidacion-dana-jama-ruca-57025.html>
- Amador-Díaz, A., Veliz - Lorenzo, E., & Bataller - Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46,1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>
- Armijos, A. (2014). Nuevas tecnologías en el manejo de aguas residuales. *Teorema Ambiental*, 17.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución De La República Del Ecuador. Lexis.
- Atarfil. (2014). *Balsas de agua*. <https://www.atarfil.com/aplicacion/balsas-de-agua/>
- B&FDias. (s.f.). *Sistema de Secado Solar de Lodos*. bfdias.com.br
- Ballesteros, R., La Moneda, D., & Moreno, M. (2023). *Estación depuradora de aguas residuales: una opción sostenible. Prosostenible*. <https://prosostenible.es/prosostenible-3/#prosostenible-3/38/>
- Baquerizo, M., Acuña, M., & Solís, M. (2019). *Contaminación de los ríos: caso río Guayas y sus afluentes*. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/118/241>
- Barrera Crespo, P. D., Mosselman, E., Giardino, A., Becker, A., Ottevanger, W., Nabi, M., & Arias-Hidalgo, M. (2019). Sediment budget analysis of the Guayas River using a process-based model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(6), 2763-2778. <https://hess.copernicus.org/articles/23/2763/2019/>
- Barrera, P. (2018). Sediment budget analysis of the Guayas River using a process-based model. *Ciencia*, 23, 2763–2778. <https://doi.org/10.5194/hess-23-2763-2019>, 2019.
- Benites, S. (1975). *Morfología y Sedimentos de la Plataforma Continental del Golfo de Guayaquil* [Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero Geólogo, ESPOL. FICT] <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32475>
- Caamaño, L. (2022). *Calidad de agua en el río Daule [Universidad Politécnica Salesiana]*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23913/4/Calidad-de-agua-en-el-rio-Daule-2023.pdf>

- Caamaño, L., Álvarez, T. F., Joza, M., Aroca, K., Founes, J., Véliz, A., . . . Velecela, J. (2022). *Calidad de agua en el río Daule*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23913>
- Cárdenas, G. (2022). *Alternativas de gestión de lodos residuales. Caso de estudio: Laguna de estabilización de Ábrego, Norte de Santander*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/25869>
- Castro, S., & Castillo, J. (2020). *Aportes analíticos al estudio de aguas residuales y potables* [Universidad Santiago de Cali]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=779090>.
- Chancasanampa, P. (2013). *Diseño y aplicación de geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de aguas residuales*. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/245>
- Contaminación Ríos GYE. (s.f). *Qué es reciclaje ?* contaminacionriosgye.blogspot.com
- Cortez, F., Treviño, A., & Tomasini, A. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de Estabilización*. Universidad de Juárez del Estado de Durango.
- Cruz, D., López de León, E., Pascual, L., & Battaglia, M. (2010). Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* , 104 (3-4), 125 - 138.
- Cucalon, E. (1996). *Sistemas Biofísicos en el Golfo de Guayaquil: Oceanografía y Sistemas Físicos*. Comisión Asesora Ambiental de la Presidencia de la Republica. https://www.researchgate.net/publication/341580602_Sistemas_biofisicos_en_el_Golfo_de_Guayaquil_Oceanografia_y_sistemas_fisicos
- CYTED. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (s.f.). *La Reutilización de Aguas Residuales. En Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_19.pdf
- Delgado, J. (2010). *Plan de gobierno para recuperar brazo de mar en Guayquil se frena porque municipio y empresa privada no hicieron su tarea* . <https://esterosalado.blogspot.com/2016/03/la-desidia-de-las-autoridades.html>
- Delgado, J. (2011). *Mancha de origen y contenido desconocido afecta humedal Isla Santay*. <https://www.islasantay.info/2011/01/mancha-de-origen-y-contenido.html>
- Depura Natura. (2011). *Lagunas Anaerobias*. <https://depuranatura.blogspot.com/2011/05/lagunas-anaerobias.html>

- Diario de Navarra. (2021). *Una planta de secado solar aligerará con ayuda de un robot los lodos de Arazuri*. <https://n9.cl/2556y>
- Diario Ecuavisa. (2019). *Estero en descomposición en Yaguachi*. https://www.ecuavisa.com/ecuaterra/yaguachi?fbclid=IwAR37Z_8JOj7Px67OGxxNRSyls986wweAMH4QZIt04FE25PgpYtQIgsVdS0M
- Díaz, M. (2016). *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6638/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf>
- ECAPAG. (2000). *Contrato De Concesión De Los Servicios Públicos De Agua Potable Y Saneamiento De La Ciudad De Guayaquil Celebrado Entre Ecapag E Intenational Water Services (Guayaquil) Interagua Cla. Ltda.* https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/ppp.worldbank.org/files/documents/Ecuador_contrato_de_concesion_Interagua_ES.pdf
- Ecuavisa (2019). *Estero en descomposición en Yaguachi* https://www.ecuavisa.com/ecuaterra/yaguachi?fbclid=IwAR37Z_8JOj7Px67OGxxNRSyls986wweAMH4QZIt04FE25PgpYtQIgsVdS0M
- El Diario. (2010). *Huesos, químicos, aguas servidas y basura contaminan los ríos*. https://www.eldiario.ec/noticias-Manabi-Ecuador/167272-huesos-quimicos-aguas-servidas-y-basura-contaminan-los-ros/#google_vignette
- El Universo. (2011a). *Descargas al estero siguen a once años de plan para recuperarlo*. <https://www.eluniverso.com/2011/07/31/1/1445/descargas-estero-siguen-once-anos-plan-recuperarlo.html/>
- El Universo. (2011b). *Ramal de Puerto Hondo también recibe drenajes*. <https://www.eluniverso.com/fotogalerias/ramal-de-puerto-hondo-tambien-recibe-drenajes/>
- El Universo. (2013b). *Para junio se espera informe sobre plantas para tratar aguas residuales*. <https://www.eluniverso.com/2013/04/08/1/1445/junio-espera-informe-sobre-plantas-tratar-aguas-residuales.html>

- El Universo. (2016a). *¿Qué cree que hace falta para lograr descontaminar el estero Salado en Guayaquil?* <https://www.eluniverso.com/opinion/2016/03/06/nota/5445435/que-cree-que-hace-falta-lograr-descontaminar-estero-salado-guayaquil/>
- El Universo. (2016b). *Contaminación del estero salado, en la mira en Día del Ambiente.* <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2018/06/06/nota/6795557/contaminacion-estero-mira-dia-ambiente/>
- El Universo. (2017). *Presencia de metales pesados en los ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas.* <https://www.eluniverso.com/vida/2017/10/08/nota/6420019/presencia-metales-pesados-rios-santo-domingo>
- El Universo. (2018). *Eliminar descarga de aguas residuales, requisito para volver recreativo el Estero Salado.* <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/11/27/nota/7071867/eliminar-descarga-aguas-residuales-requisito-volver-recreativo/>
- El Universo. (2019b). *Vecinos de vía a la Costa piden a Cabildo asumir control de canteras o su cierre.* <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/01/31/nota/7165517/vecinos-piden-cabildo-asumir-control-canteras-o-su-cierre>
- El Universo. (2021). *Preocupación por presencia de manchas de hidrocarburo en el río Guayas. Cabildo de Guayaquil identificó empresa que incumple normas ambientales; sanción debe venir del Ministerio.* <https://n9.cl/quy2t>
- El Universo. (2022). *De aguas servidas a agua ‘tratada y limpia’ que desemboca en el río Guayas. Estos son los siete procesos que pasa el agua en la nueva planta de tratamiento Las Esclusas.* <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/de-aguas-servidas-a-agua-tratada-y-limpia-que-des>
- EMAPAG. (2014). *Estudio De Impacto Ambiental.* ep.gob.ec/emapag/wp-content/uploads/2014/09/EIA-Completo-160914.pdf
- EMAPAG. (2015). *Estudio De Impacto Ambiental.* <https://www.emapag-ep.gob.ec/emapag/wp-content/uploads/2014/09/EIA-Completo-160914.pdf>
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (s.f.). *Lagunas de Estabilización definición y características.* <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/definicion-y-caracteristicas-de-las-lagunas-de-oxidacion/>

- Fierro, V., & Ramírez, P. (2016). *Evaluación del proceso de remoción de hierro por medio de la Zeolita Clinoptilolita en el tratamiento de aguas residuales industriales* [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/834>
- Gestores de Residuos. (2019). *Promedio licita un prototipo para el aprovechamiento energético de lodos de depuradoras*. <https://gestoresderesiduos.org/noticias/promedio-licita-un-prototipo-para-el-aprovechamiento-energetico-de-lodos-de-depuradoras>
- Głąb, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., . . . Stanek-Tarkowska, J. (2020). *Fertilization effects of compost produced from maize, sewage sludge and biochar on soil water retention and chemical properties*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198719305793>
- Gomez, J. (2012). *Zeolita: Propiedades y Beneficios*. Casa Pia: Informaciones de Salud Natural. <https://www.casapia.com/blog/salud-natural/la-zeolita-propiedades-y-beneficios.html>
- Gómez, J. (2012). *Zeolita: Propiedades y Beneficios*. <https://www.casapia.com/blog/salud-natural/la-zeolita-propiedades-y-beneficios.html>
- Gómez, L. (2013). *Aplicaciones y Diseño con Geoestructuras*. <https://es.scribd.com/document/462054547/Geoestructuras-pdf>
- Google Earth. (s.f.). *Golfo de Guayaquil Ubicación: 2°58'07"S 80°30'23"W*. <https://earth.google.com/web/?hl=es-419>
- Guadarrama, R., Kido, J., & Roldán, G. (2016). *Contaminación del agua*. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. <https://n9.cl/w81aj>
- Guerrero, M., Vázquez, A., & Rodríguez, M. (2018). *La Zeolita En La Descontaminación De Aguas Residuales*. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/73/74>
- H. Congreso Nacional (2004). *Ley De Prevención Y Control De La Contaminación Ambiental*. Guayaquil, Ecuador.
- Hinrichs, R.; Kleinbach, M.H. (2006). *Energy: Its Use and the Environment*. 4th ed. Belmont, CA: Thomson, Brooks/Cole, ch.10, sec.A, pp.320
- Hoogstra. (s.f.). *Toxicidad cutánea por ingestión de pescado*. <https://doctorhoogstra.com/wiki/toxicidad-cutanea-por-ingestion-de-pescado/>

- Huayamave, J. (2013). *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*. https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11262/4/0693918_00000_0000.pdf
- Huber Technology. (s.f.). *El secador solar HUBER detiene el aumento de los costes de eliminación de lodos*. <https://www.huber-technology.cl/es/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/el-secador-solar-huber-detiene-el-aumento-de-los-costes-de-eliminacion-de-lodos>.
- Hurtado, M. (2012). *Fondo De Agua Para La Cuenca Del Guayas*. <https://www.proyectolafuente.org/wp-content/uploads/2021/11/Propuesta-de-un-fondo-de-agua-para-la-cuenca-del-rio-Guayas-1.pdf>
- Iagua. (2016). *Solia™ Mix, el secado solar de lodos de última generación de Veolia Water Technologies*. <https://www.iagua.es/noticias/espana/veolia-water-technologies/16/06/17/soliatm-mix-secado-solar-lodos-ultima-generacion>
- Idrica. (2022). *Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales*. <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/>
- IICA. (s.f.). *Procagica apuesta por las secadoras solares para un mejor café*. <https://iica.int/es/prensa/noticias/procagica-apuesta-por-las-secadoras-solares-para-un-mejor-cafe>
- La Depeche.fr. (2013). *La depuradora de aguas residuales de Conques-Villalier equipada con Geotubos*. <https://www.ladepeche.fr/article/2013/04/17/1607417-la-station-d-epuration-de-conques-villalier-equipee-de-geotubes.html>
- La República . (2016). *Interagua suspende suministro de agua por contaminación en el Daule*. <https://www.larepublica.ec/blog/2016/06/21/interagua-suspende-suministro-agua-contaminacion-daule/>
- Linares, F. (2020) *Aprovechamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para la generación de energía eléctrica* [Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/28585>
- LOES (2018), Ley Orgánica De Educación Superior (p. 12). <https://www.ces.gob.ec/documentos/Normativa/LOES.pdf>

- Lozano, W. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Universidad Piloto de Colombia. https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales
- Magnusson, J., Hector, J., & Eck, K. (2011). *Geotuber för slamavvattning vid*. NCC Teknik Geo.
- Martínez, A. (2016). *Contaminación en el río Daule*. <https://www.iagua.es/blogs/andres-martinez/contaminacion-rio-daule>
- Merritt, R. (1981). *Variaciones estacionales en el Golfo de Guayaquil, un estuario tropical* [Instituto Nacional de Pesca]. <https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/BCT.-VOL.-4-1.pdf>
- Metro Ecuador. (2022). *Más de un millón de habitantes, se beneficiarán con PTAR Las Esclusas*. <https://www.metroecuador.com.ec/noticias/2022/08/16/mas-de-un-millon-de-habitantes-se-beneficiaran-con-ptar-las-esclusas/>
- Moncada, A. (2016). *Hormigón ligero a partir de fangos sobrantes de plantas de tratamiento de aguas residuales* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6594/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-162.pdf>
- Mongabay. (2020). *Ecuador: Los delfines nariz de botella podrían desaparecer en el Golfo de Guayaquil*. <https://www.posibl.com/es/news/animales/ecuador-los-delfines-nariz-de-botella-podrian-desaparecer-en-el-golfo-de-guayaquil-2f7b1000>
- Montero, R. (2021). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales por lagunas de Estabilización para la parroquia Posorja* [Universidad Agraria del Ecuador]. <https://library.co/document/y96x37wr-universidad-agraria-ecuador-facultad-ciencias-agrarias-ingenieria-ambiental.html>
- Natural Core AD. (2023). *Filtros de zeolita para tratamiento del agua*. <https://naturalcoread.com/filtros-de-zeolita-para-tratamiento-del-agua/>
- Navarrete, G., Morales, L., Dominguez, L., Pontón, J., & Marín, J. (2019). Heavy metals contamination in the gulf of Guayaquil: even limited data reflects environmental impacts from anthropogenic activity. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3). <https://www.redalyc.org/journal/370/37066256021/37066256021.pdf>
- Ordóñez, V. (2007). *Contaminación del agua*. UPS-GUAYAQUIL.

- Orellana, X. (2015). *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4344/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-128.pdf>
- Peñas, A. (2009). *Diseño de una estación depuradora de aguas residuales*. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7872/PFC_Ana_Penas_Alguacil.pdf
- Portar Frutícola. (2018). *El potencial fertilizante y económico de los lodos de depuradora para los cultivos agrícolas*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/10/26/el-potencial-fertilizante-y-economico-de-los-lodos-de-depuradora-para-los-cultivos-agricolas/>
- Primato. (2008). *Zeolitas en el tratamiento de aguas*. <https://www.primato.gr/nuestras-noticias-es/zeolitas-en-el-tratamiento-de-aguas-es>
- Primicias. (2023). *Crisis en mercados de Guayaquil: aguas residuales, directo al río Guayas*. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/mercados-guayaquil-aguas-residuales-rio-guayas/>
- Proaño, G.N. (2009). *Cantera Verdu Pascuales, Vía a Daule y Guayaquil*, <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5990?show=full&locale-attribute=en>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2023). *¿Cuáles son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?* <https://n9.cl/whn6o>
- Quispe, B., Cucchi, J., Soriano, A., García, W., Guerra, F., & Fuentes, J. (2012). *Problemática ambiental en la Laguna de Oxidación de Cachiche*. <https://pdfcoffee.com/gestion-laguna-de-oxidacion-3-pdf-free.html>
- Ramos, X. (2022). *Los delfines del Golfo de Guayaquil están muriendo: estas son las causas y lo que se hace para evitar su extinción*. El Universo: <https://www.eluniverso.com/larevista/ecologia/los-delfines-del-golfo-de-guayaquil-estan-muriendo-estas-son-las-causas-y-lo-que-se-hace-para-evitar-su-extincion-nota/>
- Restrepo, F. (2015). *La Zeolita una estupenda opción cuan piensas en obtener agua pura*. <https://neilsanz07.wordpress.com/2015/07/25/la-zeolita-una-estupenda-opcion-cuan-piensas-en-obtener-agua-pura/>
- Rodríguez, F., & Fernández, G (2010). *Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción*.

- https://www.researchgate.net/publication/262549543_Ingenieria_sostenible_nuevos_objetivos_en_los_proyectos_de_construccion
- Rojas, R. (2002). *Curso Internacional “Gestión integral de tratamiento de aguas residuales” Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*.
https://www.academia.edu/20296056/Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales
- Romero, J. (2001). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, J.W. (2019). *Aplicación del geotubo para reducir la socavación hídrica en el río Rímac tramo puente Av. Morales Duarez – Puente Rímac, Lima 2019* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35403>
- Sabando, J. (2023). *Intervención para el Rescate del Estero Salado*.
<https://medium.com/@juanjosesabando/intervencion-para-el-rescate-del-estero-salado-622300f98614>
- Salas, C., Moya, R., Muñoz, F. (2007). *Informe final de proyecto de investigación*.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10804/secadora_solar.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tapia, J. (2012). *Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del R en la producción de caudales y sedimentos*.
https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23364/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tronconis, A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Belzona Inc.
- Ubicación del Golfo de Guayaquil en América del Sur. (Navarrete, Morales, Dominguez, Pontón, Marín, 2019)* <https://www.redalyc.org/journal/370/37066256021/37066256021.pdf>
- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil [UCSG]. (2023). Carrera de Ingeniería Civil. Información de la carrera. <https://www.ucsg.edu.ec/ing/c001003>
- Universidad Católica De Santiago De Guayaquil. (2019). *Estatuto De La Universidad Católica De Santiago De Guayaquil*. https://www.ucsg.edu.ec/wp-content/uploads/transparencia/ESTATUTO_2019.pdf
- Valencia, N. (2008). *Secado Solar de Lodos*. Universidad Autonoma de Mexico.

- Vera, I. G. C. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *Dominio de las ciencias*, 3(1), 536-560. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6134928>
- Verdezoto, L., Parco, F., Jácome, C., Katan, W., Mora, A. (2021). *Energía renovable a partir de la biomasa de la caña de azúcar*.
- Verdugo, A. I., & Moscoso, C. A. (2018). *Análisis y diseño de un sistema de descarga conjunto de los lodos generados por el saneamiento hidráulico realizado por ETAPA EP otras empresas en la ciudad de Cuenca hacia la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba* [Bachelor's thesis, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8339>
- Vilanova, R., Santín, I., & Pedret, C. (2017), Control y operación de estaciones depuradoras de aguas residuales: modelado y simulación. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*. <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/9203/9242>
- XY Geosynthetics. (s.f.). *Desecación De Geotubos*. <https://es.xygeosynthetics.com/geofabriform/geotube/geotube-dewatering.html>
- Zaki, M. (2012). *Casas flotantes de Babahoyo, Ecuador*. <https://zakimagoa.blogspot.com/2012/08/casas-flotantes-de-babahoyo-ecuador.html>
- Zeolitas S. A. (s.f.). *Home*. <https://www.linkedin.com/in/patricia-lucas-mina-de-zeolitas-b1b81128/?originalSubdomain=ec>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cabrera Solís, José Roberto**, con C.C: # **0920870128** y **Suárez Villamar René Marcelo**, con C.C: # autores del Trabajo de Titulación: **Efluentes regenerados y aprovechamiento energético de fangos deshidratados por Geotubos en depuradoras de aguas residuales**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido Trabajo de Titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido Trabajo de Titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **9 de febrero del 2024**



f. _____
Cabrera Solis, José Roberto
C.C: **0920870128**



f. _____
Suárez Villamar, René Marcelo
C.C: **0302575063**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Efluentes regenerados y aprovechamiento energético de fangos deshidratados por Geotubos en depuradoras de aguas residuales		
AUTOR(ES)	José Roberto Cabrera Solís, René Marcelo Suárez Villamar		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Colón Gilberto Martínez Rehpani		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	9 de febrero del 2024	No. DE PÁGINAS:	126
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tratamiento de Aguas, Ciclo de la vida, Fabricación de materiales, Energía.		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Efluentes regenerados, fangos deshidratados, aprovechamiento energético, Geotubos, novedad científica, sistema complementario.		
RESUMEN:	<p>El presente trabajo investigativo estudia y analiza los Efluentes regenerados y aprovechamiento energético de fangos deshidratados por Geotubos en depuradoras de aguas residuales, que pretende resolver los problemas socio ambientales que ocurren en la Cuenca Baja del Guayas, este trabajo está enfocado para las cabeceras cantonales y parroquiales de las diferentes provincias del Guayas, para que el material de construcción recolectado sea de uso de las mismas cabeceras cantonales.</p> <p>Para la elaboración de lograr el trabajo, fue necesario realizar un levantamiento bibliográfico con la finalidad de obtener información del uso del geotubo para el tratamiento de aguas residuales y posteriormente la reutilización de los subproductos obtenidos a partir del mismo.</p> <p>Siguiendo el proceso metodológico, para la realización de esta novedad científica se elaboraron representaciones gráficas que permiten poder mostrar el sistema complementario de regeneración de las aguas residuales producidas en la Cuenca Baja del Guayas, donde se muestra el proceso y regeneración de las aguas y lodos residuales deshidratados.</p> <p>Mediante un estudio granulométrico se estudió el material de transición ubicado en el fondo de la piscina regenerativa complementaria, que es parte del sistema complementario de regeneración. Esta propuesta sustentable es viable debido que reutiliza el lodo residual proveniente del emisario fluvial de la laguna de estabilización existente, regenerando, obteniendo energía limpia y sustentable.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-995085365, +593-960507949	E-mail: jose.cabrera04@cu.ucsg.edu.ec, rene.suarez@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN(COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Glas Cevallos, Clara Catalina		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			