



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“REVISIÓN SISTEMÁTICA – EFICIENCIA DE
HUMEDALES ARTIFICIALES EN EL
TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS GENERADOS EN
LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS,
CAJAMARCA-2020”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autores:

Adriana Jeanette Luján Díaz

Gloria Inés Sánchez Soto

Asesor:

Ing. Shonel Miguel Cáceres Pérez

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios, por ser guía y protección.

A nuestros padres, por su amor incondicional, enseñanzas de vida y ejemplo de
compromiso e integridad con su propósito de vida.

A nuestros docentes y compañeros de la Universidad Privada del Norte sede
Cajamarca, por compartir conocimientos, experiencias, ser cómplices de grandes aventuras
y excepcionales redes de apoyo y amistad.

AGRADECIMIENTO

A nuestros abuelos y padres, por ser nuestros cómplices de aventuras y mentores de vida, fuente de amor e inspiración de un sentido de vida basado en el arte de vivir.

A nuestra alma máter, por darnos la oportunidad de tener múltiples perspectivas basadas en conocimientos que inspiran para el servicio a la humanidad a través del cuidado
al medio ambiente.

Al Biól. Marco Alfredo Sánchez Peña, por ser el maestro de maestros que trascendió en nosotros su sabiduría y valores para contribuir a un mundo en el cual el cuidado de la naturaleza sea la base primordial del desarrollo escala humana.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRÁFICOS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	13
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	26
REFERENCIAS	29

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Artículos seleccionados según idiomas</i>	15
<i>Tabla 2: Fisiología de la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca</i>	16
<i>Tabla 3: Ventajas y desventajas de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial</i>	19
<i>Tabla 4: Características de la Totorá</i>	20
<i>Tabla 5: Características del Carrizo</i>	21
<i>Tabla 6: Beneficios del Carrizo y de la Totorá</i>	22
<i>Tabla 7: Porcentajes de remoción de humedal artificial con flujo subsuperficial vertical y horizontal</i>	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1: Artículos seleccionados por país</i>	13
<i>Gráfico 2: Artículos seleccionados por base de datos</i>	14
<i>Gráfico 3: Artículos seleccionados según el año de publicación</i>	14
<i>Gráfico 4: Comparación de porcentajes de remoción de cada humedal</i>	24

RESUMEN

Los humedales artificiales se presentan en la actualidad como una de las grandes alternativas verdes para el tratamiento de lixiviados, por ello en la presente investigación se realizará una revisión sistemática de los humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados de residuos sólidos que contaminan los suelos y aguas tanto superficiales como subterráneas. Nuestro objetivo principal es analizar a través de la revisión sistemática la eficiencia de humedales artificiales para el tratamiento de los lixiviados generados en la planta de residuos sólidos de Cajamarca, 2020. La selección de artículos se enfocó en la discusión y resultados de los siguientes parámetros: DBO, DQO, turbiedad, conductividad, pH, sólidos totales suspendidos, sólidos totales disueltos, fósforo, nitrógeno y coliformes termotolerantes para poder determinar la eficacia de los humedales y además se comparó las siguientes especies de humedales: *Phragmites Australis* (Carrizo) y *Schoenoplectus Californicus* o también llamado *Typha* (Totora); con ello favorecer a la integración del entorno y contribuir a la conservación de los recursos naturales.

PALABRAS CLAVES: Humedales artificiales, lixiviados, tratamiento, revisión sistemática.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

(Kaza, et.al, 2018) Menciona que en estos últimos años se puede notar el incremento de la población, lo cual conlleva al aumento de residuos sólidos y si estos no son tratados adecuadamente se contamina el medio ambiente y perjudica la salud humana. Cada año, se generan en todo el planeta entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas de residuos y alrededor de 3.000 millones de personas carecen de acceso a instalaciones controladas de gestión de residuos. (ISWA; UNEP, 2015) Si no se adoptan medidas urgentes, para el 2050 los desechos a nivel mundial crecerán un 70% con respecto a los niveles actuales. (Kaza, et.al, 2018)

En varios lugares que carecen de una adecuada planta de tratamiento de residuos presentan algunos problemas producto de la degradación de la materia orgánica y el agua generando residuos líquidos que deben ser tratados adecuadamente para evitar el deterioro de la calidad del agua. Estos peligrosos residuos, denominados lixiviados, generan graves problemas de salud pública por saneamiento y deterioro de diversos ecosistemas, causados por el escaso tratamiento o por la falta total de control en los vertimientos. (Peña Martínez, 2007)

De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados en donde se hace énfasis en su alto poder contaminante. Se concluye usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. (Giraldo, 2001)

Con el tiempo, debido a este problema, se han desarrollado varios sistemas o métodos para tratar y controlar el lixiviado, desde los métodos de tratamiento biológico más simples

hasta el desarrollo de tecnologías avanzadas (como el caso de la filtración por membrana). Considerándose a dónde llevar a cabo, mantenimiento, impacto ambiental, costo, etc., todos los métodos de tratamiento existentes tienen sus ventajas y desventajas; en este estudio, se considerará el tratamiento biológico de los humedales

Los humedales artificiales son áreas que se encuentran llenas de agua con plantas emergentes como espadañas, carrizos, juncos y eneas que aprovechan las interacciones con los microorganismos y la atmósfera para remover la materia orgánica. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas y permite la transferencia de oxígeno. Existen dos tipos de humedales artificiales: sistema de flujo libre y sistema de flujo superficial. (Silva & Zamora, 2005)

En este estudio se analizará la *Phragmites Australis* (Carrizo) y *Schoenoplectus Californicus* o también llamado *Typha* (Totora); la primera se da una buena transferencia de oxígeno, pues los rizomas penetran verticalmente. La segunda especie es una planta firme, apta para crecer en diversas condiciones medioambientales, es de fácil propagación, lo que la hace idónea para ser parte de un humedal construido. (Fonseca Castro, 2010)

Los motivos para realizar esta investigación se da debido a que en distintos lugares no cuentan con una adecuada planta de tratamiento de residuos sólidos que generan lixiviados los cuales al evaporarse generan emisiones de compuestos orgánicos volátiles que son nocivos para la salud humana, degradan la capa de ozono, teniendo otras consecuencias como la contaminación del suelo y agua (superficial y subterránea) consecuencias mencionadas anteriormente, es relevante recordar los diversos tratamientos para los lixiviados, teniendo en cuenta que se han desarrollado tecnologías para estos pero lo que hoy en día se busca es un mínimo impacto ambiental y una ecotecnología es eficiente, de menor costo, y sobre todo saludable para el medio ambiente por lo que se ha considerado los

tratamientos biológicos. Por eso en este estudio se utilizará el tratamiento con humedales artificiales siendo un sistema de tipo natural beneficioso además es económico, simple y se adapta a diferentes niveles de tratamiento. Por ello, ante toda esta problemática, nuestra investigación responde a la siguiente pregunta: ¿Mediante la revisión sistemática qué tan eficaz son los humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados generados en la planta de tratamiento de residuos sólidos, Cajamarca-2020?

El objetivo general de esta investigación es analizar a través de la revisión sistemática la eficiencia de humedales artificiales para el tratamiento de los lixiviados generados en la planta de residuos sólidos de Cajamarca, 2020. Así mismo como objetivos específicos de este estudio tenemos: Determinar el daño que causan un lixiviado generado en una planta de tratamiento de residuos sólidos en el ambiente y en la salud de la población, identificar las ventajas y desventajas de la utilización de humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados generados en una planta de tratamiento de residuos sólidos y comparar que especie de humedal artificial entre *Phragmites Australis* y *Schoenoplectus Californicus* es más eficaz para el tratamiento de los lixiviados generados en una planta de tratamiento de residuos sólidos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica con el fin de responder a nuestra pregunta de investigación: ¿Según la revisión sistemática y el análisis comparativo qué tan eficaz son los humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados generados en la planta de tratamiento de residuos sólidos, Cajamarca-2020?

Para el proceso de la búsqueda las bases consultadas fueron Redalyc, Scielo, Dialnet, Google Scholar, Biblioteca Virtual UPN y Science Direct usando las palabras claves: humedales artificiales, lixiviados, *Phragmites Australis* y *Schoenoplectus Californicus*; obteniendo un total de 22916 de los cuales: 2415 pertenecen a Redalyc, 33 corresponden a Scielo, 162 son de Dialnet, 18400 pertenecen a Google Scholar, 1869 en la Biblioteca Virtual UPN y por último 37 son de Science Direct.

Sin embargo, para la selección de los documentos se consideró que la información encontrada esté relacionada directamente con nuestra pregunta de investigación, seleccionando estudios de lixiviados procedentes de plantas de tratamientos de residuos sólidos, respecto al idioma se optó por inglés y español, y finalmente se tomó en cuenta los últimos 20 años dado que los estudios en antes del 2015 presentan sus resultados por laboratorios acreditados además la información encontrada es específica y de calidad.

Por otro lado, se excluyó toda investigación que no guardaba relación con nuestro tema, estudios de diferentes parámetros a los que hemos considerados, lixiviados procedentes de la minería, otros idiomas, estudios realizados antes del 2000, información incompleta o repetida e investigaciones que no cuentan con resultados de laboratorios acreditados.

Se seleccionó un total de 41 artículos según los criterios de búsqueda 4 pertenecen a Redalyc, 2 son de Scielo ,3 de Dialnet, 28 pertenecen a Google Scholar, 2 de la Biblioteca Virtual UPN y por último 2 son de Science Direct, lo obtenido pertenece a tesis, revistas, papers y libros de distintos países: Bolivia, Chile, Colombia, Perú, México, China, Kenia, Estados Unidos y Malasia; la revisión sistemática seleccionada posee 35 documentos en español y 6 en inglés, todos los ya mencionados son de los últimos 20 años.

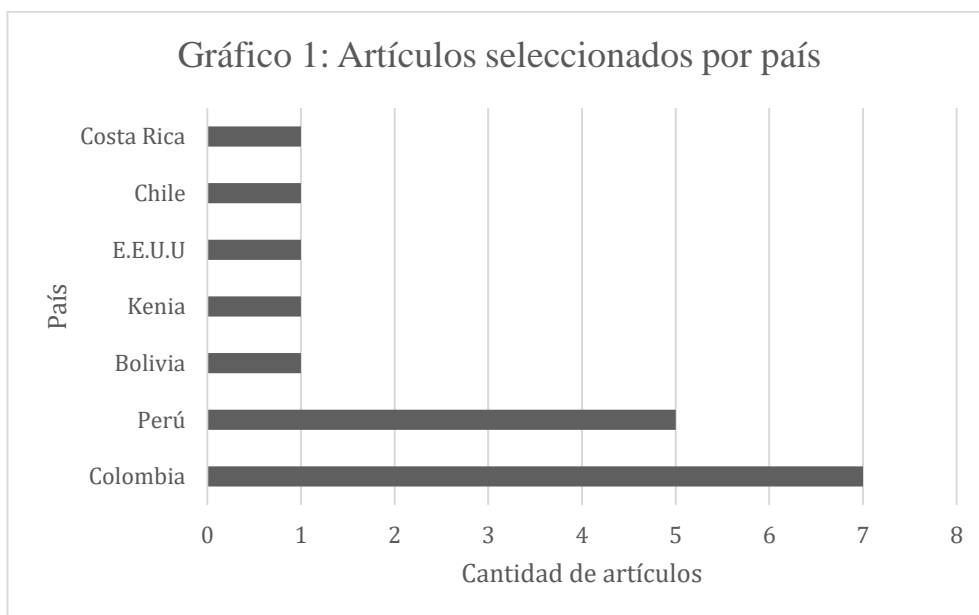
Finalmente se hizo una revisión sistemática a mayor profundidad donde se tuvo un total de 17 artículos de los cuales 9 pertenecen a Google Scholar, 3 al Repositorio Virtual UPN, 3 a Dialnet y 2 de Redalyc; con 7 investigaciones en Colombia, 5 en Perú, 1 en Bolivia, 1 en Chile, 1 en Costa Rica, 1 en Estados Unidos y 1 de Kenia. En la búsqueda de idiomas, 15 artículos son en español y 2 en inglés, por último con respecto a los años tenemos 4 del 2019, 5 del 2018, 2 del 2015 y los años 2016, 2010, 2008, 2007, 2005 y 2001 tuvieron 1 artículo respectivamente.

La revisión de los artículos accedidos fue fundamental para determinar la eficacia de los humedales artificiales para el tratamiento de los lixiviados generados en una planta de residuos sólidos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Durante la revisión sistemática se encontraron un total de 22916 artículos, tesis, libros y revistas relacionados al tema, luego del criterio de selección se tuvo al final un total de 17 artículos de los cuales 9 pertenecen a Google Scholar, 3 al Repositorio Virtual UPN, 3 a Dialnet y 2 de Redalyc; con 7 investigaciones en Colombia, 5 en Perú, 1 en Bolivia, 1 en Chile, 1 en Costa Rica, 1 en Estados Unidos y 1 de Kenia. En la búsqueda de idiomas, 15 artículos son en español y 2 en inglés, por último, con respecto a los años tenemos 4 del 2019, 5 del 2018, 2 del 2015 y los años 2016, 2010, 2008, 2007, 2005 y 2001 tuvieron 1 artículo respectivamente.

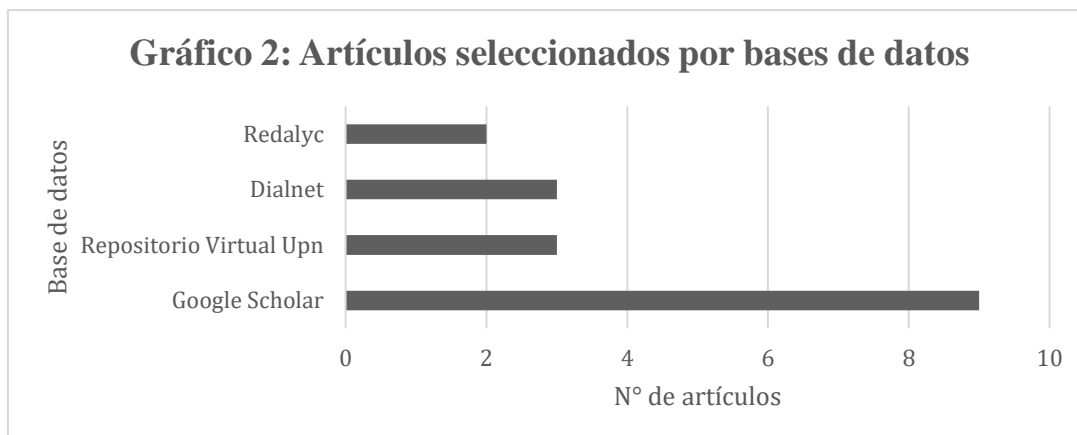
Gráfico 1: Artículos seleccionados por país



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 1 se encontró que Colombia tiene la mayoría de los estudios relacionados a la presente revisión sistemática con un 46,67% (7), seguido de Perú con un 33,3% (5), mientras Bolivia, Chile, Kenia, E.E.U.U y Costa Rica tienen un 6,67% (1) respectivamente,

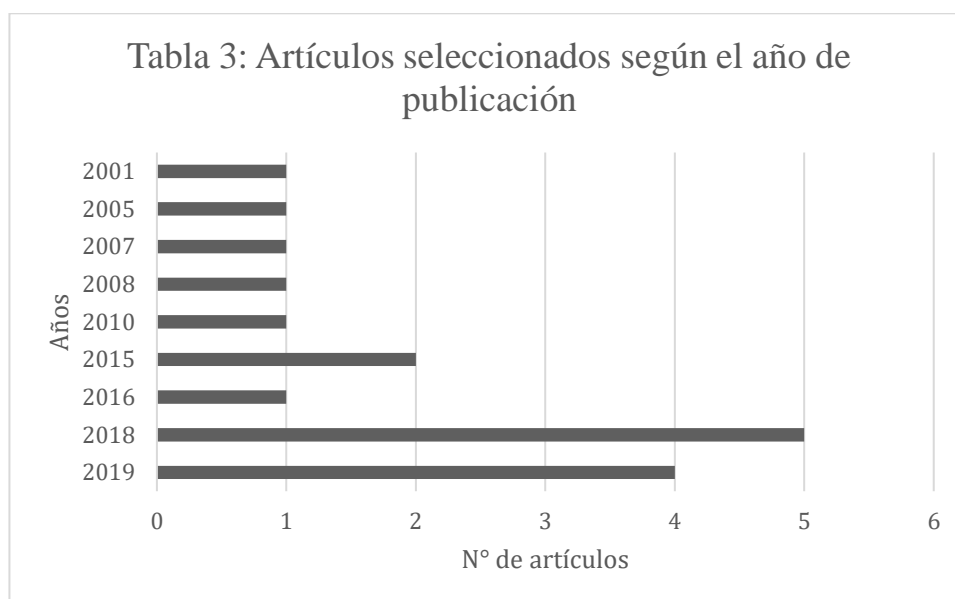
Gráfico 2: Artículos seleccionados por base de datos



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2 para la obtención de los estudios se obtuvo 9 de Google Scholar con un porcentaje de 53% que representa a la mayor cantidad de artículos encontrados en la base de datos seguido por el repositorio virtual UPN y Dialnet con 3 artículos cada uno que representan 18% y finalmente Redalyc s con 2 estudios que es el 12% siendo el de menor porcentaje.

Gráfico 3: Artículos seleccionados según el año de publicación



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3 se encontró mayor incidencia en el año 2018 con un porcentaje de 29%, siguiéndole el año 2019 con 24%, el 2015 con un 12% y los años 2016, 2010, 2008, 2007, 2005 y 2001 representan un 6% respectivamente.

Tabla 1: Artículos seleccionados según idiomas

Idioma	N° de artículos	%porcentaje
Inglés	2	12%
Español	15	88%
Total	17	100%

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 1 el 88% de los artículos considerados fueron en el idioma de español y el 12% son en idioma inglés.

(Jambo Marín & Mendoza Chugnas, 2019) Menciona que en la ciudad de Cajamarca en el mes de junio del año 2009 se inauguró la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca, la cual incumple algunas normas de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Reglamentado por Decreto Supremo N°014-2017-MINAM. En la actualidad dicha planta no procesan los residuos orgánicos para realizar compost, no cuenta con el proceso de segregación de residuos sólidos, entre otras cosas. Por lo tal dicha planta de tratamiento de residuos sólidos solo cumple la función de un relleno sanitario. (P. 09)

(Gonzales García, 2018) Hace referencia que la Planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca, mediante la evaluación del manejo de los productos lixiviados y su respectiva carga tóxica, los cuales presentan fugas, y en algunos casos discurren superficialmente a favor de la pendiente y en otros percolan hacia el subsuelo, afectando al medio ambiente, especialmente las zonas de vida que se encuentran en la cuenca inferior inmediata o gravimétricamente favorable a la pendiente, como son San José de Canay, El Palturo y Cochambul, estos lixiviados causan problemas ambientales y de salud, porque muchas veces estas aguas contaminadas, son utilizadas para riego y consumo humano sin el tratamiento adecuado. (P.02)

Tabla 2: Fisiología de la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca

<p>Ubicación Geográfica:</p> <p>Se encuentra en la periferia de las Comunidades de San José de Canay, El Palturo y Cochambul. Sus coordenadas globales UTM en el sistema WGS 84 del cuadrante 17M, son las siguientes: Coordenada Este: 788156 m. Coordenada Sur: 9201543 m. Elevación: 2,812 m.s.n.m.</p>	<p>Geomorfología y Geología</p> <p>La geomorfología de la zona, presenta valle y pendientes modeladas por los agentes meteorizantes y erosivos, como el agua y el viento, tal como se detalla en el expediente técnico del proyecto de la MPC. Entre las principales estructuras geológicas se encuentran las quebradas Chilca y Buitrón.</p>
<p>Clima y Meteorología:</p> <p>El clima es correspondiente al Bosque Húmedo – Montano Tropical, su ambiente es seco y soleado en el día y frío por las noches Precipitación Pluvial: 620mm anuales (octubre-abril mayores precipitaciones, julio-agosto menores precipitaciones) Temperatura: Máximo promedio 21,75°C y mínima promedio 5,67°C Humedad Relativa: 67% promedio</p>	<p>Aguas superficiales</p> <p>Están representadas por la quebrada Chilca, el cual está alimentado por manantiales provenientes de las partes altas y del manantial Chilca Las quebradas temporales como Buitrón, y del medio sin nombre, y la tercera más al sur también sin nombre, todas estas quebradas drenan hacia el río Cajamarca, de régimen permanente, ubicado a una distancia de 2.930 metros lineales.</p>
<p>Aguas Subterráneas:</p> <p>Se puede corroborar de acuerdo al estudio geofísico. De los 13,60 metros respecto a la cota del terreno, hay una probabilidad de suelo húmedo y con indicios de agua, desde los 13,60 metros hasta una profundidad de 41,60 metros, a manera de una “bolsonada” de agua de 28 metros del SEV2, su origen es la acumulación y filtración de las aguas de lluvia, aprovecha las zonas planas principalmente que permite la infiltración de las aguas estancadas.</p>	<p>Usos de suelo:</p> <p>Con respecto al uso potencial del suelo, el área de la PTRS se encuentra ubicada dentro de la zona VII – VIII, donde el suelo es apto para pastizales o bosques con severas limitaciones al normal desarrollo, y donde también los suelos no son aptos para cultivos, pasturas ni forestales.</p>
<p>Flora y Fauna:</p> <p>La flora predominante de la zona son los denominados cultivos de pan llevar, tales como papa, olluco, alverja, habas, lentejas, entre otros. Se llega a cosechar entre 1 a 2 veces por año. También existen diversas especies de la zona, tales como “pie de perro”, “chamisa”, “yoctara”, “retama”, “calvandro”, “penca”, entre otros. La fauna predominante la conforman aves como la “cargacha”, “santa rosa”, “lig lig”, “rabo blanco”, “huanchaco”, “perdiz”; eventualmente se han avistado vizcachas, zorrillos y tigrillos.</p>	

En la tabla que se visualiza nos muestra las características fisiológicas de la zona de estudio. Esta tabla ha sido adaptada de la tesis de posgrado: “Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de

residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados”, por J.E.Gonzales, 2018, *Repositorio Institucional UNC*, p.19-23.

(Cortés Díaz, Pablo ; Colet Lagrille, Melanie, 2018) Dice que diferentes tratamientos para los lixiviados, esto dependerá de su complejidad, según los sistemas naturales, como lagunas y humedales artificiales, emulan procesos físicos, químicos y biológicos que se dan en la naturaleza. En el tratamiento de lixiviados, tienen la ventaja de ser sistemas con operación muy simple. Además, existe la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento. Al igual que los sistemas anteriores, los humedales artificiales tienen sus inicios en el tratamiento de aguas municipales en Europa, con el principal propósito de disminuir la carga orgánica de los líquidos, así como disminuir los SST, nitrógeno, fósforo, color y turbidez. (P.02)

(Bustamante Dávila & Pérez Ruiz, 2019) Menciona que los sistemas de los humedales artificiales consisten en la utilización de macrófitas ya sea enraizadas o flotantes sobre el lecho de grava, la construcción debe ser impermeabilizado para evitar que los contaminantes penetren al exterior. Una de las acciones de las macrófitas es inyectar oxígeno, esto ayudará a la actividad bioquímica de los microorganismos y el lecho filtrante que además de ser sostén de las raíces de las plantas a utilizar, sirve como medio filtrante, pasaran por interrelación físicas, químicas y biológicas, por medio de este proceso se llevará a cabo la remoción y la depuración satisfactoriamente. (P.17)

(Cortés Díaz, Pablo ; Colet Lagrille, Melanie, 2018) Indica que la principal desventaja que se tiene con estos sistemas es el área de terreno que requiere para localizar los procesos. Sin embargo, por la naturaleza misma de los diseños de los rellenos sanitarios, que presentan la necesidad de tener áreas de amortiguamiento visual, de ruido, y de olores, la superficie del humedal podría cumplir estas tareas. La eficiencia y calidad de este sistema

es exponencial en el tiempo, debido a que una vez establecidos y adaptados los microorganismos y especies vegetales en el terreno, serán capaces de desarrollarse por sí solas. (P.09)

Existen dos tipos de humedales artificiales que son los siguientes:

Humedal superficial de flujo libre:

(Rivera Díaz & Arévalo Sánchez, 2015) Son aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera, consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que pueden o no tener un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a contaminación y una capa sumergida de suelo para soportar las raíces de la vegetación macrófita emergente. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección. La vegetación en este sistema está parcialmente sumergida en el agua, cuya profundidad varía entre 4 a 18 pulgadas (0.1 a 0.45 m). La vegetación común para los humedales de flujo libre incluye éneas, carrizos, juncias y juncos. El agua residual normalmente se alimenta en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. (P.12-13)

Humedales artificiales de flujo subsuperficial: Existen los siguientes tipos

Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical:

(Cardona Arce, 2018) Menciona que en este caso las aguas a tratar circulan de arriba abajo, a través de un material filtrante, en el cual se encuentra la vegetación. El agua es vertida desde la parte de arriba mediante un sistema mecánico de dosificación. En este caso el dosificar el agua el filtro por donde pasa el agua, toma periodos de saturación y falta de saturación, atravesando por diferentes condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Estas dosis se

deben de ajustar, para que la dosis anterior ya vertida tenga tiempo de pasar por el material filtrante, para que el oxígeno se difunda por el medio y llenar los espacios vacíos. (P.24)

Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal:

(Cardona Arce, 2018) También hace referencia que en este otro caso las aguas a tratar circulan horizontalmente, esta agua atraviesa un material filtrante que en este caso puede ser grava, en la cual está la vegetación. Al fluir el agua a tratar horizontalmente el material filtra partículas y microorganismos y degrada el material orgánico. (P.25)

Tabla 3: Ventajas y desventajas de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial

	Humedales de flujo superficial	Humedales de flujo subsuperficial
Ventajas	Menores costos de instalación y operación. Buena integración al paisaje. Beneficio de vida acuática, pero más expuestas a contaminación. Menor tiempo de adaptación de las plantas.	Requiere menor superficie. Flujo de agua no visible. Mayor tolerancia al frío. Reduce olores y problemas de insectos.
Desventajas	Menor tolerancia al frío. Requiere mayor superficie.	No atractivo para vida silvestre.

En la tabla 3 se visualiza las principales ventajas y desventajas del tipo de humedales. Esta tabla ha sido adaptada de la tesis de posgrado: “TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE UN RELLENO SANITARIO: PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES”, por P.Cortés & M.Colet, 2018, Repositorio Académico de la Universidad de Chile, p.29.

(Universidad de Medellin, 2008) Menciona que una de las plantas más utilizadas en los humedales subsuperficiales es el Carrizo, la cual es una gramínea que puede liberar hasta 4.3 gr de O₂/m²/día, sus rizomas penetran verticalmente y profundamente y tiene una alta tolerancia a la salinidad. Otras plantas son platanillo, natural de zonas húmedas tropicales. Papiro, prospera en zonas tropicales y húmedas. Totorá, crece bajo diversas condiciones ambientales, aunque tiene baja penetración en la grava, pero se propaga fácilmente. Por ello

en este proyecto se realizará un análisis comparativo entre el Carrizo y la Totora para comprobar la eficacia de los humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados provenientes de la planta de residuos sólidos. (P.88).

Tabla 4: Características de la Totora

TOTORA (SHOENOPLECTUS CALIFORNICUS O THYPA)	
Item	Característica
Tipo	Helófitas
Funciones para humedales artificiales	Sirven de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas. Asimilación directa de nutrientes. Actúan a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que purifican el agua mediante procesos aerobios de degradación. Transportan grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos.
Epidermis	Delgada a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes y tejidos; grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno. Esto permite la transferencia de oxígeno desde el aire y órganos fotosintéticos, y desde ahí, hacia las raíces.
Reproducción	La reproducción vegetativa mediante células especializadas en propagar la planta, agrupadas en estructuras especiales (rizomas). De esta manera se producen individuos nuevos, pero adaptados al medio ambiente.
Adaptación	Las especies helófitas tienen un gran rango de adaptación, por lo que constituyen las especies dominantes en lugares donde las condiciones restringen las posibilidades de desarrollo de otras especies. Son plantas de climas templados que prosperan en posiciones soleadas, tolerando un amplio rango de pH (4 – 9). Prospera muy bien en medios acuáticos de profundidad somera como lagunas o zonas de inundación.
Plagas y Enfermedades	Son plantas muy rústicas de las que no se tiene referencias de plagas y enfermedades en su aplicación en humedales artificiales.

La tabla 4 es de: “Humedales Artificiales, una alternativa para la de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia”, por A.Carvajal; C.Zapattini & C.Quintero, 2018, *Revista DisTecD*, p. 105-106.

Tabla 5: Características del Carrizo

CARRIZO	
Item	Característica
Tipo	Helófitas
Descripción	<p>Su nombre científico es <i>Phragmites Australis</i> pertenece a la familia Poaceae y vive en aguas eutróficas y estancamiento, con tallos y corredores horizontales de hasta 2-6m y 6-10m respectivamente, y hojas lanceoladas, 20-60cm de largo y 2,3cm de ancho.</p> <p>Conocida como la caña común, es una gran hierba perenne encuentra en muchos ecosistemas acuáticos a lo largo de las regiones templadas y tropicales del mundo.</p>
Funciones para humedales artificiales	<p>Tienen la capacidad para adsorber, tomar y concentrarse o metabolizar contaminantes, así como para liberar exudados de la raíz que mejoran la biotransformación compuesto y la degradación microbiana</p> <p>Puede ser considerado adecuado para la fitorremediación en la acumulación de contaminantes principalmente metales pesados almacenándolos en sus raíces, brotes y en sus hojas entre ellos se obtiene cadmio como plomo bajo pH neutro y el estado de agua dulce, así también la fitorremediación de níquel bajo condiciones de pH básico (pH 10) y la condición de agua salina (agua subterránea).</p>
Adaptación	<p>Se adapta a una amplia gama de condiciones del suelo y puede prosperar en pantanos, marismas de marea, a lo largo de lagos y ríos. Puede tolerar condiciones anaeróbicas en el suelo, una variedad de condiciones de nutrientes y puede sobrevivir a un intervalo de pH de 3.7 – 8.7</p> <p>Es una de las especies de plantas que comúnmente se encuentra creciendo de forma natural en un ambiente contaminado, como zonas industriales y mineras, las cañas comunes a nivel mundial fueron evaluados que crecen en tales ambientes en presencia de contaminantes</p>

Esta tabla número 5 es de:” Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (*phragmites australis*) por P.Segura & W.Rocha, 2019, *Repositorio de tesis UPeU*, p. 60-61

Las macrofitas emergentes como el *Phragmites Australis* y la *Typha Latifolia*, son utilizados generalmente en estos métodos para tratar los lixiviados de rellenos sanitarios. La alta salinidad del lixiviado puede alterar algunas plantas acuáticas, aunque de acuerdo con informes de la literatura, la planta comúnmente más utilizada en estos sistemas de humedales construidos es las *Phragmites Australis* (Segura Delgado & Rocha Vera, 2019)

Tabla 6: Beneficios del Carrizo y de la Totora

CARRIZO	TOTORA
Remoción de metales pesados	Alta remoción de nitrógeno.
Remoción de materia orgánica.	Fitodepuración, fitoestabilidad (alta capacidad de retención de metales)
Remoción de nitrógeno amoniacal.	
Remoción de fósforo.	Remoción de materia orgánica.
Remoción de coliformes totales.	Remoción de nutrientes.

Esta tabla n°6 ha sido adaptada de la tesis de posgrado: “Eficiencia de humedales artificiales para el tratamiento de aguas lixiviadas”, por M.F.Marin, 2019, *Repositorio Universidad Católica de Manizales*, p.13-14.

Según el estudio de “Análisis de la capacidad de depuración de *Eichhornia crassipes*, *Crypogon zizanioides* y *Typha latifolia* respecto a parámetros fisicoquímicos de lixiviados del relleno sanitario el Guayabal utilizando humedales artificiales”, evaluaron el sistema en un periodo de 10 semanas, con un tiempo de retención de 5 días para cada uno de los sistemas, en los cuales se analizaron in situ los parámetros diarios pH, temperatura, TDS y conductividad; se tomaron muestras semanales para el análisis en el laboratorio de los parámetros acidez, alcalinidad, dureza, DBO5, sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos volátiles, DQO, grasas y aceites, nitrógeno amoniacal, nitritos, sulfatos y fosfatos; muestras al inicio y final del proyecto para el análisis de los parámetros metales pesado, coliformes totales y fecales. Las especies vegetales presentaron comportamientos diferentes en la adaptación a la mezcla. En este proceso la *Typha latifolia* (totora) presenta muerte de todo el material vegetal para renacer con brotes adaptados al medio en el que se encuentra, pero esta especie vegetal alcanzó los valores máximos de remoción en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados; de manera semejante

Cryspogon zizanioides tuvo remociones con una diferencia mínima inferior. (Arévalo, Vélez, Hernández, Ramon, & Medina, 2016)

En otro estudio sobre “Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (*Phragmites Australis*)”. El tratamiento de lixiviados se realizó mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal utilizando la especie Carrizo (*Phragmites Australis*), como tratamiento primario y secundario respectivamente, a su vez, se acondicionaron otras instalaciones, como la captación de aguas residuales, tanque de almacenamiento, controlador de caudal, cámara de lodos y tubería de aireación. El muestreo de los parámetros se ejecutó con tiempos de retención de 5,10 y 15 días para ambas concentraciones. Las muestras fueron enviadas vía terrestre al departamento de Lima para el análisis correspondiente en el laboratorio acreditado Delta Lab. S.A.C. Los parámetros evaluados fueron temperatura, pH, conductividad eléctrica, SDT, turbiedad, oxígeno disuelto, DBO, DQO, coliformes termotolerantes, nitrógeno amoniacal, fosforo total y nitrógeno total. Los resultados de los análisis demuestran que existe diferencias significativas antes y después del tratamiento en los parámetros fisicoquímicos y microbiológico, se determinó eficiencias de remoción de 79, 59, 57% para DBO5; 85, 99, 99.9% para coliformes termotolerantes en los tiempos de 5, 10, 15 días respectivamente en la concentración de 1%, asimismo se alcanzó 86, 81, 39% para DBO5; 99, 99, 85% para coliformes termotolerantes en los tiempos de 5, 10, 15 días correspondientemente en la concentración al 3%. Por tanto, existe eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados diluido con agua residual mediante un

biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, demostrando ser una alternativa viable y sostenible para el ambiente. (Segura Delgado & Rocha Vera, 2019)

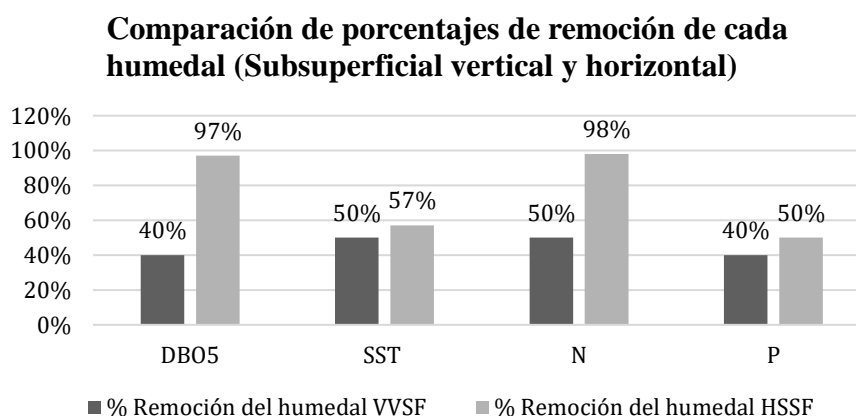
Los siguientes resultados pertenecen a un estudio realizado en Santiago de Chile en el año 2018 para el tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario mediante humedales artificiales a continuación se mostrará los resultados del estudio hecho por Pablo Cortés y Melanie Colet.

Tabla 7: Porcentajes de remoción de humedal artificial con flujo subsuperficial vertical y horizontal

Contaminante	% Remoción del humedal VVSF	% Remoción del humedal HSSF
DBO5	40%	97%
SST	50%	57%
N	50%	98%
P	40%	50%

La tabla 7 se ve el porcentaje de remoción con el tratamiento de humedal de flujo subsuperficial vertical con la especie de Phragmites australis (Carrizo) y con el humedal de flujo subsuperficial horizontal con la especie Thypha angustifolia (Totora). Esta tabla ha sido adaptada de la tesis de posgrado: "TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE UN RELLENO SANITARIO: PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES", por P. Cortés & M.Colet, 2018, Repositorio Académico de la Universidad de Chile, p.41

Gráfico 4: Comparación de porcentajes de remoción de cada humedal



Fuente: Elaboración propia, 2020

En este gráfico hay una comparación del tratamiento que se le dio a los lixiviados con dos metodos siendo el primero humedal de flujo subsuperficial vertical para el cual se utilizó el Carrizo y el segundo metodo fue humedal de flujo subsuperficial horizontal con Totora; respecto a la remoción de los siguientes parametros: DBO_5 se obtuvo mayor efectividad con la Totota ya que su remoción fue un 97% y del Carrizo un 40% el segundo parametro que se evaluo fue sólidos suspendidos totales no hubo mucha diferencia en su remoción obteniendo por parte del carrizo un 50% y un 57% por la totora; en el nitrogeno hay una diferencia significativa donde el carrizo sólo removio el 50% respecto a la totora que fue un 98% y finalmente tenemos el fosforo que tampoco hubo mucha diferencia en la remoción siendo 40% con la primera especie y 50% con la segunda. Podemos concluir que en este estudio tuvo mejor efectividad el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con la Totora ya que en todos los parametros evaluados fue quien tuvo mayor eficiencia. (Cortés Díaz, Pablo ; Colet Lagrille, Melanie, 2018). Menciona puede ocurrir debido a que la existencia de un flujo continuo en el sistema horizontal, otorga un medio de cultivo menos estresante para las bacterias que degradan la materia orgánica biodegradable.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión:

Como han puesto manifiesto varios autores los humedales artificiales son muy eficaces para los tratamientos de lixiviados proveniente de rellenos sanitarios. Según (Universidad de Medellín, 2008) los humedales artificiales tienen diversas ventajas como: su mantenimiento que es sencillo y mínimo, la eficiencia que se puede obtener superara otras opciones de tratamiento como son el biológico y el químico, pueden soportar variaciones de caudal y carga del influente, presentan bajos costos de construcción, energía requerida y explotación, además ofrecen espacios de recreación y se integran bien con el paisaje, su desarrollo presenta un proceso netamente natural y no tiene ninguna limitación, hay diversas especies de vegetación para los humedales artificiales y (Arévalo, Vélez, Hernández, Ramon, & Medina, 2016) realizaron un estudio con *Crysopogon Zizanoide* y la *Thypanos* donde nos mencionan que los bajos porcentajes de remoción obtenidos en los parámetros de DBO5 y DQO, indican que se requiere de un tratamiento primario que permita disminuir la concentración las sustancias contaminantes presentes en el lixiviado, de modo que la planta pueda optimizar su proceso de depuración; la especie vegetal más eficiente en la remoción de estos parámetros fue *Crysopogon Zizanoide* pero la *Thypha* alcanzó los valores máximos de remoción en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, además en su estudio menciona que la vegetación presente del humedal puede tener cambios a través de los años, tal cual los humedales naturales. Puede que algunas especies mueran, siendo reemplazados por otras. Por eso se debe de tener monitoreo constante para ver que va pasando mientras pasa el tiempo

Teniendo en cuenta la eficacia de humedales artificiales en diversos estudios se debería aplicar en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca ya que en la investigación de (Gonzales García, 2018) menciona que el nivel de riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca, debido al mal manejo de los lixiviados, en base a la caracterización del peligro sobre sus parámetros físicos, químicos y biológicos, y su escenario de peligrosidad, es significativo.

Conclusiones:

- Se concluyó que según la revisión sistemática los humedales artificiales son eficientes para el tratamiento de lixiviados generados en la planta de residuos sólidos de Cajamarca, ya que dichos humedales sirven para la remoción de algunos contaminantes que afecta el agua superficial y subterránea, y que además dañan los suelos.
- Se identificó las ventajas y desventajas de la utilización de humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados generados en una planta de tratamiento de residuos sólidos. Las principales ventajas de este tratamiento son: se pueden utilizar humedales de flujo subsuperficial ya sea de manera vertical u horizontal ya que ambos tienen la ventaja de combinarse para complementarse entre sí, con el fin de aprovechar la fuerza de cada tipo de sistema para un mejor tratamiento y además no requieren de costos elevados, mientras una de las principales desventajas que tienen estos sistemas es el área de terreno que requiere para localizar los procesos
- Se comparó las siguientes especies *Phragmites Australis* (carrizo) y la *Thypha Latifolia* (totora), las cuales son utilizadas generalmente en estos métodos para tratar los lixiviados de rellenos sanitarios por su rápida

adaptación y el nivel de remoción de diversos parámetros. La *Typha Latifolia* tiene la ventaja de crecer en diversas condiciones medioambientales, de fácil propagación lo que la hace adecuada para su utilización en la construcción del humedal además tiene eficacia en la remoción de fósforo y nitrógeno; por otro lado tenemos a *Phragmites Australis* que su principal ventaja es el bajo valor alimenticio previene plagas y no son comestibles por los animales, además tiene buena transferencia de oxígeno y remoción de coliformes totales; es decir ambas combinadas su eficiencia es positiva para el tratamiento de lixiviados por lo que se recomienda su utilización para tratar los lixiviados generados en la planta de tratamiento de residuos sólidos en Cajamarca.

REFERENCIAS

- Arévalo, A., Vélez, S., Hernández, Y., Ramon, A., & Medina, A. (2016). *Análisis de la capacidad de depuración de Eichhornia crassipes, Crysopogon zizanioides y Typha latifolia, respecto a parámetros fisicoquímicos de lixiviados del relleno sanitario el Guayabal utilizando humedales artificiales*. Revista Ambiental agua, aire y suelo, Colombia, Colombia. Recuperado el 27 de abril de 2020
- Bustamante Dávila, E., & Pérez Ruiz, W. (2019). "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver chrysopogon zizanioides en el distrito de". Tesis , Universidad Peruana Unión, San Martín , Tarapoto. Recuperado el 23 de Mayo de 2020, de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2763>
- Cardona Arce, P. A. (2018). *HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN*. Monografía para optar por el título de especialista en Gestión Ambiental, Fundación Universidad de América , Bogota. Recuperado el 15 de Mayo de 2020, de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- Carvajal Rowan, A., Zapattini Irala, C., & Quintero Zamora, C. (2018). *Humedales Artificiales, una alternativa para la de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia*. DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo, Bolivia. Recuperado el 29 de abril de 2020, de <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/3744/3830>
- Cortés Díaz, Pablo ; Colet Lagrille, Melanie. (2018). *TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE UN RELLENO SANITARIO: PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES*. Tesis , Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado el 29 de Abril de 2020, de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152920>
- Fonseca Castro, C. M. (2010). *Diseño de Humedal Construido para tratar los lixiviados del proyecto de relleno sanitario de Pococí*. Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción. Recuperado el 29 de abril de 2020, de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6158/dise%c3%b1o_humedal_lxivados_os_proyecto_relleno_anitario_Poci.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Revista de ingeniería*, 12. Recuperado el 29 de abril de 2020, de <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/538>
- Gonzales García, J. E. (2018). *Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados*. Tesis de Posgrado, UNC, Cajamarca, Cajamarca. Recuperado el 14 de Mayo de 2020, de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2238>

- ISWA; UNEP. (2015). *UNEP*. Washington, D.C. Recuperado el 29 de Abril de 2020, de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9672/-Global_Waste_Management_Outlook-2015Global_Waste_Management_Outlook.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Jambo Marín, L., & Mendoza Chugnas, L. (2019). *“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DELAIRE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CAJAMARCA, EN EL PERIODO 2 018 - 2 019*. Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Cajamarca. Recuperado el 14 de mayo de 2020, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23016/Jambo%20Mar%c3%adn%20Luz%20Nelda%20-%20Mendoza%20Chugnas%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kaza, et.al. (20 de Septiembre de 2018). *World Bank Group*. Nairobi. Recuperado el 29 de abril de 2020, de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Marín Palacios, M. F. (2019). *Eficiencia de humedales artificiales para el tratamiento de aguas lixiviadas*. Trabajo de grado, Universidad Católica de Manizales, Facultad de ingeniería y arquitectura, Colombia. Recuperado el 26 de Abril de 2020, de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2758/Mar%C3%ADa%20Fernanda%20Mar%C3%ADn%20Palacios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peña Martínez, G. M. (Mayo de 2007). *Comparación de tratamiento de lixiviados por medio de humedales artificiales con otros sistemas convencionales de tratamiento*. Proyecto de grado Ingeniería Ambiental, Bogotá. Recuperado el 30 de abril de 2020, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/26014/u295865.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivera Díaz, F. A., & Arévalo Sánchez, K. L. (2015). *DIMENSIONAMIENTO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI*. Tesis, Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2303>
- Segura Delgado, P., & Rocha Vera, W. (2019). *Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (phragmites australis)*. Tesis, Universidad Peruana Unión, Lima, Lima. Recuperado el 09 de Mayo de 2020, de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1942>
- Silva, S., & Zamora, H. (2005). *Humedales Artificiales*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Ambiental, Colombia. Recuperado el 30 de Abril de 2020, de <http://bdigital.unal.edu.co/1106/1/angelasofiasilvahernandariozamora.2005.pdf>

Universidad de Medellín. (2008). *Tendencias de la Investigación en la Ingeniería Ambiental*. (G. Morales Mira, Ed.) Colombia, Medellín, Colombia: Universidad de Medellín. Recuperado el 26 de abril de 2020, de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1427>

Universidad de Medellín. (2008). *Tendencias de la Investigación en la Ingeniería Ambiental*. (G. Morales Mira, Ed.) Colombia, Medellín, Colombia: Universidad de Medellín. Recuperado el 26 de abril de 2020, de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1427>