

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA**



Humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO  
ACADÉMICO DE BACHILLER EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**AUTORA**

Neira Huacchillo Yesica Yesenia

**ASESOR**

José Luis Sosa León

Morropón, Perú

2020

## INDICE

<b>I TITULO.....</b>	<b>3</b>
<b>II. AUTOR.....</b>	<b>3</b>
<b>III. RESUMEN DESCRIPTIVO.....</b>	<b>4</b>
<b>IV. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>4.1. Objetivos.....</b>	<b>6</b>
<b>V. METODOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
<b>VI. DESARROLLO Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>6.1. humedales artificiales.....</b>	<b>8</b>
<b>6.2. Clasificación de los humedales artificiales.....</b>	<b>8</b>
<b>6.2.1. Sistema con macrófitas flotantes.....</b>	<b>10</b>
<b>6.2.2. Sistema con macrófitas sumergidas.....</b>	<b>11</b>
<b>6.2.3. Sistema con macrófitas emergentes.....</b>	<b>13</b>
<b>6.2.4 Humedales de flujo superficial.....</b>	<b>17</b>
<b>6.2.5 Humedales de flujo subsuperficial.....</b>	<b>18</b>
<b>6.2.6. Partes de los humedales artificiales subsuperficiales.....</b>	<b>20</b>
<b>6.2.7. Mecanismos de remoción de contaminantes.....</b>	<b>21</b>
<b>6.3. DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>30</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>31</b>

## **I. TÍTULO**

Humedales artificiales utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

## **II. AUTOR:**

**2.1.** Responsable: Neira Huacchillo Yesica Yesenia

**2.2.** Institución educativa: Universidad Católica Sedes Sapientiae

**2.3.** Correo de contacto: 2016101418@ucss.pe

### III. RESUMEN DESCRIPTIVO

El tratamiento de las aguas residuales es un problema a nivel mundial, ya que es importante disponer agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida; por lo tanto, los humedales artificiales son una de las tecnologías más rentables y eficaces en remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales. Es por ello, que se realizó un análisis exhaustivo de información sobre los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de estas aguas. Se llevó a cabo una búsqueda de revisión bibliográfica en base a trabajos de grado, repositorios de universidades, Google académico, documentos, libros, artículos científicos, como revistas SciELO, RENATI, entre otros; asimismo, para el desarrollo de la investigación se utilizó la técnica documental, lo cual permitió analizar las publicaciones más recientes, sintetizarlas y organizarlas de una manera adecuada. La información que fue sintetizada se resaltó que Delgadillo *et al.* (2010) clasifica a los humedales artificiales según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento, macrófitas fijas al sustrato (enraizadas), o macrófitas flotantes libres; y según la forma de vida de las macrófitas, los clasifica en sistemas con macrófitas flotantes, sumergidas y emergentes, dentro de esta última clasificación se sub clasifica en humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial (vertical u horizontal), a comparación de Dordrecht (2008), le agrega otro tipo de humedal, denominado sistema híbrido que consiste en la combinación de varios tipos de humedales para lograr un mayor efecto de tratamiento, especialmente para remover nitrógeno, siendo estos humedales eficientes en el tratamiento de aguas residuales en especial en la eliminación de sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, DQO y materia orgánica.

#### IV. INTRODUCCIÓN

El déficit tratamiento de aguas residuales ocurre mayormente en países latinoamericanos, pues en estos países, las compañías que prestan servicios al sector público recolectan los residuos y los trasladan a los lugares de almacenamiento que pueden estar cerca de las fuentes hídricas o incluso vierten directamente a estas fuentes, causando alteraciones al ambiente y provocando enfermedades a las personas que se abastecen de estas aguas y que no están debidamente tratadas (Rivas y Paredes, 2014).

Existe una serie de técnicas para tratar aguas grises; estas tecnologías en el sector urbano o rural no estiman conveniente utilizarlas, ya que son muy costosas en todos los procesos; es por ello, que optan por métodos más rentables económicamente y eficientes, entre ellos se encuentran los humedales artificiales que son eficientes para tratar aguas residuales, especialmente de tipo doméstico, estos se basan en los principios de sistemas naturales, catalogándose como sistemas naturales de tratamiento (Konnerup *et al.*, 2008 citado por Rivas y Paredes, 2014).

En la actualidad los humedales artificiales no son aplicados en una totalidad, debido a la falta de información de estas tecnologías; es por ello, que después de un análisis diverso de temáticas se decidió realizar un análisis exhaustivo de información sobre los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

## **4.1. OBJETIVOS**

### **4.1.1. Objetivo general**

Realizar un análisis exhaustivo de información sobre los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el último trimestre del 2020.

### **4.1.2. Objetivos específicos**

- Acopiar la información en fuentes confiables referente a los tipos de humedales existentes para el tratamiento de aguas residuales.
- Sintetizar la información obtenida de las fuentes confiables referente a los tipos de humedales existentes para el tratamiento de aguas residuales.
- Organizar la información para el análisis de manera entendible y ordenada de los tipos de humedales para el tratamiento de aguas residuales.

## V. METODOLGÍA

La investigación es de tipo descriptivo que consiste en plantear lo más relevante de un hecho o una situación (Morales, 2018) de diseño no experimental, es decir de tipo documental y bibliográfica, en este sentido la investigación demanda de revisión de libros, tesis, normas, entre otro (Tabla 1). La metodología fue utilizada de Pedraza (2018) y modificada por el mismo autor.

Tabla 1

### *Fases de la metodología del trabajo de la investigación*

<b>FASE 1</b>	<b>FASE 2</b>	<b>FASE 3</b>
Información obtenida de diferentes fuentes académicas, directamente relacionadas con el presente estudio (artículos científicos, revistas especializadas, trabajos de tesis y otra información de interés).	La información fue procesada, analizada y organizada a través de gráficos y cuadros respectivamente.	Tipos de humedales artificiales identificados producto del acopio y proceso de la información para su respectiva propuesta de tratamiento de aguas residuales.

*Fuente:* Elaboración propia en base a Pedraza (2018)

## **VI. DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

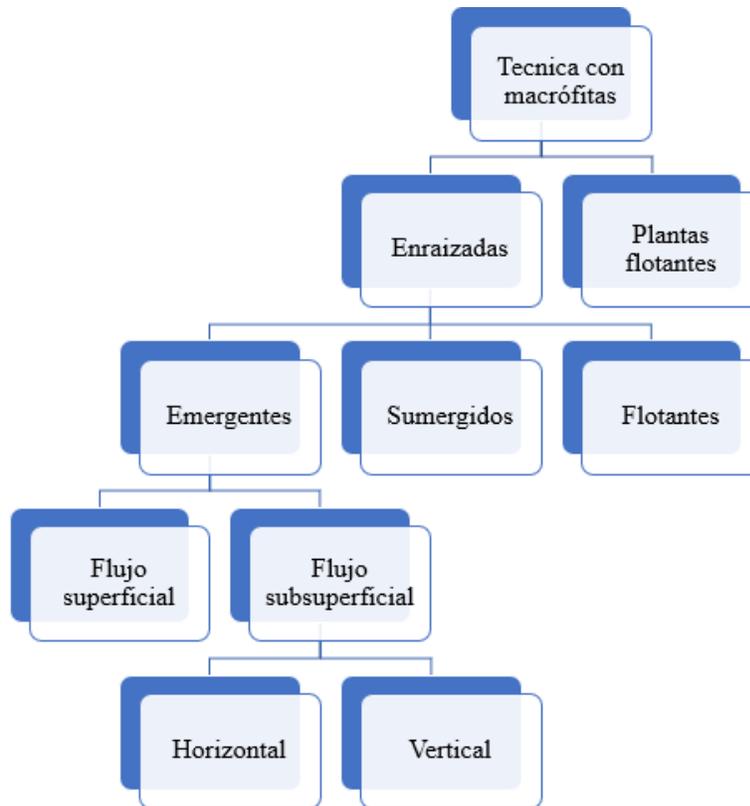
### **6.1. Humedales artificiales**

Son estanques que funcionan como filtros, estos se impermeabilizan para evitar filtraciones o fugas, son completados con grava o piedra volcánica, y sembrados con plantas que a través de ellas circulan las aguas residuales, mediante un flujo vertical u horizontal; se ha comprobado que el Papiro, Bambú, Platanillo, Carrizo u otras plantas de la zona son efectivos en remediar aguas residuales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009). Asimismo, Dordrecht (2008) menciona que los sistemas de ingeniería han sido diseñados y construidos para utilizar los procesos naturales (dentro de un ambiente controlado) y que involucren vegetación de humedales, suelos y sus conjuntos microbianos para ayudar el tratamiento de aguas residuales.

### **6.2. Clasificación de los humedales artificiales**

Los humedales se clasifican según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento. Macrófitas fijas al sustrato (enraizadas), o macrófitas flotantes libres y son clasificados por Delgadillo *et al.* (2010).

- **Humedales artificiales según el tipo de macrófitas**



*Figura 1. Clases de humedales construidos. Fuente: Delgadillo et al. (2010)*

### 6.2.1. Sistema con macrófitas flotantes

Estanques en la que las macrófitas flotan en la superficie, incluyen también especies de plantas que tienen sus raíces en el sustrato y sus hojas flotan en la superficie del agua, su profundidad varía desde los 10 cm a 150 cm (Figura 2). Los humedales construidos con este tipo de macrófitas son eficientes en remover sólidos suspendidos ya que las hojas en la superficie minimizan el efecto del viento probando una posible resuspensión y movimiento del agua; además, proporciona una gran superficie para los microorganismos adheridos, aumentando así el potencial de descontaminación de la materia orgánica, en este sistema las especies más comunes son Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (Jacinto de agua) y lenteja de agua (*Lemna minor*) (Martelo y Lara, 2012, citado por Núñez, 2019).

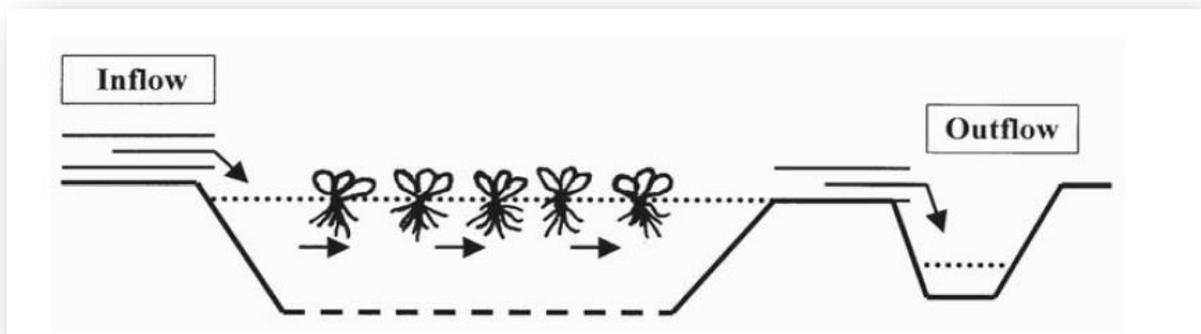


Figura 2. Representación esquemática del sistema con macrófitas flotantes. Fuente: Vymazal (2007)

### 6.2.2. Sistema con macrófitas sumergidas

Consisten en pozos con bajo nivel de agua sembrados con macrófitas que tienen su tejido fotosintético sumergido por completo, donde todo el sistema microbiológico contribuye a la autodepuración de las aguas (Figura 3). En este sistema las plantas sumergidas crecen fácilmente en agua oxigenada y por lo tanto no es recomendable utilizar en aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica porque que es ahí donde los microbios al descomponer la materia orgánica crearán condiciones anóxicas (Brix, 1993 a, citado por Dordrecht, 2008).

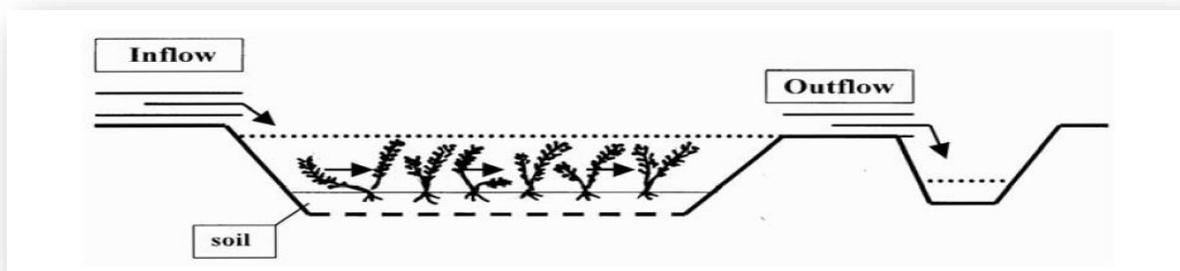


Figura 3. Representación esquemática del sistema con macrófitas sumergidas. Fuente: Vymazal, 2007

Las plantas más utilizadas en este sistema son *Ceratophyllum demersum* (Bejuquillo), *Potamogeton* (Espiga de agua), *Elodea canadensis* (Egeria densa) y *Vallisneria americana* (Gigantea) mostrados en la Figura 4.

Especie/ nombre común	
<p><i>Ceratophyllum demersum</i> (Bejuquillo)</p> 	<p><i>Potamogeton</i> (Espiga de agua)</p> 
<p><i>Elodeas canadiensis</i> (Egeria densa)</p> 	<p><i>Vallisneria americana</i> (Gigantea)</p> 

Figura 4. Especies con macrófitas sumergidas. Fuente: Zhang (2008)

### 6.2.3. Sistema con macrófitas enraizadas emergentes

Son plantas permanentes con órganos reproductores aéreos (Cricyt, 2007 citado por Delgadillo *et al.*, 2010). Los humedales sembrados con este tipo de macrófitas funcionan como sistemas de tratamiento biológico intensivo de tierra, la entrada de agua residual que contiene partículas y contaminantes disueltos se reduce y se propaga a través de un sistema poco profundo y vegetación emergente (Figura 5). Elimina rápidamente los sólidos en suspensión y sus principales mecanismos de eliminación son la sedimentación, la agregación y la adhesión superficial (Dordrecht, 2008).

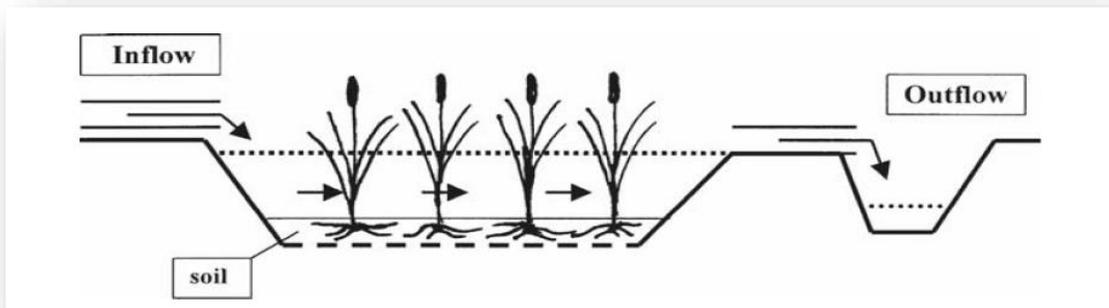


Figura 5. Representación esquemática del sistema con macrófitas emergentes. Fuente: Vymazal (2007)

- **Especies emergentes utilizadas en los humedales artificiales**

Según Zhang (2008) menciona que las principales plantas emergentes más utilizadas en humedales artificiales son las especies que se mostrarán en la Tabla 2.

Tabla 2

*Especies emergentes utilizadas en los humedales artificiales*

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>
<i>Canna indica</i>	Achira
<i>Iris pseudacorus</i>	Lirio amarillo
<i>Arum italicum</i>	Flor de primavera
<i>Caltha palustres</i>	Calta
<i>Iris sibirica</i>	Lirio
<i>Lysichiton americanus</i>	Aro de agua
<i>Cyperus alternifolius</i>	Paragüitas
<i>Pontederia cordata</i>	Pontederia
<i>Phragmites australis</i>	Carrizo
<i>Cyperus papyrus</i>	Papiro
<i>Caltha palustris</i>	Calta palustre
<i>Typha latifolia</i>	Enea
<i>Houttuynia cordata</i>	Chameleon
<i>Xanthosoma violaceum</i>	Oreja de elefante
<i>Iris laevigata</i>	Lirios japones
<i>Zantedeschia ethiopica</i>	Cala
<i>Sparganium erectum</i>	Platanaria
<i>Lythrum salicaria</i>	Arroyuela

Fuente: Zhang (2008).

### ***Iris pseudacorus* (lirio amarillo)**

Es una especie de la familia *Iridaceae*, es de raíces gruesas, carnosas y flores de color amarillo intenso, crece en condiciones húmedas, especialmente en pantanos, esta especie prospera rápidamente por rizoma y por semillas dispersas por el agua, y es utilizada en remediación de aguas, porque absorbe con facilidad metales pesados por medio de sus raíces, además son plantas tolerantes a suelos putrefactos, es por ello que son muy utilizadas en la construcción de humedales artificiales y tratamiento de aguas residuales (Blasco, 2008).

### ***Arum italicum* (flor de primavera)**

Son hierbas con escombros y residuos de hasta 60 cm de altura, sus hojas son ovadas de color verde invierno. Esta especie pertenece a la familia *Araceae*, el área de distribución comprende la cuenca del mediterráneo, centro y oeste de Europa, islas Canarias y el sur de Inglaterra, donde es común hallarla en terrenos alterados por el hombre como basurales y baldíos (Draper y Rosselló 1997).

### ***Iris sibirica* (lirio)**

Es una especie del género *Iris*, procedente de Europa y Asia central, es una hierba que brota de un rizoma rastrero aproximadamente 0,9 a 1,2 cm de diámetro, ésta puede ser utilizado en varias posiciones, en sitios junto al agua, estanques y arroyos, también es conocida como una especie ideal para un jardín de pantano. (Pérez, 2013).

### ***Calcha palustres* (calta)**

Esta especie conocida como hierba “Ventella”, “aro de pantano” o “hierba de rosario”, sus tallos son huecos y pueden alcanzar hasta 50 cm de altura, sus hojas son verdes, oscuras y redondeadas; sus flores son amarillas, doradas y brillantes. Es una planta acuática propia del borde del agua, es aconsejable su uso en orillas de estanques, en aguas poco profundas, especialmente en humedales (Sánchez, 2011).

### ***Phragmites australis***

Es una planta acuática perteneciente a la familia *Poaceae*, y es muy común encontrarla en humedales templados, lagunas, marismas y bordes de ríos, esta planta crece muy resistente, ya que tiene un sistema de raíces con rizomas y pueden medir entre 2 y 6 m de altura, esta especie prefiere la humedad, tolera muy bien las sequías transitorias, lo que hace excelente para la fitodepuración (Sánchez, 2011).

### ***Typha latifolia* (Enea)**

Su nombre común es totora, Enea, entre otros, pertenece a la familia *Typhaceas*, se encuentra presente en la mayor parte de Europa, crece en medios acuáticos: lagunas, pantanos, esteros, cunetas de los caminos. Dentro de la planta especialmente en las hojas se agrupan las flores que crecen en forma de espiga (Sánchez, 2011).

Según Delgadillo *et al.* (2010) menciona que los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos: si el agua circula en forma superficial entre los tallos de las macrófitas se les denomina humedales de flujo superficial, pero si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal se les denomina humedales de flujo subsuperficial.

#### 6.2.4. Humedales de flujo superficial

Son canales, con suelo u otro medio adecuado para soportar la vegetación enraizada, donde el agua a una profundidad relativamente baja circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta a la atmósfera, las raíces y tallos vegetativos llegan a hacer los medios de soporte donde se produce el tratamiento mientras el agua circula lentamente (Figura 6). La poca profundidad del agua, baja velocidad de flujo, y la presencia de tallos de plantas y hojarascas regulan el flujo de agua. La vegetación puede ser mediante macrófitas flotantes o sumergidas (Núñez, 2019).

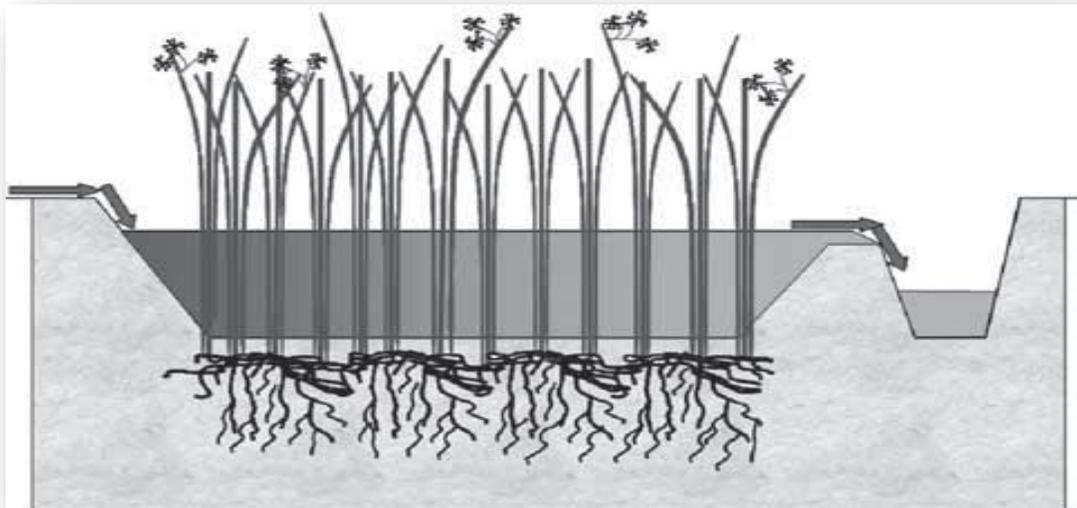


Figura 6. Humedal artificial de flujo superficial. Fuente: Delgadillo *et al.* (2010)

### 6.2.5. Humedales de flujo subsuperficial

En estos humedales el agua circula a través de ellos y por medio de un sustrato, su profundidad varía entre 0,5 m y 0.6m; se siembra en el sustrato a la vegetación teniendo contacto los rizomas y las raíces de las plantas con las aguas residuales. Estos humedales pueden ser de dos tipos que son los humedales subsuperficiales horizontales y verticales (Delgadillo *et al.*, 2010).

- **Humedales de flujo subsuperficial horizontal (HFSH)**

Son aquellos donde las aguas residuales se introducen en la entrada y fluyen lentamente por debajo de la superficie a través del medio poroso (Figura 7), cubierto por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo (Dordrecht, 2008). Asimismo, Delgadillo *et al.* (2010) menciona que en estos humedales la profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m, donde el agua ingresa en forma lenta y permanente y es tratada a medida que vaya fluyendo por el medio poroso.

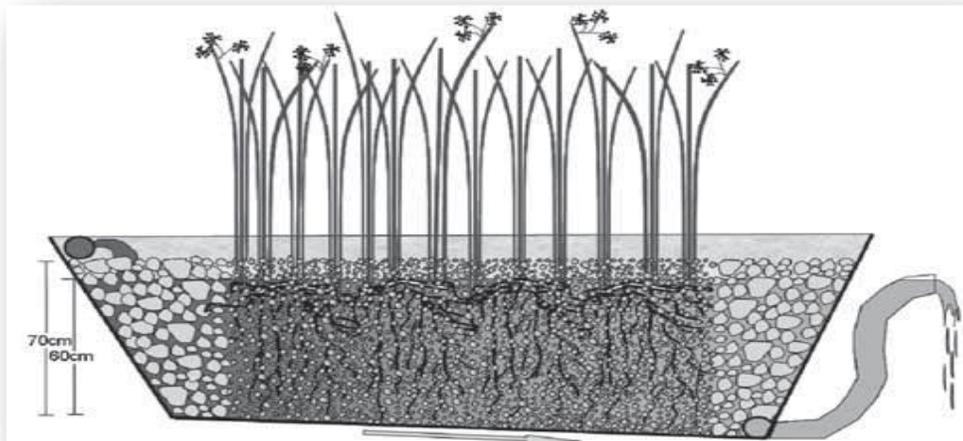


Figura 7. Humedales de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: Delgadillo *et al.* (2010)

- **Humedales de flujo subsuperficial vertical (HFSV)**

Son aquellos humedales complementados con medio granular y vegetación emergente en la que el agua residual no se encuentra saturado, sino que fluye desde arriba hacia abajo a través de un sistema de tuberías con la ayuda de una bomba (Figura 8). Por medio de un sustrato inerte (arenas, gravas) las aguas se infiltran y son recogidas por tuberías ubicadas en la parte inferior del humedal; el agua es aplicada de manera discontinua para poder conservar los organismos aerobios (Delgadillo *et al.*, 2010).

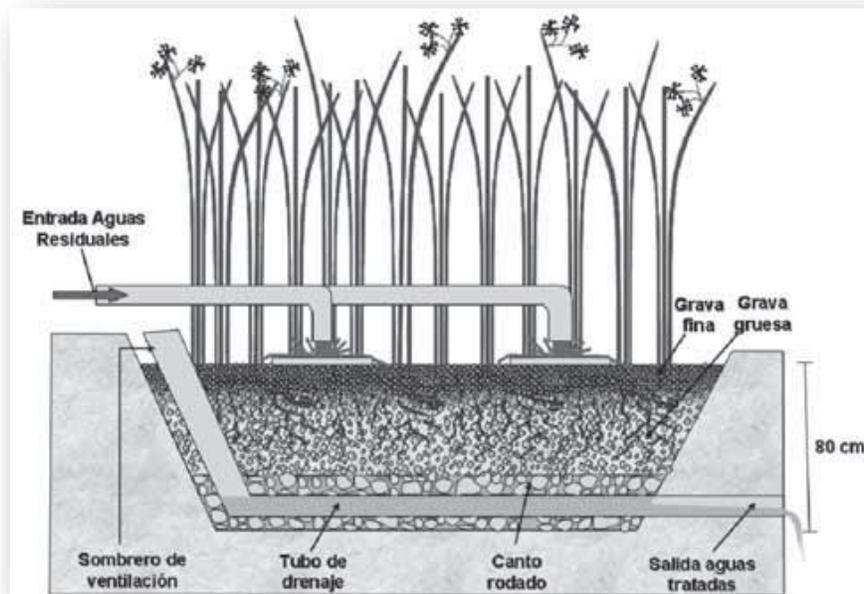


Figura 8. Humedales de flujo subsuperficial vertical. Fuente: Delgadillo *et al.* (2010)

### **6.2.6. Partes de los humedales artificiales subsuperficiales**

Está constituido por cuatro elementos:

- **Agua residual**

Según Díaz, Alvarado y Camacho (2012), las aguas residuales son aquellas que por acción y efecto las personas arrojan sustancias o residuos contaminantes al agua de manera directa o indirecta alterando sus propiedades; estas pueden ser domésticas, industriales o comunitarias, este tipo de aguas provoca afectaciones en su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica.

- **Sustrato (medio granular)**

El medio granular está formado por un conjunto de agregados y residuos vegetales acumulados en el humedal construido; la característica principal del sustrato es que tiene que funcionar como filtrante para que pueda transportarse el agua. La presencia de los agregados y restos vegetales cumplen una función muy importante que es servir como base para los organismos que habitan en él, y almacenar a muchos contaminantes (Delgadillo *et al.*, 2010).

- **Vegetación**

La presencia de la vegetación en los humedales cumple un papel muy importante y es por medio de las raíces y rizomas enterrados en los humedales, al ser organismos autótrofos son capaces de cumplir la función de transferir el oxígeno atmosférico por medio de la zona capilar de las plantas hacia las raíces, en el cual los organismos aerobios utilizan ese oxígeno para degradar la materia orgánica disponible y que se desarrolle la nitrificación (Arias y Brix, 2005).

- **Microrganismos**

Los microorganismos cumplen la función de degradar la materia orgánica, la eliminación de los nutrientes, elementos traza y también la desinfección, es decir realizan el tratamiento biológico, en el humedal se desarrollan colonias de microorganismos aerobios, especialmente en la zona superior del humedal donde se encuentra el oxígeno que posteriormente es trasladado por la zona radicular de las plantas y el que provienen de la zona atmosférica; y en la otra parte del sustrato cumplen la función los microorganismos anaerobios (Arias, 2004 citado por Delgadillo *et al.*, 2010); los microorganismos principales presentes en los humedales son bacterias, levaduras, hongos y protozoarios (Lara, 1999, citado por Delgadillo *et al.*, 2010).

#### 6.2.7. Mecanismos de remoción de contaminantes

Se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual.

Tabla 3

*Mecanismos de remoción de contaminantes*

Parámetro	Mecanismos de remoción
Sólidos suspendidos	Sedimentación /filtración
DBO <sub>5</sub>	-Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica)
	-Sedimentación (acumulación de material orgánica/ lodo en la superficie del sedimento.
Nitrógeno amoniacal	-Amonificación seguida por nitrificación y desnitrificación amoniacal
	-Captado por la planta.

---

	-Sedimentación /filtración
Patógenos	-Declinación
	-Radiación ultravioleta
	-Excreción de antibióticos por las raíces de las macrófitas.

---

*Fuente:* Kolb (1998), citado por Delgadillo *et al.* (2010).

- **Eliminación de sólidos suspendidos**

La eliminación de la materia en suspensión se da por medio de la filtración con ayuda del sustrato, y por la sedimentación, esto es debido a que la velocidad del agua que circula es baja; este proceso de eliminación ocurre en la entrada del humedal (Alarcón *et al.*, 2018).

- **Eliminación de materia orgánica**

Se desarrolla en zonas aerobias por medio de la biodegradación y en zonas anaerobias; y cuando la materia orgánica se encuentra adherida a los sólidos en suspensión también puede ser eliminada por medio de la filtración o sedimentación (Kolb, 1998, citado por Delgadillo *et al.*, 2010).

- **Eliminación de nitrógeno**

El nitrógeno presente en estas aguas grises es encontrado en forma de amoníaco, mayormente los nitratos se encuentran en bajas concentraciones, a menos que sea un agua residual procedente de fuentes industriales como farmacéuticas, alimentarias, entre otros. La nitrificación y desnitrificación son uno de los mecanismos de remoción de nitrógeno en los humedales, ocurrida en diferentes zonas del sustrato (Eduardo, 2015).

- **Eliminación de DBO<sub>5</sub>**

Los microorganismos como bacterias, actinomicetes y hongos se encargan de eliminar el DBO<sub>5</sub> presente en las aguas residuales, los procesos que se llevan a cabo es la absorción por las sustancias orgánicas solubles y oxidación de las bacterias (Crites y Tchobanoglous, 2000, citado por Quinde, 2017).

- **Eliminación de metales**

Estos se pueden eliminar por medio de la oxidación o acumulación que se desarrolla en la construcción de los humedales artificiales, al utilizar como base sustratos y sembrar plantas en él, permite que el metal se acumule ya sea en las raíces, tallos u hojas de las plantas, así como también en el sustrato y puedan ser recogidos para su disposición en un relleno sanitario (Pérez, 2009).

## **6.3. DISCUSIÓN**

### **6.3.1. Clasificación de los humedales artificiales**

Los humedales artificiales (Delgadillo *et al.*, 2010) se clasifican según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento, macrófitas fijas al sustrato (enraizadas), o macrófitas flotantes libres; asimismo, menciona que considerando la forma de vida de las macrófitas, los humedales pueden ser clasificados en sistemas con macrófitas flotantes, sumergidas y emergentes, dentro de esta última clasificación se sub clasifica de acuerdo si el agua circula en forma superficial entre los tallos de las macrófitas se les denomina humedales de flujo superficial, pero si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal se les denomina humedales de flujo subsuperficial, en comparación con Dordrecht (2008), le agrega otro tipo de humedal, denominado sistema híbrido que consiste en la combinación de varios tipos de humedales para lograr un mayor efecto de tratamiento, especialmente para remover nitrógeno. Según Vymazal (2010), menciona que al combinarse varios tipos de humedales se complementan entre sí, y generan un efluente bajo en DBO<sub>5</sub> y concentraciones de nitrógeno.

### **6.3.2. Eficiencia en remoción de contaminantes**

En todos los tipos de humedales artificiales según Vymazal (2010), la remoción de materia orgánica y sólidos en suspensión es alta, y en los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y de flujo vertical los procesos de degradación microbiana son en su mayoría aeróbicos; este último casi siempre se utilizan para tratamiento primario o secundario, mientras que los humedales de flujo subsuperficial horizontal se utilizan a menudo para el tratamiento terciario, pero Mena (2008) menciona que no sólo es eficaz en remover sólidos suspendidos y materia orgánica sino también es efectivo en remover altos niveles de DBO<sub>5</sub> y también metales pesados pero en bajo nivel; en cambio, el fósforo es eliminado de manera lenta, ya que el agua no tiene contacto a menudo con el suelo; en acuerdo con Vidal y Hormazábal (2018) los HFSH eliminan con efectividad los sólidos suspendidos totales reduciendo el DBO<sub>5</sub>, pero tiene como factor limitante la transferencia del oxígeno; a diferencia de los HFSV, estos son eficaces en eliminar materia orgánica, sólidos suspendidos totales y estimular la nitrificación; en cambio

Zhang (2008) menciona que la comparación de la eficiencia de remoción de nutrientes de varios humedales artificiales en diferentes estudios es difícil debido a las condiciones de las variables, pues la variación entre los estudios está influenciada por diferencias en el tipo y densidad de vegetación, medios, tiempos de retención, tasas de carga, temperatura, tamaño de los sistemas, entre otros.

### **6.3.3. Macrófitas en los humedales artificiales**

Las macrófitas son capaces de construir un biofilm microbiano que se agrupan a los rizomas y al sistema radicular de las plantas cumpliendo con la función de biodegradar, filtrar y adsorber los compuestos presentes en las aguas residuales (Vidal y Hormazábal, 2018); además sirven como hábitat para los animales y mejorar la estética del lugar según la especie a sembrar (Delgadillo *et al.*, 2010). Las macrófitas se clasifican en emergentes, sumergidos y flotantes, las emergentes tienen una gran capacidad de fotosíntesis y crecimiento, en cambio las plantas flotantes, su productividad es mucho mayor y tienen la capacidad de utilizar el CO<sub>2</sub> foto respirado almacenado en las zonas aireadas; a diferencia de las plantas sumergidas, éstas muestran menor velocidad de productividad debido a que bajo el agua, la intensidad de la luz y la difusión del CO<sub>2</sub> son menores (Pérez, 2009), es por ello que no se puede utilizar en aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica fácilmente biodegradable porque la descomposición microbiana de la materia orgánica creará condiciones anóxicas Dordrecht (2008). En cada una de estos tipos se encuentran ubicadas diferentes especies:

- **Macrófitas emergentes**

Debido a la capacidad de adaptación y propagación las macrófitas emergentes más utilizadas son las plantas como *Typha latifolia*, *Scirpus* y *Phragmites*. La planta *Phragmites* es muy eficiente en transferir oxígeno por medio de los rizomas de las plantas que se introduce de forma vertical y a más profundidad que la planta *Typha latifolia*, pero menor que los de *Scirpus* (Vidal y Hormazábal, 2018); y Zhang (2008) resume ejemplos de especies de plantas más utilizadas como *Sagittaria* (Achira), *Iris pseudacorus* (Lirio amarillo), *Arum italicum* (Flor de primavera), *Iris sibirica* (Lirio), *Caltha palustres* (Calta), *Lysichiton americanus* (Aro de agua), *Cyperus alternifolius* (Paraguaitas), *Pontederia cordata* (Pontederia), *Phragmites australis* (Carrizo), *Cyperus papyrus* (Papiro), *Caltha palustris* (Calta palustre), *Typha latifolia* (Enea), *Houttuynia cordata* (Chameleon), *Xanthosoma violaceum* (Oreja de elefante), *Iris laevigata* (Lirio japonés), *Zantedeschia ethiopica* (Cala), *Sparganium erectum* (Platanaria) y *Lythrum salicaria* (Arroyuelo).

- **Macrófitas flotantes**

Dordrecht (2008), las especies más importantes de este grupo son *Nymphaea*, (Nenúfar blanco), *Nuphar lutea* (Nenúfar amarillo) y *Nelumbo nucifera* (Loto sagrado o loto indio) y tienen una potencial remoción de sólidos en suspensión ya que las hojas en la superficie minimizan el efecto del viento que provoca una posible resuspensión y movimiento del agua y a través de la sedimentación de partículas los orgánicos se eliminan predominantemente; en cambio para Martelo y Lara (2012) citado por Núñez (2019) las especies más importantes son *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (Jacinto de agua) y *Lemna minor* (Lenteja de agua), estas especies tienen mayor capacidad de captación de nutrientes que otras variedades de macrófitas (Vidal y Hormazábal 2018), pero Flores (2014) menciona que la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. es de mayor interés ya que es eficiente en remover un 84 % de DBO<sub>5</sub>, 82 % en coliformes fecales y un 56 % de sólidos suspendidos totales, a comparación con Núñez (2019), menciona que esta especie alcanza niveles de remoción de 95 % de DBO<sub>5</sub>, 90.2 % de DQO, 21-91 % de Sólidos suspendidos, 98.5 % nitrógeno total y del 85 %-95 %.

- **Macrófitas sumergidas**

Según Zhang, (2008) las especies más comunes son *Ceratophyllum demersum* (Bejuquillo) *Potamogeton* (Espiga de agua), *Elodeas canadienses* (Egeria densa) y *Vallisneria americana* (Gigantea), pues concuerda con Pérez, (2009) pero él también menciona que es de interés utilizar *Myriophyllum aquaticum* (la cola de zorro acuática) porque tiene propiedades para eliminar nitratos.

## VII. CONCLUSIONES

Se acopió la información en fuentes confiables referente a los tipos de humedales existentes para el tratamiento de aguas residuales.

Se sintetizó la información obtenida de fuentes confiables referente a los tipos de humedales existentes para el tratamiento de aguas residuales.

Se organizó la información para el análisis de manera entendible y ordenada de los tipos de humedales para el tratamiento de aguas residuales.

Los humedales artificiales se clasifican según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento, macrófitas fijas al sustrato (enraizadas), o macrófitas flotantes libres; y según la forma de vida de las macrófitas, estos se clasifican en sistemas con macrófitas flotantes, sumergidas y emergentes, dentro de esta última clasificación se sub clasifica en humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial (vertical u horizontal)

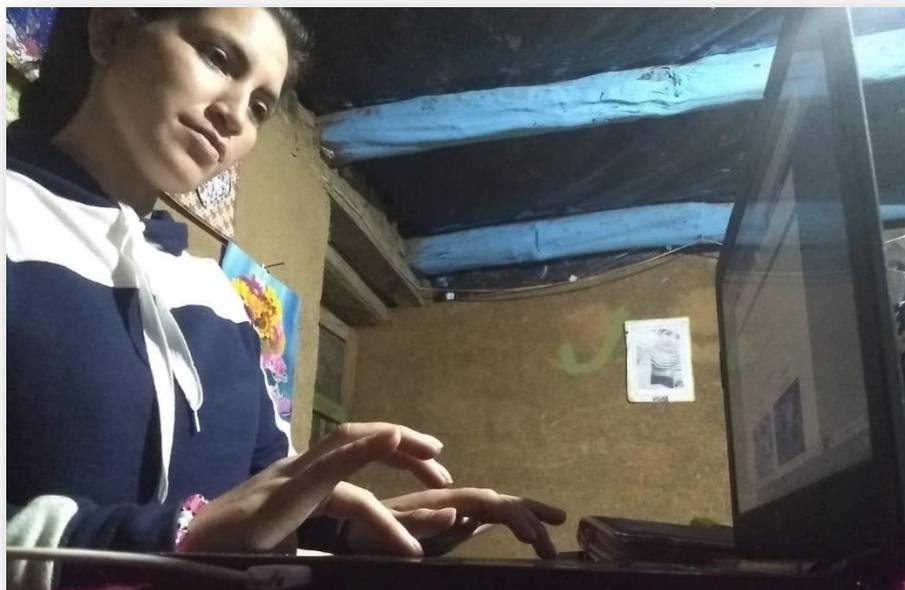
Los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales son una tecnología adecuada para eliminar sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, DQO y materia orgánica.

Las macrófitas flotantes más utilizadas en los humedales artificiales son: Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (Jacinto de agua) y lenteja de agua (*Lemna minor*) siendo la primera especie la más eficiente en remoción de coliformes fecales, materia orgánica y DBO<sub>5</sub>.

Las macrófitas emergentes más utilizadas en los humedales artificiales son: *Phragmites*, *Scirpus*, y *Typha*, siendo la más eficiente en transferir oxígeno por medio de los rizomas la planta *Phragmites*.

Las macrófitas sumergidas más utilizadas en los humedales artificiales son: *Ceratophyllum demersum* (Bejuquillo) *Potamogeton* (Espiga de agua), *Elodea canadensis* (Egeria densa) y *Vallisneria spiralis* (Gigantea).

## VIII. ANEXOS



*Figura 9.* Acopio de la información

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, H. M. T., Zurita, M. F., Lara, B. J. y Vidal, G. (2018). *Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicables en América Latina*. Bogotá: Pontificia Universidad JAVERIANA. Recuperado de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2018/06/humedales-de-tratamiento-alternativa-de-saneamiento-de-aguas-residuales-aplicables-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- Arias, M. S. A., Betancur, T. F. M., Gómez, R. G., Salazar, G. J. P. y Hernández, A. N. L. (2010). *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. *Informador técnico* (74). Recuperado de [doi.org/10.23850/22565035.5](https://doi.org/10.23850/22565035.5)
- Arias, I. y Brix, H. (2005). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. *Ciencia de Ingeniería Neogranadina*, (13). Recuperado <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=911/9110130>
- Blasco, Z. J. (2008). *Iris Pseudacorus l.* Monteriza. Recuperado de <http://monteriza.com/wp-content/uploads/flora/171.iris-pseudacorus.pdf>
- Díaz, C. A. E., Alvarado, G. A. L. y Camacho, C. K. E. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía en San Miguel Almaya, México*. *Quivera*, 14 (1), 78-97. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=401/40123894005>

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Universidad Mayor de San Martín. Cochabamba, Bolivia. Recuperado de <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales>

Dordrecht, (2008). Tipos de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. *Environmental Pollution*, (14). [Doi.org/10.1007/978-1-4020-8580-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8580-2_4)

Draper, D. y Roselló, A. (1997). *Distribución de Arum cylindraceum Gasp. (Araceae) en la Península Iberica. Általes Jará. Bot. Madrid* 55 (2), 313-319. Recuperado de <http://rjb.revistas.csic.es/index.php/rjb/article/download/279/274/275>

Eduardo, P. A. C. (2015). *Evaluación de la eficiencia de la remoción de nutrientes del efluente de la PTAR de la empresa Esmeralda Corp S.A.C, mediante el uso de humedales artificiales empleando la especie Typha domingensis Pers (Totorá)*. (Tesis de grado). Universidad Científica del Sur. Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.cientifica.edu.pe:8080/handle/UCS/245>

Gómez, C. y Lot, A. (2005). *Distribución y uso tradicional de Sagittaria macrophylla Zucc. y S. latifolia Willd. en el Estado de México. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 12 (3), 282-290. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=104/10412308>

- Núñez, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca*. (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión. Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1797>
- Mena, J. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: ventajas de los sistemas híbrido*. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Recuperado de [http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2643\\_JMena.pdf](http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2643_JMena.pdf)
- Ministerio del Ambiente (2009). *Manual para municipios ecoeficientes*. Oficina del medio ambiente, Lima, Perú. Recuperado de [http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/manual\\_para\\_municipios\\_ecoeficientes.pdf](http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf)
- Morales, R. K. P. (2018). *Diseños de humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados en Villavicencio*. (tesis de grado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá-Colombia. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20092/MoralesRodr%C3%ADGuezPaola2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, M. (2013). *Iris Sibirica*. Botánica y jardines. Recuperado de <http://www.botanicayjardines.com/iris-sibirica/>

- Quinde, C. M. (2017). *Evaluación del efecto depurador de Guadua angustifolia Kunth de aguas residuales de la ciudad de Jaén-Cajamarca*. (Tesis de grado). Universidad nacional de Cajamarca, Perú. Recuperado de [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1708/T016\\_71068619\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1708/T016_71068619_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rivas, A. y Paredes, D. (2014). *Memorias de la Segunda Conferencia Panamericana en Sistemas de Humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua*. Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. Recuperado de [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- Sánchez, R. J. (2011). *Anexo 1: Listado de plantas*. (Tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima-Perú. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/2099.1/11554/2/ANEXO+1.pdf>
- Vidal, G. y Hormazábal, S. (2018). *Humedales construidos diseño y operación*. Universidad de Concepción. Recuperado de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2018/09/HUMEDALES-CONSTRUIDOS-DISE%C3%91O-Y-OPERACI%C3%93N.pdf>
- Vimazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 380 (3), 48-65. [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014)
- Vymazal, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, 2 (3), 530-549. [Doi:10.3390/w2030530](https://doi.org/10.3390/w2030530).

Zhang, Z. (2008). *Plant Growth and nutrient removal in simulated secondary-treated Municipal Wastewater in Wetland Microcosms*. (Thesis). University of Western Australia. Recuperado de <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/plant-growth-and-nutrient-removal-in-simulated-secondary-treated->