Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERU

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.
Vea una copia de esta licencia en http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

Obra publicada con autorización del autor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Evaluación de la eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario

AUTORA:

Blanca Flor García Rojas

ASESOR:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 6053520

Moyobamba - Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Evaluación de la eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021

AUTORA:

Blanca Flor García Rojas

Sustentada y aprobada el 29 de diciembre del 2021, por los siguientes jurados:

Ing. M.Sc. Mirtha Felícita Valverde Vera	**Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález**
Presidente	**Secretario**
Blgo. M. Sc. Alfredo Ibán Díaz Visitación	**Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza**
Miembro	**Asesor**

Declaratoria de autenticidad

Blanca Flor García Rojas, con DNI N° 47296147, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autora de la tesis titulada: **Evaluación de la eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 29 de diciembre del 2021.

Bach. Blanca Flor García Rojas
DNI N° 47296147

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	García Rojas Blanca Flor
Código de alumno : 115224	**Teléfono:** 948307265
Correo electrónico : Garrojasblanca32@gmail.com	**DNI:** 47296147

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo :	Evaluación de la eficiencia de phragmites australis (carrizo común) y lemna minor (lentejia de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de chocope - Ascope 2021
Año de publicación:	2021

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".**

.....

Firma del Autor

---

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

30 / 05 / 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto – UNSM.

Ing. Grecia Vanessa Fachin Ruíz
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A Dios por darme la vida y la oportunidad de poder desarrollaruna profesión, por su cuidado inmerecido y la fortaleza obsequiada para vencer los obstáculos.

Al esfuerzo de mis padres José García Velásquez y Eumelia Rojas López, por darme la vida, y apoyarme económicamente para culminar mi carrera, por los valores y principios que me han inculcado para ser una persona de bien.

A mi hijo Thiago Said, por ser mi principal motivo de lucha yesfuerzo constante en la superación de mis metas.

A mis hermanos, Elmer, Deisy, Graciela, Medalith y Adela que está en el cielo, por su apoyo constante y por ser las personas con quienes comparto todo en la vida.

Blanca Flor

Agradecimiento

A Dios, por haberme permitido llegar exitosamente hasta estepunto de mi vida, por darme las fortalezas necesarias para afrontar cada desafío y por mantenerme con salud.

A mis padres, por el apoyo incondicional y por el aliento constante que me brindaron en todo el proceso de mi formación profesional, por apoyar y comprender cada decisiónque tomé, y por ser partícipes en el desarrollo de esta investigación. Eternamente agradecido con ellos.

A mi asesor Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza, por su tiempo, dedicación y valioso aporte desde el inicio de la planificación de esta investigación.

Al Ing. Carlos Gozzer, por su apoyo incondicional durante la etapa de ejecución de la tesis.

Índice general

Pág.

Dedicatoria.....vi
Agradecimiento vii
Índice general viii
Índice de tablas x
Índice de figuras xi
Resumen xii
Abstract..... xiii

Introducción.....1

CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 6

1.1. Antecedentes de la investigación.....6
1.2. Marco teórico.....7
1.2.1. Humedales.....7
1.2.2. Plantas acuáticas.....16
1.2.2.1. Phragmites australis (carrizo común).....19
1.2.2.2. Lemna minor (Lenteja de agua).....21
1.2.3. Dureza total del agua.....25
1.3. Definición de términos básicos.....29

CAPÍTULO II MATERIAL Y MÉTODOS.....32

2.1. Materiales.....32
2.2. Métodos.....33

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN 39

3.1. Resultados 39
3.1.1. Diseño de humedal artificial a escala de laboratorio. 39
3.1.2. Análisis de la dureza total del agua, antes y después del tratamiento 40
3.1.3. Eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) 41

3.2. Comprobación de la hipótesis 44
3.3. Discusiones 46

CONCLUSIONES 48

RECOMENDACIONES 49

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

ANEXOS 55

Anexo A. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica 56
Anexo B. Resultados de laboratorio 57

Anexo C. Cálculos para prueba de hipótesis 61

Anexo D. Panel fotográfico del proceso de investigación 63

Índice de tablas

Pág.

Tabla 1. Características y descripciones de humedales artificiales 11
Tabla 2. Ventajas y desventajas del sistema de humedales artificiales..... 11
Tabla 3. Taxonomía de *Phragmites australis* (carrizo común) 20
Tabla 4. Taxonomía de la especie lenteja de agua (*Lemna Minor*). 22
Tabla 5. Índices de dureza del agua 26
Tabla 6. Principales aniones y cationes que causan la dureza en el agua 26
Tabla 7. Ficha de monitoreo de macrofitas de *Lemna minor* y *Phragmites australis* 37
Tabla 8. Análisis inicial de dureza total del agua de pozo sin tratamiento (Antes) 40
Tabla 9. Concentración de dureza total en los tres humedales artificiales (Después) 40

Índice de figuras

Pág.

Figura 1. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas 10
Figura 2. Tipos de plantas acuáticas 18
Figura 3. Phragmites australis (carrizo común) 19
Figura 4. Lemna minor (Lenteja de agua) 23
Figura 5. Mapa de ubicación del distrito de Chocope 35
Figura 6. Mapa de ubicación del pozo de Chocope 35
Figura 7. Diseño general del sistema de tratamiento 39
Figura 8. Eficiencia de Phragmites australis (Carrizo común) 41
Figura 9. Eficiencia de Lemna minor (Lenteja de agua) 42
Figura 10. Eficiencias de Phragmites Australis y Lemna Minor 42
Figura 11. Comparación de concentraciones finales con los LMP 43

Resumen

La presente investigación, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021. Las plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento, presentaron un buen rendimiento para disminuir la concetración de dureza total en la muestra a través de humedales artificiales a escala de laboratorio con análisisis a los 20, 40, 60, 80 y100 días. Según el diseño se construyó 3 humedales con iguales dimensiones: ancho 38 cm,largo 70 cm y altura 45 cm; el cual tiene una capacidad para tratar 100 litros de agua, H_1 con18 plantas de Carrizo Común, H_2 con 50 gr de Lenteja de agua y H_3 solo con agua como testigo. Los valores obtenidos en el análisis inicial fue de 541,9 mg/L; después del tratamiento se obtuvieron eficiencias de 12,59%; 12,70%; 12,97% ; 13,75% y 20,19% para *Phragmites australis* (Carrizo común); así mismo un 12,75%; 14,45%; 18,62%; 19,89% y 27,63% para *Lemna minor* (Lenteja de agua), los cuales representan valores por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) cuyo valor es 500 mg/L de acuerdo al DS N° 031-2010-SA. Comparando los tratamiento tenemos que *Lemna minor* (Lenteja de agua) tiene mayor eficiencia para remover el parámetro dureza total. Finalmente, en la comprobación de la hipótesis se tiene tc = 10.29 y 7.32 > tt = 2.776, además la sig p = 0,001 y 0,002 < 0,05; permitiendo rechazar la H_0 y aceptar la H_1.

Palabras clave: Eficiencia, Carrizo Común, Lenteja de agua, dureza total.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the efficiency of *Phragmites australis* (common reed) and *Lemna minor* (duckweed) in the reduction of total water hardness in the district of Chocope - Ascope, 2021. The aquatic plants used in the treatment showed good performance in reducing the concentration of total hardness in the simple, through artificial wetlands at laboratory scale with analysis at 20, 40, 60, 80 and 100 days. According to the design, 3 wetlands were constructed with equal dimensions: width 38 cm, length 70 cm and height 45 cm; with a capacity to treat 100 liters of water, H1 with 18 plants of Common Reed, H2 with 50 gr of Duckweed and H3 only with water as a control. The values obtained in the initial analysis were 541.9 mg/L. After treatment, efficiencies of 12.59%; 12.70%; 12.97%; 13.75% and 20.19% were obtained for *Phragmites australis* (Common reed); as well as 12.75%; 14.45%; 18.62%; 19.89% and 27.63% for *Lemna minor* (duckweed), which are values below the maximum permissible limits (MPL) whose value is 500 mg/L according to DS N° 031- 2010-SA. When comparing the treatments, it was found that *Lemna minor* (duckweed) has a higher efficiency to remove the total hardness parameter. Finally, in the hypothesis testing, it was found that tc = 10.29 and 7.32 > tt = 2.776, also the sig p = 0.001 and 0.002 < 0.05; allowing to reject H_0 and accept H_1.

Key words: Efficiency, Common reed, Duckweed, total hardness.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
COORDINACIÓN
CENTRO DE IDIOMAS

Introducción

De manera global el agua se compone de dos partes de hidrógeno y una de oxígeno. Pero más importante que sus componentes son los contaminantes que contiene. En una reacción química, estaríamos satisfechos con un rendimiento que nos asegure un 99.95% de pureza. Sin embargo, en el caso del agua este nivel de impurezas es inaceptable. Para esta sustancia,niveles de contaminantes que normalmente se consideran insignificantes pueden echar a perder la calidad del agua y su posible uso. (Russell, 2012, p. 2).

Es uno de los elementos más importantes de la naturaleza, se obtiene fundamentalmente porsu caída a la tierra en forma de lluvia, fluye por la superficie terrestre creando arroyos, ríosy lagunas, está en constante movimiento de acuerdo a la topografía por donde se desliza; deesta manera, el agua viaja siguiendo la trayectoria que le marcan los suelos, los declives, lasquebradas y hondonadas, formando lo que llamamos una cuenca. El ciclo del agua termina donde empezó, es decir, con la transpiración de agua por las plantas que habitan los bosquesy la evaporación del agua del suelo y de los ríos que forman la cuenca hidrográfica.

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua como la dureza, alcalinidad, presencia de cloruros, sulfatos, hierro, etc. Por lo general, la calidad delagua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de aguacon unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basannormalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanoscomo para los organismos acuáticos. (ONU–DAES, 2014).

A nivel mundial, uno de los problemas relacionado con la calidad del agua lo constituye la dureza, es decir el agua con alto contenido de minerales, específicamente calcio y

magnesio(aunque otros como hierro, estroncio y manganeso también influyen en su endurecimiento,en menor medida), tener un agua dura aumentan los problemas de depósitos calcáreos e incrustaciones en todos los sistemas de distribución de agua potable, influye sobre todo en el rendimiento y el mantenimiento de los electrodomésticos de limpieza, causando varios problemas como la acumulación de éstos minerales en tuberías, plomería, disminuir el flujo de agua en las tuberías, desgastar los accesorios y aparatos sanitarios como duchas, grifos, tinas, fregaderos más rápidamente, provocando una menor eficiencia en su funcionamientoy un mayor desgaste, asi mismo provocan manchas difíciles de limpiar en el baño y cocina,hacen que los productos de limpieza sean menos efectivos, acumulan minerales en platos, accesorios, ropa e incluso la piel y el cabello. Por otro lado, el sabor del agua está influido por la cantidad de minerales y elementos disueltos. (ITR, 2013).

La dureza es el alto contenido de minerales, específicamente calcio y magnesio (aunque otros como hierro, estroncio y manganeso también influyen en su endurecimiento, en menormedida), tener un agua dura aumentan los problemas de depósitos calcáreos e incrustaciones en todos los sistemas de distribución de agua potable, influye sobre todo en el rendimiento y el mantenimiento de los electrodomésticos de limpieza, causando varios problemas como la acumulación de éstos minerales en tuberías, plomería, disminuir el flujo de agua en las tuberías, desgastar los accesorios y aparatos sanitarios como duchas, grifos, tinas, fregaderos más rápidamente, provocando una menor eficiencia en su funcionamientoy un mayor desgaste, asi mismo provocan manchas difíciles de limpiar en el baño y cocina,hacen que los productos de limpieza sean menos efectivos, acumulan minerales en platos, accesorios, ropa e incluso la piel y el cabello. Por otro lado, el sabor del agua está influido por la cantidad de minerales y elementos disueltos. (Ramírez, 2013).

La población de Chocope, Distrito de Ascope, del Departamento de La Libertad se abastece a través de agua subterránea con explotación del acuífero mediante pozos profundos, ubicados en diferentes puntos de la ciudad. El principal problema relacionado a la demandadel agua es la calidad del agua de los pozos lo cual destaca la alta dureza del agua para consumo humano, la cual afecta a 9 413 Habitantes, dado que están situadas cerca de la costa, que a menudo se abastecen con un agua más mineralizada y con más sedimentos, a diferencia de los sitios de montaña, donde el agua arrastra menos

componentes y tiene menosmineralización. un valor de 607,47 mg$CaCO_3$/L en el año 2014 y de 725,27 mg$CaCO_3$/L enel año 2016. sin embargo, con la ejecución del Proyecto Especial Chavimochic – III Etapa,es probable que exista una sobrecarga en el acuífero por el agua que va ser usada para el riego y que aumentaría la napa freática la cual haría más vulnerable el agua subterránea de ser contaminada por agroquímicos que se utilizan en la agricultura entonces el problema seamayor (Sedalib, 2018 p. 20). Ante ello se propone hacer una evaluación de la eficiencia de ciertas plantas acuáticas como *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) que permitan disminuir las concentraciones de minerales presentes en el agua y equilibrar su dureza, con la finalidad de mejorar las condiciones de salubridad en la población y extender su vida útil de los componentes estructurales del sistema de abastecimiento y accesorios sanitarios en general.

Ante ello se formula el siguiente problema: ¿Será eficiente el *Phragmites australis* (Carrizocomún) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distritode Chocope – Ascope, 2021?

El objetivo principal alcanzado en la presente investigación fue evaluar la eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021, la cual se logró mediante los objetivos específicos como: 1) Diseñar y construir un humedal artificial, a escala de laboratorio, con plantas acuáticas de *Phragmites australis* (Carrizo común) y la *Lemna minor*(Lenteja de agua); 2) Analizar la dureza total del agua, antes y después del tratamiento y 3) Determinar la eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo comun) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua y comparar con los LMP del (DS N° 031-2010-SA).

La hipótesis de la investigación comprobada fue: El uso de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) es eficiente en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021. El cual está constituido por dos varibales de estudio, la variable independiente Plantas acuáticas (*Phragmites australis y Lemna minor*) y como dependiente Dureza total del agua.

El método utilizado fue el inductivo-deductivo con las técnicas de observación, análisis documental, muestreo, aforo de caudal y ensayos de laboratorio, con instrumentos como

fichas de observación, cadenas de custodia de muestreo y cooler con envases quirúrgicos para la toma de muestras. El procesamiento, análisis e interpretación de datos se realizó a través de la estadística descriptiva mediante figuras estadísticas, análisis e interpretación dedatos, análisis de eficiencia y remoción. Además, se aplicó la estadística inferencial para lacomprobación de la hipótesis con la prueba estadística t (student) pareada.

El presente trabajo contiene información que permite establecer como sistema de tratamiento de aguas de pozo a los humedales artificiales con plantas acuáticas, así apoyar alos sistemas locales de tratamiento para con el contenido de dureza permitida por la normatividad vigente en materia de consumo humano (500 mg/L), dado que la tecnología de humedales artificiales no ha sido utilizada, en gran medida debido a que no existe la información comprobada científicamente para evaluar su potencial de diversas especies de plantas acuáticas como depuradores de contaminantes, las especies involucradas en el proceso y los tipos de soportes disponibles; información necesaria para proponer y determinar diseños eficientes, ante ello se tiene como innovación respecto a otras investigaciones evaluar cada plantas acuática (*Phragmites australis* y *Lemna minor*) en su propio humedal artificial.

La importancia radica en que su desarrollo de la investigación generó resultados que contribuyen a la vinculación con respecto a diversos sectores como, Ministerio de viviendaconstrucción y saneamiento, SUNASS, Municipalidad distrital de Chocope y Ministerio de Salud, por ser éstas las áreas responsables de la regulación, control y monitoreo de calidad el agua para consumo humano. Así mismo proponer como alternativa de solución para la formulación y ejecución de un proyecto de inversión publica para la implementación en el tratamiento de agua para toda la población. Además, genera un valor teórico como aporte alconocimiento científico y para el desarrollo de posteriores investigaciones como una propuesta de tratamiento adecuado de la dureza total del agua para consumo humano en el distrito de Chocope, usando plantas acuática propias de la zona y con una caracterización del parámetro en laboratorio certificado para garantizar los resultados y contrastarlos con los parámetros del reglamento de calidad del agua y Estándares de Calidad Ambiental (ECAs).

El trabajo de investigación está estructurado en tres capítulos: Capítulo I, revisión bibliográfica, en la cual se recabó información para el marco teórico, así mismo la

búsquedade investigaciones anteriores como antecedentes de investigación; el capítulo II comprende, materiales y métodos, donde se detalla el diseño y los procedimientos realizados en la ejecución del presente trabajo; y el capítulo III, resultados y discusión, donde se presenta y explica los resultados obtenidos contrastantando con los antecedentes; adicionalmente las conclusiones, recomendaciones y anexos que validan el trabajo realizado.

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigaciónA nivel internacional

Barreno et al. (2020), en su trabajo de investigación titulado "Lechuguín (*Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms*) y lenteja de agua (*Lemna Spp*.) en la reducción de la dureza del agua de riego", (Ambato – Ecuador), estableció que la mejor es el lechuguín por su capacidad de absorción de la dureza en función de los carbonatos del agua, ha logrado reducir de 218 a 154 mg $CaCO_3$/l, esta es una reducción muy importante aunque no logra reducir lo suficiente la concentración, ya que para tener una alcalinidad adecuada en el agua de regadío la concentración no debe ser superior a 150 mg $CaCO_3$/l. El lechuguín muestra ser el mejor para el tratamiento de la dureza del agua, este redujo la conductividad eléctrica de 563 a 523 uS/cm, lo que demuestra la capacidad de retención de sales iónicas que este presenta, de igual manera disminuyo las cantidades de nitritos y sulfatos del agua y logro reducir la alcalinidad hasta lograr un pH neutro de 6.57 muy favorable para el crecimiento de plantas.

Calderón (2015), en su trabajo de investigación titulado "Determinación de la influencia de lechuguín (*eichhornia crassipes (mart.) solms*) y lenteja de agua (*lemna spp*.) en la reducción de la dureza del agua de riego de la empresa flores del Cotopaxi S.A.", (Ambato Ecuador), tuvo como objetivo determinar la influencia de lechuguín y lenteja de agua en la reducción de la dureza del agua de riego, un enfoque cuantitativo y nivel explicativo, se desarrolló con una muestra de 100 litros de agua del Río Blanco, investigación de campo e investigación experimental o de laboratorio, el análisis de datos se realizó con el programa estadístico Statgraphics, donde concluye que la mejor es el lechuguín por su capacidad de absorción de la parte radicular y recolectada las muestras, se realizó la caracterización física químicas del agua de riego, antes y después de la aplicación del lechuguín y lenteja de agua, determinando como parámetros de estudio conductividad eléctrica, dureza, nitratos, pH, sulfatos, tomando como el parámetro de referencia la disminución de la concentración de dureza expresado en mg/L de $CaCO_3$.

A nivel nacional

Saavedra (2017), en su tesis de maestría titulado "Influencia de las plantas acuáticas de *phragmites australis* (carrizo común) y la *lemna minor* (lenteja de agua) en la disminución

de dureza total y cantidad de cloruros presentes en las aguas de pozos de Huanchaquito – Trujillo", (Trujillo – Perú), arribó a las siguientes conclusiones: Se logró disminuir la dureza y cantidad de cloruros presentes en las aguas de pozos del distrito de Huanchaquito – Trujillo utilizando la *Lemna minor* (Lenteja de agua) y el *Phragmites australis* (Carrizo común) en medios artificiales a nivel de laboratorio para mejorar la calidad del agua; Se determinó la Dureza Total de 542,7ppm y 300,7ppm Cantidad de cloruros presentes en las aguas de pozos del distrito de Huanchaquito – Trujillo; se logró acondicionar las plantas acuáticas *Phragmites australis* y *Lena minor* en humedales artificiales a nivel de laboratorio y se determinó el porcentaje de remoción para los parámetros de dureza y cantidad de cloruros siendo los porcentajes más altos en dureza el 9,8% y 17,6% de cloruros presentes en las aguas de pozos de Huanchaquito-Alto, Trujillo – La Libertad.

A nivel regional y local

Tuesta (2016), en su trabajo de investigación titulado "Evaluación de las especies *Lemna minor L*. (Lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes M.* (Jacinto de agua) en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba – 2014", (Moyobamba – Perú), tuvo como objetivo evaluar las especies *Lemna minor L.* (lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes M*. (Jacinto de agua) en la remoción de materia orgánica biodegradable, sobre los cuales concluyó que las especies *Lemna minar L*. (lenteja de agua) y *Eichharnia crassipes M*. (Jacinto de agua) logro remover la materia orgánica biodegradable en efluentes de las piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014, utilizando grupos experimentales y se obtuvo la eficiencia de las plantas acuáticas para la remoción de materia orgánica biodegradable y se consiguió evaluar los tratamientos y las eficiencias de remoción a escala de laboratorio bajo condiciones continuas y controladas, siendo el sistema continuo el más eficiente en la remoción de materia orgánica biodegradable (50%).

1.2. Marco teórico

1.2.1. Humedales

Definición

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla enla superficie terrestre cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco

profundas. *"Las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, seanéstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros"* (Grobicki et al., 2006, p. 9).

En las zonas denominadas "humedales" viven y se desarrollan distintos tipos organismos (animales y vegetales) adaptados a estas condiciones de inundaciones. En este tipo de ecosistema se desarrollan ciertos procesos físicos y químicos capaces de depurar el agua ya que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, y minerales (nitrógeno, fósforo,…) e incluso productos tóxicos (plomo, mercurio,…). (Nuevo, 2020).

1.2.1.1. Humedales Artificiales

Definición

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistemaconsiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluente es depurada progresiva y lentamente. (Delgadillo et al., 2010, p. 7).

Los sistemas diseñados para imitar las características y procesos (físicos, químicos y biológicos) de un humedal natural son comúnmente conocidos como "Humedales artificiales". Los humedales construidos son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre agua, planta, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y promover un mejoramiento ambiental. (EPA, 1996). Según Seoánez (1995), los humedales artificiales, aligual que los naturales, pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua tales como: sólidos en suspensión, DBO, nutrientes, metales, patógenos, y otros productos químicos. La principal diferencia entre un humedal natural y un humedal artificial es que elhumedal artificial permite el tratamiento de aguas residuales bajo diseños que se basan en objetivos específicos de calidad del efluente.

Los humedales construidos consisten principalmente en estanques poco profundos en los que se implantan especies vegetales adaptadas a la vida acuática y en los que la depuración se basa en procesos naturales de tipo microbiológico, biológico, físico y

químico. Su diseñoes muy variado, pero siempre incluye canalizaciones, aislamiento del suelo para evitar el paso de la contaminación a los ecosistemas circundantes y el control del flujo del efluente en cuanto a su dirección, flujo, tiempo de retención y nivel del agua (Curt, 2005).

Los humedales artificiales son sistemas de depuración en los que se reproducen los procesosde tratamiento de agua, en concreto, de reducción de contaminantes que tienen lugar en loshumedales naturales. Los humedales artificiales pertenecen a las denominadas tecnologías no convencionales, o tecnologías de bajo consumo de tratamiento de agua residual. La ideafundamental es que carbono, fósforo y otros metales pesados queden inmovilizados en el sedimento del humedal de manera permanente. Su funcionamiento es similar a un espacio natural. Estos humedales artificiales permiten depurar el agua filtrando los desechos en un espacio reducido y controlado (Nuevo, 2020).

Tipos de humedales artificiales

Según (Delgadillo et al., 2010, p. 8). Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: mácrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres. Considerando la forma de vida de estas macrófitas,los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes: principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp*.) son las especies másutilizadas para este sistema.

Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas: comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.

Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes: en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos.

Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de

acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el aguacircula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal.

De acuerdo a Nuevo (2020) los humedales artificiales se clasifican en función del modelo de circulación del agua:

Humedales artificiales de flujo superficial (HAFS)

El agua circula libremente por la superficie a través de tallos, raíces y hojas caídas, donde se desarrolla la película bacteriana encargada de la eliminación de contaminantes. Generalmente, son instalaciones, constituidas por balsas o canales de vegetación emergentey con un nivel de agua poco profundo (inferior a 0,4 metros). La entrada de agua residual escontinua (o intermitente si precisa bombeo). Se emplean principalmente como tratamiento de afino, recibiendo efluentes de un tratamiento secundario anterior.

Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSs)

En estos tipos de humedales el agua discurre de forma subterránea por los espacios intersticiales del lecho filtrante y en contacto con los rizomas y raíces de la vegetación del humedal. En este tipo de depuración actúa en mayor medida la acción del suelo. La profundidad del sustrato filtrante es del orden de 0,5-1,0 metros.

En ambos casos, pueden dividirse en horizontales o verticales según la dirección en la circulael agua residual.

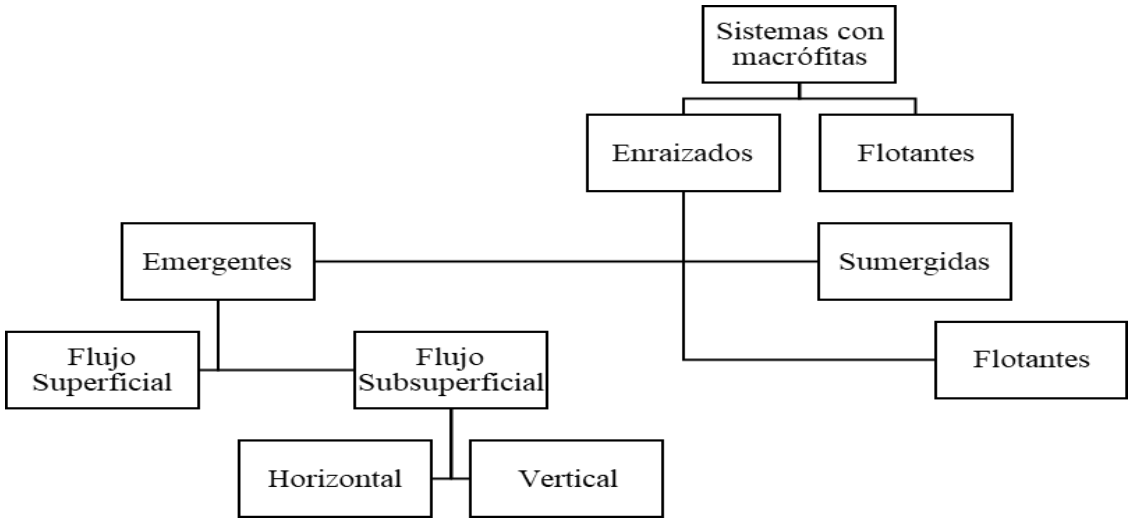


Figura 1. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas. (Fuente: Delgadillo et al., 2010, p. 9)

Tabla 1

Características y descripciones de humedales artificiales

Características	Descripción	Referencia
Funcionamiento	Actividad Bioquímica de microorganismos. Aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día. Apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de plantas y filtro.	García & Corzo, 2008
Funciones	Fijan físicamente los contaminantes a la superficie del suelo y la materia orgánica. Utilizan y transforman los elementos por medio de microorganismos. Logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento.	EPA, 1996
Rendimiento	Rendimientos superiores al 80% en la remoción de la DBO. Remueve niveles significativos de trazas orgánicas metales y patógenos. Presentan bajo rendimiento en la remoción de fosforo.	Lara, 1999
Aplicaciones	Tratamiento de aguas municipales, industriales y agrícolas. Tratamiento de aguas subterráneas contaminadas	Silvia y Zamora, 2005

Tabla 2

Ventajas y desventajas del sistema de humedales artificiales

Ventajas	Desventajas
Bajos costos operacionales.	Los costos de construcción necesitan de un capital medio a alto.
Bajo consumo de materiales e insumos de energía.	Para su construcción necesitan de extensiones amplias de terreno.
Toleran una amplia gama de contaminantes.	Acumulación de sustancias tóxicas e el suelo y sedimentos.
Método natural y sostenible para el tratamiento de aguas residuales.	Ya que son sistemas naturales, pueden presentar variaciones en su rendimiento debido a los cambios estacionales.
En ellos se desarrolla una amplia gama de procesos de depuración.	Limitado control operacional sobre los procesos de tratamiento.
A parte de dar tratamiento a aguas residuales pueden tener múltiples beneficios (p.ej. hábitat para fauna silvestre).	Bajo ciertas circunstancias los beneficios adicionales pueden estar bajo conflicto (p.ej. causar problemas a la fauna local, atraer fauna nociva).

Fuente: Adaptado de (Kadlec and Knight, 1996).

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superfi ciedel suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999).

Partes de los humedales artificiales

De manera general la composición de un humedal es agua, vegetación, medio filtrante y microorganismos, además de condiciones ambientales como luz solar y temperatura. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección. (EPA,1996).

Agua residual

Las aguas residuales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal, en este caso. Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades agrícolas, así com o las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación. (Rolim, 2000).

Sustrato (medio granular)

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas. La principal característica del medio es que debetener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga autilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mmaproximadamente y con pocos finos. (Lara, 1999).

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas. El tamaño del medio granular afecta directamenteal flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granularestá constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidadde absorción y una mejor fi ltración, ya que la adsorción es alta y el

diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requierevelocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Arias, 2004).

Vegetación

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogenenergía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. (Arias, 2004).

La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizara el proyecto, así como las siguientesrecomendaciones. (García & Corzo, 2008).

- ✓ Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema derizomas.
- ✓ Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
- ✓ La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar elcrecimiento del biofilm.
- ✓ Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientalesdel sistema proyectado.
- ✓ Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
- ✓ Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- ✓ Se debe utilizar especies propias del lugar.

Microorganismos

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la

materia orgánica,la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004).

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte delcarbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a lacapacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera (Lara,1999).

Según, Nuevo (2020) resume que las tres partes fundamentales de un humedal son:

- **El sustrato o material granular**: tiene la función de soporte a la vegetación y posibilitala fijación de la biopelícula bacteriana que intercede en la gran mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes orgánicos de las aguas residuales.
- **Las plantas**: en su mayor parte son plantas macrófitas emergentes que intervienen en a la oxigenación del sustrato radical y a la eliminación de contaminantes por absorción.
- **El agua**: el agua residual con alta carga de contaminación aporta el alimento a las plantasy después de atravesar el humedal pierde esa DBO_5, solidos en suspensión, y retorna al cauce en unos parámetros de calidad superiores al inicio del tratamiento.

Factores que determinan a los humedales artificiales

Según Rodríguez (2009), algunas ventajas que proporcionan los humedales artificiales son:flexibilidad en cuanto a la localización del sitio, optimización en el tamaño según la carga contaminante, y facilidad para tratar una mayor cantidad de aguas residuales.

Para realizar la adecuada instalación de un humedal artificial, es necesario considerar los siguientes factores:

- ✓ Dimensiones del humedal.
- ✓ Topografía.
- ✓ Características del suelo.
- ✓ Inundabilidad del terreno.

Dimensiones del humedal

Para el cálculo de las dimensiones del humedal, primero se determinan las condiciones

existentes como DBO, SST del afluente, temperatura promedio de las aguas residuales en invierno, promedio del flujo diario del afluente; además de contar con la calidad que se deseaobtener del efluente (DBO y SST).

Topografía y características del suelo

En cuanto a la topografía, se busca que sea llana con una pendiente ligera del 1%, ya que, amayor pendiente, tendrá que realizarse una mayor excavación, lo cual incrementa los costos.Por otro lado, si el humedal se construirá en canales, y lo recomendable son suelos que tengan permeabilidad baja, de lo contrario se recomienda la impermeabilización del suelo para los sistemas de flujo superficial, los cuales se usan más para el tratamiento de ríos y corrientes de agua. En todos los casos, la compactación de las arcillas suele ser un método suficiente para preparar el área de canales o zanjas.

Inundabilidad del terreno

Es recomendable que la instalación de los humedales artificiales se realice en terrenos fácilmente inundables o instalarse en lugares donde llegue fácilmente el efluente por gravedad (Seoánez, 1995).

Metodología de los humedales artificiales

Según Delgadillo et al. (2010), la metodología para el diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos dediseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón. Para llegar a poder intentar acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico y los métodos constructivos apropiados.

El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias creadas por la vegetación, capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en los humedales. La energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal, para dar esta energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable. (p. 31)

Para el diseño de humedales se deben considerar los siguientes criterios:

1. Se consideran reactores biológicos.
2. Se considera que el flujo a través del medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme.
3. La ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso.

Para el diseño de este tipo de humedales los pasos a seguirse son:

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente.
- Sustrato.
- Relación largo – ancho

De forma similar a muchas actividades de construcción y en base a la experiencia adquiridaen la construcción de los mencionados humedales, para su implementación se sugieren seguir los siguientes pasos:

1. Reconocimiento del terreno.
2. Estudios geotécnicos.
3. Desmonte.
4. Levantamiento topográfi co y replanteo.
5. Toma de energía eléctrica.
6. Construcción del dique de contención.
7. Construcción de cámaras de registro (de entrada y salida).
8. Construcción de casetas de bombeo.
9. Impermeabilización del dique (fosa o embalse) de contención.
10. Ensamblado del sistema de drenaje o colección.
11. Llenado de gravas y/o arena.
12. Ensamblado del sistema de aplicación. (p. 39)

1.2.2. Plantas acuáticas

Definición

Las plantas acuáticas constituyen la flora hidrófila que crece en humedales, cuya función esla fitodepuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por mediode plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales. El término macrófitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos,algas y helechos. Constituyen “fitosistemas”, porque emplean la energía solar a través de lafotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química,que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas (Delgadillo et al., 2010, p. 8).

Estas plantas no son algas, sino que pertenecen al reino vegetal. La razón es que estas plantaspresentan raíz, tallo y hojas, como cuerpo vegetativo y flor, frutos y semillas como cuerpo reproductivo. Se trata de plantas superiores con flores, que escogieron como lugar de vida los humedales. Se conocen con los nombres de plantas acuáticas, hidrófitos, macrófitos, macrófitos vasculares, limnófitos y también como malezas acuáticas. Este último nombre indica que muchas de ellas actúan como maleza, dificultando la utilización de los cuerpos de agua. Tradicionalmente han sido separadas en dos grandes grupos ecológicos, los hidrófitos o plantas acuáticas propiamente tales, y los helófitos o plantas palustres (o de pantano). Las primeras presentan la mayor parte del cuerpo en el agua, incluso fotosintetizanen ese medio, y las segundas tienen gran parte de sus órganos fotosintéticos en el aire. Las primeras crecen en agua libre y las segundas en pantanos, ubicados en las riberas de los cuerpos dulceacuícolas (Ramírez & San Martín, 2005).

Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes. Las plantas acuáticas facilitan la integración paisajística de los sistemas y recrean los ecosistemas complejos donde intervienen otros elementos comoinsectos, anfibios y aves, regulando el sistema. Además, ofrecen la posibilidad de obtener productos valorizables con diversos fines. Entre los posibles aprovechamientos están los usos ornamentales, cama para ganado, producción de compost, producción de forrajeras, obtención de fibras para trabajos artesanales. (Caicedo 1995 citado por León & Lucero, 2009).

Las especies utilizadas son macrófitas emergentes típicos de las zonas húmedas, estas plantas presentan adaptaciones especiales para vivir en ambientes permanentemente anegados. Sus tejidos internos disponen de espacios vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas. Sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugarprocesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación. (García & Corzo, 2008).

Los esquemas de clasificación para plantas acuáticas están basados en sus características morfológicas y fisiológicas, se dividen en formas enraizadas y flotantes. Las de tipo enraizada son las plantas acuáticas más usadas en la construcción de humedales

artificiales,se dividen básicamente en tres grupos: emergentes, flotantes y sumergidas.

A). Plantas emergentes.

Las plantas emergentes, con sus hojas largas erguidas, tienen una gran capacidad de fotosíntesis y crecimiento. Las especies emergentes más comunes son: tule (*Typhia sp)*, juncos (*Scirup sp*) y carrizos (*Phragmites sp*). (Smith, 1977).

B). Plantas flotantes.

La productividad de las plantas flotantes enraizadas y las plantas flotantes libres es tan alta o mayor que la de las emergentes, y tiene la ventaja de que mientras éstas tienen menos tejidos respiratorios, poseen la habilidad de utilizar dióxido de carbono CO2 foto-respirado,almacenado en los espacios llenos de aire; las más usadas en la construcción de humedales son: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), ombligo de Venus (*Hydrocotyle ranunculoides*),y plantas de los géneros: *Spirodela, Lemna, Wolffia*. (Smith, 1977).

C). Plantas sumergidas.

Las plantas sumergidas muestran menor velocidad de productividad que los otros dos tipos,esto es debido a que, bajo el agua, la intensidad de la luz y la difusión del CO_2 son menores.Por otra parte, las plantas sumergidas pueden usar CO_2 de otras fuentes tales como los carbonatos, del CO_2 liberado por la actividad anaerobia de los sedimentos o a través del proceso de re-fijación del CO_2 del ciclo del carbono; algunas de las especies usadas en humedales construidos son: *Myriophyllum aquaticum*, Elodea canadienses, y *Potamogetoncrispus*. (Smith, 1977).

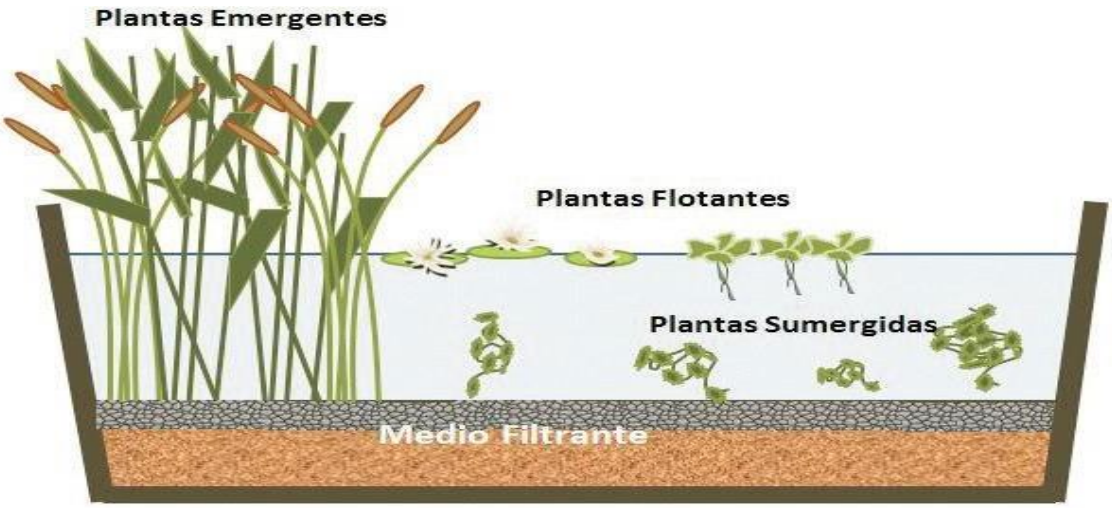


Figura 2. Tipos de plantas acuáticasFuente: Guzmán, et al., 2018, p. 3.

1.2.2.1. Phragmites australis (carrizo común)

Neófito de gran tamaño, perenne y provisto de un gran rizoma leñoso cubierto con vainas coriáceas semejantes a escamas. Tallo de 80 – 350 (1000) x 0,5 – 1,2 cm, generalmente no ramificado. Hojas de 50 x 5 cm, verde grisáceas, aplanadas, que se adelgazan progresivamente hacia él un largo ápice; vainas lisas, glabras, cubriendo los nudos y la lígulaformada por una línea de pelos. La inflorescencia es una panícula laxa de (8) 20 – 30 (50) cm, oblonga – ovoide. Espiguillas comprimidas lateralmente, de 10 a 16 mm, con 2 – 10 flores, la mayoría hermafroditas pero las inferiores masculinas o estériles. Glumas lanceoladas, tan largas como las flores, membranosas y con 3 – 5 venas; son desiguales, siendo la inferior de la mitad a dos tercios de larga que la superior. Lemas estrechamente lanceoladas, agudas o acuminadas, con 3 – 5 venas y largos pelos en la mitad proximal del dorso no geniculados. Anteras de hasta 2 mm de longitud (Cirujano & Morales, 1997).

Figura 3. *Phragmites australis* (carrizo común)Fuente: Cirujano & Morales, 1997.

Hábitat y ecología:

Según Vargas et al. (2012), vive en marismas, lagunas y bordes de ríos formando densas poblaciones, desde el nivel del mar a los 1000 m de altitud. Se encuentra en comunidades pertenecientes a *Phragmition communis* (Orden *Phragmitetalia*, Clase *Phragmitio – Magnocaricetea*), cañaverales y espadañales de aguas poco profundas, propia de márgenes de lagunas o cursos de aguas lentas. Son características *Cladium mariscus, Phragmites australis, Scirpus lacustris subsp. lacustris, Typha dominguensis* y *Typha latifolia*.

Requerimientos ecológicos:

Según Vargas et al. (2012), son:

Luz: Crece a plena luz, aunque soporta sombra.
Temperatura: Calor moderado. Piso montano principalmente.**Continentalidad:** Intermedia.
Humedad: Suelos encharcados.
Acidez: Suelos débilmente ácidos; pH 4.5 – 7.5.
Nitrógeno: Principalmente suelos ricos; indicadora de riqueza de nutrientes.
Tipo biológico: Geófito.

Tabla 3

Taxonomía de Phragmites australis (carrizo común)

CATEGORÍA	TAXÓN
Reino	***Plantae***
División	***Tracheophyta***
Clase	***Equisetopsida***
Orden	***Poales***
Familia	***Poaceae***
Género	***Phragmites***
Especie	***Phragmites australis***

Fuente: Cirujano & Morales, 1997.

Usos populares, tradición y aprovechamiento del carrizo:

El carrizo se ha utilizado para diversos fines por lo que, además de que representa una fuentede ingresos, es factor de unión familiar. Se describe cómo se maneja el recurso, incluyendolos acuerdos sociales y su evolución en la región, así como los problemas que se enfrentan.Se concluye que el carrizo representa una alternativa viable ante el modelo actual de desarrollo, poniendo en práctica los principios de desarrollo rural endógeno, en particular elprincipio de multifuncionalidad.

El carrizo tiene múltiples usos que van desde ornamentales hasta alimenticios y ceremoniales (Brown, 1979). Está presente en muchas culturas de los cinco continentes; por ejemplo, algunas tribus de África lo usan para cortar cordones umbilicales y elaborar pipaspara fumar.

Rumania y Polonia se cosecha en grandes cantidades para utilizarlo como materia prima enlas industrias papelera y química, en otras partes se usa como alimento, del que consumen sus brotes tiernos, así como el rizoma tostado y molido; en ciertos países de Europa y en Estados Unidos se utiliza para tratamiento de aguas residuales por su elevada capacidad de retención y reciclado de nutrientes (Skernan & Riveros, 1992).

En México, por su parte, se utiliza para el mallado en la construcción de casas de adobe; algunos agricultores lo usan para construir barreras rompevientos en sus parcelas y al mismo tiempo disminuir la erosión del suelo; en cuanto a las prácticas medicinales, en algunas áreasde México lo utilizan contra la diabetes, enfermedades gastrointestinales, dolor estomacal ygases. En la construcción se coloca como tejado en chozas, viviendas y altares. Algunos artesanos elaboran flautas, armónicas y provisiones para instrumentos musicales. En muchas zonas rurales se fabrican lanzas o dagas para cazar y se confeccionan figuras o se arman arcos y formas con fines meramente ornamentales (Mejía & Dávila, 1992).

1.2.2.2. Lemna minor (Lenteja de agua)

Es una planta con distribución universal. Se ha encontrado en varias regiones de los hemisferios Norte y Sur, incluyendo América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Seencuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados (Armstrong 2003 citado por Arroyave, 2004). La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, que varía entre 5°C y 30°C, con un crecimiento óptimo entre los l5°C y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. Con frecuencia el hierro es un elemento limitante para su adecuado desarrollo. Pueden además tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5. (Rook, 2002 citado por Arroyave, 2004).

Su tamaño es muy reducido, alcanzando de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Es unade las especies de angiospermas más pequeñas que existen en el reino de las plantas. En la misma familia de la lenteja de agua se encuentra, reportada como la planta con flores de tamaño más reducido que existe en la Tierra; su cuerpo mide sólo 0,6 mm de largo y 0,2 mm de ancho, y su fruto, que es el más pequeño del planeta, mide sólo 0,3 mm de largo y pesa 70 mg. (Arroyave, 2004).

La lenteja de agua es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas estánconstituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado porun solo carpelo. El periantio está ausente. Las flores nacen de una hendidura ubicada en elborde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, muy común en las especies del orden arales. El fruto contiene de 1 a 4 semillas. La forma más común de reproducción es laasexual por gemación. En los bordes basales se desarrolla una yema pequeña que origina una planta nueva que se separa de la planta progenitora. Sin embargo, es común encontrar las plantas agregadas formando grupos de 2 a 4 individuos. (Arroyave, 2004).

Tabla 4

Taxonomía de la especie lenteja de agua (Lemna Minor).

Categoría	Taxón
Reino	*Plantae*
División	*Fanerógama Magnoliophyta*
Clase	*Liliopsida*
Orden	*Alismatales*
Familia	*Araceae*
Género	*Lemna*
Especie	*L. Minuta*

Fuente: Vargas et al., 2012, p. 171.

Los vegetales que conforman esta familia botánica son plantas acuáticas libres, que viven flotantes, sin anclarse en los lechos fangosos, turbosos o arenosos de lagos y otras zonas húmedas, estancadas o fluviales de curso muy lento. Están conformadas por una diminuta lámina verdosa o verde amarillenta, cuya parte inferior, en contacto con el agua lleva una ovarias raicillas diminutas, filiformes, simplificadas en auténticos rizoides que llevan una cubierta protectora en su extremo. Son vegetales perennes, transformados en organismos muy reducidos cuyas primitivas raicillas, bastante cortas, se internan en el agua que sobrenada la parte verde, obteniendo las sustancias minerales y orgánicas requeridas para susustento. La falsa hoja aparente de las Lemnáceas es en realidad una especie de mezcla transformada, de tallo reducido a su mínima expresión, o inexistente, que tiene forma ovalada lenticular y bastante aplanada. Crece muy rápido, por lo que se puede convertir en una plaga. Resulta muy útil como forraje para los peces Carassius, son un

complemento importante para la nutrición de estos, complementa el alimento seco evitando la constipación. Son muy útiles para tamizar la luz en los tanques tropicales que requieren estasuave iluminación. Son de superficies tranquilas, con poco movimiento y nunca concorrientes (Vargas et al., 2012, p. 172).

Figura 4. *Lemna minor* (Lenteja de agua)Fuente: Vargas et al., 2012, p. 172.

Luz

Iluminación intensa. Necesitan luz abundante durante doce o catorce horas diarias, como mínimo (Vargas et al., 2012, p. 172).

Temperatura

De 15 a 25ºC. Habituadas a sobrevivir soportando cambios climáticos propios de áreas continentales (Njambuya et al. 2011).

Ph

Pueden crecer en una amplia gama de pH que va desde 3,5 a 10,5 (Cayuela et al. 2007)

Tamaño

Aproximadamente 1cm. Cada hoja tiene una anchura de entre 2 u 3 milímetros. (Vargas et al., 2012, p. 172).

Condiciones del agua.

Carece de preferencias en cuanto a pH y dureza de las aguas, soportando niveles muy

altosla ausencia de filtros muy violentos que provoquen un movimiento fuerte del agua, pero puede conseguirse en recipientes sin ningún tipo de aireador, ni filtro con agua detenida a condición de que reciban suficiente luz natural o de rampa luminosa completa. (Vargas et al., 2012, p. 173).

Reproducción

Según Vargas et al. (2012), aunque pueden poseer órganos florales muy simples y de tamañoreducidísimo, la forma habitual de perpetuación de la especie es la reproducción vegetativapor gemación que, en síntesis, puede explicarse muy burdamente como la formación de brotes diminutos semejantes a la planta madre que se separan, originando reproducciones perfectas del vegetal primitivo, llegando a formar espesas alfombras verdes.

- ✓ Propagación: por división. De cada pequeña planta, nacen hojas nuevas, que tras desarrollar raíces se separan.
- ✓ Es recomendable mantener un cultivo en un recipiente aparte, de donde se van trasplantando de acuerdo a las necesidades.
- ✓ En los estanques al aire libre suelen desarrollarse con suma rapidez, cerrando la superficie libre por lo que deben ser periódicamente eliminadas, recogiéndolas en superficie con una red o llenando la alberca hasta hacer rebasar la capa superficial con la que caerán las lentejas de agua (p. 173)

Gran absorción de nutrientes

La absorción de nitratos y carbonatos por parte de la *Lemna* es excelente con una buena luz.Primero por el gran número de ellas que pueden llegar a coexistir, y segundo por su gran eficiencia y velocidad de crecimiento y reproducción. Esta absorción de nitratos y carbonatos es muy útil, ya que te permitirá prolongar los cambios de agua y mejorar la calidad de la misma. Esta absorción de nutrientes, no sólo se queda ahí. La *Lemna minor* (yesto está demostrado en estudios recientes) tiene una gran capacidad de absorción de metalesy plaguicidas (Vargas et al., 2012, p. 173).

Beneficios de consumir lemna minor

Estas son las grandes ventajas de esta planta:

Aumenta la masa muscular. El 45% de la lenteja de agua en seco equivale al porcentaje de proteínas de los huevos (13 g por cada 100 g). Esto favorece el aumento de la masa

muscular, mejora la elasticidad de la piel y ayuda a combatir la flacidez.

Previene la anemia. Contiene altas dosis de hierro, cuyo déficit puede provocar anemia, untrastorno que afecta a más del 30% de la población mundial. Su consumo habitual podría ayudar a prevenir la carencia de ese mineral y evitar la anemia ferropénica.

Mantiene un peso saludable. El bajo contenido calórico (4 calorías por gramo) y su efectosaciante (rica en fibra).

Evita la obesidad abdominal. Es útil para quienes tienen grasa acumulada en la zona del abdomen, ya que su consumo habitual ayuda a reducir los niveles de glucosa.

Regula la tiroides. es rico en yodo, un mineral que ayuda a regular la glándula tiroidea y contribuye a su buen funcionamiento.

Qué usos y aplicaciones tiene

La lenteja de agua es una planta muy versátil, que aporta muchos beneficios a nuestro organismo y también al medio ambiente. Estos son sus principales usos:

En la cocina. Puede usarse como complemento alimenticio, para aderezar ensaladas, batidos e infusiones. También sirve para cocinar pasta y elaborar pan, hamburguesas y pasteles.

Alimento para animales. Produce biomasa con un elevado valor proteínico. Esta puede serun complemento ideal en la alimentación de mascotas, así como de cerdos, aves y ganado.

Tratamiento de aguas residuales. Las plantas acuáticas son eficaces en el tratamiento deaguas residuales (domésticas e industriales), además de una alternativa ecológica y viable. Como ves, la lenteja de agua posee múltiples virtudes y aplicaciones que la convierten enun alimento a tener en cuenta.

1.2.3. Dureza total del agua

Según Romero (2009), se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio

y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad.

La unidad de medida de la dureza que se utiliza más habitualmente son los grados hidrométricos franceses (º H F), y el cálculo de este parámetro responde a la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{mg/l Ca x } 2{,}5 \ + \ \text{mg/L mg x } 4{,}2)}{10}$$

Tabla 5

Índices de dureza del agua

Dureza (ppm $CaCO_3$)	Clasificación
0 – 75 mg/L	Blanda
75 – 150 mg/L	Moderadamente dura
150 – 300 mg/L	Dura
> 300 mg/L	Muy dura

Fuente: Romero, 2009, p. 130.

Causas de dureza

En la práctica, se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes, capacesde reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones. (Romero, 2009, p. 130).

Tabla 6

Principales aniones y cationes que causan la dureza en el agua

Cationes	Aniones
Ca^{+}	HCO_3^{-}
Mg^{++}	$SO_4^{=}$
Sr^{++}	Cl^{-}
Fe^{++}	NO_3^{-}
Mn^{++}	$SiO_3^{=}$

Fuente: Romero, 2009, p. 130.

Nota: En menor grado Al^{+++} y Fe^{+++} son considerados como iones causantes de dureza.

Según Romero (2009), desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactoriaspara el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además depositalodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto, así como en losrecipientes, calderas o calentadores en los cuales se calienta. El valor de la dureza determina,por lo tanto, su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento. Este tipo de ablandamiento por usar y su control dependen de la adecuadadeterminación de la magnitud y clase de dureza.

En la mayor parte de las aguas se considera que la dureza total es aproximadamente igual ala dureza producida por los iones calcio y magnesio, es decir:

Dureza total = dureza por Ca + dureza por Mg

Tipos de dureza

A) Dureza temporal.

La dureza temporal se produce por carbonatos y puede ser eliminada al hervir el agua o porla adición de cal (hidróxido de calcio).

$$CaCO_{3(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} \leftrightarrow Ca(HCO_3)_{2(aq)}$$

El bicarbonato de calcio es menos soluble en agua caliente que en agua fría, así que hervir (que contribuye a la formación de carbonato) se precipitará el carbonato de calcio fuera de la solución, dejando el agua menos dura. Los carbonatos pueden precipitar cuando la concentración de ácido carbónico disminuye, con lo que la dureza temporal también se ve disminuida, y si el ácido carbónico aumenta puede incrementar la solubilidad de fuentes decarbonatos, como piedras calizas, con lo que la dureza temporal aumenta. Todo esto está enrelación con el pH de equilibrio de la calcita y con la alcalinidad de los carbonatos. (Rodríguez, 2009).

B) Dureza permanente.

Esta dureza no puede ser eliminada al hervir el agua, es usualmente causada por la presenciadel sulfato de calcio y magnesio o cloruros en el agua, los cuales son más solubles mientrassube la temperatura. También es llamada “dureza de no carbonato”. Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como

agua blanda la que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio (CaCO3), medianamente duraentre 61 y 120 mg/L, dura entre 121 y 180 mg/L y muy dura aquella con valores superioresa 180 mg/L. El calcio se disuelve prácticamente de todas las rocas y, por lo tanto, se detectaen todas las aguas. (Rodríguez, 2009).

Dureza carbonácea

En aguas naturales, los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad; por tanto, la partede la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como la dureza carbonácea, es decir:

$$\text{Alcalinidad (mg/L)} = \text{dureza carbonácea}$$

(mg/L)Pueden presentarse dos casos:

- ✓ Cuando la alcalinidad es menor que la dureza total; entonces,
- ✓ Dureza carbonácea (mg/L) = Alcalinidad (mg/L)
- ✓ Cuando la alcalinidad es mayor o igual que la dureza total; entonces,
- ✓ Dureza carbonácea (mg/L) = Dureza total (mg/L)

La dureza carbonácea se conoce también como “dureza temporal” o “no permanente” porquedesaparece cuando se hierve el agua, o sea, que puede precipitarse mediante ebullición prolongada. Esto se produce cuando los bicarbonatos sirven como fuente de iones carbonatopara precipitan Ca++ como $CaCO_3$ a temperaturas elevadas, lo cual sucede en calderas. (Romero, 2009, p. 131).

$$Ca^{++} + 2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 \downarrow + CO_2\,t + H_20$$

La precipitación de la dureza carbonácea produce una incrustación o depósito suave que puede removerse fácilmente mediante soplado y agua a presión.

Dureza no carbonácea

Se considera no carbonácea toda dureza que no esté químicamente relacionada con los bicarbonatos. Es decir:

$$\text{Dureza no carbonácea} = \text{Dureza total} - \text{Alcalinidad}$$

La dureza no carbonácea incluye principalmente sulfatos, cloruros y nitratos de calcio

y magnesio. La evaporación de aguas que contienen estos iones produce la cristalización de compuestos como el sulfato de calcio, que forman una incrustación dura y frágil en las paredes y tubos de calderas y calentadores. La incrustación ocasiona una pérdida en la conductividad del calor y da como resultado un mayor consumo de combustible por libra devapor obtenido. Además, la producción súbita de grandes volúmenes de vapor, con las incrustaciones gruesas se rompen y el agua entra en contacto con las superficies de metal recalentado, llegando a ocasionar explosiones. (Romero, 2009, p. 132).

Algunas aguas contienen alcalinidad mayor que la dureza total. En estos casos, al calcular la dureza no carbonácea por la ecuación:

Dureza no carbonácea = Dureza total – Alcalinidad

Se obtiene un valor negativo, el cual no representa dureza, pero es comúnmente conocido como “dureza no carbonácea negativa”. Esto significa que existen más iones bicarbonatos de los necesarios para satisfacer los iones metálicos divalentes causantes de la dureza. El exceso de iones bicarbonato está asociado con otros iones tales como Na+ y K+. (Romero, 2009, p. 132).

Ablandamiento del agua por plantas acuáticas.

Las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente (EPA, 1996). En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas presentes en el suelo y agua al fijarlos en sus raíces y tallos, o metabolizándolos tal como lo hacen los microorganismos para finalmente convertirlos en compuestos menos peligrosos y más estables, como dióxido de carbono, agua y sales minerales. (Peña et al., 2001).

1.3. Definición de términos

básicosAgua

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación. (ANA, 2013).

Agua cruda

Es aquella agua, en estado natural, captada para abastecimiento que no ha sido sometido a procesos de tratamiento. (MINSA, 2011, p. 9).

Agua de consumo humano

Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal. (MINSA, 2011, p. 9).

Ambiente

Es el conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos, de origen natural o antropogénico, que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia. (MINAM, 2017).

Bases de diseño

Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y dotaciones. (MVCS, 2006).

Calidad del agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia quepermita la vida. (Barrenechea, 2004, p. 4).

Dureza del agua

Son aquellas que contienen elevada concentración de minerales, y que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías de aguacaliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua. (Romero, 2009, p. 130).

Eficiencia del tratamiento

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en unproceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje. (MVCS, 2006).

Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

Estándar ambiental que regula el nivel de concentración o el grado de elementos, sustanciaso parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (MINAM, 2017).

Humedal

Es un ecosistema conformado por un sustrato saturado de vegetación, microorganismos y agua, cuyo objetivo es la remoción de contaminantes mediante diversos procesos físicos, químicos y biológicos. (MVCS, 2018, p. 7).

Humedales artificiales

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas,que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos. (Delgadillo et al., 2010).

Macrófita

Planta que es fácilmente visible a simple vista e incluye plantas vasculares o superiores. (Shelef et al., 2013).

Muestreo

Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar. (MVCS, 2006).

Sistema de tratamiento de agua

Conjunto de componentes hidráulicos; de unidades de procesos físicos, químicos y biológicos; y de equipos electromecánicos y métodos de control con la finalidad de produciragua apta para el consumo humano. (MINSA, 2011, p. 11)

CAPÍTULO II
MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los materiales y equipos que se utilizaron durante el proceso de investigación son:

- **Libreta de campo**. Para registrar los datos obtenidos en campo y de la observación.
- **Laptop Lenovo IdeaPad 3**, core i5-1035G1. Para el procesamiento de los datos yelaboración del informe final.
- **Calculadora Científica Casio FX-570LA PLUS-2**. Utilizado para el cálculo en losdiseños respectivos.
- **Tablas:** Para registrar los datos de campo y organizar los resultados obtenidos durantelos ensayos de laboratorio mediante Software Microsoft Excel 2019.
- **Cooler:** Utilizado para preservar las muestras a una temperatura adecuada y trasladaral laboratorio sin causar alteraciones.
- **Envases recolectores de muestras.** Se utilizó frascos herméticos para cada repeticiónde muestreo de agua para consumo humando tomado de los pozos.
- **Guantes quirúrgicos de látex.** Usado para los muestreos de agua en pozos.
- **Gps Garmin ETrex® 10 Gps De Mano Compacto Con Funciones Mejoradas.** Utilizado para localizar los puntos de muestreo en campo.
- **Wincha.** Se utilizó para medir las dimensiones constructivas de los humedales artificiales.
- **Cámara fotográfica.** Utilizado para el registro de evidencias del proceso de investigación.
- ***Lemna minor*** y ***Phragmites australis.*** Plantas utilizadas para el tratamiento delagua de pozo en el humedal artificial.
- **Tierra negra**. Utilizado como base en el humedal artificial.
- **Arena y grava.** Utilizado como medio filtrante en cada humedal respectivamente.
- **Tecnopor**. Para cubrir la capa de tierra.
- **Vidrio**. Utilizado para la construcción del humedal.
- **Tubo PVC 1/2"x 5 m CR.** Se utilizó en la instalación del humedal artificial.
- **Bomba de aire**. Para bombear el agua del pozo con caudal promedio constante a cadahumedal en el agua durante en tiempo de ensayos.

2.2. Métodos

2.2.1. Técnicas del proceso de investigación

De manera general las técnicas que se utilizaron en el proceso de investigación son las siguientes:

- **Observación:** Sirvió para captar directamente al objeto investigado con la finalidad devisualizar la problemática en estudio y percibir la realidad directamente, el fue registrado en la libreta de campo. Hernández et al. (2010) expresan que: "la observaciónconsiste en el registro sistemático, válido y confiable de información relevante". (p. 428).
- **Análisis documental:** Se indagó información escrita, oral y virtual para formular el problema abordado en la investigación y fundamentar el marco teórico de la investigación.
- **Muestreo:** Se realizó según el protocolo de monitoreo de la calidad del agua, el tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional mediante la selección de pozos como puntos a conveniencia del investigador.
- **Aforo de caudal:** Se estimó el caudal promedio de agua de pozo utilizado, tanto para conumo humano como para agricultura, en el distrito de Chocope – Ascope, 2021.
- **Ensayo de laboratorio:** Técnica que permitió medir el parámetro dureza total, antes ydespués del tratamiento con *Phragmites australis* (Carrizo común) *y Lemna minor* (Lenteja de agua) en el humedal artificial, el cual se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo.

2.2.2. Procedimiento de construcción del humedal artificial.

Los humedales artificiales fueron contruidos a base de vidrio con medidas arbitrarias, dadoque no existe una guía de diseño con el parámetro dureza; se construyó con las mismas dimensiones en los 03 humedales artificiales para tener un volumen constante de agua y poner a prueba las plantas acuáticas en estudio.

Diseño del Humedal Artificial 01 (H_1)

- Las medidas fueron las siguientes: ancho 38 cm, 70 cm de largo y 45 cm de alto, el cualtiene una capacidad para tratar 100 litros de agua de pozo.
- Se eligió las mejores plantas de ***Phragmites australis*** siendo un total de 18 plantas

parael primer humedal artificial.

- En el humedal artificial vacío se colocó como base 2cm de tierra.
- Se procede a cubrir la capa de tierra con tecnopor (teniendo estos las mismas cantidadesde orificios como plantas a trasplantar).
- Posteriormente se cubrió el tecnopor con arena y grava pequeña con 3cm de espesor, teniendo cuidado con los orificios ya hechos.
- Se trasplantó los ***Phragmites australis*** en los orificios del Tecnopor.
- Con una bomba se ingresó agua de pozo al humedal artificial con un caudal promedio constante de 2 l/min = 2,88m^3/día.

Diseño del Humedal Artificial 02 (H_2)

- Las medidas fueron las siguientes: ancho 38 cm, 70 cm de largo y 45 cm de alto, el cualtiene una capacidad para tratar 100 litros de agua de pozo.
- Se eligió las mejores plantas de ***Lemna minor*** y trasvasarlas en baldes con agua de 5cm de profundidad, por un día.
- En el primer paso se agregó 30L de agua en el humedal artificial y posteriormente secolocó las plantas.
- Con una bomba se ingresó agua de pozo al humedal artificial con un caudal promedio constante de 2 l/min = 2,88m^3/día.

Diseño del Humedal Artificial 03 (H_3)

- Las medidas fueron las siguientes: ancho 38 cm, 70 cm de largo y 45 cm de alto, el cualtiene una capacidad para tratar 100 litros de agua de pozo.
- Con una bomba se ingresó agua de pozo al humedal artificial con un caudal promedio constante de 2 l/min = 2,88m^3/día, sin ninguna planta ni material filtrante.

2.2.3. Etapa de ejecución

A) Ubicación Geográfica

El Distrito de Chocope se encuentra ubicado en, 7°47’31” de latitud sur, a 79°13’22” de longitud oeste y a 106 metros de altitud. Se encuentra a una distancia de 49.2 kilómetros deTrujillo.

Según Datum WGS84, proyección UTM Zona 17S en las coordenadas E 695990 N 9138293

Limites:

Por el Norte: Distrito de Paiján y

AscopePor el Sur: Chicama

Por el Este: Ascope y Casa

GrandePor el Oeste:

Magdalena de Cao

Figura 5. Mapa de ubicación del distrito de Chocope

El pozo está ubicado en el E 696496 N 9138635. Pozo tipo tubular de 6” de diámetro conuna profundidad de 26 m

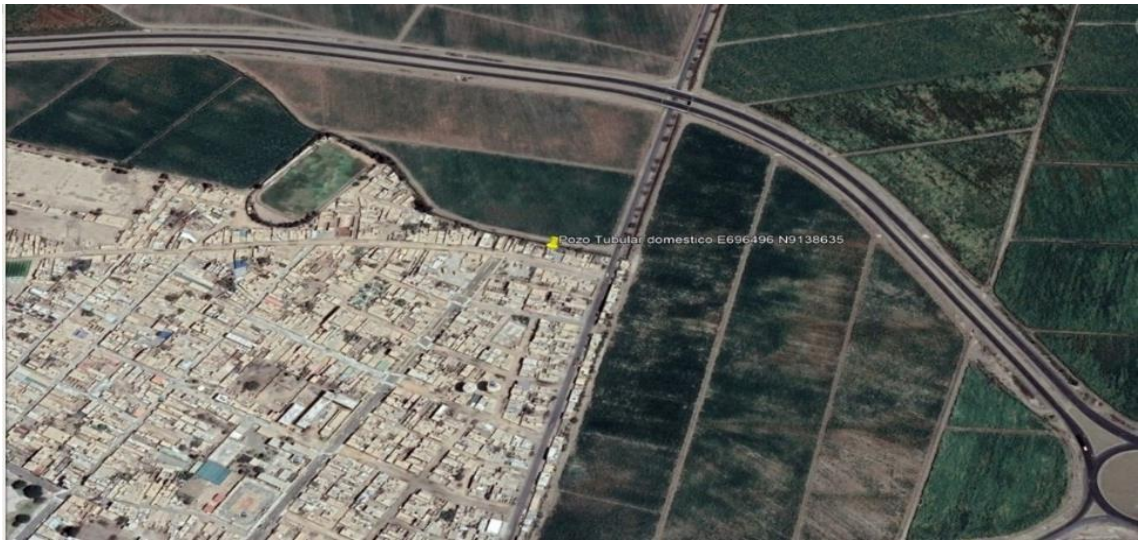


Figura 6. Mapa de ubicación del pozo de Chocope

B) Protocolos de monitoreo de calidad del agua.

Muestreo de agua para el consumo humano

El tipo de muestra que se realizó es una muestra puntual simple. En esta etapa se llevó a cabo en primera instancia la ubicación del lugar donde se emplearía la técnica a trabajar, setomó las muestras necesarias para poder ser analizada, teniendo como objetivo tener el alcance de cuanta concentración de dureza está presente en el agua del distrito de Chocope.(Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales)

Número de muestra.

Se tomó la cantidad de 1000 ml de muestra de aguas para consumo humano, cantidad requerida por el laboratorio de la Universidad nacional de Trujillo para analizar el parámetro.(protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Toma de la muestra

Se introdujo el recipiente bien tapado dentro del humedal con las aguas del pozo, se procedióa destapar dentro del mismo y se llenó completamente de tal forma que no exista aire sobrela muestra, esto limitará la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte,así se evita modificaciones en la muestra, antes de extraer el recipiente del agua del humedalse procedió a sellar. (protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Etiquetado de la muestra.

El etiquetado se realizó inmediatamente después de haber llenado el recipiente. Los datos que se incluyeron son: número de muestra, nombre de quien realizó la recolección, fecha yhora de recolección.

Transporte de las muestras.

La muestra se trasladó en una cooler hasta ser entregada al laboratorio de la Univerdidad Nacional de Trujillo. El tiempo que tardó la muestra en llegar al laboratorio desde el momento de recolección fue de una hora.

C) Proceso de experimentación

Luego de obtener los resultados del análisis se tiene que en las aguas del pozo del distrito deChocope hay una concentración de 541,9 mg/L de dureza, sobrepasando el reglamento de calidad de agua para consumo humano (DS N° 031-2010-SA). Se construyó los humedalesartificales, colocando en cada una de ellas la muestra de agua tomada del pozo de agua del distrito de Chocope, se realizó la identificación de las macrófitas que se necesitaron, para poner en ejecución lo planteado. Se colocó en un lugar ambientado teniendo en cuenta las características que necesitan cada uno de estas plantas siendo el carrizo común y la Lentejade agua para que puedan cumplir con lo planteado.

Durante el transcurso de la investigación se tuvo como finalidad monitorear el pH, para determinar si se encuentra en un medio saludable para el tratamiento de las macrófitas. Se midió la temperatura, y se observó si hay aumento de ambas macrófitas, y cada 20 días, se tomó una muestra de cada una de los humedales artificiales para analizar la concentración de la dureza total, con lo cual se logró disminuir durante los días transcurridos.

D) Control de Especie:

Durante la investigación se realizó el monitoreo de las macrófitas con ayuda de la ficha de monitoreo, se pudo evidenciar el comportamiento de estas al ser colocadas en las aguas condureza.

Tabla 7

*Ficha de monitoreo de macrofitas de **Lemna minor** y **Phragmites australis***

FECHA	HORA	N° DE MACROFITAS	COLOR DE HOJAS	OBSERVACIONES
15/02/2021	9:30 am	----------	----------	Agua de pozo
15/03/2021	8:10 am	H_1: 18 plantas H_2: 50 g	Verdes	H_1: Plantas verdes H_2: Plantas verdes
05/04/2021	7:00 am	H_1: 18 plantas H_2: 50 g	Verdes	H_1: Plantas en buen estado H_2: Incremento de plantas
23/04/2021	8:30 am	H_1: 18 plantas H_2: 50 g	Verdes y algunas hojas de color marrón	H_1: Plantas con algunas hojas de color marrón H_2: Algunas plantas oscuras
14/05/2021	8:10 am	H_1: 18 plantas H_2: 50 g	Verdes y algunas hojas de color marrón	H_1: Plantas en buen estado H_2: Poco desarrollo de plantas
03/06/2021	9:00 am	H_1: 18 plantas H_2: 50 g	Verdes y algunas hojas de color marrón	H_1: hojas de color amarillo H_2: Lentejas de color marrón

E) Monitoreo Final:

De cada diseño de humedal, se realizó 5 tomas de muestras durante la investigación para que sean analizadas e ir monitoreando la concentración de dureza total presente en las aguastratadas, de acuerdo a los resultados ir evaluando la eficiencia de las macrófitas en función al tiempo.

Para el análisis de eficiencia y remoción: Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{Eficiencia\ de\ Remoción}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{c_a - c_e}}{\boldsymbol{c_a}} * \mathbf{100}$$

Donde: Ca = Concentraciones en el afluente, Ce = Concentraciones en el efluente

Las concentraciones de los parámetros evaluados en cada humedal artificial obtenidas durante los meses de experimentación fueron comparadas con los límites máximos permisibles del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031- 2010-SA).

Finalmente, se aplicó la estadística inferencial para la comprobación de la hipótesis (H_0 vs. H_1), mediante el software estadístico Minitab con la prueba estadística t (student) pareada mediante la prueba bilateral de dos colas entre el antes y después del experimento, con α= 5% = 0,05.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Diseño de humedal artificial a escala de laboratorio.

Para evaluar la eficiencia de las plantas se diseñó humedales artificiales tipo peceras y contruidos a base de vidrio con iguales dimensiones, dado que no existe especificamente una guía de diseño para el parámetro dureza; cuyas medidas constructivas para los 03 humedales artificiales son 38 cm de ancho, 70 cm de largo y 45 cm de alto, el cual tiene una capacidad para tratar 100 litros de agua de pozo con las plantas acuáticas en estudio de *Phragmites australis* (Carrizo común) *y Lemna minor* (Lenteja de agua).

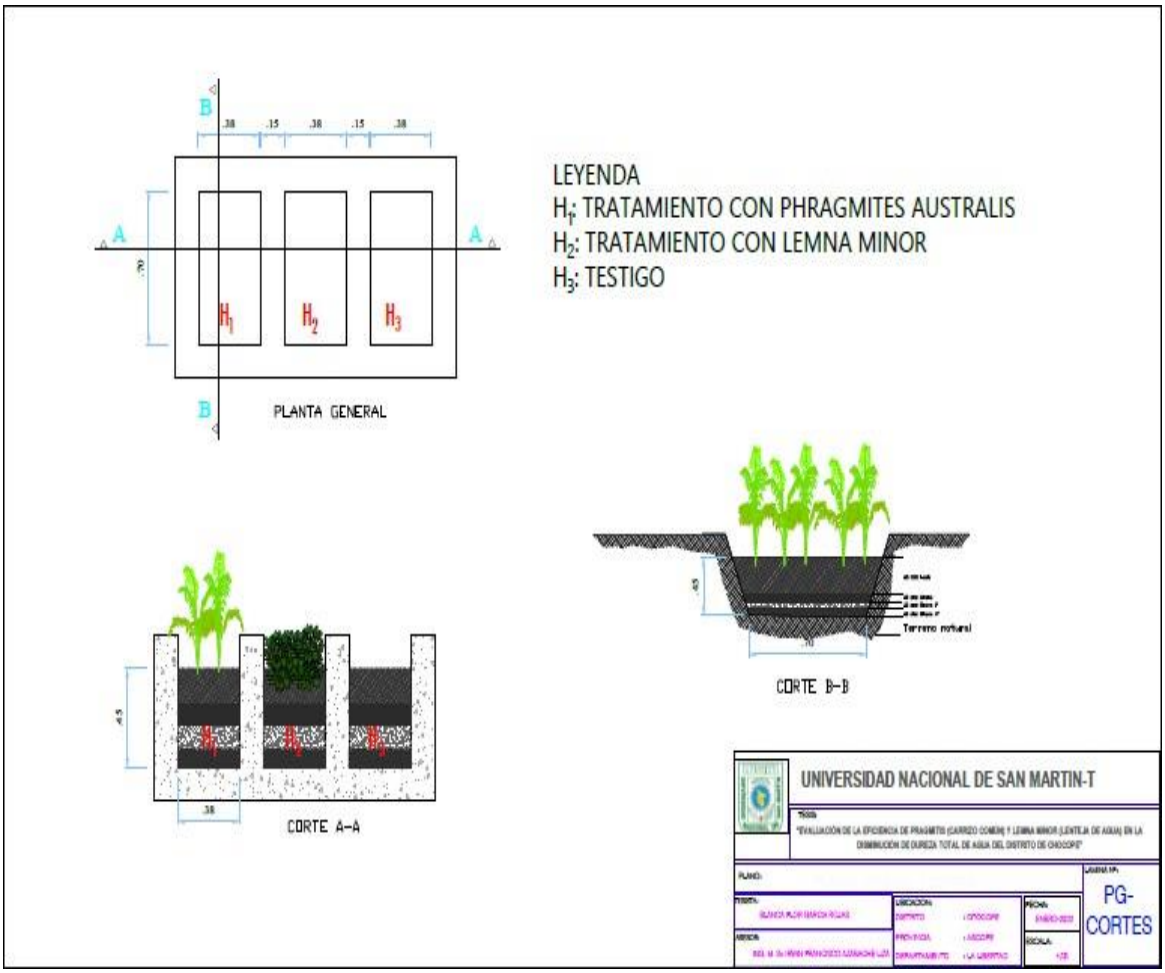


Figura 7. Diseño general del sistema de tratamiento

3.1.2. Análisis de la dureza total del agua, antes y después del tratamiento

El primer análisis de calidad de agua se realizó mediante la toma de muestras de las aguas de pozo sin tratamiento y post-tratamiento (cada humedal artificial con una capacidad de 100 litros), dichas muestras fueron enviadas y analizadas en el laboratorio de la UniversidadNacional de Trujillo, sobre los cuales se evidencia los siguientes resultados.

Tabla 8

Análisis inicial de dureza total del agua de pozo sin tratamiento (Antes)

Fecha de ingreso	Parámetros	Unidades	Resultados
15/02/2021	Dureza Total	mg $CaCO_3$/L	541,9

Fuente: Laboratorio la Universidad Nacional de Trujillo, 2021.

Nota: En el ensayo inicial de laboratorio realizado con agua de pozo sin tratamiento se tiene una concentración que supera el límite máximo permisible de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA) y representa un agua no apta para el consumo humano.

Tabla 9

Concentración de dureza total en los tres humedales artificiales (Después)

Tiempo (Días)	Fecha de ingreso	***Phragmites australis* (H_1)** (mg $CaCO_3$/L)	***Lemna minor* (H_2)** (mg $CaCO_3$/L)	***Testigo* (H_3)** (mg $CaCO_3$/L)
20	15/03/2021	473,7	472,8	540,8
40	05/04/2021	473,1	463,6	540,4
60	23/04/2021	471,6	441,0	539,5
80	14/05/2021	467,4	434,1	539,1
100	03/06/2021	432,5	392,2	537,6

Fuente: Laboratorio la Universidad Nacional Trujillo, 2021.

Nota: H_1: Humedal artificial 01; H_2: Humedal artificial 02; H_3: Humedal artificial 03.

Los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados al agua tratada con *Phragmites australis* y*Lemna minor* en los diferentes periodos de tiempo, muestran valores inferiores a 500 mg $CaCO_3$/L que es el límite máximo permisible de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de la

Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA), lo cual indica que el tratamiento con ambas especies es adecuado, con resultados más favorables al tratamiento con *Lemna minor*, mientras que en el humedal H_3 establecido como testigo no presenta una disminución significativa del parámetro dureza, mantiene su concetración inicial y cuyo parámetro se ubica por encima del límite máximo permisible.

3.1.3. Eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja deagua)

Para determinar las eficiencias en los humedales artificiales con ambas plantas acuáticas se cosideró las concetraciones iniciales y finales en cada periodo de tiempo establecido, lo cual se presentan en valores porcentuales.

3.1.3.1. Eficiencia de Phragmites australis (Carrizo común) – H_1

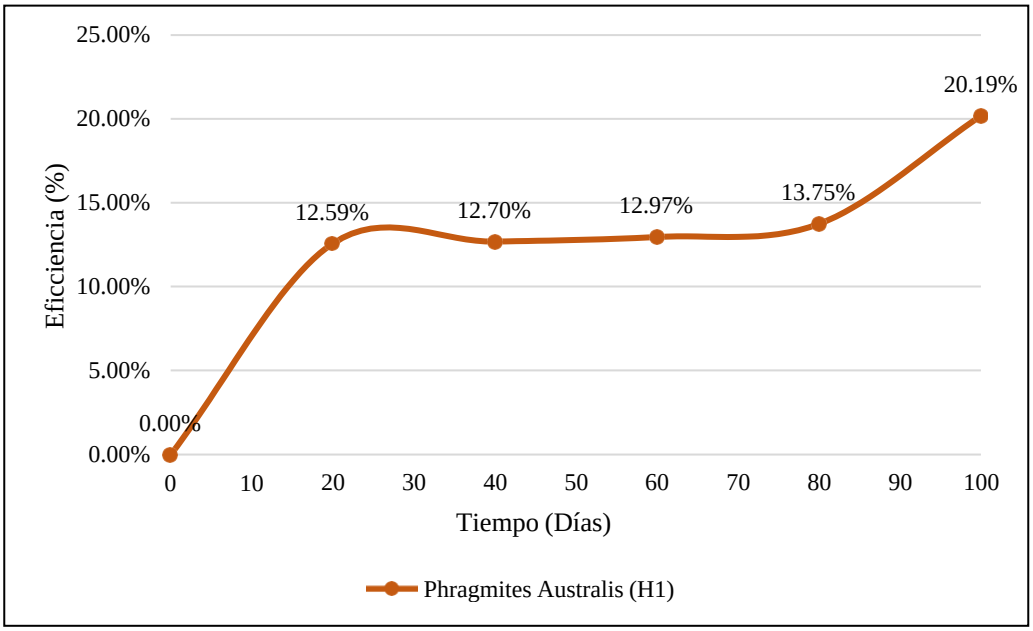


Figura 8. Eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común)

Nota: En la presente figura, se evidencia que la mayor eficiencia de remoción se encuentra en los primeros 20 dias de adaptación y estabilización de la planta acuática *Phragmites australis* (Carrizo común) con un 12.59% la cual ya está cumpliendo con los LMP. los resultados de las pruebas realizadas mediante análisis de laboratorio presentan una evolución con el tiempo estudiado, a los 20, 40, 60, 80 y 100 días), pero que ya no es significativa en relación al primer dato obtenido.

3.1.3.2. *Eficiencia de Lemna minor (Lenteja de agua) – H_2*

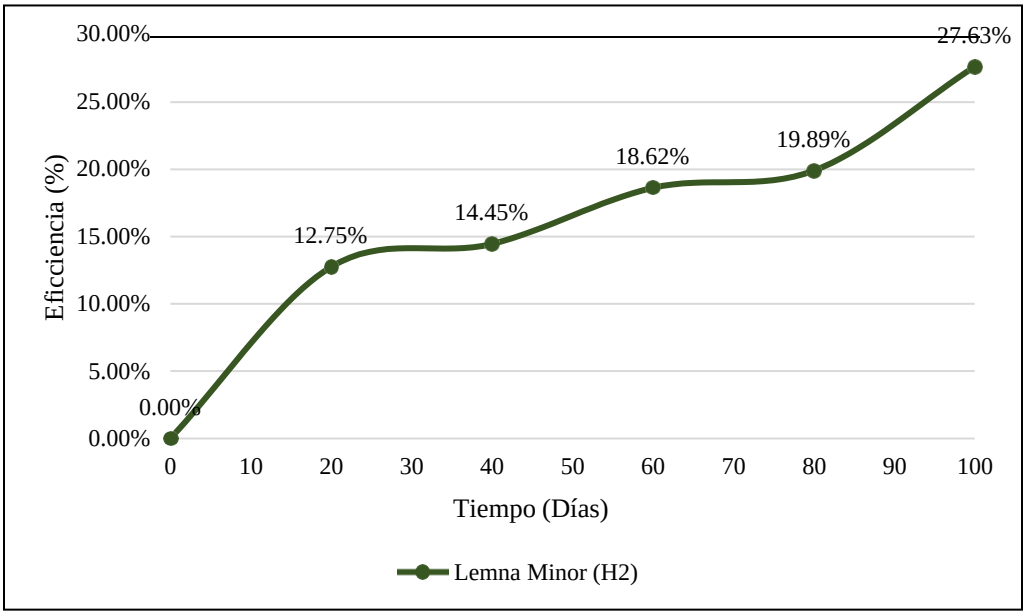


Figura 9. Eficiencia de *Lemna minor* (Lenteja de agua)

Nota: En la presente figura, se evidencia que la mayor eficiencia de remoción se encuentra en los primeros 20 dias de adaptación y estabilización de la planta acuática Lemna Minor (Lenteja de agua) de 12.75% la cual ya está cumpliendo con los LMP. los resultados de las pruebas realizadas mediante análisis de laboratorio presentan una evolución con el tiempo estudiado, a los 20, 40, 60, 80 y 100 días, pero que ya no es significativa en relación al primer dato obtenido.

3.1.3.3. *Análisis de eficiencias del Phragmites australis (Carrizo común) y Lemna minor(Lenteja de agua)*

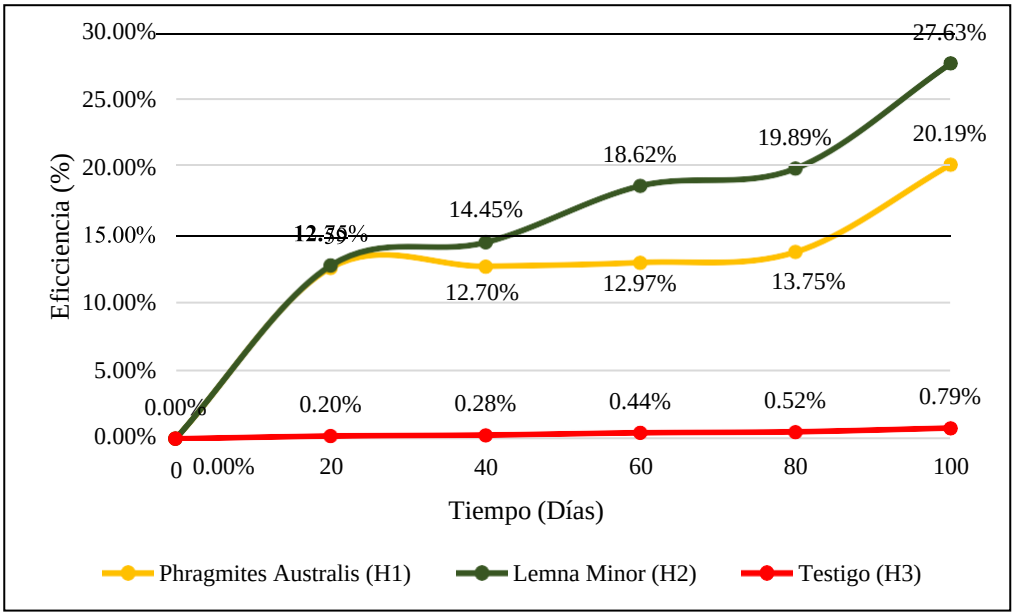


Figura 10. Eficiencias de *Phragmites Australis* y *Lemna Minor*

Nota: En la presente figura, se evidencia que la mayor eficiencia de remoción se encuentra en los primeros 20 dias de adaptación y estabilización de la planta acuática tanto para *Phragmites australis* (Carrizo común) como para *Lemna minor* (Lenteja de agua), en el tratamiento de las aguas de pozo del distrito de Chocope – Ascope. Las eficiencias obtenidas a los 20, 40, 60, 80 y 100 días de operación del humedal artificial, son positivas pero no tan significativas y con respecto al humedal (H_3) como testigo no se lograron eficiencias considerables, dado que no estuvo sometido a ningun tratamiento. Comparando los tratamiento tenemos que la *Lemna minor* (Lenteja de agua) tiene mayor capacidad de remover el contaminante dureza total del agua, hasta lograr los niveles de concetración permitidos para consumo humano.

3.1.3.4. Comparación de concentraciones finales de los humedales artificiales con losLMP

Los resultados obtenidos de los tres humedales artificiales después de cada periodo de tiempo para el parámetros dureza total fueron compararon con los límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA), para determinar si cumplen con la norma.

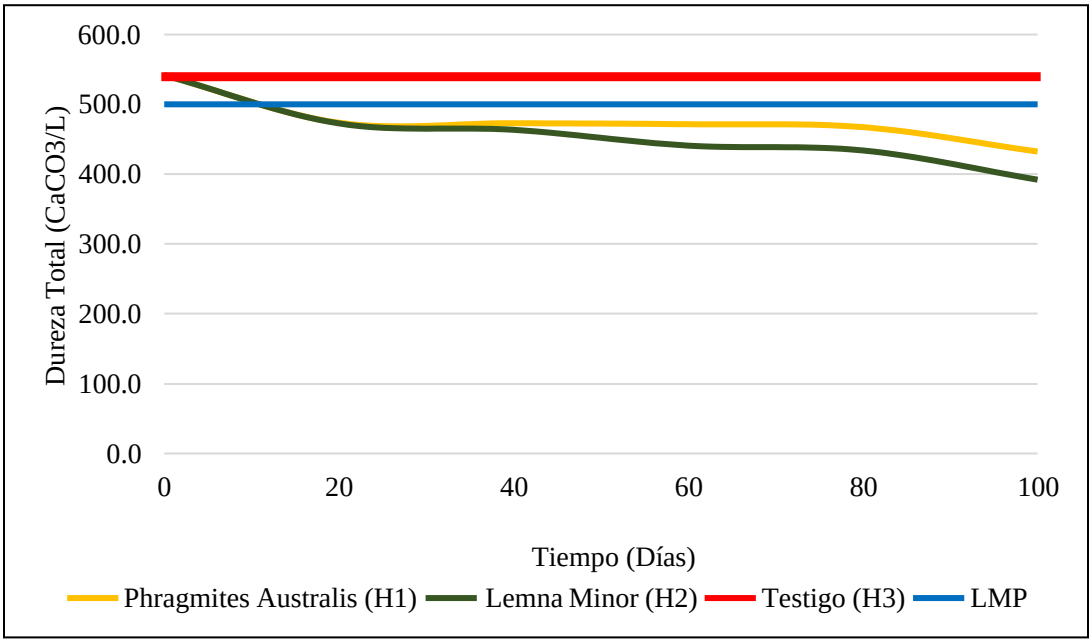


Figura 11. *Comparación de concentraciones finales con los LMP*

Nota: Tanto en el humedal artificial 01 (H_1) y humedal artificial 02 (H_2) en los primeros 20 dias los valores del analisis de laboratorio ya se ubican por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) cuyo valor es 500 mg $CaCO_3$/L de acuerdo al Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA), mientras que en el humedal artificial 03 (H_3) establecido como testigo los resultados superan dicho límite, dado que no se realizó ningún

tipo de tratamiento. Comparando los tratamientos tenemos que la *Lemna minor* (Lenteja de agua) tiene mayor eficiencia para remover el parámetro dureza total.

3.2. Comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se utilizó la estadística inferencial mediante la pruebat- student pareada para muestras que no son independientes porque a la misma unidad de análisis se le midió en dos momentos, antes y después del tratamiento, se aplicó mediante laprueba bilateral de dos colas para α= 5% = 0,05 con Minitab.

A) Hipótesis estadística Hipótesis nula (Ho): $H_0: \bar{\mu}d = 0$

El uso de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) no es eficiente en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021.

Hipótesis alterna (H_1): $H_1: \bar{\mu}d > 0$

El uso de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) es eficiente en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021.

B) Obtención de la "t" calculada (tc): (Ver anexo C)

Para un nivel de significancia de α = 5% = 0,05 y un nivel de confianza: 1- α = 95%= 0,95 tenemos los cálculos con Minitab lo siguiente:

- ✓ *Análisis estadístico de la eficiencia de remoción de dureza total con PhragmitesAustralis* (Carrizo común).

IC y Prueba T pareada: Dureza Total (i); Dureza Total (f)

T pareada para Dureza Total (i) - Dureza Total (f)

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Dureza Total (i)	5	539.48	1.25	0.56
Dureza Total (f)	5	463.66	17.59	7.87
Diferencia	5	75.82	16.47	7.37

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0): Valor **T = 10,29** Valor **p = 0,001**

- ✓ *Análisis estadístico de la eficiencia de remoción de dureza total con Lemna Minor* (Lenteja de agua)

IC y Prueba T pareada: Dureza Total (i); Dureza Total (f)

T pareada para Dureza Total (i) - Dureza Total (f)

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Dureza Total (i)	5	539.5	1.3	0.6
Dureza Total (f)	5	440.7	31.4	14.1
Diferencia	5	98.7	30.2	13.5

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0): Valor **T = 7,32** Valor **p = 0,002**

Obtención de la "t" de la tabla (t_t):

La **"t"** de la tabla para 4 grados de libertad con 5% nivel de error y 95% del nivel de confianza lo cual gráficamente considera dos colas, se tiene:

$t_t = t(0.05; 4)$

$t_t = \pm 2.776$

C) Regla de decisión:

- ✓ Si $t_c < t_t$, entonces se acepta la H_0 y se rechaza la H_1
- ✓ Si $t_c > t_t$, entonces se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

También:

- ✓ Si la sig p > α, entonces se acepta la H_0 y se rechaza la H_1
- ✓ Si la sig p < α, entonces se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

D) Decisión:

De acuerdo a los resultados del procesamiento se tiene que $t_c > t_t$ (10.29 > 2.776), además elp valor (Sig) = 0.001 < 0.05 para la dureza total con *Phragmites australis* (Carrizo común)y $t_c > t_t$ (7.32 > 2.776), además el p valor (Sig) = 0.002 < 0.05 para la dureza total con *Lemnaminor* (Lenteja de agua), por lo cual se tiene en los dos tratamientos que cumplen las condiciones para rechazar la H_0 y se aceptar la H_1.

Además, en términos porcentuales se tiene:

- **Una remoción de la dureza total con *Phragmites australis* (Carrizo común)**

  En efecto, los ensayos finales alcanzaron eficiencias positivas en la remoción de la dureza total en las cinco pruebas de 12,59%; 12,70%; 12,97% ; 13,75% y 20,19% para *Phragmitesaustralis* (Carrizo común), demostrando así un tratamiento eficiente, el cual cumple con losLMP de la normatividad Peruana vigente (DS N° 031-2010-SA).

- **Una remoción de la dureza total con *Lemna minor* (Lenteja de agua)**

  Así mismo, los ensayos finales alcanzaron eficiencias positivas en la remoción de la durezatotal en las cinco pruebas de 112,75%; 14,45%; 18,62%; 19,89% y 27,63% para *Lemna minor* (Lenteja de agua), demostrando así un tratamiento eficiente, el cual cumple con los LMP de la normatividad Peruana vigente (DS N° 031-2010-SA)

E) Conclusión de comprobación de hipótesis:

En consecuencia, con base estadística afirmo en mi opinión de autor que, si existe una diferencia significativa en la concentración de los parámetros iniciales y finales de la durezatotal en las aguas de pozo del distrito de Chocope – Ascope.

Por lo tanto, este resultado permite declarar verdadera la hipótesis de investigación: "El usode *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) es eficiente en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021".

3.3. Discusiones

A diferencia de **Barreno et al. (2020)** en su trabajo de investigación titulado "Lechuguín (Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms) y lenteja de agua (Lemna Spp.), en la reducción de la dureza del agua de riego", (Ambato – Ecuador),quien determinó la influencia de lechuguíny lenteja de agua con relación al testigo utilizado como metodologías en la reducción de la dureza del agua de riego, obtuvo que la mejor es el lechuguín por su capacidad de absorciónde la dureza en función de los carbonatos del agua, quien ha logrado reducir de 218 a 154 mg CaCO3/l, en la presente investigación se determinó que la *Lemna minor* (Lenteja de agua) tiene mayor eficiencia para remover el parámetro dureza total de 541.9 mg CaCO3/l a 392,2 mg CaCO3/l.

En los resultado obtenidos queda validado y demostramos la efectividad de la *Lemna minor* mediante humedales artificiales, la siguiente investigación presentan una ligera ventaja sobre los resultados obtenidos por **Saavedra (2017)**, quien determinó el porcentaje de remoción para los parámetros de dureza y cantidad de cloruros siendo los porcentajes más altos en dureza el 9,8% y 17,6% de cloruros presentes en las aguas de pozos de Huanchaquito – Alto, Trujillo – La Libertad, dado que los resultados obtenidos a los 20, 40, 60, 80 y 100 días alcanzaron eficiencias positivas con un nivel de 12,59%; 12,70%; 12,97% ; 13,75% y 20,19% para *Phragmites australis* (Carrizo común); así mismo un 12,75%; 14,45%; 18,62%; 19,89% y 27,63% para *Lemna minor* (Lenteja de agua), representando así eficiencias considerables en el tratamiento de las aguas de pozo del distrito de Chocope – Ascope.

En la presente investigación se logró disminuir el parámetro evaluado para cumplir con los LMP establecidos en las normas; tenemos que la *Lemna minor* (Lenteja de agua) tiene mayor capacidad de remover la dureza total, estos resultados complementan lo afirmado por **Calderón (2015)**, en su trabajo de investigación titulado "Determinación de la influencia de lechuguín (eichhornia crassipes (mart.) solms) y lenteja de agua (lemna spp.) quien determinó la influencia de lechuguín y lenteja de agua con relación al testigo, utilizado como metodologías en la reducción de la dureza del agua de riego, aunque estableció una mayor influencia del lechuguín por su capacidad de absorción de la parte radicular

Al comparar los resultados con los límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA) de acuerdo **(MINSA, 2011)**, tenemos que, tanto con *Phragmites australis* y con *Lemna minor* los resultados obtenidos a los 20 dias están por debajo del LMP, cumpliendo así con las condiciones para consumo humano, a pesar de representar un agua dura. Sin embargo, en el humedal artificial 03 establecido como testigo los resultados superan dicho límite de 500 mg $CaCO_3$/L, dado que no se realizó ningún tipo de tratamiento.

CONCLUSIONES

El diseño experimental mediante humedales artificiales consistio en tres humedales con las siguientes medidas ancho 38 cm, 70 cm de largo y 45 cm de alto con una capacidad para tratar 100 litros de agua de pozo y así tener un caudal promedio constante de 2 l/min = 2,88m^3/día. Para el humedal 1 donde se empleó como sustrato tierra (2cm), tecnopor, arena,grava (3cm), y 18 plantas de *Phragmites australis* (Carrizo común), el humedal 2 que tuvieron las mismas medidas solo se colocó las plantas de *Lemna minor* (Lenteja de agua), y el humedal 3 como testigo.

El nivel inicial de concentración de la dureza total en el ensayo de laboratorio muestra un índice de dureza del agua muy dura, el cual supera el LMP establecido en el DS N° 031-2010-SA, así mismo, los resultados obtenidos en los diferentes peridos de monitoreo alcanzaron valores también con un índice de dureza del agua muy dura, pero se ubican por debajo de los LMP tanto con *Phragmites australis* y con *Lemna minor*, es decir un agua aptapara el consumo humano.

De manera general, los resultados obtenidos en la disminución de dureza total del agua conplantas acuticas *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) alcanzaron eficiencias positivas con un nivel más alto en porcentaje los primeros 20 días de12.59% para Phragmites australis (Carrizo común) y 12.75% para *Lemna minor* (Lenteja deagua), representando así eficiencias significativa ya que se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031- 2010-SA), en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021; comparando las eficiencias en eltratamiento tenemos que la *Lemna minor* (Lenteja de agua) tiene mayor capacidad de remover el parámetro dureza total.

RECOMENDACIONES

Al ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, gobiernos locales, instituciones públicas y privadas, proponer el tratamiento de las aguas para el parámetro dureza total mediante *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua), ya que presenta muchas ventajas económicas comparados a otros sistemas.

A la municipalidad provincial y población en general de Chocope – Ascope, considerar al sistema de humedales artificiales con plantas acuáticas *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua), dado que las dos especies utilizadas en esta investigación demostraron ser buenos removedores de dureza de las aguas de pozo del distrito de Chocope, sin embargo, se recomienda utilizar la *Lemna minor* (lenteja de agua) ya que demostró mayor eficiencia.

A la UNSM – T, difundir los resultados a través de la página oficial y de los docentes de laFacultad de Ecología – Moyobamba, para incentivar la utilización de las especies *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en el tratamiento del parámetro dureza total en agua para consumo humano.

A Los estudiantes en general realizar estudios de investigación para el tratamiento del parámetro dureza total en agua utilizando el sistema de humedales artificiales con *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) u otras especies vegetales en lugares donde exista concentraciones por encima de los LMP y que no tienen un tratamiento adecuado.

Al público lector, cuando usen un sistema de tratamiento basado en macrófitas enraizadas emergentes, el flujo del humedal debe ser superficial, por ello se recomienda, utilizar filtrosde grava y arena pues este sustituye al medio de soporte propio de los humedales de flujo sub superficial, aumentando la eficiencia del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, Oscar. *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial.* Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. 2004.

ARROYAVE, M. *La lenteja de agua (Lemna Minor L.): Una planta acuática Promisoria*. Revista EIA, 2004. Pp. 33-38. ISSN 1794-1237.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA – ANA. *Plan Nacional de Recursos Hídricos* [en línea]. 2013, [Consultado 18 de abril 2020]. Disponible en: https://www.ana.gob.pe/nosotros/planificacion-hidrica/plan-nacional-recursos-hidricos.

BARRENECHEA, Ada. *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. [en línea] 2004, [fecha de consulta: 10 mayo 2020]. Disponible en: http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf

BARRENO, Enrique Mauricio; CÓRDOVA, Manolo Alexander; VARGAS, José Homero y CALDERÓN, María Dolores. *Lechuguín (Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms) y lenteja de agua (Lemna Spp.) en la reducción de la dureza del agua de riego*. Conciencia Digital. 2020. ISSN: 2600-5859. DOI: https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i1.1.1136.

BROWN, Lauren. *Grasses: An Identification Guide*, Houghton Mifflin Co., Boston. 1979.

CAYUELA, M. L., MILLNER, P., SLOVIN, J. & ROIG, A. *Duckweed (Lemna gibba)growth inhibition bioassay for evaluating the toxicity of olive mill wastes before and duringcomposting*. Chemosphere. 2007.

CALDERÓN, María Dolores. *Determinación de la influencia de lechuguín (Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms) y lenteja de agua (Lemna spp.) en la reducción de la dureza del agua de riego de la empresa flores del Cotopaxi S.A.* Tesis de grado inédita. Universidad deAbanto, Abanto, Ecuador, 2015. 134 pp.

CIRUJANO, Santos y MORALES, Ramón. *El carrizo y sus utilidades*. [en línea]. 1997, [Consultado 12 de mayo 2020]. Disponible en: http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/pubinv/RMV/182QUERCUS.pdf.

CURT, María Dolore. *Fitodepuración en humedales. Conceptos Generales*, en: Fernández,

J. (Ed.), Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación. Madrid: EDITAN

Obra social, Fundación Global Nature, Universidad Politécnica de Madrid y Ayuntamientode Lorca. 2005.

DELGADILLO, Oscar; CAMACHO, Alan; PÉREZ, Luis Fernando y ANDRADE, Mauricio. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), 2010. 105 pp. ISBN: 978-99954-766-2-5.

EPA. *Guía del ciudadano: Medidas fitocorrectivas* [en línea]. Estado Unidos, 1996. [Consultado 08 de mayo 2020]. Disponible en: https://clu-in.org/download/citizens/phyto- sp12-6.pdf.

GARCÍA, Joan y CORZO, Angélica. *Depuración con humedales construidos*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya, 2008. 98 pp.

GROBICKI, Ania; CHALMERS, Camilla; JENNINGS, Edmund; JONES, Tim; PECK,

Dwight y RAMSAR. *Introducción a la convención sobre los humedales*. (5° ed). Manual de la convención de RAMSAR. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza, 2016.118 pp.

GUZMÁN, Selene; LOREDO, René; GONZÁLEZ, Héctor Ney y PAT-ESPADAS, Aurora.*Humedales: de la naturaleza a la ingeniería ambiental*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Universidad Nacional Autónoma de México (CONACYT-UNAM), Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México,Av. Luis Donaldo Colosio M. s/n y Madrid, Hermosillo, Sonora. 2018. ISSN 1665-935X.

HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. *Metodología de la Investigación.* 5ª ed. México: McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2010. 613 pp. ISBN: 978-607-15-0291-9.

INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD – INACAL. *Métodos de ensayo acreditados porla dirección de acreditación del inacal.* [en línea]. 2019. [Consultado 15 de junio

2020]. Disponible en: https://aplicaciones.inacal.gob.pe/crtacre/

INSTITUTO DE TECNOLOÍAS RURALES A.C. – ITR. *Efectos potenciales del agua dura.* Artículo traducido y reducido del international journal of preventive medicine, 2013.Disponible en: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3775162/.

KADLEC, Robert H. y KNIGHT, Robert L. *Treatment wetlands*. First Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press. (1996). ISBN 0-87371-930-I. 893 pp.

LARA, Jaime Andrés. D*epuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales.* Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España. 1999. 122 pp.

LEÓN, M. y LUCERO, A. *Estudio de Eichhornia Crassipes, Lermma Gibba y Azolla Filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Canton Cotacachi. Ibarra, Ecuador*. Universidad Técnicadel Norte, 2009. p. 29-37.

MEJÍA, María Teresa y DÁVILA, Patricia. *Gramíneas útiles de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 1992.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE – MINAM. *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N° 004- 2017-MINAM*. [en línea] 2017, [Consultado 28 abril 2020]. Disponible en: https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/

MINISTERIO DE SALUD – MINSA. *Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA),* Dirección General de Salud Ambiental. [en línea]. 2011. [Consultado 02 de abril 2020]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa.

MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO – MVCS.

Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE. (D. S. 011-2006-VIVIENDA). [en línea]. 2006. [Consultado 12 de abril 2020]. Disponible en: http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/titulo03edificaciones.html

MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO – MVCS. *Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural. (RM-192–2018–VIVIENDA).* [en línea]. 2018. [Consultado 20 de abril

2020]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/275920-192-2018-vivienda.

NJAMBUYA, Josphine; STIERS, Iris & TRIEST, Ludwig. *Competition between Lemna minuta and Lemna minor at different nutrient concentrations.* Aquatic Botany. 2011.

NUEVO, David. *Ingeniería de aguas. Humedales artificiales en depuración de agua residual*. [en línea]. 2020. [Consultado 10 de noviembre 2021]. Disponible en: https://www.tecpa.es/humedales-artificiales-en-depuracion-de-agua-residual/

ONU–DAES. (2014). *Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida" 2005– 2015*. [en línea]. 2014. [Consultado 11 de mayo 2020]. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml

PEÑA, Carlos E.; CARTER, Dean E. y AYALA, Felix. *Toxicología ambiental: Evaluación de riesgos y restauración ambiental* [en línea]. Estados Unidos, 2001. [Consultado 11 de mayo 2020]. Disponible en: http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c4-3-1-1.html.

RAMÍREZ, Muriel. *Dureza del agua y repercusiones en la salud*. [en línea]. 2013. Universidad Católica del Norte. [Consultado 11 de mayo 2020]. Disponible en: http://www.noticias.ucn.cl/columnistas/dureza-del-agua-y-repercusiones-en-la-salud/.

RAMÍREZ, C. & SAN MARTÍN, C. *Diversidad de macrófitos chilenos. Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile*. Universitaria Santiago, 2005.

RODRÍGUEZ, Johel. *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela.* Universidad de Costa Rica. 2009. ISSN 1409-0112.

ROLIM, Sergio. *Sistemas de lagunas de estabilización. Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadio*. Bogotá: McGraw Hill. Institute Of Technology. PontificiaUniversidad Javeriana. 2000. OCLC: 807767366.

ROMERO, Jairo Alberto. *Calidad del agua* (3° ed). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. 485 pp. ISBN: 978-958-8060-83-5.

RUSSELL, David L. *Tratamiento de aguas Residuales. Un enfoque práctico*. Barcelona: Reverté, 2012. ISBN 978-84-291-7976-7.

SAAVEDRA, Lourdes E. *Influencia de las plantas acuáticas de Phragmites Australis*

(carrizocomún) y la Lemna Minor (lenteja de agua) en la disminución de dureza total y cantidad de cloruros presentes en las aguas de pozos de Huanchaquito – Trujillo. Tesis de pregrado inédita. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2017. 99 pp.

SEDALIB. *Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos Para la EPS SEDALIB S.A.* [en línea]. 2018. [Consultado

26 de agosto 2020]. Disponible en: http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5362926592.pdf

SEOÁNEZ, Mariano. *Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa: manual para responsables medioambientales*. Madrid: Análisis y Trabajos Prospectivos, D.L. 1995. ISBN: 84-7114-556-1.

SHELEF, Oren; GROSS, Amit y RACHMILEVITCH, Shimon. *Role of plants in a constructed wetland: current and new perspectives*. Water, 2013. ISSN 2073-4441.

SILVA, Angela y ZAMORA, Hernan Dario. *Humedales artificiales. Manizales Colombia. Linea de profundización Gestión Ambiental*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 2005. 100 pp.

SKERNAN, Peter y RIVEROS, Fernando. Gramíneas tropicales, FAO, Roma, Italia. 1992.

SMITH, James Payne. *Vascular Plants Families*. 1ª ed. California: Eureka, Mad River Press,1977. ISBN 10: 0916422070.

TUESTA, Nayti Vanessa. *Evaluación de las especies Lemna minor L. ("Lenteja de agua") y Eichhornia crassipes M. ("Jacinto de agua") en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia deMoyobamba-2014*. Tesis de pregrado inédita. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, 2016. 85 pp. Recuperado de: http://hdl.handle.net/11458/201

VARGAS, Orlando; DÍAZ, Adriana M.; DÍAZ, Julián E.; PINZÓN, Yuli; CAMELO, Lina;LUCÍA, Ana y RAMÍREZ, Perla. *Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2012. 248 pp. ISBN 978-958-761-370-4

ANEXOS

Anexo A.

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL^{-1}	1 000
8. Cloruros	mg Cl^{-} L^{-1}	250
9. Sulfatos	mg $SO_4^{=}$ L^{-1}	250
10. Dureza total	mg $CaCO_3$ L^{-1}	500
11. Amoniaco	mg N L^{-1}	1,5
12. Hierro	mg Fe L^{-1}	0,3
13. Manganeso	mg Mn L^{-1}	0,4
14. Aluminio	mg Al L-1	0,2
15. Cobre	mg Cu L^{-1}	2,0
16. Zinc	mg Zn L^{-1}	3,0
17. Sodio	mg Na L^{-1}	200

Ucv = unidad de color verdadero; UNT = Unidad nefelométrica de turbiedadFuente: (MINSA, 2011, p. 39).

Anexo B.

Resultados de laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI/IQUNT

SOLICITANTE	: BLANCA FLOR GARCIA ROJAS
INSTITUCIÓN	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
PROYECTO	: Evaluación de la eficiencia de *Phragmites Australis* (Carrizo común) y *Lemna Minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021.
MUESTRA	: AGUA DE POZO
PROCEDENCIA	: CHOCOPE – ASCOPE – LA LIBERTAD
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO (ANÁLISIS INICIAL)

FECHA DE INGRESO	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
15/02/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	541.9

TRUJILLO, 15 DE FEBRERO DEL 2021

LASACI DIRECCIÓN
Ing. Carlos A. Valqui Mendoza
DIRECTOR LASACI

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

lasaciunt@gmail.com 949959632

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION
LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI/IQUNT

SOLICITANTE	: BLANCA FLOR GARCIA ROJAS
INSTITUCIÓN	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
PROYECTO	: Evaluación de la eficiencia de *Phragmites Australis* (Carrizo común) y *Lemna Minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021.
MUESTRA	: AGUA DE POZO
PROCEDENCIA	: CHOCOPE – ASCOPE – LA LIBERTAD
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

AGUA TRATADA CON PHRAGMITES AUSTRALIS (CARRIZO COMÚN) – HUMEDAL ARTIFICIAL 01

FECHA DE INGRESO	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
15/03/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	473.7
05/04/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	473.1
23/04/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	471.6
14/05/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	467.4
03/06/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	432.5

TRUJILLO, 08 DE JUNIO DEL 2021

LASACI DIRECCIÓN
Ing. Carlos A. Valquí Mendoza
DIRECTOR LASACI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION
LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI/IQUNT

SOLICITANTE	: BLANCA FLOR GARCIA ROJAS
INSTITUCIÓN	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
PROYECTO	: Evaluación de la eficiencia de *Phragmites Australis* (Carrizo común) y *Lemna Minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021.
MUESTRA	: AGUA DE POZO
PROCEDENCIA	: CHOCOPE – ASCOPE – LA LIBERTAD
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

AGUA TRATADA CON *LEMNA MINOR* (LENTEJA DE AGUA) – HUMEDAL ARTIFICIAL 02

FECHA DE INGRESO	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
15/03/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	472.8
05/04/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	463.6
23/04/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	441.0
14/05/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	434.1
03/06/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	392.2

TRUJILLO, 08 DE JUNIO DEL 2021

LASACI DIRECCIÓN
Ing. Carlos A. Valqui Mendoza
DIRECTOR LASACI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI/IQUNT

SOLICITANTE	: BLANCA FLOR GARCIA ROJAS
INSTITUCIÓN	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
PROYECTO	: Evaluación de la eficiencia de *Phragmites Australis* (Carrizo común) y *Lemna Minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021.
MUESTRA	: AGUA DE POZO
PROCEDENCIA	: CHOCOPE – ASCOPE – LA LIBERTAD
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

AGUA SIN TRATAMIENTO – HUMEDAL ARTIFICIAL 03

FECHA DE INGRESO	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
15/03/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	540.8
05/04/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	540.4
23/04/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	539.5
14/05/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	539.1
03/06/2021	DUREZA TOTAL	mg $CaCO_3$/L	537.6

TRUJILLO, 08 DE JUNIO DEL 2021

LASACI DIRECCIÓN
Ing. Carlos A. Talquí Mendoza
DIRECTOR LASACI

Anexo C.

Cálculos para prueba de hipótesis

1. Resultados obtenidos para dureza total con *Phragmites Australis* (Carrizo común).

N°	Pre tratamiento	Post tratamiento	di	di^2
1	540,8	473,7	67,1	4502,41
2	540,4	473,1	67,3	4529,29
3	539,5	471,6	67,9	4610,41
4	539,1	467,4	71,7	5140,89
5	537,6	432,5	105,1	11046,01
	TOTAL		**379,1**	**29829,01**

Estadístico de prueba:

$$\text{tc} = \frac{\bar{d}}{Sd/\sqrt{n}}$$

Con ν = n−1 grados de libertad

$$\nu = 5 - 1 = 4$$

Dónde:

tc: t calculada

$\bar{d}$ Promedio de las diferencias

S_d: Desviación estándar de las diferencias

n: Tamaño de muestra**.**

Además,

$$đ = \frac{\sum di}{n} = \frac{379{,}1}{5} = 75{,}82$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum d^2 - n(đ)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29829{,}01 - 5x75{,}82^2}{5-1}} = 16{,}47$$

Remplazando valores:

$$\text{tc} = \frac{75{,}82}{\frac{16{,}47}{\sqrt{5}}} = \mathbf{10{,}29}$$

2. Resultados obtenidos para dureza total con *Lemna Minor* (Lenteja de agua)

N°	Pre tratamiento	Post tratamiento	di	di^2
1	540,8	472,8	68,0	4624,00
2	540,4	463,6	76,8	5898,24
3	539,5	441,0	98,5	9702,25
4	539,1	434,1	105,0	11025,00
5	537,6	392,2	145,4	21141,16
	TOTAL		**493,7**	**52390,65**

Estadístico de prueba:

$$tc = \frac{\bar{d}}{Sd/\sqrt{n}}$$

Dónde:

tc: t calculada

$\bar{d}$ Promedio de las diferencias

S_d: Desviación estándar de las diferencias

n: Tamaño de muestra**.**

Con ν = n−1 grados de libertad

$$\nu = 5 - 1 = 4$$

Además,

$$\bar{d} = \frac{\sum di}{n} = \frac{493,7}{5} = 98,74$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum d^2 - n(\bar{d})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{52390,65 - 5x98,74^2}{5-1}} = 30,18$$

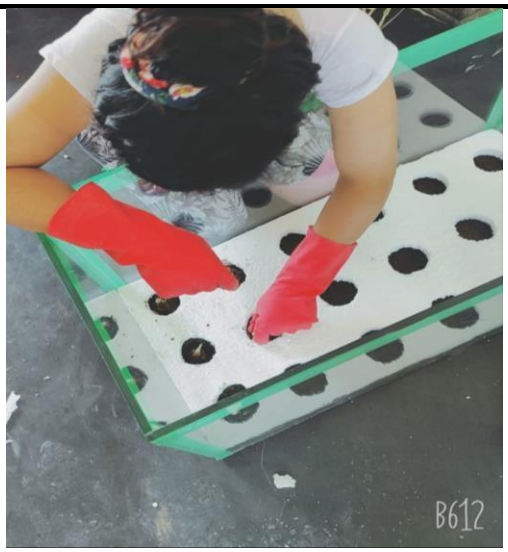
Remplazando valores:

$$tc = \frac{98,74}{\frac{30,18}{\sqrt{5}}} = \mathbf{7,32}$$

Anexo D.

Panel fotográfico del proceso de investigación

Fotografía 1: Construcción de humedales artificiales

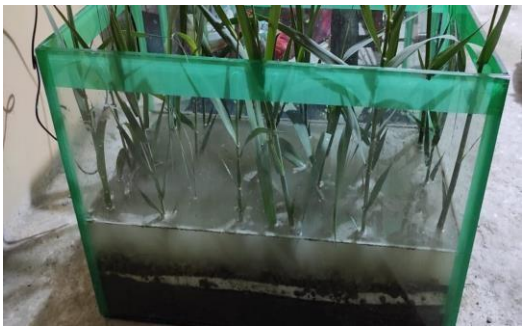


Fotografía 2: Construcción de humedales artificiales

Fotografía 3. Recolección de macrofitas

Fotografía 4. Adaptación de micrófitos

Fotografía 5. Siembra de macrofitas



Fotografía 6. Crecimiento y adaptación de macrofitas en tratamiento