



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión sistemática y meta-análisis sobre el uso de algas para la
remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Pizango Mozombite, Armando Junior (ORCID 0000-0002-3860-3726)

Robles Abregú, Kenny Russell (ORCID 0000-0002-8237-8378)

ASESOR:

Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto (ORCID 0000-0002-8683-5054)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios por todas las oportunidades brindadas y permitir cumplir con nuestros objetivos de vida, por guiar nuestro camino del día a día y cuidarnos; Asimismo, a nuestros padres por todo su amor, comprensión, esfuerzo y motivarnos para seguir adelante. Seguidamente, a nuestras amistades que contribuyeron de manera directa e indirecta para que este trabajo de investigación se desarrolle con éxito.

Agradecimiento

A Dios por la vida, por permitirnos tener familia y disfrutar de ella. A nuestros padres por inculcarnos principios y valores que hacen de nosotros buenos seres humanos, asimismo, por la confianza, consejos y apoyo en cada decisión tomada en nuestras vidas.

A nuestras amistades y compañeros que comparten sus experiencias de vida y ser parte de ella, permitiendo la realización de este trabajo.

A nuestra casa de estudios, la universidad César Vallejo y su plana docente por brindarnos los conocimientos requeridos y necesarios para nuestra formación profesional. Asimismo, en especial agradecimiento al Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera por darnos el asesoramiento en este trabajo.

Índice de contenidos

Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Tipo y diseño de investigación	8
3.2. Variables y operacionalización	8
3.3. Población, muestra y muestreo	8
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	9
3.5. Procedimientos.....	10
3.6. Método de análisis de datos.....	12
3.7. Aspectos éticos	13
IV. RESULTADOS.....	14
V. DISCUSIÓN.....	32
VI. CONCLUSIONES	36
VII. RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS.....	38
ANEXOS	44

Índice de tablas

Tabla 1. Nombre de las fichas de recolección de datos	9
Tabla 2. Validación por juicio de expertos	10
Tabla 3. Secuencia y cadena de búsquedas.....	11
Tabla 4. Tipos de algas para la remoción de materia orgánica	15
Tabla 5. Condiciones operacionales de aplicación de las algas	19
Tabla 6. Parámetros físico-químicos de las muestras de aguas contaminadas antes y después del tratamiento.....	21
Tabla 7. Remoción de materia orgánica.....	25

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de obtención de investigaciones incluidas para el meta-análisis.....	14
Figura 2. Tipos de algas para la remoción de materia orgánica.....	17
Figura 3. Base de datos	18
Figura 4. Condiciones operacionales de aplicación del alga.....	21
Figura 5. Procedencia de la muestra.....	24
Figura 6. Remoción de materia orgánica en la concentración C1	27
Figura 7. Remoción de materia orgánica en la concentración C2.....	28
Figura 8. Meta-análisis del porcentaje de remoción de la materia orgánica al aplicar el alga	29
Figura 9. Porcentaje de remoción de la materia orgánica al aplicar el alga	31

Resumen

Los métodos de tratamiento de aguas han ido cambiando y mejorando a lo largo de los años con la finalidad de cubrir la demanda de la población y el cuidado del medio ambiente, empleando una tecnología viable y de bajo costo. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar mediante revisión sistemática y meta-análisis el uso de algas para la remoción de materia orgánica (MO) a partir de efluentes domésticos. La metodología fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, diseño no experimental (revisión documental) y nivel descriptivo. Para la búsqueda de información se utilizaron las bases de datos de Scopus y Web of science, tomando el periodo de enero de 2011 hasta setiembre de 2021. Los resultados del meta-análisis mostraron una heterogeneidad estadística baja ($I^2 = 12\%$) y que la aplicación de algas para la remoción de MO a partir de efluentes domésticos mostró mayor eficiencia a concentraciones iniciales altas. Asimismo, se observó que las algas alcanzan el 100% de remoción de MO. Finalmente, se concluye que el uso de algas es eficiente para remover la MO y representa una alternativa viable para mejorar la calidad del agua.

Palabras clave: revisión sistemática, meta-análisis, algas, remoción de materia orgánica, efluentes domésticos.

Abstract

Water treatment methods have been changing and improving over the years in order to meet the demand of the population and care for the environment, using a viable and low-cost technology. The objective of this research was to evaluate, through a systematic review and meta-analysis, the use of algae for the removal of organic matter (OM) from domestic effluents. The methodology was quantitative approach, applied type, non-experimental design (documentary review) and descriptive level. The Scopus and Web of science databases were used to search for information, taking the period from January 2011 to September 2021. The results of the meta-analysis showed low statistical heterogeneity ($I^2 = 12\%$) and that the application of algae for the removal of OM from domestic effluents showed greater efficiency at high initial concentrations. Likewise, it was observed that the algae reach 100% OM removal. Finally, it is concluded that the use of algae is efficient to remove OM and represents a viable alternative to improve water quality.

Keywords: systematic review, meta-analysis, algae, organic matter removal, domestic effluents.

I. INTRODUCCIÓN

La alteración negativa de la calidad del agua es causada principalmente por los vertimientos domésticos e industriales que representan una problemática a nivel mundial porque influye en la salud del ser humano, en aspectos económicos y sociales de poblaciones aledañas. Según Jingxia et al. (2018), el desarrollo sostenible respecto al uso del agua dulce se ha limitado por el aumento en su demanda y al mismo tiempo el aumento del deterioro de la calidad del agua. La contaminación del agua obstaculiza el desarrollo de una población debido a la escasez de agua de consumo, afectando actividades básicas en los hogares e industrias y otros servicios (Saravanan et al., 2021).

En la actualidad, se han desarrollado diversos métodos para el tratamiento de las aguas contaminadas que permitan cubrir el aumento de la demanda de agua causada por el gran crecimiento y desarrollo urbano. Según Zhura et al. (2021), las poblaciones migran a las principales ciudades que presentan desarrollo y crecimiento económico para mejorar su calidad de vida sin considerar la demanda de agua generada a causa de este crecimiento poblacional. Por ende, las algas representan una alternativa rentable para los sistemas de tratamiento de aguas residuales respecto a los sistemas convencionales como los lodos activos (María et al., 2017).

Este trabajo de investigación establece como problema general: ¿Cuál es la eficiencia del uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos?, y como problemas específicos se planteó las siguientes interrogantes: ¿Qué tipo de alga se utiliza para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos?, ¿Cuáles son las condiciones operacionales del alga para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos?, ¿Cuáles son los parámetros físico-químicos de estos efluentes domésticos dónde se utilizará el alga para la remoción de materia orgánica? y ¿Cuáles son los porcentajes de remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos después de aplicar las algas?

La presente investigación busca contribuir con la recopilación y análisis de la amplia literatura científica respecto al beneficio que conlleva el uso de algas en el tratamiento de efluentes domésticos como método alternativo.

El sistema de tratamiento de efluentes domésticos es costoso, tanto en la inversión como en su operación, debería estar disponible métodos alternativos más económicos y confiables, que satisfagan las necesidades de países en desarrollo. La cantidad de material científico respecto a este tema es amplia y al realizar esta revisión sistemática y meta-análisis nos permite sintetizar los resultados de los diversos autores, lo que hace posible integrarlos con el fin de que esta información sea factible para futuras investigaciones.

Según la formulación del problema establecido en la investigación se tiene como objetivo general: evaluar el uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos y como objetivos específicos: identificar el tipo de alga que se utiliza para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos; determinar las condiciones operacionales de cada alga para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos; determinar los parámetros físico-químicos de los efluentes domésticos e identificar las concentraciones de estos parámetros y porcentajes de remoción de materia orgánica.

Se planteó como hipótesis que la aplicación del alga es eficiente para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos.

II. MARCO TEÓRICO

Microalgas, son micrófitos que comprenden diversos grupos de microorganismos fotosintéticos microscópicos eucariotas y procariotas (Ansari et al., 2019). Estos son un recurso renovable utilizado ampliamente en la biorremediación de aguas residuales (Terán et al., 2021; Azam et al., 2020; Arash et al., 2020). Algunas cepas se adaptan mejor al agua residual, siendo el género ***Chlorella*** una de las más utilizadas por su alta capacidad de remover nutrientes y carga orgánica (Luan et al., 2019; Saravanan et al., 2021; Maeng et al., 2018). Sin embargo, el cultivo de las microalgas a gran escala puede incurrir en enormes costos (Luan et al., 2020; Katiyar et al., 2017). La tecnología basada en microalgas y bacterias puede considerarse razonablemente como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales ambientalmente sostenibles (Ji et al., 2020).

Las microalgas pueden crecer rápidamente en las aguas residuales municipales y eliminar nutrientes, materia orgánica e inorgánica en gran medida. La biomasa de algas generada se puede utilizar como materia prima para la producción de biocombustibles y fertilizantes para compensar el costo del tratamiento, mejorando la sostenibilidad del tratamiento de aguas residuales (Delrue et al., 2016). Maeng et al. (2018), en el tratamiento con algas concentrado de ósmosis inversa (ROC) sintética utilizaron ***Scenedesmus quadricauda*** y después del tratamiento mostró un aumento en la biodegradabilidad de la materia orgánica; además, la eliminación simultánea de N y P (19% y 95%, en una prueba por lotes de 3 días).

Umar et al. (2014), en el tratamiento utilizaron la ***Chlorella vulgaris*** (un alga de agua dulce) y ***Nannochloropsis salina*** (un alga marina) para la eliminación de nutrientes y materia orgánica, la muestra fue recolectada de una instalación municipal de recuperación de aguas residuales en China. Ambas especies obtuvieron tasas altas de crecimiento y densidades celulares en el efluente secundario de aguas residuales (Wong et al., 2017) y podría lograr una eficiencia de eliminación (> 99%) de N y P de las aguas residuales municipales (Cai et al., 2013; Yasar y Abdullah, 2013). Se comparó ***C. vulgaris*** y ***N. salina*** en cultivo suspendido e inmovilizado con alginato para el tratamiento discontinuo y semi continuo de ROC (Mohseni et al., 2020).

El sistema de las interacciones de microalgas y bacterias en aguas residuales expuestas a la luz, las algas realizan la fotosíntesis y producen el oxígeno utilizado por las bacterias, reduciendo o eliminando la necesidad de aireación mecánica. El modelo desarrollado ha demostrado ser una herramienta útil para simular el rendimiento del tratamiento de aguas residuales y la producción de microalgas-bacterias, respectivamente (Solimeno et al., 2017).

El tratamiento de aguas residuales busca reducir considerablemente la cantidad de materiales carbonosos (orgánicos; determinados predominantemente como demanda biológica de oxígeno (DBO)) y cuando se trate de aguas sensibles compuestos de nitrógeno (N) y fósforo (P) antes de descargarlos en los sistemas receptores. Por lo tanto, los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales no se han aplicado con relativo éxito, sino que se ha descrito como un cambio de problemas que conduce a una contaminación secundaria debido al alto consumo de energía, la producción de lodos residuales y gases de efecto invernadero. Por ello, para reducir el impacto medioambiental del tratamiento de aguas residuales es necesario desarrollar y adaptar procesos para una menor producción de lodos como de consumo energético, siendo parte de los criterios clave el control de los requisitos de aireación y operación. En este sentido, las microalgas han demostrado ser una alternativa ecológica y sostenible como fuente renovable de biomasa comparados con los procesos de tratamiento biológico convencionales (Mohsenpour et al., 2021).

El crecimiento y las diferencias de proteínas de ***Chlorella Vulgaris*** durante el cultivo se encontraron influenciados por los cambios en la toxicidad y biodegradabilidad de los extractos de fangos. La densidad celular de los extractos de lodos tóxicos alcanzó $29,8 \pm 1,6$ células/ml y el contenido de clorofila-a fue $23,5 \pm 1,3$ mg/l, que era similar al del grupo BG11, lo que indica que el extracto de lodo se puede utilizar como un medio excelente para cultivar ***C. Vulgaris***. La relación B/C del extracto de lodo aumenta gradualmente de 0,12 a 0,37 y la relación C/N aumenta en un factor de 4,9. ***C. Vulgaris*** utilizó completamente la materia orgánica en el extracto. El TOC se redujo de $426,8 \pm 19,6$ mg/l hasta $212,7 \pm 9,6$ mg/l. Durante el período de crecimiento rápido, la utilización eficiencia de TOC alcanzó el 50,16%.

C. Vulgaris absorbió las sustancias orgánicas, reduciendo así la toxicidad de los lodos (Wang et al., 2015).

Se hace referencia al cultivo de microalgas en aguas residuales con el objetivo de reducir el contenido de proteínas de la biomasa y evaluar la viabilidad de acoplar la biorremediación de aguas residuales. Se demostraron que la especie **Chlorella Vulgaris** tiene una acumulación de carbohidratos del 40% cuando se cultiva en aguas residuales urbanas. A pesar de la fracción predominante de carbohidratos, el pretratamiento con proteasa mostró una mayor eficiencia de hidrólisis de materia orgánica (54%) (Mahdy et al., 2016).

La microalga aislada rica en carbohidratos **Chlorella Vulgaris** fue adoptada para realizar ciertos tratamientos en aguas residuales. Los resultados mostraron aproximadamente el 60-70% de eliminación de DQO y el 40-90% de NH₃⁻. La remoción de N fue lograda en el cultivo mixotrófico y heterótrofo, dependiendo de la relación de dilución del agua residual, mientras que el mayor porcentaje de eliminación se obtuvo con aguas residuales diluidas 20 veces. El cultivo mixotrófico mediante el uso de aguas residuales diluidas cinco veces resultó en la concentración de biomasa más alta de 3,96 g/L. El contenido de carbohidratos de la microalga cultivada en las aguas residuales puede alcanzar hasta el 58% (por peso seco). Se demostraron que el tratamiento de aguas residuales a base de microalgas puede reducir de manera eficiente los nutrientes y el nivel de DQO, y la biomasa de microalgas resultante tenía un alto contenido de carbohidratos, por lo que tiene aplicaciones potenciales para la producción fermentativa de biocombustibles o productos químicos (Wang et al., 2015).

Rosales et al. (2018), para la remoción de cromo (Cr) utilizaron **Scenedesmus sp.** y para su cultivo aplicaron células libres e inmovilizadas. Evaluaron las microalgas con tres tratamientos por quince días, donde obtuvieron un mayor crecimiento las células libres y una remoción de 98% para el cromo total. Por otro lado, Ballen et al. (2016), en el tratamiento utilizaron **Scenedesmus sp.** en tres diluciones de agua residual de curtiembre 100%, 50% y 20% por quince días, para ver el porcentaje de remoción de cromo, donde realizaron el cultivo de microalgas y tres veces cada tratamiento, obteniendo el 98% de remoción del cromo. Similarmente, Ajayan et al. (2015), para la fitorremediación de las aguas residuales

usando *Scenedesmus sp.* aislado, pero la especie se cultivó en el laboratorio y se cosechó a los doce días y los resultados de remoción fueron para Cr (81.2-96%).

Leite et al. (2019), las aguas residuales municipales del sistema de saneamiento no deben ser muy diluidas porque es técnica y económicamente impráctico utilizarlas para el cultivo de microalgas. La combinación de efluentes obtiene una mayor eficiencia de remoción de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales porque se aumenta la concentración de nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo) para el cultivo de microalgas. El cultivo de microalgas y el tratamiento de la combinación de aguas residuales (aguas residuales municipales y de porcicultura) fueron monitoreados durante cuatro semanas. El sistema de tratamiento piloto consistió en UASB como pretratamiento y cultivo de *Chlorella sorokiniana* en tres fotobiorreactores de panel plano. La concentración inicial de materia orgánica fue de 3507 – 9757 mg/l y se obtuvo una alta eficiencia UASB en la remoción de materia orgánica (> 90%), incluso con una gran variabilidad de las características iniciales de la mezcla. La producción de *C. sorokiniana* alcanzó alrededor de 1 g/l con una remoción promedio de carbono inorgánico disuelto, ortofosfato y amoníaco alrededor de 46 a 56%, 40 a 60% y 100%, respectivamente. Se discuten posibles soluciones para mejorar el crecimiento de microalgas y el tratamiento del sistema.

Ergin Taskan (2016), en el tratamiento para evaluar la eficiencia del alga en la remoción de materia orgánica (MO) y nutrientes mediante el uso de un fotobiorreactor. Se aplicaron diferentes múltiplos de dilución de 10, 4 y 2, y finalmente se utilizaron aguas residuales puras para el cultivo de algas. El rendimiento de eliminación de MO y nutrientes en el fotobiorreactor de algas estuvo gravemente afectado por la relación de dilución. Después de 7 días de cultivo, los porcentajes más altos de remoción de carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (TN) y fósforo total (TP) fueron 89,6, 70,2 y 96,2%, respectivamente. Además, se investigaron los cambios en las especies de algas eucariotas y cianobacterias en los fotobiorreactores de algas mediante técnicas de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y electroforesis en gel en gradiente desnaturante (DGGE). Los fotobiorreactores mixtos de algas podrían usarse de manera eficiente en el tratamiento de efluentes domésticos y porcicultura.

Los tratamientos de aguas residuales son necesarios para la población y el cuidado del medio ambiente. Sin embargo, la cantidad de agua a procesar es cada vez mayor y requiere de tratamientos según los niveles de concentración de los contaminantes. Salgueiro et al. (2018) analizaron el uso de microalgas ***Chlorella vulgaris*** para llevar a cabo el proceso de depuración probando tres tipos diferentes de aguas residuales. La remoción de materia orgánica alcanza el 69% y una eliminación casi total de fosfatos. Además, realizaron diferentes ciclos de depuración de aguas residuales de 25%, 50%, 75%, 90% y 90%, respectivamente. El crecimiento de las algas fue monitorizado mediante mediciones de células de microalgas y densidad óptica, a 680 nm. Alcanzaron un crecimiento máximo de $15.805,56 \pm 432$ células/ml a valores de pH dentro del intervalo de $7,60 \pm 0,04$ a $9,7 \pm 0,01$ registrados durante todo el ciclo de crecimiento. Se demostró la buena adaptabilidad de esta microalga y la buena tasa de supervivencia en el tiempo.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de enfoque cuantitativo, porque se analizó algunos parámetros físico-químicos para determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos, antes y después de la aplicación de las algas. Asimismo, fue de tipo aplicada porque se evaluó el uso de las algas en la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos. Según Días (2015), la investigación aplicada tiene como finalidad crear nuevos conocimientos a través de investigaciones básicas.

El diseño del presente trabajo de investigación fue no experimental (revisión documental), porque busca analizar el contexto natural después de la observación de fenómenos en los que no se han manipulado las variables deliberadamente. La variable independiente y dependiente no se manipula intencionalmente, se analiza en su propio contexto (Montano, 2017). Además, el nivel de la investigación fue descriptivo, ya que se responde a una interrogante de cuál es la eficiencia del uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos. Según Valle (2009), las investigaciones estadísticas o llamadas también descriptivas, describen datos y caracterización del fenómeno en estudio.

3.2. Variables y operacionalización

La investigación tuvo dos variables, siendo la variable independiente el uso de algas y como variable dependiente la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos. La matriz de operacionalización de las variables se encuentra a detalle en el Anexo 1.

3.3. Población, muestra y muestreo

La población es el total de estudios seleccionados que se agrupan en relación a criterios determinados (Arias y Miranda, 2016). En la investigación la población consistió en todos los estudios seleccionados que tenían como relación el uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos, teniendo como unidad de estudio cada artículo de investigación.

La muestra consistió en 10 investigaciones que cumplían con los criterios de inclusión establecidos para el desarrollo del presente trabajo. La muestra es una parte representativa de la población que permite obtener un mejor resultado (Hernández et al., 2010).

Para el muestreo se realizó una selección sistemática propia de la metodología de la revisión sistemática y meta-análisis teniendo en cuenta criterios necesarios para el correcto desarrollo del estudio. La metodología de la revisión sistemática y meta-análisis emplea técnicas de rastreo, analítica y de cuantificación documental con la finalidad de seleccionar estudios por criterio propio o al azar (Gómez et al., 2012).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación empleó como técnica la revisión sistemática y meta-análisis que permite seleccionar estudios primarios que sean similares entre sí, luego generar resúmenes de los mismos para posteriormente ser analizados estadísticamente. La revisión sistemática es un proceso que minimiza los sesgos y errores aleatorios (Chalmers y Altman, 1999).

Los instrumentos de recolección de datos son herramientas que permiten al investigador recopilar y almacenar información útil que tenga relación con los objetivos de la investigación (Valderrama, 2013). En la investigación se utilizaron 4 fichas de recolección de datos que se detallan en el Anexo 2, y estas son las siguientes que se nombran en la Tabla 1.

Tabla 1. Nombre de las fichas de recolección de datos

Ficha	Descripción
1	Tipos de algas.
2	Condiciones operacionales de aplicación de las algas.
3	Parámetros físico-químicos de las muestras de aguas contaminadas, antes y después del tratamiento.
4	Remoción de materia orgánica.

Todo procedimiento, datos, teorías, instrumentos entre otros relacionados como parte de la investigación deben ser sometidos a un juicio de expertos para asegurar su validez y confiabilidad (Hernández et al., 2010). En el Anexo 3, se detallan la valoración del juicio de expertos y en la Tabla 2 se presenta los resultados obtenidos luego del juicio de expertos, siendo los especialistas los siguientes:

Tabla 2. Validación por juicio de expertos

Validadores	Porcentaje de validación (%)			
	Ficha 1	Ficha 2	Ficha 3	Ficha 4
Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio	90	90	90	90
Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto	90	90	90	90
Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio	90	90	90	90
Promedio (%)	90	90	90	90

La confiabilidad fue determinada por los resultados obtenidos, donde se muestra resultados iguales indicando un nivel de aceptación. La confiabilidad es representada por la similitud de resultados obtenidos, luego de la validación de un instrumento de recolección de datos (Corral, 2013).

3.5. Procedimientos

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el método de PRISMA, de sus siglas en inglés se define como “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews”. Asimismo, se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

3.5.1. Criterios de inclusión y exclusión

En la investigación se consideraron artículos y revisiones relacionados con información referente al título de la problemática como uso de algas, remoción de materia orgánica, efluentes domésticos, microalgas, entre otros. Asimismo, se seleccionaron estudios en el idioma inglés y se limitó la fecha para el periodo de las investigaciones desde el 2011 hasta mayo de 2021 excluyendo el resto.

Una vez indicados los filtros y obtenido los resultados de búsqueda se continuó con una pequeña selección según títulos y resúmenes que incluyen diferentes tipos de algas, condiciones operacionales de las algas, entre otros. Asimismo, se consideró la procedencia de los efluentes domésticos y algunos parámetros físico-químicos. Por otro lado, se excluyeron investigaciones sobre los estudios de caso, artículos duplicados y los que no coincidían con los objetivos de la presente investigación.

3.5.2. Selección de las fuentes de información

Como fuente de información se utilizaron artículos y reviews de las diversas revistas que están indexadas en las bases de datos Scopus y Web of Science.

3.5.3. Estrategia de búsqueda

Para la obtención de información en la búsqueda se utilizaron palabras claves, operadores booleanos y se estableció una cadena de búsqueda. La secuencia de la cadena de búsqueda se puede visualizar en la Tabla 3.

Tabla 3. Cadena de búsqueda

Base de datos	Cadena de búsqueda	Cantidad de artículos
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((algae OR micro-algae OR microalgae OR alga OR micro-alga OR microalga) AND ("contaminated water" OR "polluted water" OR wastewater OR "domestic effluent") AND "organic matter")	302
Web of Science	(algae OR micro-algae OR microalgae OR alga OR micro-alga OR microalga) AND ("contaminated water" OR "polluted water" OR wastewater OR "domestic effluent") AND "organic matter"	277

3.5.4. Identificación de documentos relevantes

Del resultado de la búsqueda en las bases de datos se identificaron documentos que tuvieron relación con los criterios de inclusión, como palabras claves en el título, resumen, entre otros. Los artículos identificados fueron descargados para proceder a extraer datos necesarios para la meta-análisis.

3.5.5. Descripción de los estudios

Para cada documento de investigación se describieron las muestras (procedencia de la muestra, el antes y después de la aplicación del alga de los parámetros físico-químicos como pH, conductividad (CE), carbón orgánico total (COT), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales suspendidos (TSS) y porcentaje de remoción de la materia orgánica (MO)). Por otro lado, en la variable independiente se describieron las algas (tipo de alga, revista, base de datos, resultados y las condiciones operacionales del alga como pH, iluminación, temperatura, dosis y tiempo de contacto). Los datos extraídos de las investigaciones fueron resumidos en tablas con la información siguiente:

- Tipo de alga para la remoción de materia orgánica.
- Condiciones operacionales.
- Parámetros físico-químicos del efluente doméstico, antes y después del tratamiento.
- Porcentaje de remoción de materia orgánica.

3.6. Método de análisis de datos

Para el análisis de datos se empleó el software Review Manager en su versión 5.4.1, es un programa libre elaborado por la colaboración de Cochrane para apoyar en la preparación de las revisiones sistemáticas y meta-análisis. Esta herramienta facilita la generación de figuras, tablas, entre otros para una buena presentación de los resultados requeridos. Del software se obtuvo el gráfico estadístico Forest plot que fue trabajado con intervalos de confianza del 95% y se aplicó el método estadístico Mantel-Haenszel con efecto fijo.

3.7. Aspectos éticos

La presente investigación titulada “Revisión sistemática y meta-análisis sobre el uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticas” trabajó con datos y resultados existentes, no falsificados y que fue evaluada por especialistas en el tema. La investigación se desarrolló respetando lo establecido por la escuela, que son los siguientes documentos:

- Código de ética.
- Reglamento de investigación.
- Resolución de vicerrectorado de investigación N°004-2020-VI-UCV.
- Guía de productos de investigación 2020.
- ISO 690.

Asimismo, la investigación fue verificada a través del software Turnitin para determinar su originalidad.

IV. RESULTADOS

En la Figura 1 se presenta el flujograma de proceso de las investigaciones consideradas para la meta-análisis.

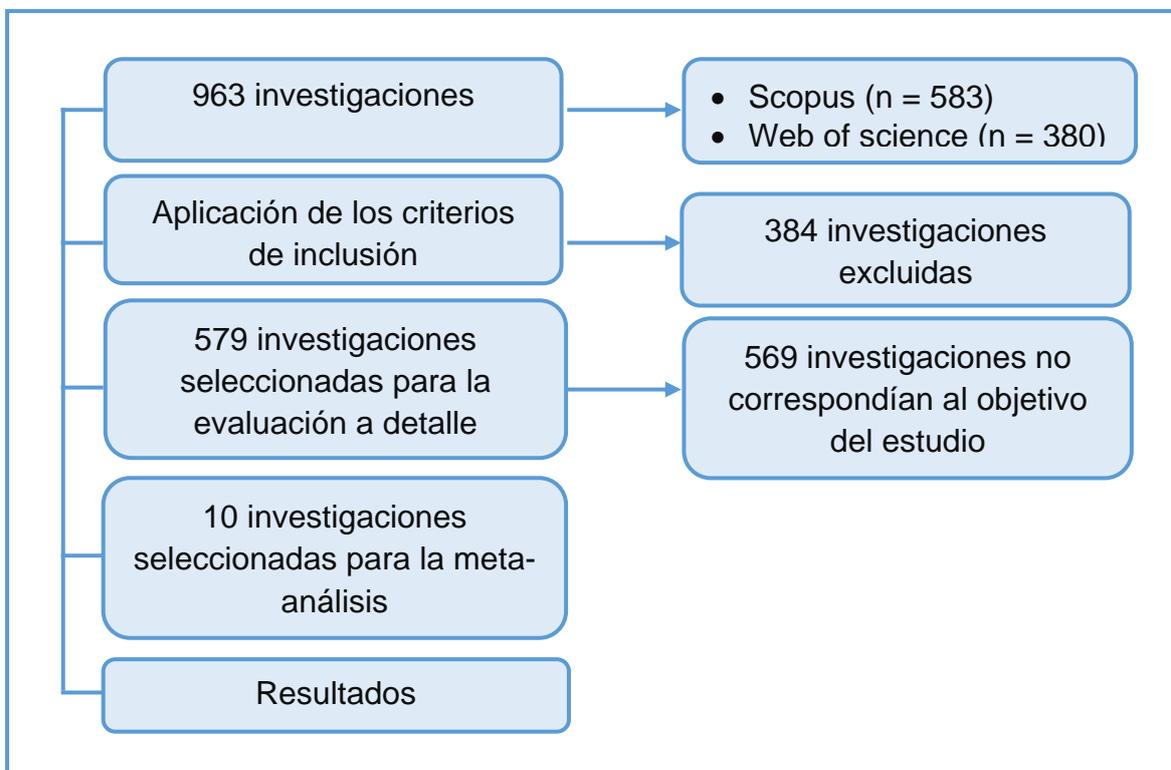


Figura 1. Proceso de obtención de investigaciones incluidas para el meta-análisis

En la Figura 1 se observó que inicialmente se tuvo 963 investigaciones a partir de las bases de datos Scopus y Web of science. Seguidamente, aplicando las estrategias de búsquedas resultaron 579 investigaciones, donde se excluyó 384.

De lo anterior expuesto, se aceptaron 579 investigaciones que fueron evaluadas nuevamente según los criterios de inclusión teniendo en cuenta el documento completo, de la evaluación, se excluyó 569 investigaciones.

Los criterios de exclusión fueron: Datos insuficientes (n=554), aplicación en remoción de materia orgánica en efluentes domésticos (n=10), remoción de materia orgánica por la aplicación de otro tipo de agente (n=5). Finalmente, se obtuvieron un total de 10 investigaciones para realizar la meta-análisis.

Tabla 4. Tipos de algas para la remoción de materia orgánica

Tipo de alga	Revista	Base de datos	Resultados	Autor(es) del estudio
<i>Chlorella sp.</i>	Water Science & Technology	Web of science	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella sp.</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 84%.	Arango et al. 2016
<i>Chlorella vulgaris</i>	Bioresource Technology	Scopus	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella vulgaris</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 94%.	García et al. 2017
<i>Chlorella vulgaris</i>	Environmental Science and Pollution Research	Scopus	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella vulgaris</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 90%.	Ergin Taskan, 2016
<i>Chlorella vulgaris</i>	Bioresource Technology	Scopus	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella vulgaris</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 43%.	He et al. 2013
<i>Chlorella vulgaris</i>	Science of the Total Environment	Web of science	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella vulgaris</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 88%.	López et al. 2019

<i>Chlorella vulgaris</i>	International Journal of Environmental Research	Scopus	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella vulgaris</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 53%.	Salgueiro et al. 2018
<i>Chlorella sp.</i>	Water Environment Research	Web of science	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella sp.</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 21% .	Zielinski et al. 2018
<i>Chlorella vulgaris</i>	Bioresource Technology	Scopus	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella vulgaris</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 98%.	Terán et al. 2021
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Desalination	Web of science	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Scenedesmus quadricauda</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 100%.	Maeng et al. 2018
<i>Chlorella vulgaris</i>	Bioresource Technology	Scopus	Se trataron aguas residuales domésticas utilizando <i>Chlorella vulgaris</i> para remover materia orgánica, teniendo una eficiencia de 77%.	Wang et al. 2015

En la Tabla 4, se observó los tipos de algas de los estudios incluidos, siendo 10 el total de investigaciones aceptadas con fecha de publicación entre 2011 a setiembre de 2021. De los tipos de algas el más usado fue el género ***Chlorella***.

En la Figura 2 se muestran los tipos de algas utilizados en las investigaciones científicas seleccionadas.

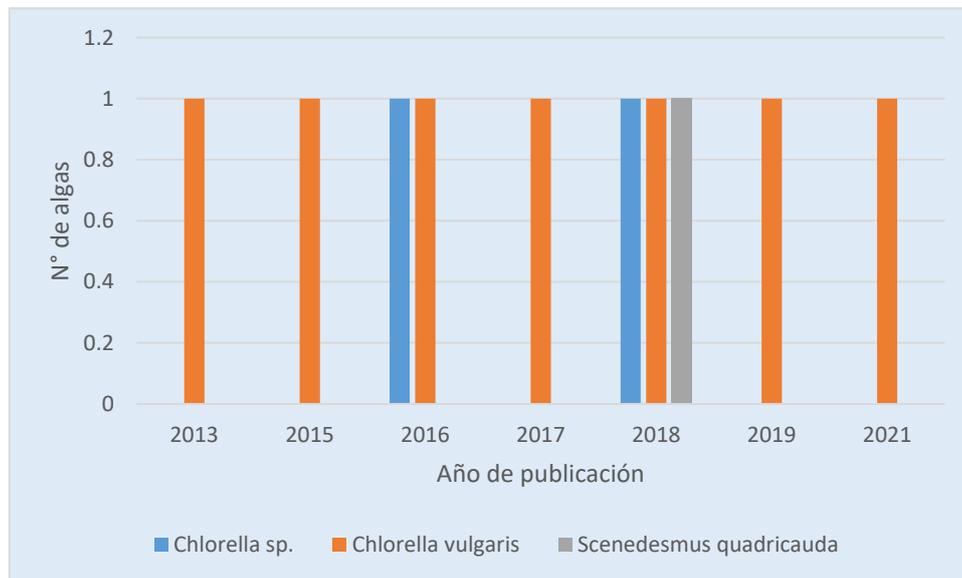


Figura 2. Tipos de algas para la remoción de materia orgánica

En la Figura 2 se observó que la ***Chlorella vulgaris*** fue el alga más utilizada por los investigadores con 7 artículos. Por otro lado, las algas menos utilizadas por los investigadores fueron la ***Chlorella sp.*** con 2 artículos y ***Scenedesmus quadricauda*** con 1 artículo. De los años de publicación, para el año 2018 los investigadores utilizaron los 3 tipos de alga.

En la Figura 3 se muestra la distribución de las investigaciones científicas seleccionadas de las bases de datos de Scopus y Web of science.

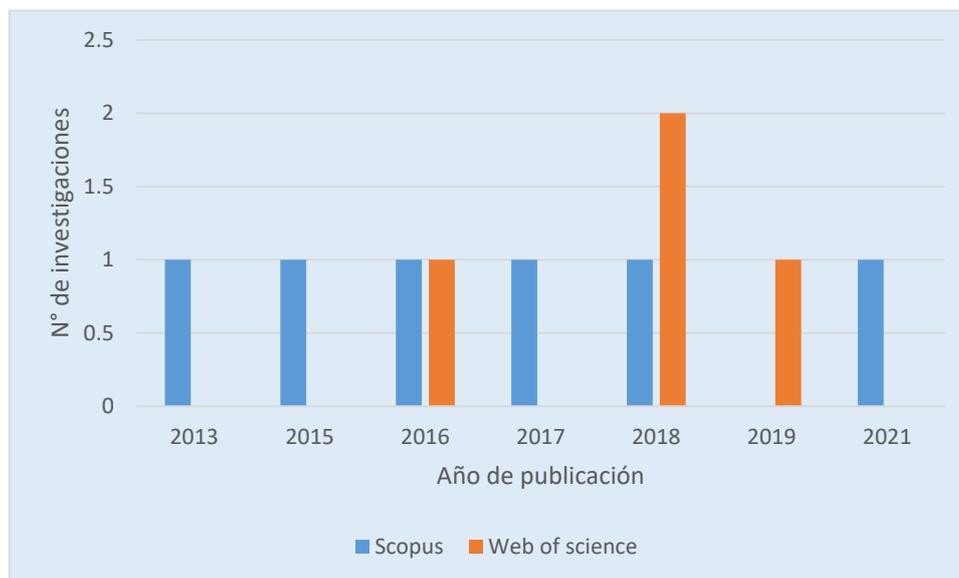


Figura 3. Base de datos

En la Figura 3 se observó que la base de datos Scopus fue el que aportó más investigaciones referentes al uso de algas con 6 artículos. Mientras que la base de datos Web of science con 4 artículos fue el que aportó menos investigaciones referentes al uso de algas. De los años estudiados, para el año 2018 se utilizaron 3 investigaciones.

Tabla 5. Condiciones operacionales de aplicación de las algas

Tipo de alga	pH	Iluminación ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Dosis (mg/l)	Tiempo de contacto (horas)	Autor(es) del estudio
<i>Chlorella sp.</i>	7.8	-	25	300	192	Arango et al. 2016
<i>Chlorella vulgaris</i>	8	1417	21	680	624	García et al. 2017
<i>Chlorella vulgaris</i>	7.2	100	23	200	168	Ergin Taskan, 2016
<i>Chlorella vulgaris</i>	6.5	-	27	5	48	He et al. 2013
<i>Chlorella vulgaris</i>	6.8	-	21	268	480	López et al. 2019
<i>Chlorella vulgaris</i>	7.6	50	20	90	360	Salgueiro et al. 2018
<i>Chlorella sp.</i>	6.9	-	22	250	240	Zielinski et al. 2018

<i>Chlorella vulgaris</i>	6	440	25	1200	68	Terán et al. 2021
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	7.5	150	25	200	64	Maeng et al. 2018
<i>Chlorella vulgaris</i>	7.5	200	25	196	264	Wang et al. 2015

En la Tabla 5, se observó que la mayor dosis de alga (1200 mg/l) fue aplicado por Terán et al. (2021) y para la menor dosis de alga (5 mg/l) aplicado por He et al. (2013). Por otra parte, el mayor tiempo de contacto de 624 horas fue por García et al. (2017), y el menor tiempo de contacto de 48 horas fue por He et al. (2013).

En la Figura 4 se muestra la distribución de las condiciones operacionales de la aplicación del alga respecto a los parámetros de pH y temperatura.

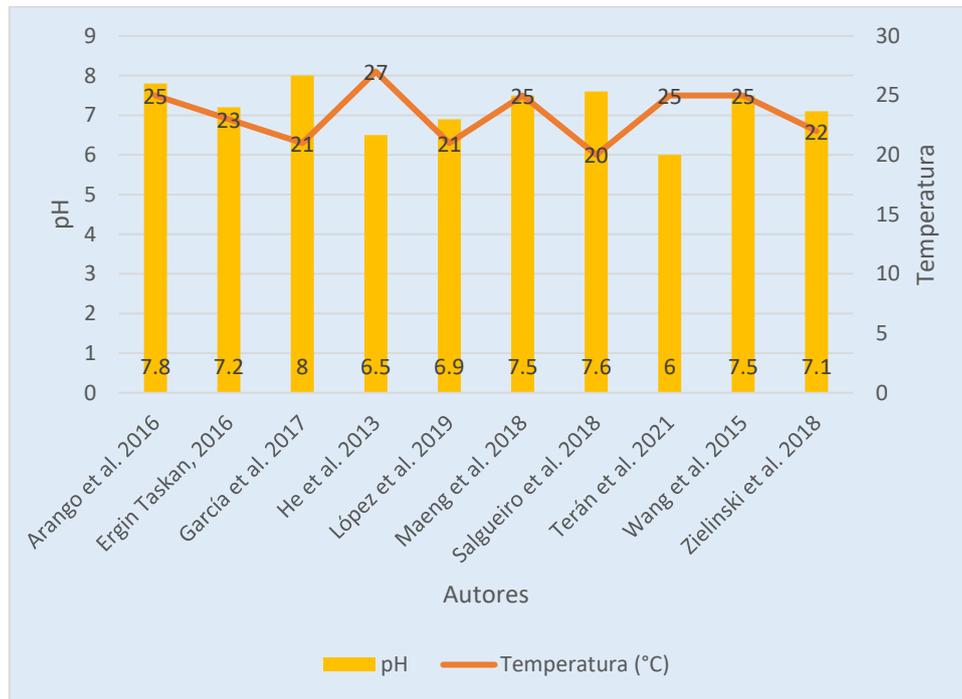


Figura 4. Condiciones operacionales de aplicación del alga

En la Figura 4, se observó que los valores de pH más utilizados se encuentran entre 6 a 8. Para el mayor valor de pH, García et al. (2017), aplico 8 y para el menor de 6 aplicado por Terán et al. (2021). Por otra parte, para la temperatura utilizada el mayor valor de 27°C fue por He et al. (2013), para el menor valor de 20°C fue por Salgueiro et al. (2018).

Tabla 6. Parámetros físico-químicos de las muestras de aguas contaminadas, antes y después del tratamiento

Procedencia de la muestra	pH		Conductividad eléctrica (µS/cm)		Carbono orgánico total (mg/l)		Demanda química de oxígeno (mg/l)		Sólidos totales suspendidos (mg/l)		Autor(es) del estudio
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
PTAR ubicada en Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México	7.8	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	Arango et al. 2016
Finca cercana en Cantalejo (España)	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	García et al. 2017
Matadero de ganado ubicado en Elazig (Turquía)	7.2	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	Ergin Taskan, 2016
Tanque séptico y un tanque de sedimentación secundario, China	6.5	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	He et al. 2013
Finca porcina “Ana Margarita”, ubicada en Nuevo León, México.	6.9	9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	López et al. 2019

Aguas residuales sintéticas, España.	7.6	9.7	-	-	-	-	-	-	-	-	Salgueiro et al. 2018
Aguas residuales sintéticas, Polonia.	7.1	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	Zielinski et al. 2018
Industria avícola local, Arequipa, Perú.	6	9.24	-	-	-	-	-	-	-	-	Terán et al. 2021
Aguas residuales sintéticas, Korea.	7.5	10.9	-	-	-	-	-	-	-	-	Maeng et al. 2018
Granja privada cerca de Harbin, China.	7.5	7.9	-	-	-	-	-	-	-	-	Wang et al. 2015

En la Tabla 6, se observó la procedencia de las muestras de aguas contaminadas y los parámetros físico-químicos antes y después del tratamiento. Respecto a los valores de pH Maeng et al. (2018) tuvo un mayor incremento de 3.4 después del tratamiento y para Ergin Taskan (2016), tuvo un menor incremento de 0.2 después del tratamiento.

En la Figura 5 se muestra de que país proceden los efluentes domésticos utilizados en las investigaciones seleccionadas.



Figura 5. Procedencia de la muestra

En la Figura 5, se observó la procedencia de las muestras utilizada por los investigadores, siendo los países de México, España y China con 2 artículos cada uno y Turquía, Polonia, Perú y Korea con 1 artículo cada uno.

Tabla 7. Remoción de materia orgánica

Tipo de alga	Materia orgánica				Autor(es) del estudio
	Concentración C1	Concentración C2	% de remoción C1	% de remoción C2	
<i>Chlorella sp.</i>	412	834	74	84	Arango et al. 2016
<i>Chlorella vulgaris</i>	497	963	94	87	García et al. 2017
<i>Chlorella vulgaris</i>	99	197	90	83	Ergin Taskan, 2016
<i>Chlorella vulgaris</i>	99	225	43	36	He et al. 2013
<i>Chlorella vulgaris</i>	2278	4340	81	88	López et al. 2019
<i>Chlorella vulgaris</i>	720	1360	29	53	Salgueiro et al. 2018

<i>Chlorella sp.</i>	318	635	17	21	Zielinski et al. 2018
<i>Chlorella vulgaris</i>	645	1328	98	81	Terán et al. 2021
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	120	250	92	100	Maeng et al. 2018
<i>Chlorella vulgaris</i>	1864	3665	71	77	Wang et al. 2015

En la Tabla 7, se observó los porcentajes de remoción de materia orgánica obtenida de la concentración C1 y C2 luego de la aplicación del alga, siendo 100% el porcentaje de remoción de materia orgánica el valor más alto obtenido por Maeng et al. (2018) y 17% el valor mínimo obtenido por Zielinski et al. (2018).

En la Figura 6 se muestra los resultados obtenidos de la remoción de materia orgánica en la concentración C1.

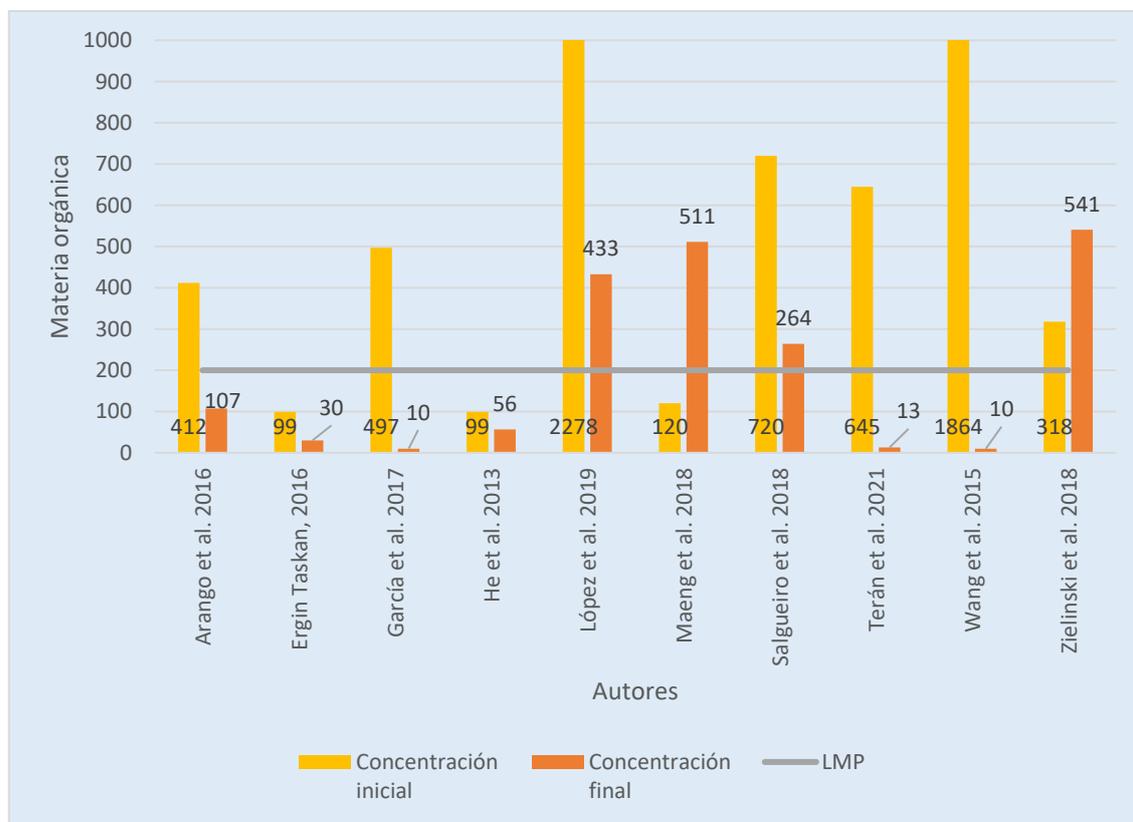


Figura 6. Remoción de materia orgánica en la concentración C1

En la Figura 6, se observó que los estudios de Arango et al. (2016), García et al. (2017) y Terán et al. (2021) tuvieron resultados menores a 200 mg/l que son aceptados según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR), para el sector Vivienda. Sin embargo, para los estudios de López et al. (2019), Salgueiro et al. (2018), Zielinski et al. (2018) y Wang et al. (2015) no se obtuvieron resultados menores a 200 mg/l.

En la Figura 7 muestra los resultados obtenidos de la remoción de materia orgánica en la concentración C2.

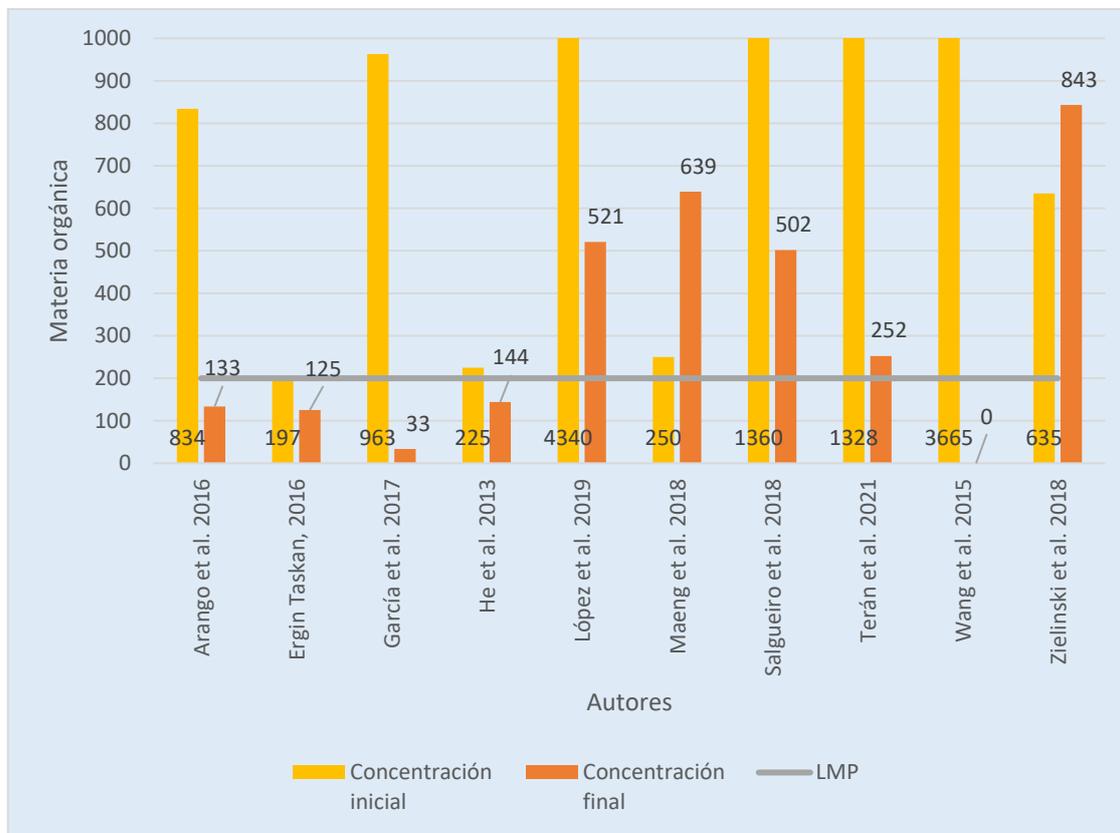


Figura 7. Remoción de materia orgánica en la concentración C2

En la Figura 7, se observó que los estudios de Arango et al. (2016), García et al. (2017), He et al. (2013) y Maeng et al. (2018) tuvieron resultados menores a 200 mg/l que son aceptados según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR), para el sector Vivienda. Sin embargo, para los estudios de López et al. (2019), Salgueiro et al. (2018), Zielinski et al. (2018), Terán et al. (2021) y Wang et al. (2015) no se obtuvieron resultados menores a 200 mg/l.

Meta-análisis

La Figura 8, muestra las diez (10) investigaciones incluidas para la meta-análisis que fueron procesadas en el software RevMan 5.4.1., las mismas que fueron trabajadas con un intervalo de confianza del 95%. La eficiencia de remoción de materia orgánica está representada por el polígono en la parte inferior del gráfico, y sus bordes representan el límite del intervalo de confianza.

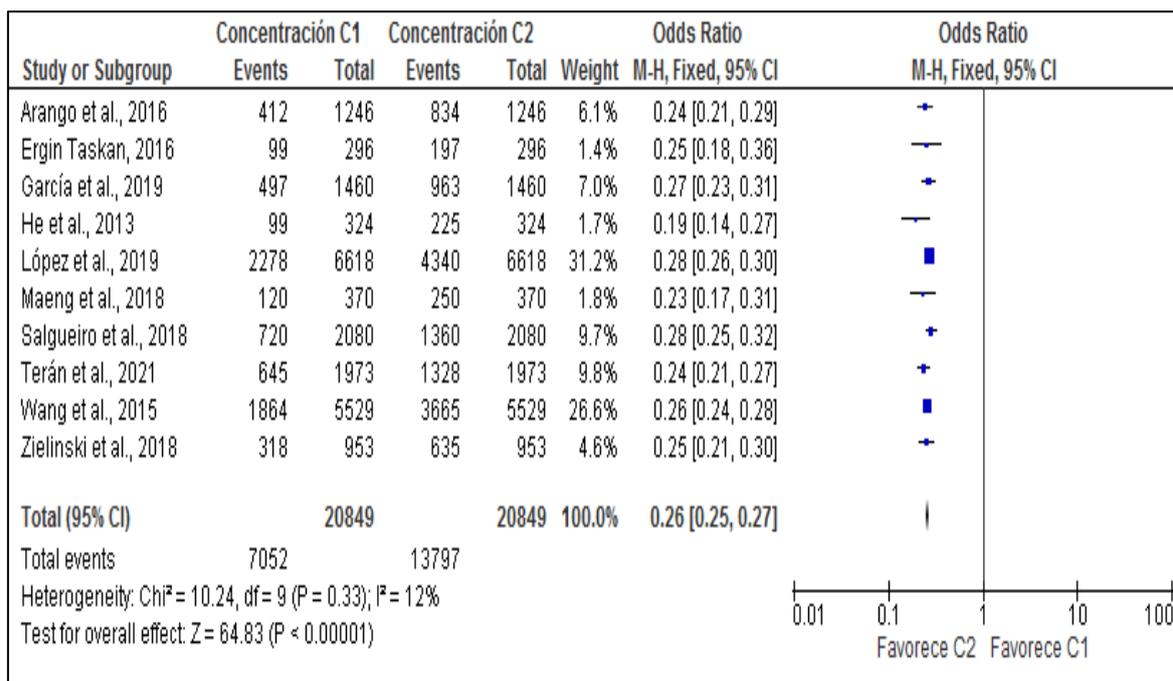


Figura 8. Meta-análisis del porcentaje de remoción de la materia orgánica al aplicar el alga

Para la evaluación del efecto del tratamiento sobre una población se empleó la razón de momio (Odds Ratio “OR”), para ello, se utilizó una escala con los siguientes intervalos:

Odds < 1: El tratamiento favorece a la concentración C2

Odds > 1: El tratamiento favorece a la concentración C1

Odds = 1: El tratamiento favorece a ambas concentraciones

Según la razón de momio (Odds Ratio), el tratamiento favorece a la concentración C2, porque muestra un valor menor a 1 (0.26), y de acuerdo a este valor se afirma que los porcentajes de remoción de materia orgánica obtenidos en las concentraciones C2 son mayores que los obtenidos en la concentración C1, lo

cual quiere decir que, con concentraciones iniciales altas de materia orgánica se obtuvo mayor porcentaje de remoción de tal contaminante. El uso del alga en el tratamiento de efluentes domésticos es eficiente para remover materia orgánica, gracias a su capacidad de crecimiento en efluentes domésticos que permiten la remoción.

A partir de la Figura 8, se observó que en las 10 investigaciones incluidas hay heterogeneidad estadística baja ($I^2 = 12\%$, $p < 0.33$) de acuerdo a efectos fijos. La heterogeneidad de la meta-análisis indica que las metodologías de los estudios no son muy diferentes en distintos campos como, el diseño de la investigación, las muestras empleadas y el tipo de análisis estadístico empleado para la obtención del porcentaje.

Por otro lado, el polígono promedio del meta-análisis se encuentra alejado de la línea de referencia, y al comparar ($p < 0.00001$, $Z = 64.83$) se observó que hay mucha diferencia entre los porcentajes de remoción obtenidos.

Asimismo, de acuerdo a los valores de peso (weight) se observó que el estudio López et al. (2019), presentó un 31.2% lo que indica que trabajó con concentraciones de materia orgánica mayores, respecto al resto de los demás estudios. Los intervalos obtenidos de ese estudio son de 0.26 a 0.30 y una media de 0.28.

Porcentaje de remoción en Excel

En la Figura 9, se muestra los porcentajes de remoción de la materia orgánica obtenidos de la concentración C1 y C2 después de aplicar el alga en el tratamiento de efluentes domésticos.

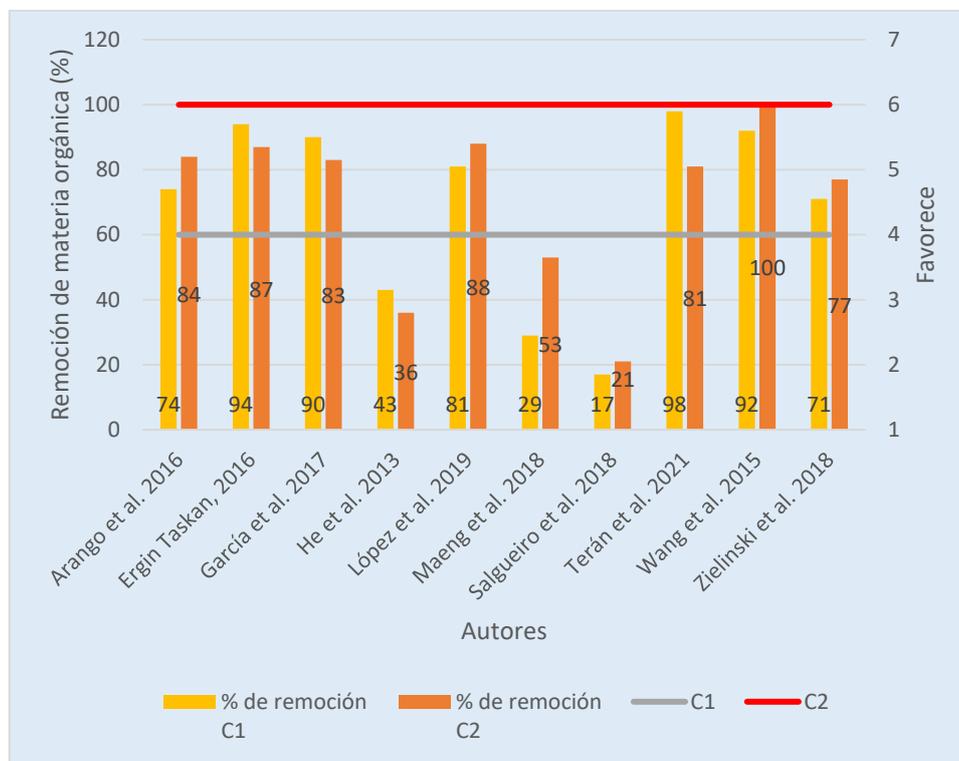


Figura 9. Porcentaje de remoción de la materia orgánica al aplicar el alga

A partir de la Figura 9, se observó que el mayor porcentaje de remoción de materia orgánica obtenido de la concentración C1 fue de 98% por Terán et al. (2021) y para la concentración C2 fue de 100% obtenido por Maeng et al. (2018), las algas aplicadas fueron ***Chlorella vulgaris*** y ***Scenedesmus quadricauda***, respectivamente.

Del mayor porcentaje de remoción de materia orgánica obtenido por los investigadores, 6 investigaciones favorecieron a la concentración C2 y 4 a la concentración C1.

V. DISCUSIÓN

A partir del desarrollo de la presente investigación, se analizaron diez (10) investigaciones que cumplían con los criterios de inclusión. El mayor porcentaje de remoción de materia orgánica (100%) fue obtenida por Maeng et al. (2018), con una dosis de alga de 200 mg/l y tiempo de contacto de 64 horas para una carga orgánica inicial de 250 mg/l. Por otra parte, el menor porcentaje de remoción de materia orgánica (17%) fue obtenida por Zielinski et al. (2018), con una dosis de alga de 250 mg/l y tiempo de contacto de 240 horas para una carga orgánica inicial de 318 mg/l. Para la investigación con mayor porcentaje de remoción se utilizó **Scenedesmus quadricauda** y para el que se obtuvo menor porcentaje de remoción de materia orgánica se utilizó **Chlorella sp.** De lo expuesto, se puede indicar que a más tiempo de contacto o mayor dosis no necesariamente se puede obtener un mayor porcentaje de remoción de materia orgánica, se debe considerar otros factores como condiciones operacionales del alga y/o las características físico-químicas de la muestra.

De las 10 investigaciones incluidas para la meta-análisis, se evidenció que se obtuvieron altos porcentajes de remoción de materia después de la aplicación del alga. Para la concentración C1 García et al. (2017) obtuvo la remoción de materia orgánica (94%) después de la aplicación de **Chlorella vulgaris** con una dosis de 680 mg/l y tiempo de contacto de 624 horas para una carga orgánica inicial de 497 mg/l, con valor de pH (8) y temperatura (21°C); Ergin Taskan (2016) obtuvo la remoción de materia orgánica (90%) después de la aplicación de **Chlorella vulgaris** con una dosis de 200 mg/l y tiempo de contacto de 168 horas para una carga orgánica inicial de 99 mg/l, con valor de pH (7.2) y temperatura (23°C) y Terán et al. (2021) obtuvo la remoción de materia orgánica (98%) después de la aplicación de **Chlorella vulgaris** con una dosis de 1200 mg/l y tiempo de contacto de 68 horas para una carga orgánica inicial de 645 mg/l, con valor de pH (6) y temperatura (25 °C). Sin embargo, para He et al. (2013) obtuvo la remoción de materia orgánica (43%) después de la aplicación de **Chlorella vulgaris** con una dosis de 5 mg/l y tiempo de contacto de 48 horas para una carga orgánica inicial de 99 mg/l, con valor de pH (6.5) y temperatura (27°C) y Zielinski et al. (2018) obtuvo la remoción de materia orgánica (17%) después de la aplicación de **Chlorella sp.** con una dosis

de 250 mg/l y tiempo de contacto de 240 horas para una carga orgánica inicial de 318 mg/l, con valor de pH (7.1) y temperatura (22 °C), en prácticamente las mismas concentraciones iniciales de materia orgánica.

Por otra parte, para la concentración C2 Arango et al. (2016) obtuvo la remoción de materia orgánica (84%) después de la aplicación de ***Chlorella sp.*** con una dosis de 300 mg/l y tiempo de contacto de 192 horas para una carga orgánica inicial de 834 mg/l, con valor de pH (7.8) y temperatura (25°C); López et al. (2019), obtuvo la remoción de materia orgánica (88%) después de la aplicación de ***Chlorella vulgaris*** con una dosis de 268 mg/l y tiempo de contacto de 480 horas para una carga orgánica inicial de 4340 mg/l, con valor de pH (6.9) y temperatura (21°C); Maeng et al. (2018) obtuvo la remoción de materia orgánica (100%) después de la aplicación de ***Scenedesmus quadricauda*** con una dosis de 200 mg/l y tiempo de contacto de 64 horas para una carga orgánica inicial de 250 mg/l, con valor de pH (7.5) y temperatura (25°C) y Wang et al. (2015) obtuvo la remoción de materia orgánica (77%) después de la aplicación de ***Chlorella vulgaris*** con una dosis de 196 mg/l y tiempo de contacto de 264 horas para una carga orgánica inicial de 3665 mg/l, con valor de pH (7.5) y temperatura (25°C). Sin embargo, para Salgueiro et al. (2018) obtuvo la remoción de materia orgánica (53%) después de la aplicación de ***Chlorella vulgaris*** con una dosis de 90 mg/l y tiempo de contacto de 360 horas para una carga orgánica inicial de 1360 mg/l, con valor de pH (7.6) y temperatura (20°C) y Zielinski et al. (2018) obtuvo la remoción de materia orgánica (21%) después de la aplicación de ***Chlorella sp.*** con una dosis de 250 mg/l y tiempo de contacto de 240 horas para una carga orgánica inicial de 635 mg/l, con valor de pH (7.1) y temperatura (22°C), en prácticamente las mismas concentraciones iniciales de materia orgánica.

De la información recopilada en las investigaciones, para Luan et al. (2019) es el único que trabajo con muy altas concentraciones de materia orgánica con valores iniciales de 3507 y 9757 mg/l comparadas con el resto de investigaciones consideradas en el meta-análisis, obteniendo resultados entre 84% de remoción de materia orgánica en la concentración C1 y 94% de remoción de materia orgánica en la concentración C2 aplicando ***Chlorella sorokiniana***. Sin embargo, los valores de materia orgánica se encontraban sobre los 200 mg/l que son aceptados según

el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR). De lo mencionado, se puede asumir que se debería realizar tratamientos secundarios del efluente domestico para que los valores resultantes se encuentren debajo de lo indicado en el LMP.

De los resultados obtenidos, Ergin Taskan (2016), He et al. (2013), Zielinski et al. (2018) y Maeng et al. (2018) utilizaron concentraciones iniciales de 197, 225, 318 y 250 mg/l de materia orgánica (MO), respectivamente. Los valores se encuentran cerca a los 200 mg/l permitidos según los LMP y se obtuvo una remoción de 83%, 36%, 17% y 100% de MO, respectivamente, luego de la aplicación de algas para el tratamiento de efluentes domésticos. Por otra parte, para Arango et al. (2016), García et al. (2017), Terán et al. (2021) y Salgueiro et al. (2018) utilizaron concentraciones iniciales de 412, 497, 645 y 720 mg/l de materia orgánica y mostraron resultados de 74%, 94%, 98% y 53% de remoción de materia orgánica respectivamente. Además, para López et al. (2019) y Wang et al. (2015), que tuvieron concentraciones iniciales de 2278 y 1864 mg/l de materia orgánica mostraron resultados de 81% y 71% de remoción de materia orgánica, respectivamente. De lo mencionado, se puede establecer que las concentraciones de la materia orgánica deberían ser menores a 500 mg/l para obtener resultados por debajo de los 200 mg/l de materia orgánica permitidos según los LMP, de esta manera, aprovechar de forma eficiente este recurso renovable que es el alga. Sin embargo, para las concentraciones de la materia orgánica mayor a 500 mg/l se debería implementar un tratamiento por ciclos para obtener resultados por debajo de los 200 mg/l de materia orgánica permitidos según los LMP.

De los estudios, el tiempo de contacto de las algas para la remoción de materia orgánica en el tratamiento de efluentes domésticos muestra que no necesariamente es un factor limitante en la obtención del mayor porcentaje de materia orgánica, para García et al. (2017), Ergin Taskan (2016), Terán et al. (2021) y Maeng et al. (2018) utilizaron tiempos de contacto de 624, 168, 68 y 64 horas y mostraron resultados de 94%, 90%, 81% y 100% de remoción de materia orgánica, respectivamente. Sin embargo, para He et al. (2013) y Zielinski et al. (2018)

utilizaron tiempos de contacto de 48 y 240 horas y mostraron resultados de 43% y 17% de remoción de materia orgánica, respectivamente.

De la utilización del alga, la dosis aplicada para la remoción de materia orgánica en el tratamiento de efluentes domésticos muestra que no necesariamente es un factor limitante en la obtención del mayor porcentaje de materia orgánica. Para García et al. (2017), Ergin Taskan (2016), Terán et al. (2021) y Maeng et al. (2018) aplicaron dosis de 680, 200, 1200 y 200 mg/l y obtuvieron resultados de 94%, 90%, 81% y 100% de remoción de materia orgánica, respectivamente. Sin embargo, para He et al. (2013) y Zielinski et al. (2018) aplicaron dosis de 5 y 250 mg/l y se obtuvieron resultados de 43% y 17% de remoción de materia orgánica, respectivamente.

De las condiciones operacionales del alga, el parámetro de pH en la remoción de materia orgánica en el tratamiento de efluentes domésticos muestra que no necesariamente es un factor limitante en la obtención del mayor porcentaje de materia orgánica. Para García et al. (2017), Ergin Taskan (2016), Terán et al. (2021) y Maeng et al. (2018) trabajaron con un valor de pH de 8, 7.2, 6 y 7.5 y se obtuvieron resultados de 94%, 90%, 81% y 100% de remoción de materia orgánica, respectivamente. Sin embargo, para He et al. (2013) y Zielinski et al. (2018) trabajaron con un valor de pH de 6.5 y 6.9 y se obtuvieron resultados de 43% y 17% de remoción de materia orgánica, respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

La revisión sistemática demostró que las algas son eficientes para la remoción de materia orgánica (MO) en el tratamiento de efluentes domésticos. La mejor eficiencia de remoción (100%) de MO fue alcanzada con la aplicación del alga ***Scenedesmus quadricauda***. Entre los resultados más relevantes se tiene:

1. Las algas utilizadas por los investigadores de los estudios seleccionados para la remoción de materia orgánica (MO) fue la ***Chlorella sp.***, ***Chlorella vulgaris*** y ***Scenedesmus quadricauda***, siendo la ***Chlorella vulgaris*** la más utilizada por su adaptabilidad al agua residual y su alta capacidad de eliminación de carga orgánica, mostrando resultados de remoción de MO mayores a 72%.
2. Se determinó que el pH, iluminación, temperatura y tiempo de contacto son los parámetros necesarios para el crecimiento de las algas. Asimismo, las 10 investigaciones seleccionadas trabajaron con valores promedio de 7.21, 392.83 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, 23.4 °C y 250 horas para pH, iluminación, temperatura y tiempo de contacto, respectivamente.
3. Se determinó que los parámetros físico-químicos evaluados en los efluentes domésticos fueron, pH, conductividad eléctrica (CE), carbón orgánico total (COT), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales suspendidos (TSS). Además, de las 10 investigaciones seleccionadas, el pH alcanza valores máximos de 10.9 sin afectar el proceso de remoción de materia orgánica.
4. De las 10 investigaciones seleccionadas, se identificó que el valor promedio de la concentración inicial de materia orgánica (MO) empleada por los investigadores fue de 705,20 y 1379,70 mg/l para las concentraciones bajas y altas, respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar revisiones sistemáticas y meta-análisis sobre el uso de otros tipos de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos.
- Para el meta-análisis hacer uso de un software estadístico que facilite el tratamiento de los datos.
- Revisar investigaciones que trabajaron con diferentes concentraciones de materia orgánica.
- Realizar la búsqueda de información para diferentes bases de datos.

REFERENCIAS

ALMOMANI, F., et al. Intergraded wastewater treatment and carbon bio-fixation from flue gases using *Spirulina platensis* and mixed algal culture. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea]. 2019, 124. 240-250 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0957-5820. DOI 10.1016/j.psep.2019.02.009.

ALMOMANI, F. y ÖRMECI, B. Assessment of algae-based wastewater treatment in hot climate region: Treatment performance and kinetics. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea]. 2020, 141. 140-149 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0957-5820. DOI 10.1016/j.psep.2020.03.031.

ANSARI, F., et al. Techno-economic estimation of wastewater phycoremediation and environmental benefits using *Scenedesmus obliquus* microalgae. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2019, marzo, 240. 293-302 [fecha de consulta 25 de agosto 2021]. ISSN 1095-8630. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.03.123

ARANGO, L., et al. Effect of microalgae inoculation on the start-up of microalgae–bacteria systems treating municipal, piggery and digestate wastewaters. *Water Science & Technology* [en línea]. 2016, 73(3). 687-696 [fecha de consulta 25 de agosto 2021]. DOI 10.2166/wst.2015.544

ARIAS, D., et al. Integrating microalgae tertiary treatment into activated sludge systems for energy and nutrients recovery from wastewater. *Bioresource Technology* [en línea]. 2017, 247. 513-519 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0960-8524. DOI 10.1016/j.biortech.2017.09.123

AZAM, R., et al. Production of algal biomass for its biochemical profile using slaughterhouse wastewater for treatment under axenic conditions. *Bioresource Technology* [en línea]. 2020, 306. 116-123 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0960-8524. DOI 10.1016/j.biortech.2020.123116

CHOI, W., et al. Effect of trophic conditions on microalga growth, nutrient removal, algal organic matter, and energy storage products in *Scenedesmus* (*Acutodesmus*) *obliquus* KGE-17 cultivation. *Bioprocess and Biosystems Engineering* [en línea]. 2019, 42. 1225-1234 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. DOI 10.1007/s00449-019-02120-x

EI OUAER, M., et al. Tunisian landfill leachate treatment using *Chlorella* sp.: effective factors and microalgae strain performance. *Arab J Geosci* [en línea]. 2017, 10 (457), [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 2211-9264. DOI 10.1007/s12517-017-3241-4

GALÉS, A., et al. Importance of ecological interactions during wastewater treatment using High Rate Algal Ponds under different temperate climates. *Algal Research* [en línea]. 2019, 40. 101508 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 2211-9264. DOI 10.1016/j.algal.2019.101508

GARCÍA, D., et al. Comparative evaluation of piggery wastewater treatment in algal-bacterial photobioreactors under indoor and outdoor conditions. *Bioresource Technology* [en línea]. 2017, [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0960-8524. DOI 10.1016/j.biortech.2017.08.135

GONZALES, C., et al. Impact of temperature and photoperiod on anaerobic biodegradability of microalgae grown in urban wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation* [en línea]. 2026, 106. 16-23 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0964-8305. DOI 10.1016/j.ibiod.2015.10.007

GOU, Y., et al. Feasibility of using a novel algal-bacterial biofilm reactor for efficient domestic wastewater treatment. *Environmental Technology* [en línea]. 2018, 41(4). 400-410 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0959-3330. DOI 10.1080/09593330.2018.1499812

GUPTA, S., et al. An algal assisted constructed wetland-microbial fuel cell integrated with sand filter for efficient wastewater treatment and electricity production. *Chemosphere* [en línea]. 2021, 263. 128-132 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1879-1298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.128132

HE, P., et al. The combined effect of bacteria and *Chlorella vulgaris* on the treatment of municipal wastewaters. *Bioresource Technology* [en línea]. 2013, 146. 562-568 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0960-8524. DOI 10.1016/j.biortech.2013.07.111

HERNÁNDEZ, D., et al. Microalgae cultivation in high rate algal ponds using slaughterhouse wastewater for biofuel applications. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. 2016, 285. 449–458 [fecha de consulta 25 de agosto 2021]. DOI 10.1016/j.cej.2015.09.072

Jl, B., et al. A self-sustaining synergetic microalgal-bacterial granular sludge process towards energy- efficient and environmentally sustainable municipal wastewater treatment. *Water Research* [en línea]. 2020, Vol. 179, [fecha de consulta 25 de agosto 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115884>

Jl, X., et al. The collaborative effect of *Chlorella vulgaris*-*Bacillus licheniformis* consortia on the treatment of municipal water. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2019, 365. 483-493 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1873-3336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2018.11.039

JINDA, K., et al. Performance evaluation of novel attached-growth high rate algal pond system with artificial light illumination for wastewater treatment and nutrient recovery. *Water Science & Technology* [en línea]. 2020, 82(1). 97-106 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. DOI 10.2166/wst.2020.329

LEITE, L., et al. Microalgae harvesting from wastewater by pH modulation and flotation: Assessing and optimizing operational parameters. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. 2020, 254. 109825 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109825

LEITE, L., et al. Microalgae cultivation for municipal and piggery wastewater treatment in Brazil. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. 2019, 31. 1-7 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 2214-7144. DOI 10.1016/j.jwpe.2019.100821

LI, Y., et al. Seawater toilet flushing sewage treatment and nutrients recovery by marine bacterial-algal mutualistic system. *Chemosphere* [en línea]. 2018, 195. 70–79 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1879-1298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.12.076

LÓPEZ, I., et al. Combination of nejayote and swine wastewater as a medium for *Arthrospira maxima* and *Chlorella vulgaris* production and wastewater treatment. *Science of the Total Environment* [en línea]. 2019, 676. 356-367 [fecha de consulta 25 de agosto 2021]. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.04.278

MAENG, S., et al. Treatment of highly saline RO concentrate using *Scenedesmus quadricauda* for enhanced removal of refractory organic matter. *Desalination* [en línea]. 2018, 430, enero. 128-135 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2017.12.056

MAHDY, A., et al. Enzymatic pretreatment of *Chlorella vulgaris* for biogas production: Influence of urban wastewater as a sole nutrient source on macromolecular profile and biocatalyst efficiency. *Bioresource Technology* [en línea]. 2016, 199. 319–325 [fecha de consulta 25 de agosto 2021]. ISSN 1873-2976. DOI 10.1016/j.biortech.2015.08.080

MOHSENI, A., et al. Potential of *Chlorella vulgaris* and *Nannochloropsis salina* for nutrient and organic matter removal from municipal wastewater reverse osmosis concentrate. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2020, 27(21). 26905–26914 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-020-09103-6

MOHSENPOUR, S., et al. Integrating micro-algae into wastewater treatment: A review. *Science of the Total Environment* [en línea]. 2021, Vol. 752, [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142168>

MOONDRA, N., et al. Microalgal-bacterial consortia: An alluring and novel approach for domestic wastewater treatment. *Water Conservation and Management* [en línea]. 2021, 4(1). 51-56 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 2523-5672. DOI 10.26480/WCM.01.2020.51.56

NAGARAJAN, D., et al. Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. *Bioresource Technology* [en línea]. 2019, Vol. 289, [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121718>

ROSALES, A., et al. 2018. Remoción de contaminantes y crecimiento del alga *Scenedesmus* sp. en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas. *Ingeniería y Ciencia* [en línea]. 2018,14(18). 11-34 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1794-9165. DOI 10.17230/ingciencia.14.28.1

SALGUEIRO, J., et al. Semicontinuous Culture of *Chlorella vulgaris* Microalgae for Wastewater Treatment. *International Journal of Environmental Research* [en línea]. 2018, 12(6). 765–772 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1735-6865. DOI 10.1007/s41742-018-0129-4

SARAVANAN, A., et al. A review on algal-bacterial symbiotic system for effective treatment of wastewater. *Chemosphere* [en línea]. 2021, Vol. 271, [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129540>

SOLIMENO, A., et al. Integral microalgae-bacteria model (BIO_ALGAE): Application to wastewater high rate algal ponds. *Science of the Total Environment* [en línea]. 2017, 601-602. 646–657 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1879-1026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.05.215

TASKAN, E. Performance of mixed algae for treatment of slaughterhouse wastewater and microbial community analysis. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2016, 23(20). 20474-20482 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. DOI 10.1007/s11356-016-7241-9

TERÁN, R., et al. Acid precipitation followed by microalgae (*Chlorella vulgaris*) cultivation as a new approach for poultry slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresource Technology* [en línea]. 2021, 335, [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 0960-8524. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125284>

TIRON, O., et al. Granular activated algae for wastewater treatment. *Water Science & Technology* [en línea]. 2015, 71(6). 832-839 [fecha de consulta 7 de setiembre 2021]. ISSN 0273-1223. DOI 10.2166/wst.2015.010

VANDAMME, D., et al. Flocculation of *Chlorella vulgaris* induced by high pH: role of magnesium and calcium and practical implications. *Bioresource Technology* [en línea]. 2012, Vol. 105, [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.105>

WANG, L., et al. Microalgae Cultivation Using Screened Liquid Dairy Manure Applying Different Folds of Dilution: Nutrient Reduction Analysis with Emphasis on Phosphorus Removal. *Applied Biochemistry and Biotechnology* [en línea]. 2020, 192. 381-391 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. DOI 10.1007/s12010-020-03316-8

WANG, Y., et al. Cultivation of *Chlorella vulgaris* JSC-6 with swine wastewater for simultaneous nutrient/COD removal and carbohydrate production. *Bioresource Technology* [en línea]. 2015, 198. 619-625 [fecha de consulta 6 de setiembre 2021]. ISSN 1873-2976. DOI 10.1016/j.biortech.2015.09.067

WHITTON, R., et al. Influence of microalgal N and P composition on wastewater nutrient remediation. *Water Research* [en línea]. 2016, 91. 371-378 [fecha de consulta 7 de setiembre 2021]. ISSN 1879-2448. DOI 10.1016/j.watres.2015.12.054

ZHONG, F., et al. The use of microalgal biomass as a carbon source for nitrate removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* [en línea]. 2019, 127. 263-267 [fecha de consulta 7 de setiembre 2021]. ISSN 0925-8574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2018.11.029

ZIELINSKI, M., et al. Anaerobic Digestion Effluents (ADEs) Treatment Coupling with *Chlorella* sp. Microalgae Production. *Water Environment Research* [en línea]. 2018, 90(2). 155-163 [fecha de consulta 25 de agosto 2021]. DOI 10.2175/106143017X14902968254890

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización

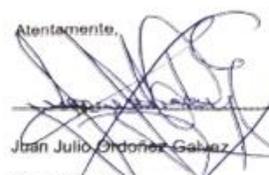
Revisión sistemática y meta-análisis sobre el uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición / Unidades
Variable Independiente Uso de algas	El tratamiento de agua basada en algas y microalgas es la más segura, prometedora y la más eficiente alternativa que reemplaza los métodos de tratamiento convencionales debido a su amplia disponibilidad, mayor capacidad de consumo de nutrientes y diversas aplicaciones de la biomasa de algas producida (Lam et al., 2012).	Según los estudios se utilizó diferentes tipos de algas, considerándose condiciones operacionales como pH, iluminación, temperatura, dosis y tiempo de contacto en los efluentes domésticos	Tipos de algas	<i>Chlorella sp.</i>	Nominal
				<i>Chlorella vulgaris</i>	
				<i>Scenedesmus quadricauda</i>	
			Condiciones operacionales	pH	1 - 14
				Iluminación	μmol m-2 s-1
				Temperatura	°C
				Dosis	mg/l
Tiempo de contacto	Horas				
Variable dependiente Remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos	Son procesos concebidos para la eliminación de contaminantes, materia orgánica que ha sido diseñado y gestionado para proteger la salud humana y ambiental (Dulce et al., 2018)	Se midió los parámetros físico- químicos de los efluentes domésticos tanto antes como después del tratamiento. Para medir la cantidad de materia orgánica removida se midió la concentración inicial y final. Para ello se utilizó la siguiente ecuación: $\%R = (C_i - C_f)/C_i \times 100$ %R = Porcentaje de remoción C _i = Concentración inicial C _f = Concentración final	Parámetros físico-químicos de las aguas contaminadas, antes y después del tratamiento	pH	1 - 14
				CE	μS/cm
				COT	mg/l
				DQO	mg/l
				TSS	mg/l
			Remoción de materia orgánica	Concentración inicial	%
				Concentración final	

Anexo 2. Instrumentos de validación

Ficha 1. Tipos de algas para la remoción de materia orgánica						
Título:	Revisión sistemática y meta-análisis sobre el uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos					
Línea de Investigación:	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales					
Responsables:	Pizango Mozombite, Armando Junior					
	Robles Abregú, Kenny Russell					
Asesor:	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto					
N°	Tipo de alga	Revista	Base de datos	Resultados	Observaciones	Autor(es) del estudio


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

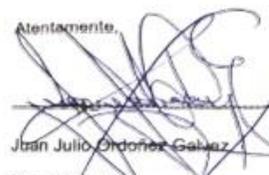
Atentamente,

Juan Julio Ordoñez Gabuz
 DNI: 08447308

Ficha 4. Remoción de materia orgánica

Título:	Revisión sistemática y meta-análisis sobre el uso de algas para la remoción de materia orgánica a partir de efluentes domésticos						
Línea de Investigación:	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales						
Responsables:	Pizango Mozombite, Armando Junior						
	Robles Abregú, Kenny Russell						
Asesor:	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto						
N°	Tipo de alga	Materia orgánica (MO)				Observaciones	Autor(es) del estudio
		Concentración C1	Concentración C2	% de remoción C1	% de remoción C2		


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

Atentamente,

Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

Anexo 3. Fichas de validación de instrumentos



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Tipos de algas para la remoción de materia orgánica**
- 1.5. Autores del Instrumento: **Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021

Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078276

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Condiciones operacionales de aplicación de las algas**
- 1.5. Autores del Instrumento: **Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130257
 RENACYT: P0073275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Parámetros físico-químicos de las muestras de aguas contaminadas, antes y después del tratamiento**
 1.5. Autores del Instrumento: **Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

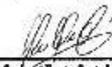
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130257
 RENACYT: P0073275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos
1.3. Especialidad o línea de investigación: Tecnología Mineral y Ambiental
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Remoción de materia orgánica
1.5. Autores del Instrumento: Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130257
 RENACRYT: P0075275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV Campus Los Olivos
1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniería química y ambiental
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Tipos de algas para la remoción de materia orgánica
1.5. Autores del Instrumento: Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

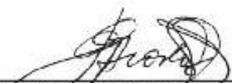
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP Nº 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y ambiental**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Condiciones operacionales de aplicación de las algas**
 1.5. Autores del Instrumento: **Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

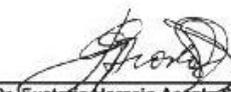
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente /UCV Campus Los Olivos
1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniería química y ambiental
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Parámetros físico-químicos de las muestras de aguas contaminadas, antes y después del tratamiento
1.5. Autores del Instrumento: Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

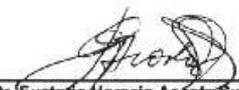
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente /UCV Campus Los Olivos
1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniería química y ambiental
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Remoción de materia orgánica
1.5. Autores del Instrumento: Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

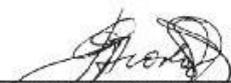
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente /UCV Campus Los Olivos
1.3. Especialidad o línea de investigación: Hidrología Ambiental
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Tipos de algas para la remoción de materia orgánica
1.5. Autores del Instrumento: Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 19 de junio del 2021

Juan Julio Ordoñez Gálvez

DNI: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1.** Apellidos y Nombres: **Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio**
1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
1.3. Especialidad o línea de investigación: **Hidrología Ambiental**
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Condiciones operacionales de aplicación de las algas**
1.5. Autores del Instrumento: **Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,
Lima, 19 de junio del 2021


 Juan Julio Ordoñez Gálvez

DNI: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente /UCV Campus Los Olivos
1.3. Especialidad o línea de investigación: Hidrología Ambiental
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Parámetros físico-químicos de las muestras de aguas contaminadas, antes y después del tratamiento
1.5. Autores del Instrumento: Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,
Lima, 19 de junio del 2021

Juan Julio Ordoñez Gálvez

DNI: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1.** Apellidos y Nombres: **Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio**
1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
1.3. Especialidad o línea de investigación: **Hidrología Ambiental**
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Remoción de materia orgánica**
1.5. Autores del Instrumento: **Pizango Mozombite, Armando Junior / Robles Abregú, Kenny Russell**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Mentemoria,
Lima, 19 de Julio del 2021

Juan Julio Ordoñez Gálvez

DNI: 08447308