

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Biotratamiento del agua proveniente del humedal Albufera de Medio Mundo (Huaura, Lima) con *Moringa oleífera* Lam para fines agrícolas

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR

Luis Jean Pierre Campos Ventura

ASESOR

Roger Manuel Mestas Valero

Lima - Perú
2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 015- 2020/UCSS/FIA/DI

Siendo las 3:00 p.m. del día 13 de octubre de 2020 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. Wilfredo Mendoza Caballero | presidente |
| 2. Mario Antonio Anaya Raymundo | primer Miembro |
| 3. Teddy Fernando González Jara | segundo Miembro |
| 4. Roger Manuel Mestas Valero | asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Biotratamiento del agua proveniente del humedal Albufera de Medio Mundo (Huaura, Lima) con *Moringa oleifera* Lam para fines agrícolas**, que presenta el bachiller en Ciencias Ambientales, **Luis Jean Pierre Campos Ventura** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

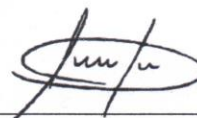
DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL**.

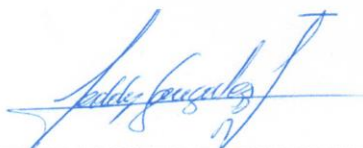
Lima, 13 de octubre de 2020.



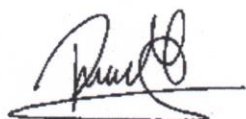
Wilfredo Mendoza Caballero
PRESIDENTE



Mario Antonio Anaya Raymundo
1° MIEMBRO



Teddy Fernando González Jara
2° MIEMBRO



Roger Manuel Mestas Valero
ASESOR

Dedicatoria

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y haberme otorgado una familia extraordinaria, quienes siempre confiaron en mí, me brindaron ejemplos sacrificio, humildad y luchar frente a las adversidades para el logro de mis metas.

Agradecimientos

A mi madre Josefa Ventura Baldera, por su amor incondicional, por su inmensa paciencia y ser para mí un ejemplo de superación, aspectos que me ayudaron a forjar mi carácter y ser una mejor persona. Gracias por todo tu tiempo y comprensión.

A mi padre José Luis Campos Flores, por todos los valores inculcados desde mi niñez, por tus lecciones de vida y por tu sacrificio hasta el último de tus días. Un muy especial agradecimiento para ti papá, que te encuentras en el cielo y que desde ahí cuidaste de mí para poder llegar hasta este día.

A mi hermana Luz Campos Ventura, quien siempre fue un claro ejemplo de persona y profesional, quien me orientó, cuidó y apoyó en todos los aspectos cuando más lo necesitaba. Gracias por tus consejos.

Mi reconocimiento al Dr. Roger Mestas Valero, quien me ha guiado en este arduo proceso de tesis y haber transmitido sus diversos conocimientos. De igual forma, darle mi más sincera gratitud al Blgo. Armando Chiclla Salazar y Dra. Heidi Sánchez Torres, quienes me brindaron esa mano amiga y profesional para el desarrollo de la presente investigación.

Por último, a mis compañeros Carlos Nomberto Conde y Jefferson Astete Pizan, quienes siempre me brindaron su apoyo y su sincera amistad.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	x
RESUMEN.....	xii
Abstract.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	12
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1. Diseño de la investigación.....	26
2.2. Lugar y fecha.....	26
2.3. Descripción del experimento.....	28
2.4. Tratamientos.....	38
2.5. Unidades experimentales.....	38
2.6. Identificación de las variables y su mensuración.....	38
2.7. Diseño estadístico del experimento.....	39
2.8. Análisis estadístico de datos.....	39
2.9. Materiales.....	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	41
3.1. Análisis de parámetros físico-químicos.....	41
3.2. Coagulación y eliminación de turbiedad en las muestras de agua tratadas con el extracto de <i>M. oleifera</i>	50
3.3. Evaluación del crecimiento de <i>Raphanus sativus</i> regado con las muestras de agua tratadas con el extracto de <i>M. oleifera</i>	57
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES.....	60
4.1. Parámetros físico-químicos de las muestras de agua tratadas con el extracto de <i>M. oleifera</i>	60
4.2. Eliminación de turbiedad con el extracto de <i>M. oleifera</i>	64
4.3. Evaluación del crecimiento de <i>Raphanus sativus</i>	66
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	69

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
TERMINOLOGÍA	77
APÉNDICES	79

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales...</i>	25
Tabla 2. <i>Tratamientos para la determinación de la dosis ideal de M. oleifera</i>	38
Tabla 3. <i>VARIABLES y su mensuración</i>	39
Tabla 4. <i>Valores promedio de los parámetros correspondientes al análisis físico- químico de la muestra de agua inicial del humedal Albufera de Medio Mundo</i>	41
Tabla 5. <i>Valores obtenidos de los parámetros correspondientes al análisis físico-químico de las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de M. oleifera</i>	44
Tabla 6. <i>Valores obtenidos del porcentaje de la actividad coagulante y porcentaje de eliminación de la turbiedad de las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de M. oleifera</i>	52
Tabla 7. <i>Valores obtenidos de la altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo del cultivo de rabanito (Raphanus sativus) regado con las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de M. oleifera</i>	57
Tabla 8. <i>Valores obtenidos de la altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo del cultivo de rabanito (Raphanus sativus) regado con las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de M. oleifera</i>	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Mapa de ecosistemas del Área de Conservación Regional Albufera Medio Mundo (ACRAMM).....	16
<i>Figura 2.</i> Mapa de zonificación del Área de Conservación Regional Albufera Medio Mundo (ACRAMM).....	17
<i>Figura 3.</i> Descripción botánica de <i>Moringa oleifera</i>	20
<i>Figura 4.</i> Mecanismo de coagulación/floculación para las proteínas catiónicas de <i>M. oleifera</i>	22
<i>Figura 5.</i> Ubicación del punto de muestreo de agua en el humedal Albufera de Medio Mundo.....	27
<i>Figura 6.</i> Toma de muestras de agua superficial en el humedal Albufera de Medio Mundo.....	29
<i>Figura 7.</i> Procesamiento de las semillas de <i>M. oleifera</i>	31
<i>Figura 8.</i> Secado de las muestras preparadas (A-B) y preparación de las dosis de <i>M. oleifera</i> (C-E).....	32
<i>Figura 9.</i> Tratamientos del extracto de <i>M. oleifera</i> con las muestras de agua del humedal.....	33
<i>Figura 10.</i> Cultivo de <i>Raphanus sativus</i> en condiciones de invernadero.....	37
<i>Figura 11.</i> Resultados de los parámetros físico-químicos de las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de <i>M. oleifera</i>	45
<i>Figura 12.</i> Líneas simples de los valores medios de los parámetros físico-químicos versus los tratamientos con <i>M. oleifera</i>	48
<i>Figura 13.</i> Líneas simples de los valores medios de los parámetros físico-químicos versus los tratamientos con <i>M. oleifera</i>	51
<i>Figura 14.</i> Líneas simples de los valores medios del porcentaje de actividad coagulante (A), porcentaje de actividad coagulante vs. tratamientos (B), y actividad coagulante (en función al pH) (C) de los tratamientos con <i>M. oleifera</i>	53
<i>Figura 15.</i> Líneas simples de los valores medios del porcentaje de eliminación	

de turbiedad (A), porcentaje de eliminación de turbiedad vs.
tratamientos (B), y eliminación de turbiedad (en función al pH) (C)
de los tratamientos con *M. oleifera*.....56

Figura 16. Resultados de altura de planta (A), número de hojas (B) y diámetro de
tallo (C) del cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) regado con las
muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y
tratadas con el extracto de *M. oleifera*.....59

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Prueba de efectos inter-sujetos para conductividad eléctrica con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).....	78
Apéndice 2. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para conductividad eléctrica y tipo de tratamiento	79
Apéndice 3. Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para conductividad eléctrica y tipo de tratamiento	80
Apéndice 4. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para conductividad eléctrica y nivel de pH.....	81
Apéndice 5. Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para conductividad eléctrica y nivel de pH	82
Apéndice 6. Prueba de efectos inter-sujetos para fósforo total con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH)	83
Apéndice 7. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para fósforo total y tipo de tratamiento.....	84
Apéndice 8. Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para fósforo total y tipo de tratamiento.....	85
Apéndice 9. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para fósforo total y nivel de pH	86
Apéndice10. Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para fósforo total y nivel de pH	87
Apéndice 11. Prueba de efectos inter-sujetos para nitrógeno total con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH)	88
Apéndice 12. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para nitrógeno total y tipo de tratamiento.....	89
Apéndice 13. Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para nitrógeno total y tipo de tratamiento	90
Apéndice 14. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para nitrógeno total y nivel de pH	91
Apéndice 15. Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para nitrógeno total y nivel de pH.....	92
Apéndice 16. Pruebas de efectos inter-sujetos para turbiedad con dos factores fijos	

(tipo de tratamiento y nivel de pH)	93
Apéndice 17. Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para turbiedad y tipo de tratamiento	94
Apéndice 18. Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para turbiedad y tipo de tratamiento	95
Apéndice 19. Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para turbiedad y nivel de pH.....	96
Apéndice 20. Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para turbiedad y nivel de pH.....	97
Apéndice 21. Prueba de efectos inter-sujetos para el porcentaje de la actividad coagulante con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).....	98
Apéndice 22. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la actividad coagulante y tipo de tratamiento	99
Apéndice 23. Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para porcentaje de la actividad coagulante y tipo de tratamiento.....	100
Apéndice 24. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la actividad coagulante y nivel de pH.....	101
Apéndice 25. Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para porcentaje de la actividad coagulante y nivel de pH	102
Apéndice 26. Prueba de efectos inter-sujetos para el porcentaje de la eliminación de turbiedad con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).....	103
Apéndice 27. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la eliminación de turbiedad y tipo de tratamiento	104
Apéndice 28. Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para porcentaje de la eliminación de turbiedad y tipo de tratamiento.....	105
Apéndice 29. Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la eliminación de turbiedad y nivel de pH.....	106
Apéndice 30. Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para porcentaje de la eliminación de turbiedad y nivel de pH	107

RESUMEN

La contaminación de las aguas superficiales de los humedales en nuestro país representa un serio problema ambiental, que debería ser considerado como una prioridad tanto por las autoridades competentes como por la ciudadanía, ya que los humedales cumplen servicios ecosistémicos trascendentales, como regular ciclos biogeoquímicos y representar una fuente de alimento y refugio para las especies que lo habitan, incluyendo las poblaciones humanas asentadas en los alrededores.

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la concentración del extracto de *Moringa oleifera* L. sobre los parámetros físico-químicos de muestras de aguas superficiales provenientes del humedal de Albufera de Medio Mundo (Huaaura, Lima) para fines agrícolas. Para ello, se determinaron los parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fósforo total (P total), nitrógeno total (N total), pH y turbiedad de las muestras de agua superficial provenientes del humedal antes y después del tratamiento con el extracto de *M. oleifera*. Luego, se cuantificó el porcentaje de la actividad coagulante y porcentaje de eliminación de turbiedad del extracto de *M. oleifera* aplicado en las muestras de agua mediante el método de jarras. Adicionalmente, se determinó el efecto del uso de las muestras de aguas superficiales tratadas con extracto de *M. oleifera* sobre las variables fisiológicas y agronómicas del “rabanito” *Raphanus sativus* L. cultivado en condiciones de invernadero.

Los resultados mostraron valores intermedios a altos de remoción de conductividad (T4: 46,48 %), DBO (T4: 53,74 %), P total (T2: 86,67 %), N total (T4: 97,23 %) y turbiedad (T4: 86,07 %). El mayor porcentaje de actividad coagulante fue logrado a pH 9,0 (T2: 81,96 %), mientras que el porcentaje de eliminación de turbiedad también se consiguió a pH 9,0 (T2: 75,00 %). Por otro lado, no hubo diferencias en el crecimiento de *R. sativus* regado con agua potable (control) en comparación con el agua tratada con *M. oleifera* (T2) (altura de planta: 22,50 cm vs. 21,96 cm; número de hojas: 11 vs. 10; y diámetro de tallo: 0,67 cm vs. 0,56 cm), en tanto que tampoco se observaron diferencias para el rendimiento por planta (control: 96,55 g vs. T2: 95,89 g) ni el diámetro de raíz (control: 5,11 cm vs. T2: 4,97 cm).

En conclusión, se consiguió un cumplimiento del 60 % de los parámetros (conductividad eléctrica, DBO y N total) en el ECA para agua (Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales) después del tratamiento con el extracto de *M. oleifera*, mientras que P total y turbiedad no están considerados como parámetros en el mencionado estándar.

Palabras clave: Humedal, tratamiento de aguas, *Moringa oleifera*, parámetros físico-químicos.

Abstract

The contamination of surface waters of wetlands in Peru represents a serious environmental problem that should be considered as a priority by both the competent authorities and citizens, since the wetlands fulfill transcendental ecosystem services such as regulating biogeochemical cycles and representing a source of food and shelter for the species that inhabit it, including human populations settled in the surroundings.

The objective of the research was to evaluate the concentration effect of *Moringa oleifera* L. extract on the physical-chemical parameters measured in surface water samples from the Albufera de Medio Mundo wetland (Huaura, Lima) used for agricultural purposes. To achieve this, the physical-chemical parameters (electric conductivity, biochemical oxygen demand or BOD, total phosphorus (total P), total nitrogen (total N), pH and turbidity of the surface water samples from the wetland were determined before and after treatment with the *M. oleifera* extract. Then, the percentage of coagulant activity and percentage of turbidity removal of *M. oleifera* extract applied to the water samples were quantified by the jar test. Additionally, the effect of the use of surface water samples treated with *M. oleifera* extract on the physiological and agronomic variables of “radish” *Raphanus sativus* L. grown under greenhouse conditions was determined.

The results showed intermediate to high values of conductivity (T4: 46,48 %), BOD (T4: 53,74 %), total P (T2: 86,67 %), total N (T4: 97,23 %) and turbidity (T4: 86,07 %) removal. The highest percentage of coagulant activity was achieved at pH 9.0 (T2: 81,96 %), while the percentage of turbidity removal was also achieved at pH 9.0 (T2: 75,00 %). On the other hand, there were no differences in *R. sativus* growth irrigated with drinking water (control) compared to the water treated with *M. oleifera* (T2) (plant height: 22,50 cm vs. 21,96 cm; number of leaves: 11 vs. 10; and stem diameter: 0,67 cm vs. 0,56 cm), while no differences were observed for yield per plant (control: 96,55 g vs. T2: 95,89 g) or root diameter (control: 5,11 cm vs. T2: 4,97 cm).

In conclusion, a compliance with 60 % of parameters (electric conductivity, BOD and total N) in the Environmental Quality Standard (EQS) for water (Category 3: irrigation of vegetables and animal drink) was achieved after treatment with the extract of *M. oleifera*, while P total and turbidity are not considered as parameters in the aforementioned standard.

Keywords: Wetland, water treatment, *Moringa oleifera*, physical-chemical parameters.

INTRODUCCIÓN

Los humedales representan uno de los ecosistemas más productivos del mundo gracias a su dinámica y biodiversidad; no obstante, son ambientes que se encuentran bajo una intensa presión por efecto de las actividades antropogénicas, afectando los servicios ecosistémicos que estos mismos brindan a la sociedad (Blanco y Carbonell, 2001). Los humedales costeros peruanos presentan amenazas como la contaminación por vertido de aguas residuales domésticas, municipales y/o industriales, contaminación por acumulación de residuos sólidos domésticos y municipales, eutrofización, extensión de la frontera agrícola, sobrepesca y sobrepastoreo de ganado doméstico (Álvarez, 2007). El humedal Albufera de Medio Mundo se encuentra ubicada en el distrito de Végueta (Huaura, Lima), a la altura del km 177 de la carretera Panamericana Norte, y cuenta con una superficie total de 687,71 ha en la que se encuentran ocho tipos de hábitats (arenal, cuerpos de agua mixohalinos, gramadal, litoral marino, playas de limo, totoral, vega de ciperáceas y zona arbustiva) (ProNaturaleza, 2010).

El problema más serio que afecta al mencionado humedal es la ausencia de conciencia ambiental, ya que se acumulan residuos sólidos y desmonte en las zonas cercanas a los límites del humedal, se vierten efluentes (principalmente las empresas locales), se quema biomasa (residuos vegetales), se realiza sobrepesca, entre otros (Gobierno Regional de Lima, 2014).

Por otro lado, esta la creciente necesidad de agua, existen espacios naturales que albergan este recurso en grandes cantidades y extensiones, tal es el caso del humedal Albufera de Medio Mundo, donde el efluente de la laguna tiene por fin el océano pacífico y, por ende, este recurso hídrico podría ser aprovechado en actividades primarias como la agricultura. Para poder utilizar el efluente hídrico del punto de salida de la laguna del humedal, se tendría que tener los niveles adecuados para el cultivo a emplear, estas situaciones han desarrollado alternativas de soluciones según la necesidad que demande.

El uso de coagulantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales es cada vez más notorio, ya que representan procesos amigables con el medio ambiente y ofrecen beneficios como la reducción de costos y una mayor biodegradabilidad (Villaseñor-Basulto *et al.*, 2018).

En ese contexto, *Moringa oleifera* ha surgido como una de las alternativas más prometedoras de polímeros orgánicos naturales que reducen la producción de lodos y evitan las variaciones bruscas de pH en el agua tratada, lo que favorece el proceso de coagulación y floculación y permite la obtención de aguas tratadas con mejor calidad físico-química y microbiológica (Villaseñor-Basulto *et al.*, 2018).

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de la concentración del extracto de *Moringa oleifera* Lam. sobre los parámetros físico-químicos de muestras de aguas superficiales provenientes del humedal de Albufera de Medio Mundo (Huaura, Lima) para fines agrícolas.

Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total, nitrógeno total, pH y turbiedad) de las muestras de agua superficial provenientes del humedal de Albufera de Medio Mundo antes y después del tratamiento con el extracto de *M. oleifera*.
- Cuantificar el porcentaje de la actividad coagulante y porcentaje de eliminación de turbiedad del extracto de *M. oleifera* aplicado en las muestras de agua provenientes del humedal de Albufera de Medio Mundo.
- Determinar el efecto del uso de las muestras de aguas superficiales tratadas con extracto de *M. oleifera* sobre las variables fisiológicas y agronómicas del “rabanito” *Raphanus sativus* L. cultivado en condiciones de invernadero.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Sandoval y Laines (2013) realizaron una investigación titulada “*M. oleifera* como alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales” (Tabasco, México). El objetivo fue determinar la eficiencia de remoción de *M. oleifera* como coagulante natural con tres tipos de soluciones adicionadas frente al sulfato de aluminio. Las muestras a tratar fueron obtenidas del río Samaria, que provee de agua a la planta de tratamiento “El Manguito”. Para extraer el aceite de *M. oleifera*, secaron las semillas de *M. oleifera* por 24 h en una estufa, luego retiraron la cáscara y la trituraron. El producto fue dispuesto en un extractor Soxhlet en el que agregaron 300 mL de ciclohexano como disolvente por un período de 3 h. Por último, prepararon soluciones coagulantes con la *M. oleifera* (10 g) que fueron mezcladas con NaCl - MONA (1,0 L), agua de mar - MOAM (1,0 L) y agua destilada - MOAD (1,0 L), la solución fue agitada por 10 min a 60 rpm y finalmente filtrada con papel filtro Whatman 40. Las soluciones de *Moringa oleifera* tuvieron una concentración de 10,000 mg/L y se aplicaron a las muestras de agua a tratar. El tratamiento con el sulfato de aluminio – S Al ofreció un 95,60 % de remoción de turbiedad y color, a comparación de la *M. oleifera* con cloruro de sodio, con un 92,03 %, *M. oleifera* con agua de mar, con un 90,72 % y *M. oleifera* con agua destilada, con un 56,02 % de remoción de turbiedad y color. Adicionalmente realizaron un diseño estadístico al azar, el parámetro de remoción de la turbiedad mostró una varianza de ($P=0,00001$), 95% de confianza, las medias obtenidas fueron: $15,83\pm 0,73$ (*M. oleifera* con agua destilada); $3,34\pm 0,55$ (*M. oleifera* en solución de cloruro de sodio 1N); $2,87\pm 0,30$ (*M. oleifera* en agua de mar) y $1,59\pm 0,26$ (sulfato de aluminio), lo que indica que la media de Tukey muestra que los tratamientos MONA, MOAM y S Al mantienen igualdad y distintos al MOAD. Concluyeron que las soluciones salinas adicionadas a la *M. oleifera* muestran una alta remoción de turbiedad y color de aguas superficiales contaminadas, aunque el sulfato de aluminio predomina en cuanto a efectividad.

Mera-Alegría *et al.* (2016) realizaron una investigación titulada “Efecto de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas residuales de café “(Cauca, Colombia). El objetivo fue determinar la eficiencia del uso de un coagulante natural frente a un coagulante químico en aguas residuales del pelado químico de vegetales (café). Primero, obtuvo el polvo de *M. oleifera* en polvo, el cual fue aplicado directamente sobre tres muestras al azar de cada una de las aguas a tratar. Las variaciones de los tratamientos realizaron por el método de jarras, donde las concentraciones fueron de 0,00 a 5,50 g/600 mL de aguas residuales de café y de 0,00 a 0,20 g/600 mL en aguas residuales del pelado químico de vegetales, que fueron variando hasta hallar la dosis óptima del polvo de *M. oleifera*. Evaluaron parámetros como conductividad, sólidos suspendidos, pH, turbiedad, cloruros, sólidos suspendidos, coliformes totales; y a nivel estadístico realizaron análisis de varianza (físicas, químicas y microbiológicas) las cuales demostraron que en base a la remoción de turbiedad y conductividad eléctrica si existieron diferencias significativas entre sí ($p < 0,05$), en tanto la prueba de Duncan refirió que la turbidez vs tratamientos mostraron diferencias entre sí, e indicaron que el tratamiento T1 (con *M. oleifera*) fue el más exitoso. Asimismo, realizaron tratamientos con sulfato de aluminio para comparar los porcentajes de remoción y mejoramiento de la calidad del agua a tratar con los resultados del polvo de *M. oleifera*. Obtuvo la dosis óptima para el agua residual de café de 4,00 g/600 mL y para las aguas residuales del pelado químico de vegetales, de 0,15 g/600 mL. Los resultados evidenciaron que para el agua residual de beneficio del café, la remoción de turbiedad con sulfato de aluminio (S.A.) fue 80,00 % y con *M. oleifera* (M.O.) fue 92,00 % ; además, el pH incrementó de 3,75 a 4,14 para el S.A. y 4,60 para M.O.; asimismo, la conductividad eléctrica redujo de 3,520 mS/cm a 3,210 mS/cm para el S.A. y 2,690 mS/cm para M.O.; los cloruros redujeron de 712,7 mg/l a 17,03 mg/L para S.A. y 27,6 mg/L para M.O.; también, los sólidos suspendidos disminuyeron de 6,840 mg/L a 366 mg/L para SA y 243 mg/L para M.O., y por último, los coliformes fecales se redujeron de 10,000 UFC/100 mL a 1,360 UFC/100 mL para S.A. y 313,3 UFC/100 mL para M.O. Por otro lado, el agua residual del pelado químico de vegetales, obtuvieron que la remoción de turbiedad fue 71,00 % para el S.A. y 80,00 % para M.O.; además, el pH incrementó de 5,54 a 5,88 para el S.A. y 5,95 para M.O.; la conductividad eléctrica redujo de 3,350 mS/cm a 2,866 mS/cm para el S.A. y 2,866 mS/cm para M.O.; los cloruros redujeron de 213,5 mg/L a 15,23 mg/L para S.A. y 12,23 mg/L para M.O.; también, los sólidos suspendidos disminuyeron de 456,50 mg/L a 119,3 mg/L para S.A. y 96,33 mg/L para M.O. y no reportaron la presencia de coliformes fecales. Finalmente, obtuvieron una eficiencia de 80,90 % para el S.A. y 73,50 % para M.O. en aguas

residuales de café; mientras que, en aguas residuales del pelado químico de vegetales fue 63,50 % para el S.A. y 66,75 % para M.O. lo que indica el elevado porcentaje de eficiencia en la remoción de aguas residuales por M.O. Concluyeron que las aguas tratadas con el extracto de *M. oleifera* obtuvieron mejor eficiencia en los parámetros establecidos, en comparación al sulfato de aluminio.

Pereira *et al.* (2016) realizaron una investigación titulada “El uso de *Moringa oleifera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas superficiales” (Paraná, Brasil). El objetivo fue la evaluación de la aplicación de las semillas de *M. oleifera* (M.O.) y las semillas de M.O. con una cantidad reducida de aceite como coagulantes en el tratamiento de agua convencional para eliminar las cianobacterias de diferentes aguas superficiales naturales. Utilizaron dos muestras de agua para simular diferentes aguas superficiales: agua con suelo (mezcla de agua del grifo con tierra orgánica natural) y agua con suelo + agua con células (mezcla donde se añadieron las células de *Microcystis aeruginosa*). Realizaron pruebas para aguas con turbiedad inicial baja (5-10 UNT) y alta (30-60 UNT), con y sin células *M. aeruginosa*, para polvo integral de MO, MO extraído en aceite con etanol y con una técnica presurizada, y M.O. extraído con NaCl. Los resultados mostraron que la eliminación de clorofila *a* y turbiedad fueron de hasta 85 % para aguas de alta turbiedad, con 50 mg/L de M.O. obtenido, para polvo integral de M.O. y para todos los métodos de extracción de M.O. utilizados. La eliminación de clorofila *a* y turbiedad fue aproximadamente del 60 % para aguas de baja turbiedad y mediante el uso de una extracción con solución salina 1 M del compuesto coagulante activo. Concluyeron en que el extracto de M.O. con NaCl puede eliminar parte de la materia orgánica presente en el agua, entre 40 y 50 %.

Garde *et al.* (2017) realizaron un estudio titulado “Aplicación del extracto de semilla *Moringa oleifera* para tratar aguas residuales de fermentación de café” (Hawaii, Estados Unidos). El objetivo fue la evaluación del uso del extracto de semilla de *M. oleifera* como tecnología de coagulación para ayudar en el tratamiento de las aguas residuales de fermentación del café. Realizaron las pruebas de coagulación a cinco niveles de pH (3–7) y dosis de *M. oleifera* (0–4 g/L). Después de la sedimentación, midieron los valores de SST, DQO, nitratos, nitritos, nitrógeno total y pH del sobrenadante de cada prueba. El extracto de semilla de *M. oleifera*. Los resultados mostraron una reducción en los valores de SST, DQO,

nitratos y nitritos en diversos niveles dependiendo del pH y la dosis aplicada, mientras que la eliminación de SST varió del 8 % al 54 %, la DQO insoluble varió de 26 % a 100 % y la DQO total varió de 1 % a 25 %, y la reducción de nitratos y nitritos varió del 20 % al 100 %. Concluyeron en que el uso de *M. oleifera* como coagulante para el tratamiento de aguas residuales de la industria del café resulta prometedor dado los bajos costos (p. ej. insumos, materiales y operación) y efectividad en la reducción de contaminantes del agua, pero se recomienda que sea combinado con otras tecnologías de tratamiento que puedan eliminar el contenido orgánico disuelto presente en las aguas residuales.

Rondón *et al.* (2017) realizaron una investigación titulada “Empleo de semillas de *Moringa oleifera* en el tratamiento de residuales líquidos” (La Habana, Cuba). El objetivo fue determinar una alternativa de tratamiento de aguas residuales mediante el uso de un coagulante de origen natural. Primero, realizaron la extracción de semillas de *M. oleifera* con el método Soxhlet, el aceite se extrajo con hexano, para luego ser aplicado a las muestras de aguas residuales de una planta municipal en Cuba. Utilizaron el método de jarras para la determinación de la dosis ideal y evaluar la capacidad de remoción de contaminantes por parte de *M. oleifera* frente a coagulantes químicos a distintos niveles de pH (4,0-9,0). La DQO redujo de 440 mg/L (21,43 %) (a pH 4) a 80 mg/L (85,71 %) (a pH 9), mientras que la turbiedad disminuyó de 80,80 UNT (14,82 %) (a pH 4) a 0 UNT (100,00 %) (a pH 9), en tanto que la dureza decayó de 384 mg/L (0,00 %) (a pH 4) a 232 mg/L (31,76 %) (a pH 9). Con estos resultados, lograron alcanzar una alta eficiencia en el mejoramiento de la calidad de aguas contaminadas en la planta de tratamiento. Los autores concluyeron en que el extracto de semilla de *M. oleifera* demostró reducir hasta un 90 % de DQO y demás parámetros físico-químicos, adicionalmente de su valor ambiental como alternativa de coagulante natural.

Boulaadjoul *et al.* (2018) realizaron un estudio titulado “Un nuevo uso del polvo de semillas de *Moringa oleifera* para mejorar el tratamiento primario de los efluentes de la fábrica de papel” (Adrar, Argelia). El objetivo fue el uso de la *M. oleifera* como coagulante ecológico en el tratamiento primario mejorado del efluente de una fábrica de papel con el propósito de eliminar la turbiedad y reducir el DQO. En la investigación usaron polvo de semillas de *M. oleifera* (M.O.) y realizaron pruebas convencionales de jarras para mejorar el

tratamiento primario de los efluentes, mientras que efectuaron pruebas de coagulación comparativas utilizando sulfato de aluminio (S.A.). En ambos casos, las dosis de fueron 50, 100, 150, 200 y 300 mg/L. Obtuvieron valores de reducción de turbiedad de 96,02 % para M.O. y 97,10 % para SA (99,53 % a una dosis máxima de 300 mg/L), mientras que la tasa de reducción de DQO con el extracto de M.O. fue ligeramente mayor (97,28 % a una dosis de 150 mg/L) que en el S.A. (92,67 % en promedio, 93,31 % a una dosis de 300 mg/L). Concluyeron en que el extracto de M.O. representa un coagulante ecológico, no tóxico, biodegradable y no afecta el pH del agua, por lo que su uso debería ser extendido para reemplazar a los coagulantes convencionales como el alumbre.

Landázuri-Rojas *et al.* (2018) realizaron una investigación titulada “Evaluación experimental de *Moringa oleifera* Lam triturada, semillas y residuos de polvo durante los procesos coagulación – floculación” (Quito, Ecuador). El objetivo fue el uso de semillas y residuos de polvo (residuo de cotiledón extraído con aceite) de *M. oleifera* como agentes coagulantes-floculantes naturales para aplicaciones de tratamiento de aguas residuales y bebidas. Seleccionaron tres fuentes de agua del Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador): los ríos Monjas y San Pedro (ríos principales que cruzan el distrito) y el efluente de una instalación piloto de recuperación de recursos hídricos. Evaluaron el rango óptimo de tamaño de partícula de semillas de *M. oleifera* trituradas sin cáscara a una dosis fija de 50 mg/L durante las pruebas de jarras. La calidad del agua mejoró en un 41,90 %-51,94 % para DQO, 55,32 %-71,10 % para turbiedad, y 74,42 %-87,73 % para *E. coli*. Las semillas de *M. oleifera* brindaron los mejores resultados por parámetro, incluso a distintos niveles de contaminación, mientras que el tamaño de partícula fue significativo en la mayoría de las corridas, pero no fue significativo en ningún análisis de turbiedad. En relación al pH, los valores estuvieron en el rango de 7,4-7,7, lo que muestra la capacidad de amortiguación (o buffer) de *M. oleifera* durante los procesos de coagulación-floculación. Adicionalmente, los datos estadísticos fueron realizados por el método ANOVA y la prueba de Tukey, el análisis de la remoción de la turbidez vs tratamientos, el tratamiento (MP) con *M. oleifera* mostró un 96,67% de reducción de turbidez y corroborando la existencia de diferencias significativas entre las variables mencionadas anteriormente. Concluyeron que el uso de residuos de polvo de *M. oleifera* y semillas de *M. oleifera* completas también resultó adecuado para la eliminación de DQO, hierro y turbiedad, mientras que el polvo de *M. oleifera* fue apto para la eliminación

de turbiedad, en tanto que los tratamientos de *M. oleifera* con cáscara fueron apropiados para la reducción de hierro.

Vunain *et al.* (2019) realizaron un estudio titulado “Evaluación de la eficiencia de coagulación y la capacidad de reducción de patógenos transmitidos por el agua de *Moringa oleifera* semillas en polvo para el tratamiento de aguas residuales domésticas” (Zomba, Malawi). El objetivo fue el tratamiento de aguas residuales domésticas de una planta local en Zomba, las que fueron tratadas con polvo de semillas de *M. oleifera* en pruebas tipo *batch*, con el fin de reducir la carga microbiana, la turbiedad y los sólidos disueltos totales (TDS). El tratamiento realizó a diferentes concentraciones de 0, 5, 15, 30 y 50 g L⁻¹ en 30 min de tiempo de sedimentación. Analizaron el polvo de semillas de *M. oleifera* mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y hallaron que los espectros mostraron dos bandas de absorción a 1,637 cm⁻¹ (amida I) y 1,540 cm⁻¹ (amida II), confirmando la estructura proteica presente en las semillas de *M. oleifera*, así como la detección de la presencia de polisacáridos alrededor de la banda de 1,168 cm⁻¹. Las principales características de poro del polvo de semilla de *M. oleifera* fueron: una gran área de superficie BET (Brunauer-Emmett-Teller) de 674,30 m² g⁻¹, un volumen total de 1,88 cm³, un microporo de 1,41 cm³, un volumen mesoporo de 0,47 cm³ y un diámetro de poro de 14,2 Å. El polvo de semilla de *M. oleifera* redujo la turbiedad de 287 a 38,8 UNT (2,5, 4,2, 15,7, 22,9 y 38,8 UNT para las dosis de 5, 15, 30 y 50 g L⁻¹), aumentó el pH de 4,3 a 7,1 (7,1, 6,8, 6,6 y 6,2 para las dosis de coagulante de 5, 15, 30 y 50 g L⁻¹, respectivamente) y mantuvo los valores de los TDS dentro de los estándares recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable (de < 1000 mg L⁻¹). Observaron una reducción óptima en la carga microbiana a una dosis de polvo de 15 g L⁻¹, particularmente contra *Salmonella* y *Shigella spp.* Concluyeron que el polvo de semillas de *M. oleifera* demostró un alto nivel de turbidez y sólidos disueltos totales, así mismo dependiendo del nivel de dosis, se encontró una variedad de tiempos de reducción en las aguas tratadas.

Aldana (2012) efectuó un estudio titulado “El uso del extracto de la semilla de *M. oleifera* como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano” (Lima, Perú). El objetivo fue proponer como alternativa la

aplicación de un coagulante natural frente a coagulantes químicos, toda la investigación fue realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería. El procedimiento consistió en el retiro de la cáscara de las semillas, prensado, extracción de los aceites y obtención de harina de *M. oleifera*. colectaron tres muestras de agua a tratar, todas provenientes del río Rímac, a las que inicialmente se determinó su temperatura, turbiedad, pH, alcalinidad y dureza. Prepararon soluciones iniciales con *M. oleifera* al 2 % p/v y sulfato de aluminio (coagulante químico) al 1 % p/v. Los ensayos fueron ejecutados mediante el método de jarras y para la determinación de la dosis ideal, conservó la dosificación del coagulante químico y modificaron las concentraciones de *M. oleifera*, realizaron los procedimientos mencionados anteriormente para precisar la dosis ideal del sulfato de aluminio para determinar si ocurre alguna reducción en la dosis del coagulante químico. Las muestras presentaron un rango de valores iniciales para turbiedad (30 UNT para la muestra I, 500 UNT para la muestra II y 110 UNT para la muestra III), alcalinidad (86 mg/l de CaCO₃, 95 mg/L de CaCO₃ y 91 mg/L de CaCO₃, respectivamente) y dureza total (168 mg/L de CaCO₃, 193 mg/L de CaCO₃ y 184 mg/L de CaCO₃, respectivamente). Los resultados de los ensayos realizados con el extracto de semilla de *M. oleifera* mostraron diversos rangos de turbiedad residual (muestra I: 12,20-15,50 UNT, con una dosis óptima de 110 mg/L; muestra II: 5,67-7,98 UNT, con una dosis óptima de 90 mg/L; muestra III: 4,14-16,40 UNT, con una dosis óptima de 190 mg/L), rango de tasa de sedimentación (17 m³/m²/d para la muestra I, 20 m³/m²/d para la muestra II y 25 m³/m²/d para la muestra III), carbono orgánico total (5 mg/L en el agua sin tratar y 6 mg/L en el agua tratada en la muestra II, 5 mg/L en el agua sin tratar hasta 15 mg/L en el agua tratada en la muestra III), coliformes fecales (desde 15x10² NMP/100 mL hasta 150 NMP/100 mL en la muestra II, desde 14 NMP/100 mL hasta 3 NMP/100 mL en la muestra III) y coliformes totales (21x10² NMP/100 mL hasta 200 NMP/100 mL en la muestra II, 23 NMP/100 mL hasta 4 NMP/100 mL en la muestra III). Los resultados mostraron una alta efectividad de *M. oleifera* como coagulante principal y a la vez como coagulante secundario, si bien el sulfato de aluminio presentó mayor eficiencia, pero los resultados del coagulante natural de igual manera se encuentran dentro del rango de niveles óptimos remoción de turbiedad dentro de la normativa nacional.

Mejía (2016) utilizó un estudio titulado “El uso de la *M. oleifera* Lam como coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas” (Lima, Perú). El objetivo fue la determinación del extracto de *M. oleifera* como alternativa de coagulante

natural en comparación al coagulante químico, la investigación fue realizada en una planta de tratamiento del distrito de Puente Piedra. Determinó el caudal promedio, la población y volúmenes de las muestras de aguas a tratar. La dosificación del extracto de las semillas de *M. oleifera* fue con NaCl para una mayor remoción, con un 3,0 % p/v de concentración. Para hallar la dosificación ideal, utilizó el método de jarras, en el que el extracto de *M. oleifera* fue aplicado a tres diferentes parámetros (turbiedad, SST, DBO₅ y DQO), en comparación con el sulfato de aluminio como coagulante químico. Obtuvo resultados de remoción de turbiedad (87,3 %), SST (88,8 %), DBO₅ (25,9 %) y DQO (26,3 %) con el tratamiento con *M. oleifera*, mientras que con el coagulante químico lograron mayores valores de eficiencia en la remoción de turbiedad (92,0 %) y SST (94,5 %) y resultados mixtos para DBO₅ (35,0 %) y DQO (-18,9 %). El autor concluyó, el extracto de *M. oleifera* ofreció mejores resultados adicionados a un disolvente salino (NaCl) y mayor remoción parámetros como la turbiedad y SST, pero el sulfato de aluminio siempre mantuvo un alto nivel de eficiencia.

Urquía (2017) realizó un estudio titulado “Eficiencia de la *Opuntia ficus-indica* frente a la *Moringa oleifera*, en el tratamiento de aguas del río Huaycoloro, SJL-2017” (Lima, Perú). El objetivo fue la evaluación y comparación de las dos especies vegetales mencionadas en líneas anteriores en condición de coagulantes naturales frente al tratamiento de aguas superficiales. Para el desarrollo del estudio recolectó 48 L de agua a tratar del río Huaycoloro, seguidamente removi6 las espinas y restos vegetales no esenciales de las muestras de *O. ficus-indica*, luego corto las pencas (o cladodios) en tiras largas para colocarlas en una estufa a una temperatura de 60 °C y por un periodo de 48 h, seguidamente moli6 y tamiz6 el material vegetal seco para ser introducido en un extractor Soxhlet y finalmente extrajo el polímero resultante mediante alcohol etílico al 96 % con ayuda de un mechero Bünsen. De igual manera, efectu6 el descascarado de las semillas de *M. oleifera*, para luego ser molidas, tamizadas y extraídas en un extractor Soxhlet. Estableci6 seis tratamientos (T1-*M.O.*, T2-Tuna y T3-*M.O./tuna* a 0,5 g/L dosis; T4-*M.O.*, T5-Tuna y T6-*M.O./tuna* a 0,75 g/L dosis), cada uno con tres réplicas para cada uno de los coagulantes y utiliz6 el método de jarras para la determinación de la dosis óptima. Los resultados evidenciaron que ambos coagulantes naturales fueron efectivos para el tratamiento de aguas contaminadas, no obstante, *M. oleifera* fue el más eficiente. Los tratamientos con *M. oleifera* revelaron que la turbiedad redujo de 560,0 UNT a 6,21 UNT con una dosis de 0,75 g/L, los SST disminuyeron de 303,0 a 30,33 g/L con una dosis de 0,5 g/L, y el pH tuvo un valor

constante cercano de 7,5; mientras que la DQO fue removido más eficientemente desde 1 041 002 g/L hasta 16 995 g/L y la DBO5 logró ser disminuida desde 3 700 g/L hasta 26,6 g/L (dosis de 0,5 g/L) y 29,6 g/L (dosis de 0,75 g/L). Asimismo, los datos estadísticos fueron procesados por las pruebas ANOVA y mediante la prueba de contraste de Duncan, la turbidez vs tratamientos mostró que son significativos entre sí y que determinaron el T2 como la dosis óptima. El autor concluyó en que las dos especies vegetales presentaron una alta eficiencia como alternativa de coagulante natural, así como en la reducción de parámetros físico-químicos de las aguas provenientes del Río Huaycoloro.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Humedal

ProNaturaleza (2010) afirma que los humedales están conformados por una vasta diversidad de hábitats, las cuales incluyen áreas diferenciadas como turberas, pantanos, ríos, lagos, llanuras de aluvión, zonas costeras (praderas de pastos marinos, marismas y manglares). De igual manera, se consideran a los humedales artificiales como embalses. La clasificación de humedales se realiza según su morfología y régimen hídrico, así como la vegetación y calidad del agua.

La convención de RAMSAR determina la siguiente clasificación (ProNaturaleza, 2010):

- I. Humedales marinos y costeros:
 - Aguas marinas someras permanentes, con una profundidad aproximadamente de seis metros, también se comprenden a los estrechos y bahías.
 - Costas marinas rocosas, engloba acantilados e islotes rocosos.
 - Guijarros y playas de arena, comprende bancos, barreras, cordones, puntas e islotes de arena, también incluye a los sistemas y hondonales de dunas.
 - Estuarios, son aguas permanentes y sistemas estuarinos deltas.
 - Bajos intermareales de lodo, suelos salinos o con presencia de arena.
 - Pantanos y esteros, zonas intermareales que abarcan zonas inundadas y marismas, zonas de agua dulce y salobre inundados por la marea, praderas halófitas, zonas elevadas e inundadas con agua salada y salitrales.

- Humedales intermareales arbolados, son manglares, bosques inundados de agua dulce y pantanos.
- Lagunas costeras salobres/saladas.
- Lagunas costeras de agua dulce.

II. Humedales continentales:

- Lagos permanentes alcalinos/salobres/salinos.
- Zonas inundadas alcalinas/salobres/estacionales e intermitentes salinos y lagos.
- Manantiales de agua dulce, son cuerpos de agua formados por aguas subterráneas, también llamados oasis.

III. Humedales artificiales:

- Áreas de almacenamiento de agua, represas hidroeléctricas, estanques artificiales, reservorios y diques.
- Áreas de tratamiento de aguas servidas, piletas de oxidación y sedimentación.
- Excavaciones, piletas de residuos mineros y canterías de arena y grava.
- Tierras agrícolas.
- Zonas de explotación de sal.
- Estanques de acuicultura.
- Tierras de regadío.
- Estanques artificiales.
- Drenajes, zanjales y canales de transporte.

1.2.2. Humedal Albufera de Medio Mundo

La laguna de Medio Mundo, se encuentra ubicada en el distrito de Supe (Chancay, Lima). Un estudio realizado por Tovar (1977) indica que este Humedal comprende una amplia variedad de contenido, en una primera instancia hubo una caracterización de peces, seguido de la captura de estos mediante el uso de trampas de compuerta para la lisa y redes de cuchara para otras especies, como el camarón. En cuanto a la observación de aves, realizó

mediante censos integrales y control específico con binoculares de 50 x10 y un telescopio con trípode. Los análisis de parámetros físico-químicos de la laguna fueron realizados *in situ* y establecieron dos puntos de muestreo, una a la entrada de la laguna y otra a la salida. Determinó que la laguna es de origen salobre, ya que cuenta con la presencia de agua de mar, subterránea y superficial, y el efluente tiene por destino final el Océano Pacífico, con un área calculada de 206,10 ha del espejo de agua del humedal y 66,50 ha de zona pantanosa. Los valores mínimos y máximos de la temperatura media anual fueron 15 °C y 24 °C, respectivamente, mientras que la precipitación media anual fue de 15 mm, con una precipitación total mínima de 0.0 mm y una máxima de 8,1 mm. Contabilizó un total de 31 especies: crustáceos (dos especies), peces (cuatro familias y cinco especies), mamíferos (dos especies), reptiles (una especie), aves (15 familias y 36 especies). En cuanto a la flora presente, logró identificar: 16 especies de fanerógamas (sin considerar a los cultivos) y en 31 especies de algas. Los resultados de la medición de los parámetros físico-químicos revelaron lo siguiente: el oxígeno disuelto tuvo un valor de 7 ppm en la entrada, 9 ppm al centro de la laguna y 8,5 ppm a la salida, lo que indicó un alto nivel de oxigenación; el pH fue de 8,70 a la entrada y 9,10 a la salida; conductividad de 3,7 milimhos/cm a la entrada y 11,1 milimhos/cm a la salida; cloruros en NaCl de 0,772 g/L a la entrada y 2,440 g/L a la salida, lo que permitió clasificar las muestras como aguas salobres de tipo mixooligohalina; sulfatos en Na₂SO₄ de 0,805 g/L a la entrada y 0,880 g/L a la salida; carbonatos en NaHCO₃ de 0,388 g/L a la entrada y 0,344/L a la salida; y dureza total de 11,6 g/L a la entrada y 17,5 g/L a la salida. Este fue uno de los estudios más completos que tiene el Humedad Albuferas de Medio Mundo.

El Gobierno Regional de Lima (2014, p.1-3) menciona que se creó el Área de Conservación Regional Albufera Medio Mundo (ACRAMM) bajo Decreto Supremo N° 006-2007-AG. Establecen el Área de Conservación Regional “Albufera de Medio Mundo”, ubicada en la provincia de Huaura, departamento de Lima.

El ACRAMM según el Gobierno Regional de Lima (2014, p. 12) fue creado con el fin de “Conservar la biodiversidad del ecosistema de humedal por la importante influencia que ejerce sobre otros similares ubicados en la zona costera del Perú y sobre el entorno, promoviendo el uso sostenible y la protección del humedal y sus recursos”.

El ACRAMM presenta cinco tipos de hábitats: (i) totorales y juncuales, que representan una extensión de 154,65 ha (22,49 %), (ii) asociaciones vegetales, con 79,51 ha (11,56 %), (iii) gramadales, con 8,68 ha (1,26 %), (iv) arenal, con 244,68 ha (35,58 %) y (v) cuerpo de agua, con 200,20 ha (29,11 %) (Figura 1) (Gobierno Regional de Lima, 2014).

El ACRAMM cuenta con 26 especies de flora vascular, como “junco” *Schoenoplectus americanus* (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller. y “totora falsa” *Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey.) Soják, y 48 especies de algas: algas azules (Cyanophyta) (40 % del total), algas verdes (Chlorophyta) (10 %), diatomeas (Basilloriophyta) (44 %) y dinoflagelados (6 %); mientras que ostenta 63 especies de aves (19 migratorias continentales, 03 migratorias altoandinas y 41 residentes), 03 especies de peces endémicos (“monengue”, “lisa” y “mojarra”) y 02 introducidos (“tilapia gris” y “tilapia roja”), 17 especies de dípteros acuáticos y otros (reptiles, mamíferos, crustáceos, arácnidos, moluscos) (Gobierno Regional de Lima, 2014).

La problemática del ACRAMM es compleja y han identificado 20 factores; sin embargo, solo explicarán los más relevantes a continuación: (i) ausencia de conciencia ambiental (considerado como “problema crítico”), por la acumulación de residuos sólidos y desmonte en las zonas aledañas, vertimiento de efluentes por empresas locales, quema de residuos vegetales, sobrepesca, entre otros; (ii) baja presencia del Estado (“problema activo”), debido a la inexistencia de jefatura en el área; (iii) quema de restos vegetales (“problema pasivo”), a partir de la quema de los residuos de junco y totora por parte de los extractores locales; (iv) sobrepesca (“problema pasivo”), mediante el uso de redes de pesca que posibilitan la extracción de peces de diversas tallas, que representan la fuente de alimento de las aves del humedal; (v) presencia e incremento de invasiones aledañas (“problema pasivo”), producto de la expansión urbanas con viviendas precarias; (vi) capacidad de carga inadecuada en fechas festivas (“problema pasivo”), debido a la presencia de visitantes durante la temporada de verano (Año Nuevo y Semana Santa); (vii) presencia de vertimientos (“problema indiferente”), tanto por el Centro Poblado Menor “Medio Mundo” como por las granjas avícolas que operan en la zona (Gobierno Regional de Lima, 2014).

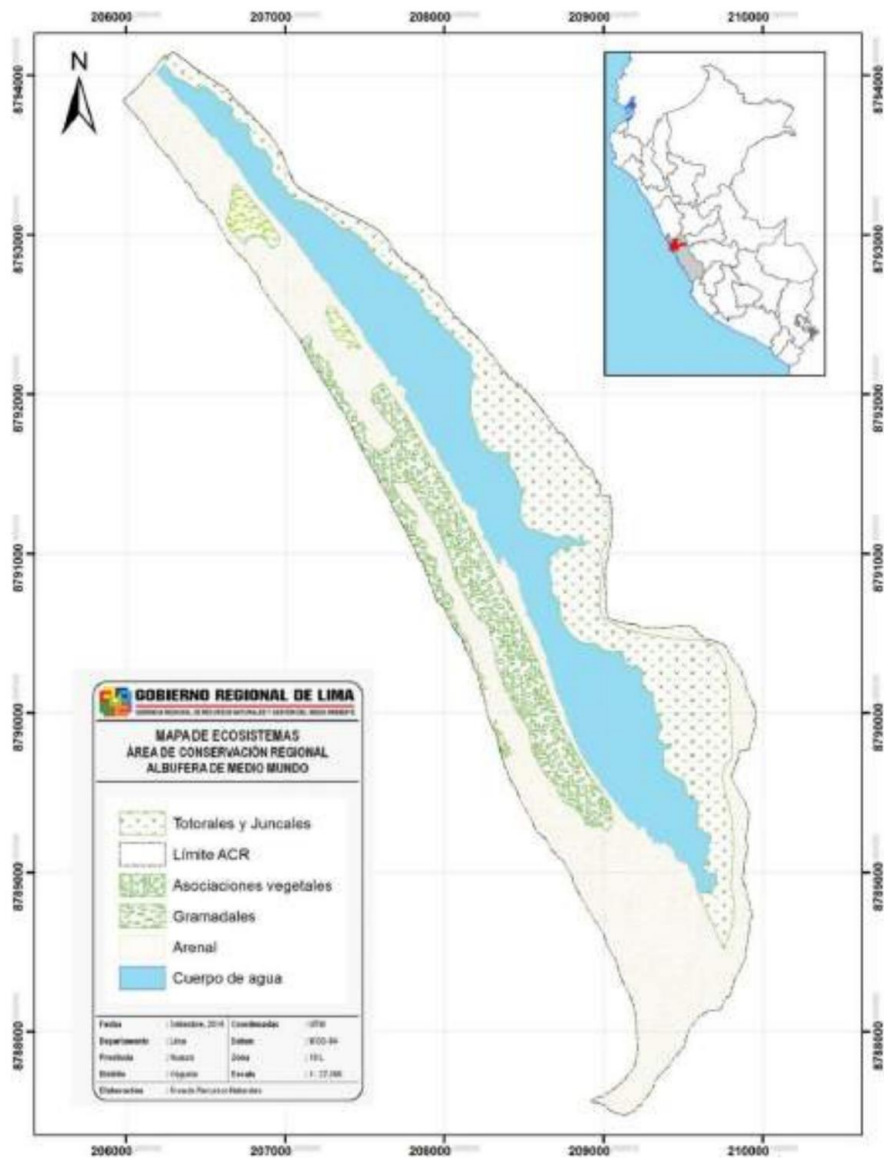


Figura 1. Mapa de ecosistemas del Área de Conservación Regional Albufera Medio Mundo (ACRAMM).

Fuente: Gobierno Regional de Lima (2014).

Han definido cuatro zonas en el ACRAMM sobre la base de un conjunto de criterios legales, ambientales y socio-económico, cultural y político para el planteamiento del Plan Maestro 2015-2019: (i) zona silvestre, con 323,73 ha (47,07 %), es un área de difícil acceso donde existen poblaciones de guanayes, pelícanos y gaviotas, cuenta con la presencia de áreas de anidamiento de piqueros, representa una zona de conservación de recursos hidrobiológicos para el mantenimiento de las poblaciones de aves del humedal, aunque se ha detectado la pesca con prácticas inadecuadas; (ii) zona de aprovechamiento directo, destinada para el corte, extracción y secado de junco y totora, con 115,68 ha (16,82 %) y tres

sectores identificados; (iii) zona de recuperación, con 217,58 ha (31,64 %) y tres sectores (sector 1: presencia de residuos sólidos, sobrepesca y quema de vegetación; sector 2: acumulación de residuos sólidos y desmonte y vertimiento de efluentes; sector 3: presencia de una concesión minera de material no metálico); y (iv) zona de uso turístico y recreativo, con 30,72 ha (4,47 %) y dos sectores (Figura 2) (Gobierno Regional de Lima, 2014).

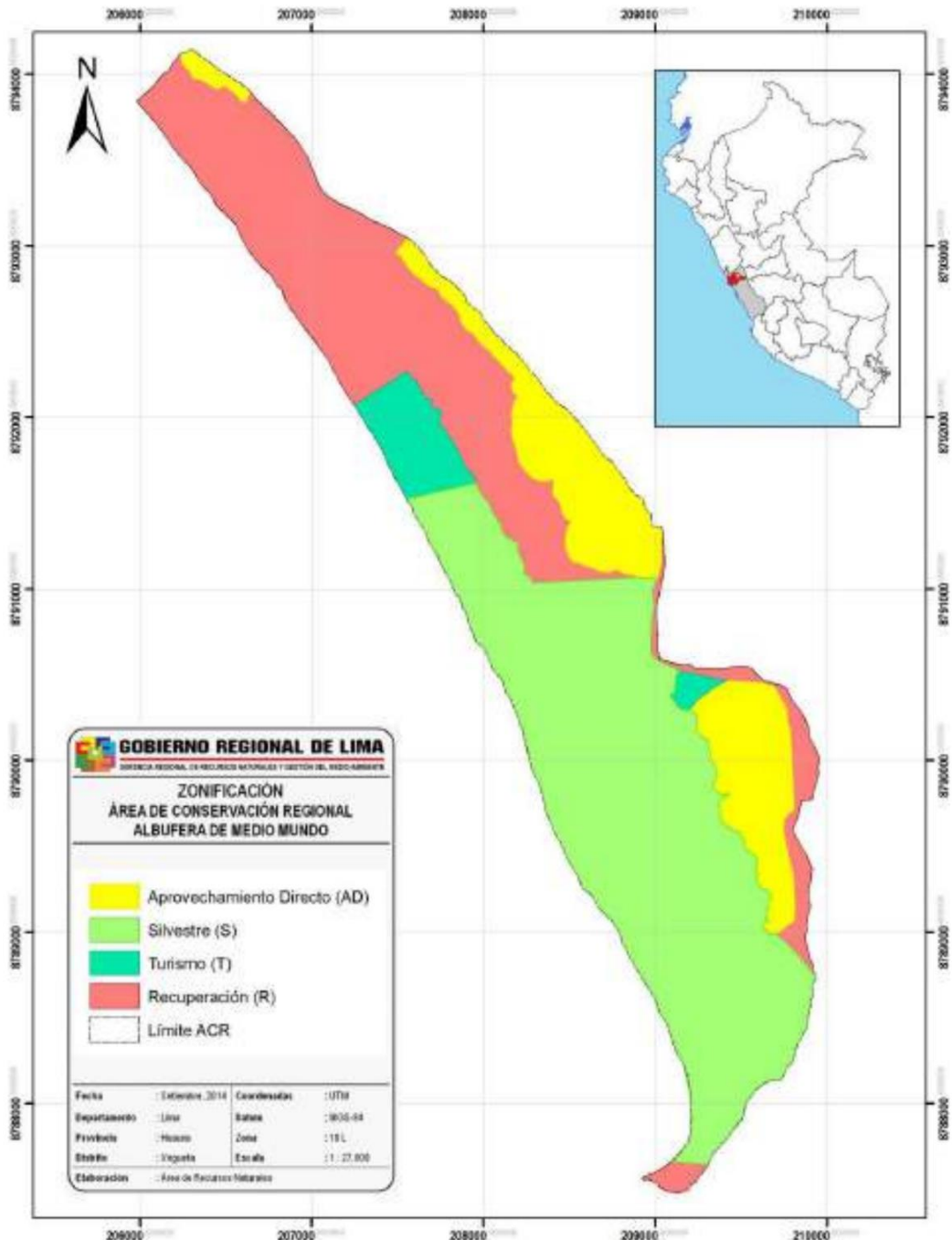


Figura 2. Mapa de zonificación del Área de Conservación Regional Albufera Medio Mundo (ACRAMM).

Fuente: Gobierno Regional de Lima (2014).

1.2.3. Floculación

Aldana (2012) menciona que la floculación es un proceso ocasionado por la colisión de partículas entre sí, previamente agregado algún tipo de coagulante en agua, el cual ocasionará la desestabilización de las partículas, pero dentro de este proceso se desarrollan 03 mecanismos de transporte: floculación pericinética (aglutinación de partículas menores a un micrómetro), floculación ortocinética (formación del micro floculo inicial) y la sedimentación (precipitación y aglomeración de partículas). Finalmente, tanto la coagulación como la floculación, son dependientes de ciertas propiedades como: pH, turbiedad y alcalinidad.

Melo y Turriago (2012) refieren a la floculación como un proceso hidrodinámico, el cual produce desestabilización de partículas y aglutinación coloidal entre ellas, para posteriormente sedimentar por gravedad.

1.2.4. *Moringa oleifera* Lam

Olson y Fahey (2011) mencionan que *Moringa oleifera* pertenece a la familia *Moringaceae*, que cuenta con trece especies:

Clase: Equisetopsida

Subclase: Magnoliidae

Superorden: Rosanae

Orden: Brassicales

Familia: Moringaceae

Género: *Moringa*

Especie: *Moringa oleifera*

M. oleifera es un árbol pequeño y caducifolio con follaje escaso, crece hasta 8 m de altura y 60 cm de diámetro a la altura del pecho. Tronco torcido, a menudo bifurcado desde cerca de la base, con corteza lisa, de color gris oscuro, de madera blanda. Las ramas y brotes son cortos, pero densamente foliados (World Agroforestry Center, 2009).

La copa de *M. oleifera* es ancha, abierta, típicamente en forma de paraguas y generalmente de un solo tallo, a menudo profundamente enraizado. Las hojas se alternan, son grandes (hasta aproximadamente 90 cm de largo), con pinnas opuestas, separadas unos 5 cm por encima del tallo central, generalmente con un segundo lote de pinnas, también opuestas, portando folíolos en pares opuestos, con un folíolo terminal ligeramente más grande. Los folíolos son de color verde oscuro en la parte de arriba y pálido en la superficie inferior; variables en tamaño y forma, pero a menudo redondeado-elípticos, rara vez de hasta 2,5 cm de largo. Las flores son producidas durante todo el año, en panículas axilares sueltas de hasta 15 cm de largo; los tallos de flores individuales son de hasta 12 mm de largo y muy delgados; 5 sépalos de color verde pálido de 12 mm de largo, finamente vellosos, 5 pétalos blancos, desiguales, un poco más largos que los sépalos; 5 estambres con anteras, 5 sin anteras; las flores presentan un olor muy dulce. El fruto es grande y distintivo, hasta 90 cm de largo y 12 mm de ancho, ligeramente constreñido a intervalos, disminuyendo gradualmente hasta un punto, 3- (4-) en ángulo, con 2 surcos en cada cara, de color marrón claro. Se divide a lo largo de cada ángulo para exponer las hileras de semillas oleaginosas negruzcas redondeadas, cada una con 3 alas de papel (o valvas) (Figura 3) (World Agroforestry Center, 2009).

Folkard y Sutherland (1996) mencionan que *Moringa oleifera* es una planta nativa del norte de la India y que hoy en día se encuentra presente en los trópicos. En algunos continentes como África, *M. oleifera* tiene un alto valor alimenticio, debido a sus propiedades vitamínicas, y presenta una buena capacidad de resistencia al estrés hídrico, logrando un rápido crecimiento de 4-5 m en un año en promedio. Uno de los principales usos actuales de *M. oleifera* corresponde al tratamiento de aguas contaminadas, ya que tiene la función de coagulante y, por su origen natural, en diversos países es empleada en procesos de purificación y eliminación de material biológico suspendido, específicamente en el mejoramiento y/o tratamiento de aguas de lluvia o ríos que contengan sedimento fluvial. Debido a su capacidad floculante, la *M. oleifera*, puede considerarse como alternativa a sustituir al sulfato de aluminio (o alumbre) u otros productos de origen químico.

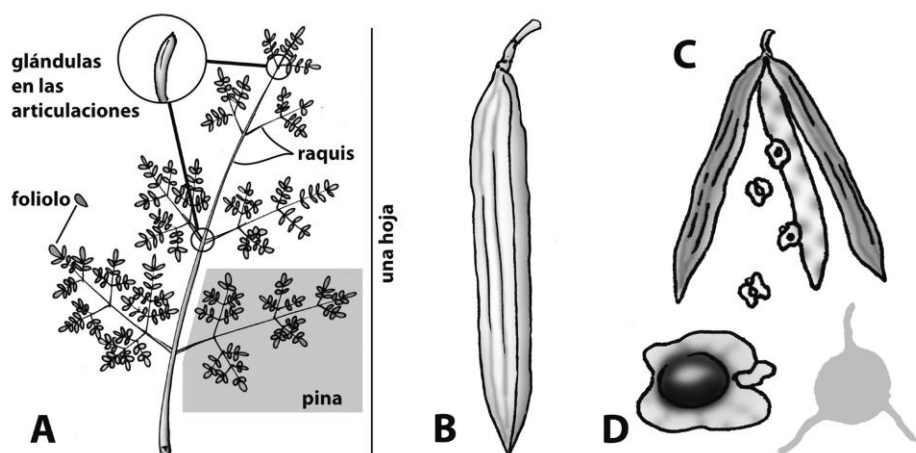


Figura 3. Descripción botánica de *Moringa oleifera*. (A) Hojas grandes, pinnadas, que pueden alcanzar unos 60 cm de longitud, divididas en folíolos dispuestos sobre un raquis, en cuya articulación se encuentran pequeñas glándulas de 1 mm de longitud. (B) Fruto, una cápsula ligera leñosa y seca, que en la madurez mide de 10–30 o hasta 50 cm. (C) El fruto se abre en 3 partes o valvas. (D) Semillas de 1,5–3,0 cm de diámetro, con centro de color café oscuro y 3 alas de color beige, la silueta de la derecha muestra la configuración de las tres alas.

Fuente: Olson y Fahey (2011).

Velázquez *et al.* (2015) refieren sobre la composición química de la *M. oleifera* Lam, donde identificaron aminoácidos, proteínas, vitaminas, carotenos, carbohidratos, minerales y un alto nivel de potasio. Adicionalmente, en las hojas de la M.O. hallaron una abundante composición de ácido oleico. Por otro lado, Pérez *et al.* (2010) mencionan los resultados sobre la evaluación de la composición química de la M.O., donde determinaron niveles no representativos de calcio, magnesio y fósforo, en comparación con altas concentraciones de potasio (2,65 %) y sodio (0,24 %), por último, 24,1% en carbohidratos solubles y 25,8 % de ceniza.

Los tres pasos fundamentales en la preparación del coagulante de *M. oleifera* son: (i) preparación de harina, previa eliminación de la cáscara para lograr el tamaño de partícula deseado mediante el uso de equipos como molinos, morteros, licuadoras o mezcladores, y posterior tamizado para obtener diámetros de partícula recomendados entre 0,25 mm y 1,25 mm; (ii) extracto de proteína, previo secado mediante fuentes de calor directas o indirectas (como radiación solar o un horno), ya que las proteínas actúan como agentes coagulantes activos, y una extracción con agua o soluciones salinas (basadas en NaCl, KCl o NaOH), que favorece la solubilidad de los ingredientes activos y el desprendimiento de proteínas; y

(iii) purificación, mediante la aplicación de técnicas como la delipidación, diálisis, centrifugación, intercambio iónico o liofilización, pueden utilizarse para obtener coagulantes puros, pero debe tenerse en consideración que las diferentes extracciones de solventes y el fraccionamiento del extracto producirán distintos tipos de productos con cantidades variables de compuestos bioactivos del material vegetal (Villaseñor-Basulto *et al.*, 2018). Esta secuencia de pasos influirá directamente en las características del coagulante y su capacidad en la eliminación de contaminantes de diferentes fuentes de aguas residuales (Villaseñor-Basulto *et al.*, 2018).

Las propiedades coagulantes de las semillas de *M. oleifera* maduras y secas son originadas por la presencia de proteínas catiónicas y solubles en agua. Las fracciones de bajo peso molecular (<12 kDa) no solo incluyen proteínas y péptidos, sino también otros compuestos orgánicos como taninos, terpenos y alcaloides, mientras que los agentes activos responsables de la coagulación corresponden a proteínas catiónicas diméricas con una masa molecular en el rango de 12–14 kDa y un punto isoeléctrico de pH = 10–11, por lo que la capacidad de los aminoácidos de tener cargas positivas o negativas dependiendo del pH permite que las partículas de harina de *M. oleifera* adsorban especies aniónicas o catiónicas (Villaseñor-Basulto *et al.*, 2018).

Los procesos de coagulación/floculación implican una curva de potencial zeta versus pH convencional (positiva a valores de pH bajos y negativa a valores de pH altos) para semillas de *M. oleifera*, en productos de procesos de purificación principales de semillas de *M. oleifera* delipidadas, así como en extractos salinos y acuosos (Villaseñor-Basulto *et al.*, 2018).

Los mecanismos predominantes para la eliminación de contaminantes mediante la aplicación de semillas de *M. oleifera* son la adsorción, la neutralización de la carga y los coloides/partículas desestabilizados (Figura 4) (Villaseñor-Basulto *et al.*, 2018).

1.2.5. Calidad de agua para uso agrícola

García (2012) menciona que la calidad de agua para riego está determinada por la cantidad de sales solubles presentes en el agua, pH, carbonato de sodio residual, conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio (RAS).

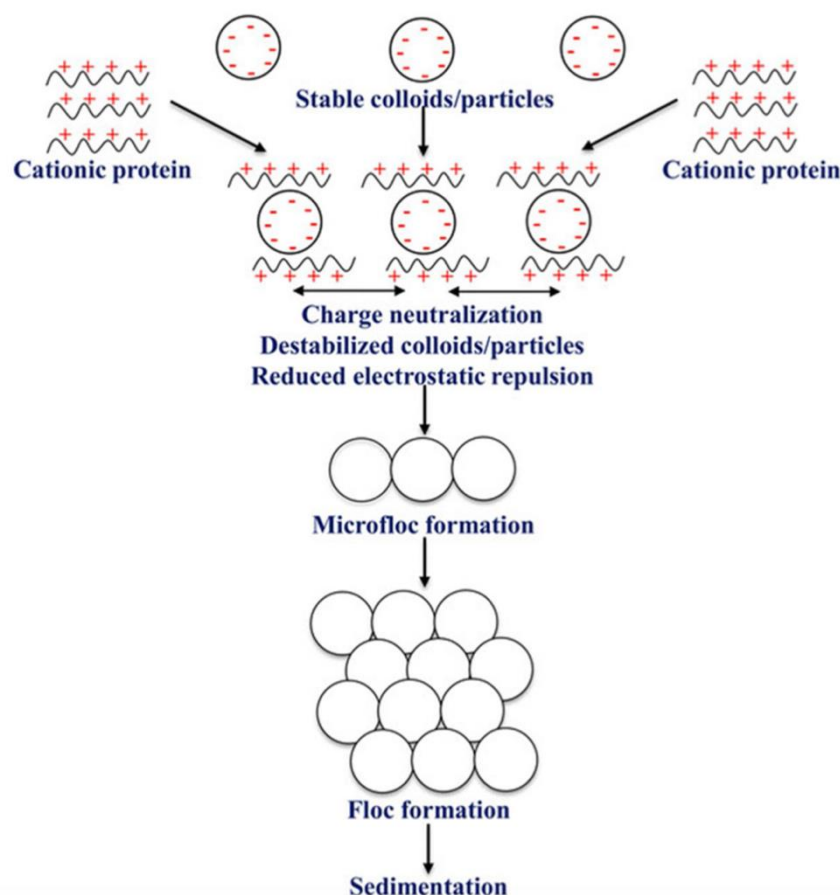


Figura 4. Mecanismo de coagulación/floculación para las proteínas catiónicas de *M. oleifera* Donde: Cationic protein: Proteína catiónica, Stable colloid particles: Partículas coloidales estables, Charge neutralization: Neutralización de carga, Destabilized colloids/particles: Coloides/partículas desestabilizadas, Reduced electrostatic repulsion: Repulsión electrostática reducida, Microfloc formation: Formación de microflocos, Floc formation: Formación de flóculos, Sedimentation: Sedimentación.

Fuente: Villaseñor-Basulto *et al.* (2018).

Las desventajas que presenta el agua de riego sin las condiciones óptimas son alcalinidad, salinidad, toxicidad en conjunto con los sólidos suspendidos o metales pesados que tenga el agua a utilizarse, lo que puede afectar la germinación, desarrollo y producción de un cultivo (García, 2012).

En cuanto a la Normativa Nacional en materia de protección de cuerpos de agua, se mencionan a continuación las más trascendentales en cuanto al objeto de la investigación:

Ley de Recursos Hídricos N° 29338: El Art. 5° (“El agua comprendida en la Ley”) establece que uno de los tipos de cuerpos de agua regulados por la Ley corresponde a “la que se encuentra en los humedales y manglares”. El Art. 75° (“Protección del agua”) indica que la Autoridad Nacional “debe velar por la protección del agua, que incluye la conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a esta”, en tanto que “ejerce funciones de vigilancia y fiscalización con el fin de prevenir y combatir los efectos de la contaminación del mar, ríos y lagos”. El Art. 76° (“Vigilancia y fiscalización del agua”), la Autoridad Nacional “controla, supervisa, fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por autoridad del ambiente” (Ley N° 29338, 2009).

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Decreto Supremo N° 001-2010-AG): El Art. 11° (“La Autoridad Nacional del Agua”) establece que la Autoridad Nacional del Agua representa “el ente rector del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, responsable de su funcionamiento; desarrolla, dirige, ejecuta y supervisa la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos; dicta normas y establece procedimientos para la gestión integrada y multisectorial de recursos hídricos por cuencas hidrográficas y acuíferos; coordina acciones en materia de recursos hídricos con los integrantes de dicho sistema, quienes participan y asumen compromisos”, mientras que se disponen los roles para el Ministerio del Ambiente (Art. 12°), Ministerio de Agricultura (Art. 13°), otros ministerios (Art. 14°), gobiernos regionales y locales (Art. 15°), entre otros actores sociales (Decreto Supremo N° 001-2010-AG, 2010).

Ley que modifica la Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos, mediante el establecimiento de los criterios técnicos para la identificación y delimitación de las cabeceras de cuenca (Ley N° 30640): El Art. 75° (“Protección del Agua”) fue modificado para establecer que “El Estado reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras

de cuenca”, mientras que la Autoridad Nacional “puede declarar zonas intangibles en las que no se otorga ningún derecho para uso, disposición o vertimiento de agua” mediante “un Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de las Cabeceras de Cuenca de las Vertientes Hidrográficas del Pacífico, Atlántico y Lago Titicaca” (Ley N° 30640, 2017).

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua establecieron cuatro categorías (Categoría 1: Poblacional y recreacional, Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y Categoría 4: Conservación del ambiente acuático), cada una con sus respectivos parámetros (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017) (Tabla 1).

La Categoría 3 cuenta con dos subcategorías (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017):

Subcategoría D1: Riego de vegetales, que se designa para aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas. Comprenden dos clases:

Agua para riego no restringido, orientado para aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

Tabla 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y grasas	mg/L		5	10
Bicarbonatos	mg/L		518	**
Cianuro Wad	mg/L		0,1	0,1
Cloruros	mg/L		500	**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co		100 (a)	100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)		2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L		15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L		0,2	0,5
Fenoles	mg/L		0,002	0,01
Fluoruros	mg/L		1	**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L		100	100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L		10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		≥ 4	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L		1000	1000
Temperatura	°C		Δ 3	Δ 3

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017).

Agua para riego restringido, enfocado en aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

Subcategoría D2: Bebida de animales, dirigida a aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación desarrollada fue de tipo experimental, investigando el efecto físico – químico del extracto de *Moringa oleifera* para el tratamiento de agua proveniente del humedal Albufera de Medio Mundo con fines agrícolas (Hernández, 2014).

2.2. Lugar y fecha

Las muestras del agua tratada para la presente investigación fueron extraídas de un punto 01 de salida de la laguna del humedal Albufera de Medio Mundo ubicada en el distrito de Végueta, provincia de Huaura, departamento de Lima, Perú. Las coordenadas UTM Zona 18L (WGS 84), 206096.00 m E y 8795828.00 m S (Figura 5). El estudio tuvo una duración de 05 meses, iniciando en junio del 2018 con la extracción de las muestras de agua, preparación del extracto de M.O. y finalizando con el cultivo del rabanito en noviembre del 2018.

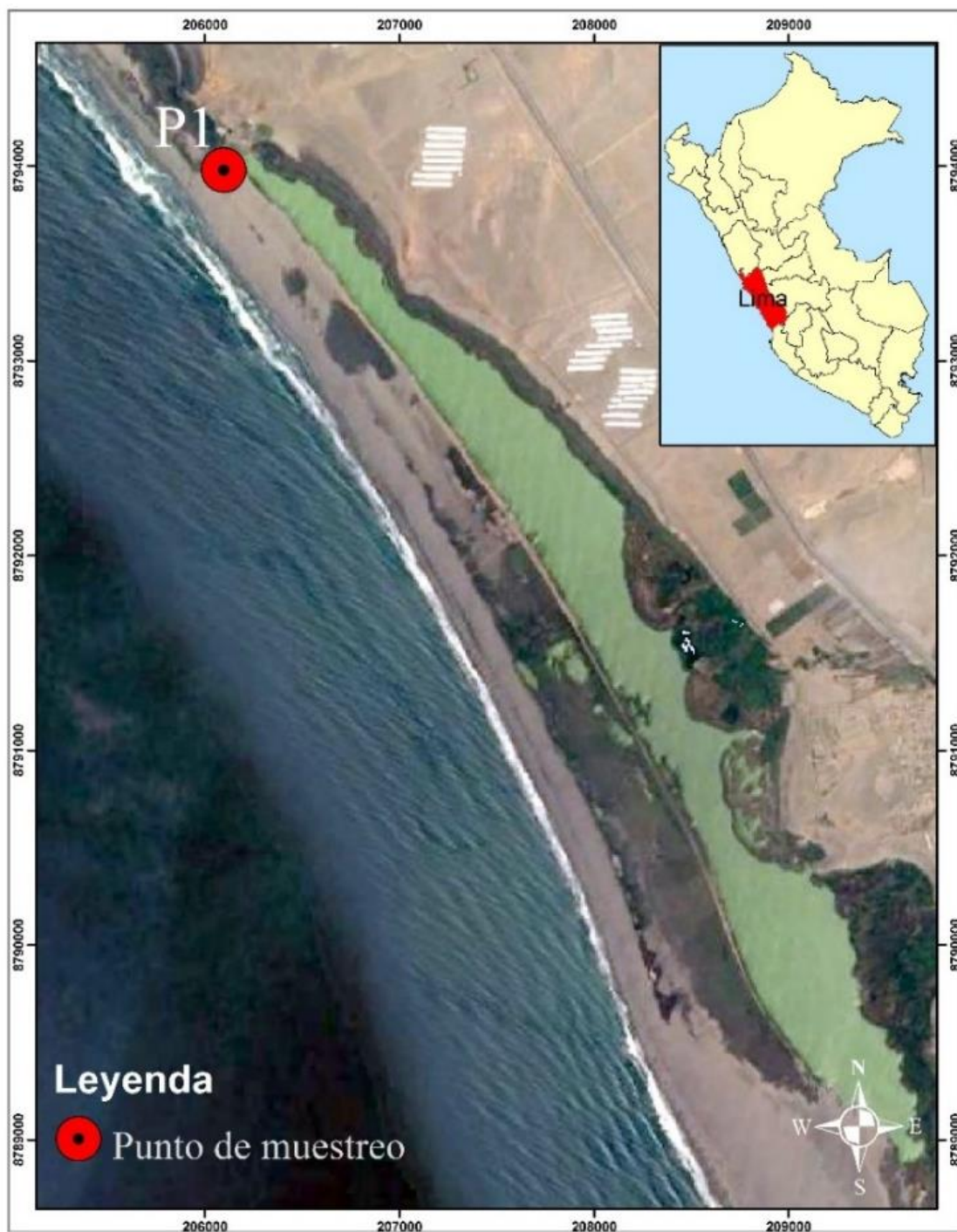


Figura 5. Ubicación del punto de muestreo de agua en el humedal Albufera de Medio Mundo.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Descripción del experimento

Esta etapa se realizó el análisis físico-químico de las muestras de agua recolectadas en el humedal Albufera de Medio Mundo.

2.3.1. Análisis de las muestras de agua recolectadas

La recolección de las muestras de agua ocurrió en el punto 01 de la laguna de Medio Mundo, donde se extrajo una muestra de 250 mL de una zona de poca turbulencia (Figura 6A). Se realizó la medición de los parámetros físico-químicos *in situ* tales como pH, temperatura y conductividad eléctrica (Figuras 6B-C).

Luego se recolectaron muestras de agua en seis recipientes de 5 L cada uno, refrigeradas, rotuladas y enviadas para su respectivo análisis a las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología y Microbiología de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (Sede Lima) (Figura 6D).



Figura 6. Toma de muestras de agua superficial en el humedal Albufera de Medio Mundo. Recolección de una muestra de agua en una galonera 5 L (A), medición *in situ* de pH y temperatura (B), medición *in situ* de conductividad (C), y recolección del total de muestras (D).

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Caracterización de la muestra extraída en el humedal Albufera de Medio Mundo

Análisis físico-químico:

- Temperatura, medida en grados Celsius (°C) mediante un termómetro (Termómetro de mercurio Boeco).
- Turbiedad, determinada en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) con un turbidímetro (Turbidímetro Portátil HI93703C).
- Conductividad eléctrica (CE), medido en milisiemens por centímetro (mS/cm) con un conductímetro (Multiparámetro Portátil Hi 9813-6).
- Sólidos suspendidos totales, determinado en miligramos por litro (mg/L) con un multiparámetro (Multiparámetro Portátil Hi 9813-6).
- Potencial de hidrógeno (pH), medido en unidad de pH con un pH metro (Multiparámetro Portátil Hi 9813-6).
- Dureza, determinado en mg/L por gravimetría (Kit para Dureza total WTW HC414653).
- Nitrógeno total, medido en mg/L por la técnica de fotometría (Kit para Nitrógeno total HC 600680).
- Fósforo total, determinado en mg/L por la técnica de fotometría (Kit para Fósforo HC695066).

2.3.3. Preparación del extracto de *Moringa oleifera*

- Recolección de las semillas de *M. oleifera*: Las semillas de *M. oleifera* fueron adquiridas de la empresa certificada FITO-ORIENTE SAC. Las semillas fueron seleccionadas y descascaradas de forma manual (Figuras 7A-B).

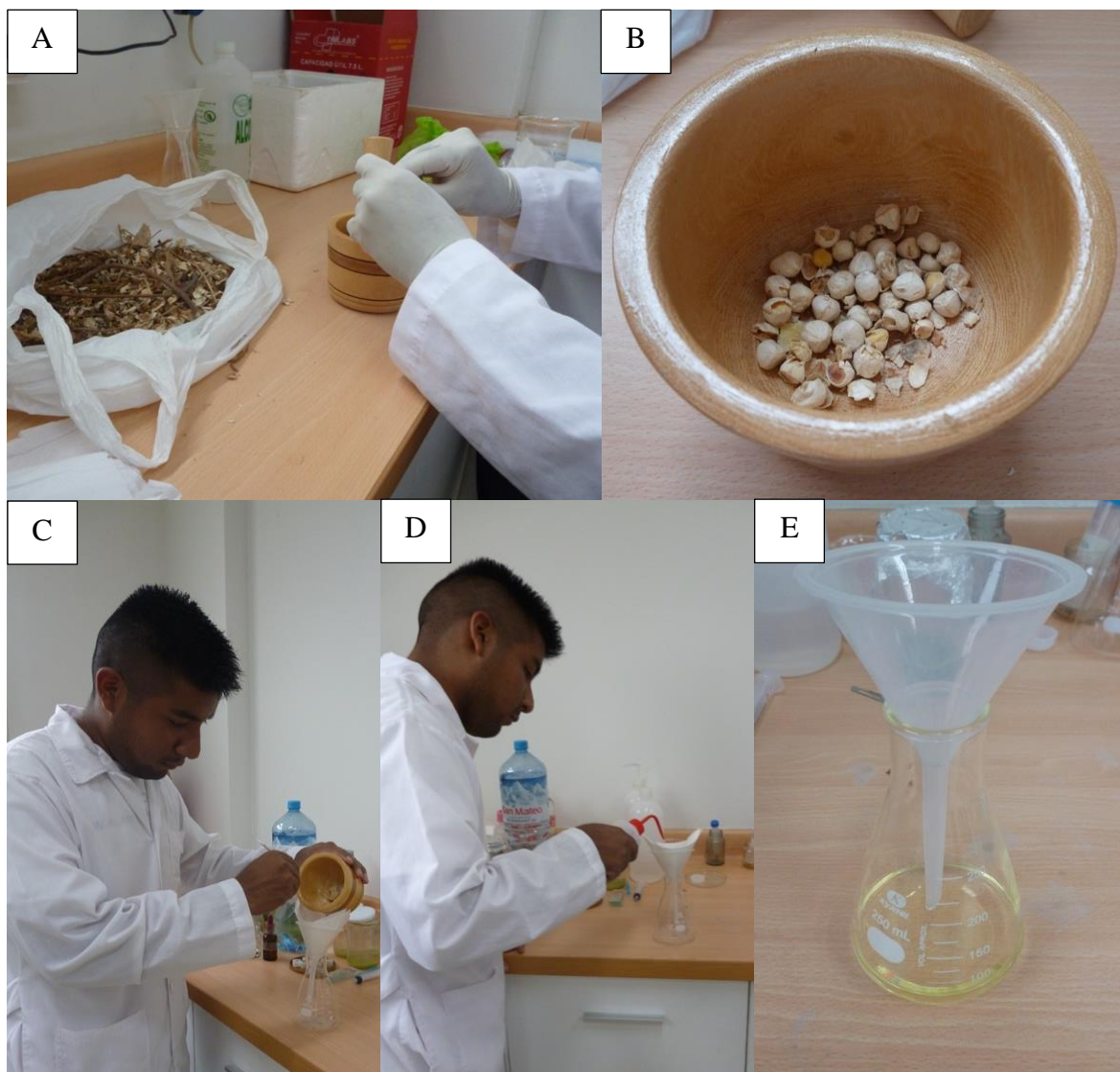


Figura 7. Procesamiento de las semillas de *M. oleifera*. (A) Descascaramiento de las semillas, (B) semillas procesadas antes de la tritución, semillas trituradas (C) antes, (D) durante y (E) después de la extracción de grasas.

Fuente: Elaboración propia.

- Extracción de la grasa de las semillas: Las semillas poseen un 40 % aproximadamente de grasas, que no poseen propiedades coagulantes. Para eliminar las grasas, se extrajo con etanol (96 % v/v) (Figuras 7C-E).

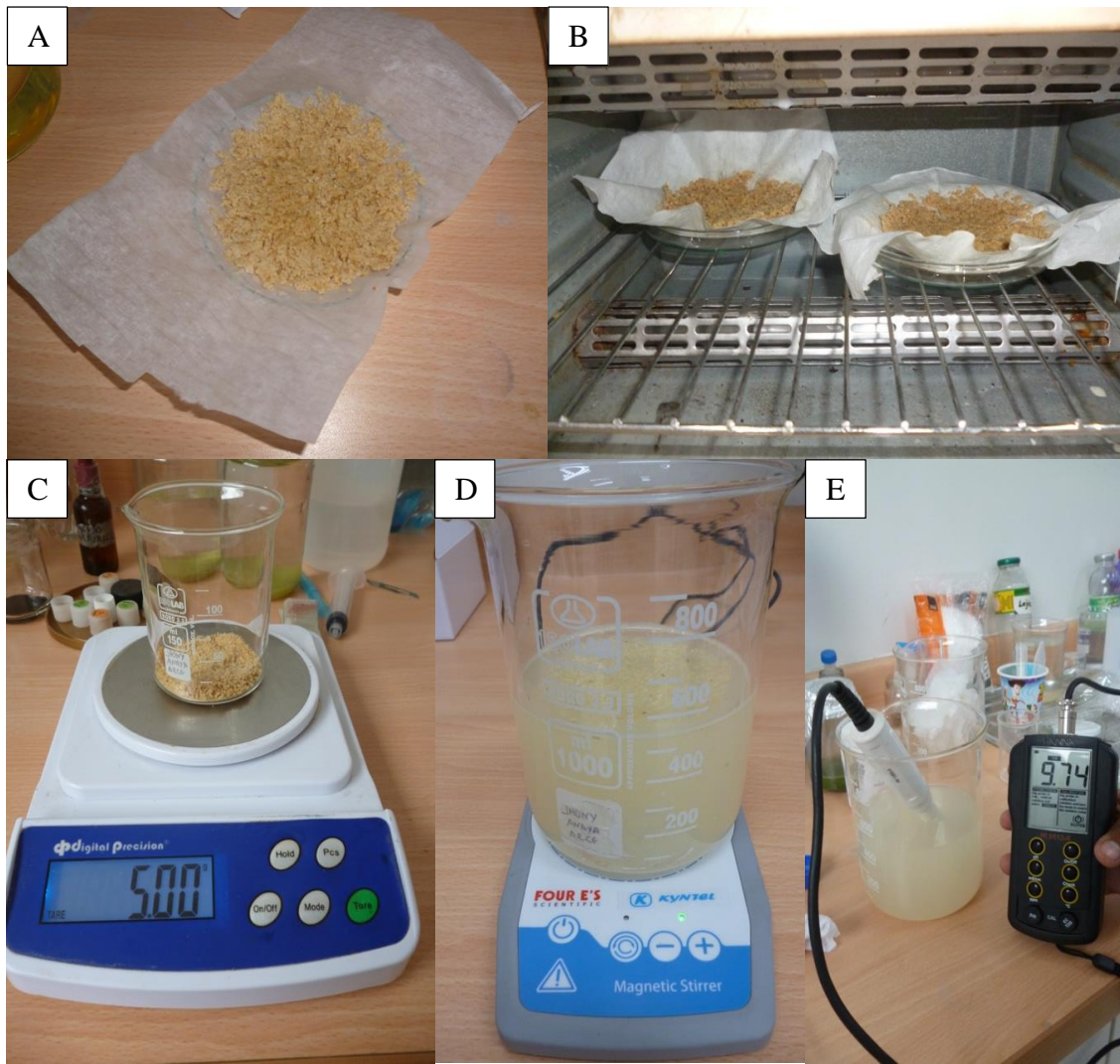


Figura 8. Secado de las muestras preparadas (A-B) y preparación de las dosis de *M. oleifera* (C-E). (A) Descascaramiento de las semillas, (B) semillas procesadas antes de la trituration, (C) pesado del polvo de semillas, (D) mezcla del polvo con la muestra de agua del humedal, y (E) medición de la conductividad con un multiparámetro.

Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente, se secaron las muestras preparadas a 120 °C por 120 min, para finalmente obtener 200 g de harina blanca (Figuras 8A-B) (Mendoza *et al.*, 2000).



Figura 9. Tratamientos del extracto de *M. oleifera* con las muestras de agua del humedal.
Fuente: Elaboración propia.

- Extracción de la parte coagulante activa de la *M. oleifera*, finalmente se realizó la mezcla ideal, la cual será de 10 g de polvo de *M. oleifera*, 58 g de NaCl y 1,0 L agua desionizada (Sáenz, 2000).

2.3.4. Evaluación de la actividad de coagulación y floculación

Para la determinación de la dosis óptima de la *M. oleifera*, previamente se realizará la prueba de jarras (Figuras 8C-E). Las dosis a evaluar serán de 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 g/L del extracto de *M. oleifera* (Figura 9), la cantidad de coagulante a utilizar para todas las dosificaciones será de 5 mL en 1,0 L de las muestras de agua del humedal ya mencionado. Para la modificación del pH de la muestra se usará como ácido al ácido clorhídrico (HCl – 2,5 N) y como base al hidróxido de sodio (NaOH – 0,1 N), se trabaja en un rango de 5 -10 (pH) y todas estas comparadas con el control (0,0 de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L del efluente).

La metodología consistió de un mezclado rápido de 200 rpm por un período de 1 min, a la vez que el mezclado lento fue de 40 rpm por un período de 20 min, después se midió la turbiedad residual con la ayuda de un turbidímetro HACH 2001P, todo realizado bajo los criterios establecidos por la American Public Health Association (APHA, 2005). El porcentaje de la actividad coagulante se determinará bajo la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Actividad coagulante} = \frac{RT_B - RT_S}{RT_B} * 100$$

Dónde:

RT_B: Residuo de la turbiedad en el blanco o control.

RT_S: Turbiedad de la muestra.

El porcentaje de eliminación de la turbiedad será calculado así:

$$\% \text{ Eliminación} = \frac{T_i - RT_S}{T_i} * 100$$

Dónde:

T_i: Turbiedad inicial.

RT_S: Turbiedad de la muestra.

2.3.5. Evaluación cinética de la sedimentación de coloides.

Para la determinación de la velocidad de sedimentación de coloides del extracto de *M. oleifera* aplicado a las muestras de agua del humedal en mención, se aplicó la ecuación de la “Ley de Stokes” modificada (Pérez, 2005):

$$v_s = \frac{g}{18} + \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} d_p^2 = \frac{g}{18} \frac{d_p^2}{v} (\delta - 1)$$

Dónde:

V_s = Velocidad de sedimentación.

g = Aceleración de la gravedad

ρ_s = Masa específica de la partícula.

ρ = Masa específica del agua.

d_p = Diámetro de la partícula.

V = Viscosidad cinemática del agua.

μ = Viscosidad dinámica del líquido.

2.3.6. Evaluación de la calidad del agua para riego

Para determinar si el agua tratada del humedal reunía las condiciones para el uso agrícola, se realizaron los siguientes análisis:

Análisis físico:

- Temperatura: Determinado en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) mediante un termómetro.
- Turbiedad: Determinado en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), con un turbidímetro.
- Conductividad: Determinado en unidades Siemens por metro (mS/cm), con un conductímetro.
- Sólidos suspendidos totales: Determinado por multiparámetro.

Análisis químico:

Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Agua, Suelos y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en donde se determinaron los valores de los siguientes parámetros:

- pH.
- Dureza.
- Nitrógeno total.
- Fósforo total.
- Aniones y cationes.

2.3.7. Estimación del efecto del sodio (RAS)

Para comprobar si el agua tratada con la dosis óptima de *M. oleifera* se encontró en condiciones ideales para su uso en cultivos zonales, se aplicó la relación de adsorción de sodio (RAS), la cual tiene la función de prevenir el exceso de sodio frente al calcio y magnesio, y representa un índice efectivo del potencial riesgo de un agua o cuerpo de agua en equilibrio con el suelo (García, 2012), determinado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Donde:

Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺: Se expresan en cmol(+) L⁻¹

2.3.8. Evaluación del crecimiento de *Raphanus sativus* sometido al efluente tratado con *M. oleifera*

El rabanito fue utilizado como cultivo indicador, debido a que mostró un alto rendimiento agrícola, dado a que fue irrigado con aguas residuales tratadas, además, las cosechas del rabanito no mostraron alguna afectación o alguna contaminación según los análisis bacteriológicos realizados (Méndez, 2006). Para el cultivo de *Raphanus sativus* (rabanito), se colocaron cuatro (04) semillas en modo cruz por macetero, a una profundidad de 5 cm cada una. Cada macetero contenía 750 g de tierra preparada, adquirida de la empresa “4 Estaciones”, que contaba con musgo, tierra vegetal, tierra de chacra y fertilizantes sintéticos (NPK) (Figura 10A).

Se prepararon 12 maceteros, que incluyeron: (i) tratamiento T2 de *M. oleifera* y control (agua potable) (ii), cada uno con 3 réplicas.

El riego del rabanito fue de manera interdiaria, con un volumen de 80 mL del agua tratada (o agua potable para el control) por macetero.

Se midieron las variables meteorológicas temperatura y humedad relativa mediante el uso del Termo hidrómetro digital (Boeco).

Se realizaron evaluaciones fenológicas periódicas (cada 5 días, durante 40 días), que consistió en medir la altura de planta (cm), el número de hojas (unidades), diámetro de tallo (cm) de *R. sativus* (Figuras 10B-C) (Tercero y Portillo, 2012). Finalmente, se calculó el rendimiento por planta (g) y se midió el diámetro de raíz (cm) al momento de la cosecha.

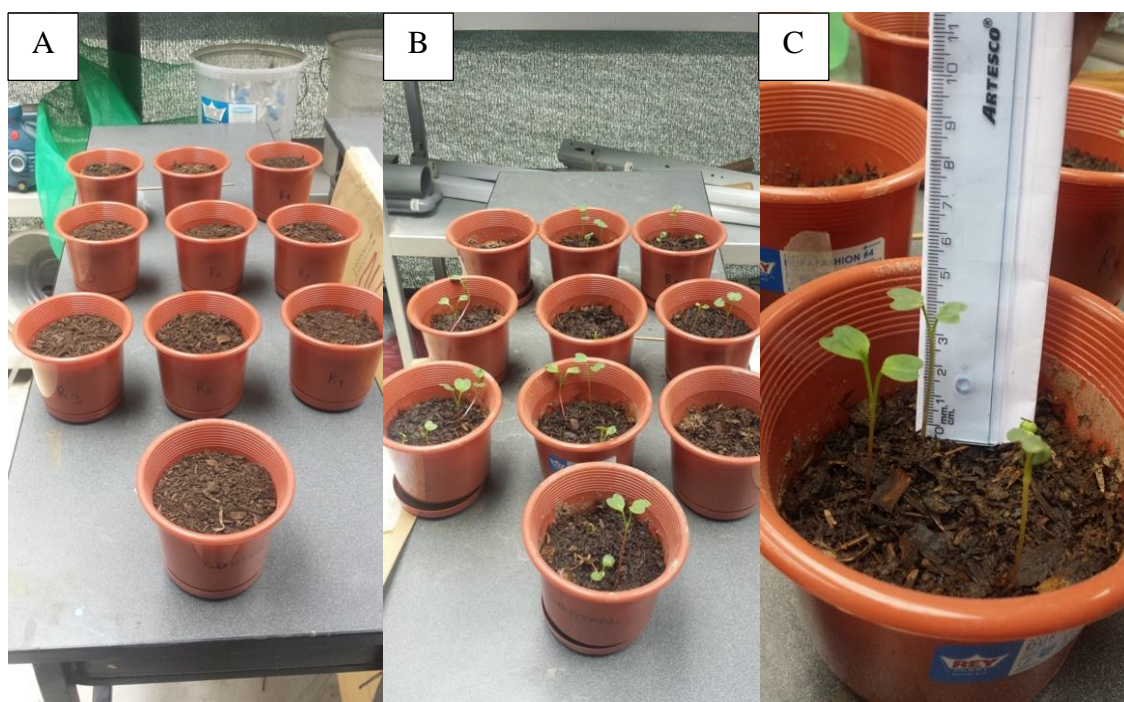


Figura 10. Cultivo de *Raphanus sativus* en condiciones de invernadero. Siembra de las semillas de *R. sativus* (A), emergencia de plántulas de *R. sativus* (B), y medición de altura de planta de *R. sativus* (C).

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Tratamientos

Se diseñaron los tratamientos especificados en la Tabla 2.

Tabla 2

Tratamientos para la determinación de la dosis ideal de M. oleifera

Tratamientos	Dosis
0	0,0 g/L de extracto de <i>M. oleifera</i> + 1,0 L de efluente
1	0,5 g/L de extracto de <i>M. oleifera</i> + 1,0 L de efluente
2	1,0 g/L de extracto de <i>M. oleifera</i> + 1,0 L de efluente
3	1,5 g/L de extracto de <i>M. oleifera</i> + 1,0 L de efluente
4	2,5 g/L de extracto de <i>M. oleifera</i> + 1,0 L de efluente

Fuente: Elaboración propia

2.5. Unidades experimentales

El experimento consistió en 12 unidades experimentales más el control. El tratamiento (T1) estuvo conformado por 0,5 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente. El tratamiento (T2) estuvo conformado 1,0 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente. El tercer tratamiento (T3) estuvo conformado por 1,5 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente. Finalmente, el cuarto tratamiento (T4) estuvo por conformado por 2,5 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente. El tratamiento control (T0) estuvo conformado por 0,0 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente.

2.6. Identificación de las variables y su mensuración

Se realizaron evaluaciones para determinar la variación de los resultados de los parámetros físico-químicos y el mejoramiento de la calidad del agua a tratar para fines agrícolas (Tabla 3).

Tabla 3

Variables y su mensuración

Variables	Unidades	Método
pH	Unidades de pH	pH metro
Dureza	mg/L de CaCO ₃	Gravimetría
Turbiedad	UNT	Turbidímetro
Nitrógeno total	ppm	Fotometría
Fósforo total	ppm	Fotometría
Sólidos suspendidos	ppm	Multiparámetro
RAS	mmhos/cm	Fórmula

Fuente: Elaboración propia

2.7. Diseño estadístico del experimento

Se empleó un diseño completo al azar (DCA), conformando cuatro tratamientos más su control. Cada tratamiento estuvo conformado por 3 repeticiones., donde cada repetición tuvo un pH asignado (7, 8 y 9).

2.8. Análisis estadístico de datos

Los datos obtenidos fueron procesados y analizados por el programa Microsoft Excel 2016 para la interpretación de los resultados en gráficos. Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) y el test de Tukey entre los tratamientos y el porcentaje de coagulación, así como los parámetros físico-químicos, para determinar la presencia de diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$). Para estos análisis se usaron el software estadístico SPSS V.12. Finalmente, se evaluaron los datos fenológicos de *R. sativus* sometidos al efluente tratado con *M. oleifera*.

2.9. Materiales

Los materiales utilizados a lo largo de esta investigación fueron los siguientes:

Fase de campo

- pH metro
- 6 galoneras de 5L c/u
- 6 recipientes de vidrio de 500 mL (previamente autoclavado)
- Multiparámetro portátil
- G.P.S.
- Guantes de nitrilo

Fase de laboratorio

- 2 kg de semillas de *M. oleifera*
- 3 recipientes de Alcohol 96 % de 700 mL c/u
- Mortero
- Embudo de plástico
- Vaso precipitado de 500 mL
- Papel filtro
- 3 recipientes de Cloruro de sodio (cristales) 100 mL c/u
- 1 agitador
- Kit de Nitrógeno total
- Kit de Fósforo total
- Horno eléctrico
- 2 placas Petri
- 1 vaso precipitado de 1L
- 20 recipientes de plásticos de 80 mL c/u
- 1 pipeta
- 3 jeringas descartables
- Fotómetro portátil
- Multiparámetro portátil

Fase de siembra

- 10 maceteros de plástico de 750 g c/u
- 1 saco de 5kg de suelo fertilizado con NPK
- Semillas de rabanito
- 1 Termohidrómetro

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Análisis de parámetros físico-químicos

3.1.1. Análisis de la muestra inicial del humedal Albufera de Medio Mundo

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis físico-químico de la muestra inicial del humedal Albufera de Medio Mundo tomada *in situ*.

Tabla 4

Valores promedio de los parámetros correspondientes al análisis físico-químico de la muestra de agua inicial del humedal Albufera de Medio Mundo

Parámetros	Unidades	Resultado	ECA para agua (2017) ¹	Cumplimiento de ECA para agua
Conductividad eléctrica	mS/cm	5,73±0,12	2,5 mS/cm	No
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	89,10±0,01	15 mg/L	No
Fósforo total	mg/L	0,18±0,01	NA ³	NA
Nitrógeno total	mg/L	<0,50±0,05	100 mg/L (como Nitratos + Nitritos)	Sí
pH	Unidades de pH	6,40±0,01	6,50-8,50	No
Temperatura	°C	24,00±0,01	Δ3 ²	NA
Turbiedad	UNT	6,10±1,20	NA	NA

¹ Decreto Supremo 004-2017-MINAM, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: Lagos y lagunas.

² Δ3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

³ NA: No aplica.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados, tres de los siete parámetros (42,9 % del total) no cumple con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017).

Los parámetros que excedieron la mencionada norma fueron conductividad eléctrica (229 %) y DBO (594 %), mientras que el pH estuvo por debajo del rango de valores de pH establecido en la norma (98 %), por lo que tampoco cumplió con la norma (Tabla 4). En contraste, N total sí cumplió con la norma bajo la forma de nitratos y nitritos (Tabla 4).

Por otro lado, no fue posible comparar los parámetros P total, temperatura y turbiedad con la citada norma:

(i) P total, ya que no aplica como parámetro para la Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), pero sí para el resto de categorías:

- Categoría 1 (Poblacional y Recreacional), Subcategoría A¹, con 0,10 mg/L para A1² y 0,15 mg/L para A2³ y A3⁴.
- Categoría 2 (Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales), Subcategoría C1⁵ y C2⁶, con 0,062 mg/L, y C4⁷, con 0,025 mg/L.
- Categoría 4 (Conservación del ambiente acuático), con 0,035 mg/L para E1⁸, con 0,05 mg/L para E2⁹, con 0,124 mg/L (estuario) y 0,062 mg/L (marino) para E3¹⁰.

¹ Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

² A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

³ A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

⁴ A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

⁵ Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.

⁶ Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.

⁷ Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.

⁸ Subcategoría E1: Lagunas y lagos.

⁹ Subcategoría E2: Ríos.

¹⁰ Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos.

Si se considerara el valor menos estricto (0,124 mg/L para E3), entonces el valor de P total de la muestra inicial no cumpliría con el ECA para agua.

- (ii) Temperatura, porque no se cuentan con datos actuales de monitoreo de temperatura, solo con el reporte de Tovar (1977), quien indica que la temperatura media anual máxima corresponde al valor de 24 °C.
- (iii) Turbiedad, ya que no aplica como parámetro para la Categoría 3, solo para la Categoría 1, Subcategoría A, con 5 UNT para A1 y 100 UNT para A2, y Subcategoría B11, con 100 UNT para B112. Si se considerara el valor menos estricto (100 UNT para A2 o B1), entonces el valor de turbiedad de la muestra inicial sí cumpliría con el ECA para agua.

3.1.2. Análisis de las muestras de agua del humedal Albufera de Medio Mundo tratadas con el extracto de *M. oleifera*

La Tabla 5 muestra los resultados del análisis físico-químico de las muestras de agua del humedal Albufera de Medio Mundo tratadas con el extracto de *M. oleifera* en condiciones de laboratorio.

La conductividad eléctrica mostró valores decrecientes a medida que se incrementó la concentración del extracto de *M. oleifera* (3,83±0,33 mS/cm para el control vs. 2,05±0,08 mS/cm para el tratamiento 4 o T4), con un valor máximo de remoción de 46,48 % (T4) y mínimo de 20,89 % (T1) (Tabla 5), por lo que pudo ser modelada a través de una ecuación logarítmica ($y = -1.158\ln(x) + 3.8223$), con un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9898$) (Figura 11A).

La DBO reveló valores decrecientes a medida que se incrementó la concentración del extracto de *M. oleifera* (8,56±0,58 mg/L para el control vs. 3,96±0,83 mg/L para el T4), con

¹¹ Subcategoría B (Aguas superficiales destinadas para recreación).

¹² B1 (Contacto primario).

un valor máximo de remoción de 53,74 % (T4) y mínimo de 10,05 % (T1) (Tabla 5), por lo que pudo ser modelada a través de una ecuación polinómica de grado 2 ($y = -0.2814x^2 + 0.6546x + 7.96$), con un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9562$) (Figura 11B).

Tabla 5

*Valores obtenidos de los parámetros correspondientes al análisis físico-químico de las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de *M. oleifera**

Parámetros	Control ¹	T1 ²	T2 ³	T3 ⁴	T4 ⁵	Cumplimiento de ECA para agua
Conductividad (mS/cm)	4,10	3,10	2,80	2,00	2,05	Sí (T3-T4)
	3,50	3,20	2,20	2,20	1,95	
	3,90	2,80	2,70	2,10	2,12	
Promedio	3,83±0,33	3,03±0,20	2,56±0,32	2,10±0,10	2,05±0,08	
Remoción (%)	-	20,89	33,16	45,17	46,48	
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8,80	8,00	7,00	6,00	4,50	Sí (T1-T4)
	9,00	8,10	7,50	6,70	4,40	
	7,90	7,00	7,60	7,00	3,00	
Promedio	8,56±0,58	7,70±0,60	7,36±0,32	6,56±0,51	3,96±0,83	
Remoción (%)	-	10,05	14,02	23,36	53,74	
Fósforo total (mg/L)	0,10	0,10	0,03	0,02	0,02	NA ⁶
	0,15	0,05	0,02	0,04	0,01	
	0,20	0,50	0,01	0,01	0,05	
Promedio	0,15±0,05	0,21±0,02	0,020±0,01	0,023±0,015	0,026±0,020	
Remoción (%)	-	-40,00	86,67	84,67	82,67	
Nitrógeno total (mg/L)	19,24	2,10	1,80	1,50	0,90	Sí (T1-T4)
	18,95	3,20	1,50	1,40	0,23	
	19,20	4,10	1,30	1,10	0,56	
Promedio	19,13±0,16	3,10±1,00	1,53±0,25	1,33±0,20	0,53±0,33	
Remoción (%)	-	83,80	92,00	93,05	97,23	
Turbiedad (UNT)	6,50	3,10	3,30	1,80	0,90	NA
	5,90	4,00	3,20	1,90	1,00	
	7,00	3,50	2,90	2,10	0,80	
Promedio	6,46±0,55	3,53±0,45	3,13±0,20	1,93±0,15	0,90±0,10	
Remoción (%)	-	45,36	51,55	70,12	86,07	

¹ Control: 0,0 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente.

² T1: 0,5 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente.

³ T2: 1,0 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente.

⁴ T3: 1,5 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente.

⁵ T4: 2,5 g/L de extracto de *M. oleifera* + 1,0 L de efluente.

⁶ NA: No aplica.

Fuente: Elaboración propia

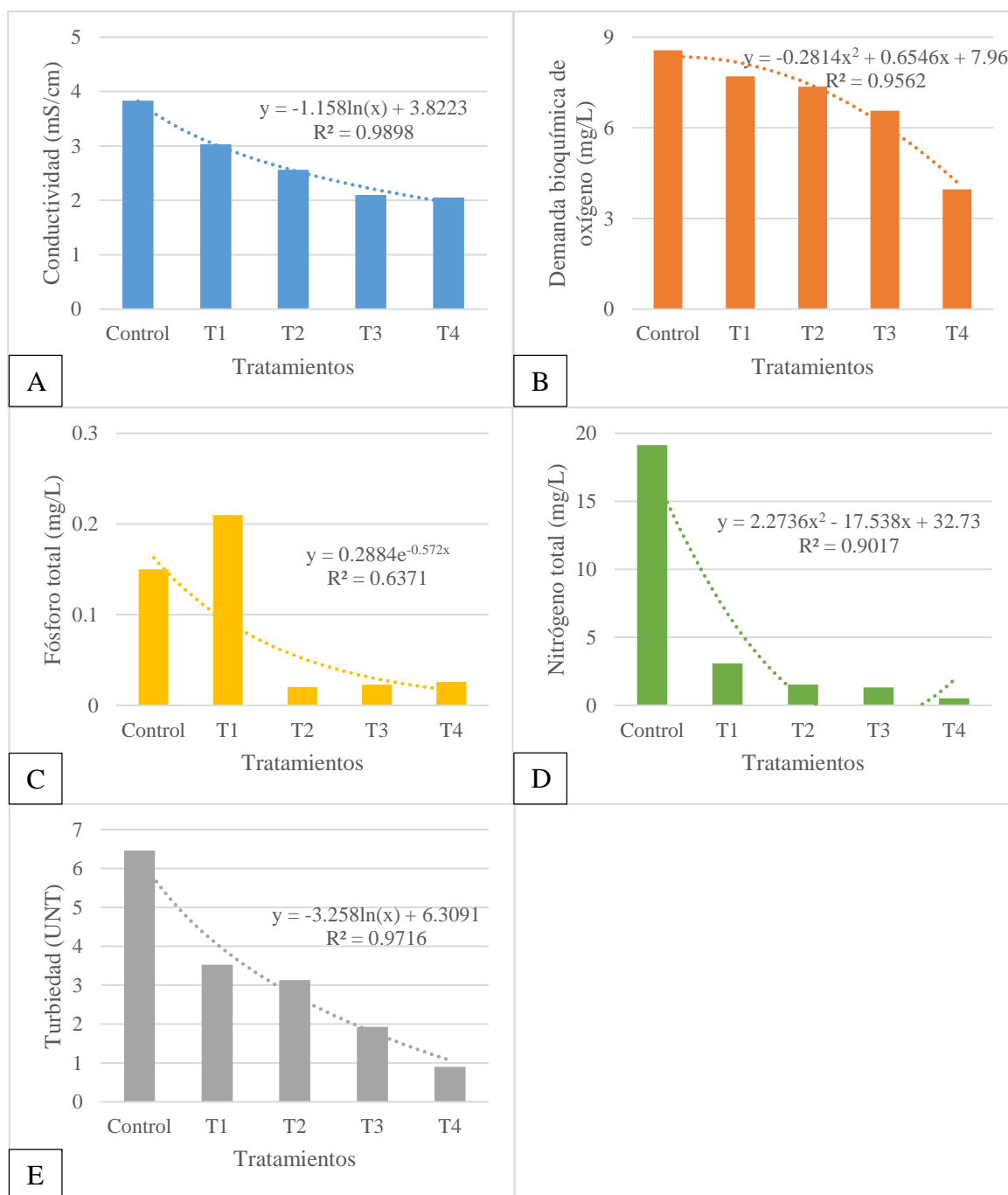


Figura 11. Resultados de los parámetros físico-químicos de las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de *M. oleifera*. Conductividad (A), demanda bioquímica de oxígeno (B), fósforo total (C), nitrógeno total (D) y turbiedad (E).

Fuente: Elaboración propia

El P total denotó valores decrecientes solo entre el T1 ($0,21 \pm 0,02$ mg/L) y el T2 ($0,020 \pm 0,01$ mg/L), con un valor máximo de remoción de 86,67 % (T2) (Tabla 5), por lo que

pudo ser modelada parcialmente a través de una ecuación exponencial ($y = 0.2884e^{-0.572x}$), con un bajo coeficiente de determinación ($R^2 = 0.6371$) (Figura 11C).

El N total exhibió valores decrecientes a medida que se incrementó la concentración del extracto de *M. oleifera* ($19,13 \pm 0,16$ mg/L para el control vs. $0,53 \pm 0,33$ mg/L para el T4), con un valor máximo de remoción de 97,23 % (T4) y mínimo de 83,80 % (T1) (Tabla 5), por lo que pudo ser modelada a través de una ecuación polinómica de grado 2 ($y = 2.2736x^2 - 17.538x + 32.73$), con un aceptable coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9017$) (Figura 11D).

La turbiedad reveló valores decrecientes a medida que se incrementó la concentración del extracto de *M. oleifera* ($6,46 \pm 0,55$ UNT para el control vs. $0,90 \pm 0,10$ UNT para el T4), con un valor máximo de remoción de 86,07 % (T4) y mínimo de 45,36 % (T1) (Tabla 5), por lo que pudo ser modelada a través de una ecuación logarítmica ($y = -3.258 \ln(x) + 6.3091$), con un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9716$) (Figura 11E).

Con respecto al cumplimiento del ECA para agua, solo dos parámetros (40 %) mostró valores por debajo de los estándares (T4 para DBO y T2-T4 para P total), mientras que dos parámetros (40 %) no cumplieron el mencionado estándar (conductividad eléctrica y N total) y un parámetro (20 %) no aplicaba (turbiedad) debido a las razones expuestas en la sección 3.1.1.

3.1.3. Variación de la conductividad eléctrica

La variación de los valores medios para la conductividad eléctrica mostró las diferencias existentes entre el control y los tratamientos, con una tendencia decreciente entre el control y el T3 (excepto T4) (Figura 12A).

El análisis de variancia (ANOVA) para varios factores (factores fijos: tratamientos y pH) indicó que existen diferencias para la conductividad eléctrica según la combinación de

tratamientos y pH que se considere, modelo que cuenta con una alta capacidad predictiva ($R^2 = 0,999$) (Apéndice 1).

En cuanto a la conductividad eléctrica vs. tipo de tratamiento, el análisis post hoc de comparaciones múltiples (prueba de rango múltiple de Tukey) mostró diferencias significativas al 5 % en todas las comparaciones de conductividad eléctrica con los tipos de tratamientos (Apéndice 2), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que todos los subconjuntos del tipo de tratamiento mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 3).

Sobre la conductividad eléctrica vs. pH, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en todas las comparaciones de conductividad eléctrica con los niveles de pH (Apéndice 4), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que los cinco subconjuntos del nivel de pH mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 5).

3.1.4. Variación del fósforo total

La variación de los valores medios para el fósforo total mostró las diferencias existentes entre el control y los tratamientos, con una tendencia decreciente solo entre T1 y T2 (Figura 12B).

El ANOVA para varios factores (factores fijos: tratamientos y pH) indicó que existen diferencias para el fósforo total según la combinación de tratamientos y pH que se considere, modelo que cuenta con una alta capacidad predictiva ($R^2 = 0,991$) (Apéndice 6).

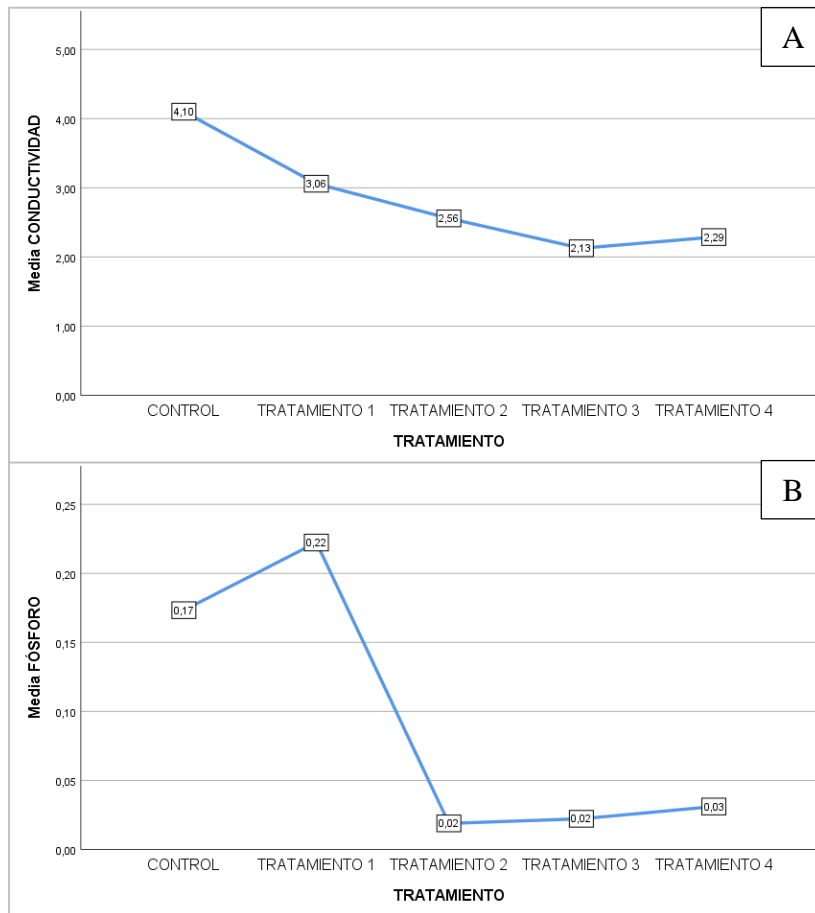


Figura 12. Líneas simples de los valores medios de los parámetros físico-químicos versus los tratamientos con *M. oleifera*. Conductividad eléctrica (A) y fósforo total (B).
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al fósforo total vs. tipo de tratamiento, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en 70 % (14/20) de las comparaciones de fósforo total con los tipos de tratamientos (Apéndice 7), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneas reveló que existen tres subconjuntos en el tipo de tratamiento, los cuales mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 8).

Sobre el fósforo total vs. pH, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en 66.7 % (4/6) de las comparaciones de fósforo total con los niveles de pH (Apéndice 9), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneas reveló que existen dos subconjuntos del nivel de pH, los cuales mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 10).

3.1.5. Variación del nitrógeno total

La variación de los valores medios para el nitrógeno total mostró las diferencias existentes entre el control y los tratamientos, con una tendencia decreciente entre el control y el T3 (excepto T4) (Figura 13A).

El ANOVA para varios factores (factores fijos: tratamientos y pH) indicó que existen diferencias para el nitrógeno total según la combinación de tratamientos y pH que se considere, modelo que cuenta con una alta capacidad predictiva ($R^2 = 1,000$) (Apéndice 11).

En cuanto al nitrógeno total vs. tipo de tratamiento, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en 90 % (18/20) de las comparaciones de conductividad con los tipos de tratamientos (Apéndice 12), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneas reveló que existen cuatro subconjuntos del tipo de tratamiento, los cuales mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 13).

Sobre el nitrógeno total vs. pH, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en todas las comparaciones de nitrógeno total con los niveles de pH (Apéndice 14), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneas reveló que todos los subconjuntos del nivel de pH mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 15).

3.1.6. Variación de la turbiedad

La variación de los valores medios de turbiedad mostró las diferencias existentes entre el control y los tratamientos, con una tendencia decreciente entre el control y el T2 (Figura 13B).

El ANOVA para varios factores (factores fijos: tratamientos y pH) indicó que existen diferencias para la turbiedad según la combinación de tratamientos y pH que se considere, modelo que cuenta con una alta capacidad predictiva ($R^2 = 1,000$) (Apéndice 16).

En cuanto a la turbiedad vs. tipo de tratamiento, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en todas las comparaciones de turbiedad con los tipos de tratamientos (Apéndice 17), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que todos los subconjuntos del tipo de tratamiento mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 18).

Sobre la turbiedad vs. pH, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en todas las comparaciones de conductividad eléctrica con los niveles de pH (Apéndice 19), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que todos los subconjuntos del nivel de pH mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 20).

3.2. Coagulación y eliminación de turbiedad en las muestras de agua tratadas con el extracto de *M. oleifera*

La Tabla 6 muestra los resultados del porcentaje de la actividad coagulante y porcentaje de eliminación de la turbiedad de las muestras de agua del humedal Albufera de Medio Mundo tratadas con el extracto de *M. oleifera* en condiciones de laboratorio.

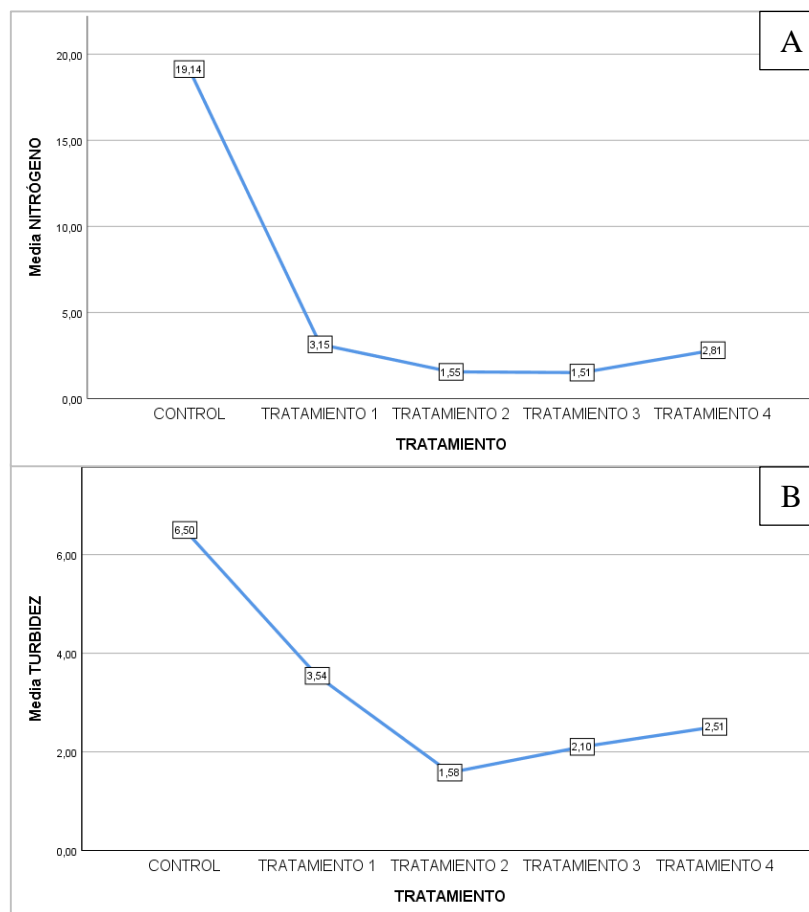


Figura 13. Líneas simples de los valores medios de los parámetros físico-químicos versus los tratamientos con *M. oleifera*. Nitrógeno total (A) y turbiedad (B).

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Variación del porcentaje de la actividad coagulante

La variación de los valores medios para el porcentaje de la actividad coagulante mostró las diferencias existentes entre el control y los tratamientos, con una tendencia creciente entre el control y el T2 (Figura 14A).

Se observó un incremento del porcentaje de la actividad coagulante en función al pH en T1 (70,81 % a pH 7 y 75,41 % a pH 9) y T2 (70,16 % a pH 7 y 81,96 % a pH 9), mientras que hubo un ligero incremento a pH 8 para T3 (72,13 %) y T4 (68,85 %) y un posterior descenso a pH 9 para T3 (70,49 %) y T4 (54,09 %) (Figura 14B).

Tabla 6

Valores obtenidos del porcentaje de la actividad coagulante y porcentaje de eliminación de la turbiedad de las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de *M. oleifera*

Tratamiento	pH	Actividad coagulante (%)	Eliminación de turbiedad (%)
Control	8,2	0,00	0,00
	8,1	0,00	0,00
	8,0	0,00	0,00
T1	7,0	70,81	62,91
	8,0	75,40	64,28
	9,0	75,41	63,63
T2	7,0	70,16	62,08
	8,0	70,32	56,90
	9,0	81,96	75,00
T3	7,0	69,83	61,66
	8,0	72,13	59,52
	9,0	70,49	59,09
T4	7,0	64,75	48,95
	8,0	68,85	54,76
	9,0	54,09	36,36

Fuente: Elaboración propia

A pH 7, la actividad fue similar entre T1 (70,81 %), T2 (70,16 %) y T3 (69,83 %), pero con un menor valor para T4 (64,75 %) (Figura 14C). A pH 8, la mayor actividad correspondió a T1 (75,40 %) y la menor a T4 (68,85 %) (Figura 14C). A pH 9, la mayor actividad fue observada para T2 (81,96 %) y la menor para T4 (54,09 %) (Figura 14C).

El ANOVA para varios factores (factores fijos: tratamientos y pH) indicó que existen diferencias para el porcentaje de la actividad coagulante según la combinación de tratamientos y pH que se considere, modelo que cuenta con una alta capacidad predictiva ($R^2 = 1,000$) (Apéndice 21).

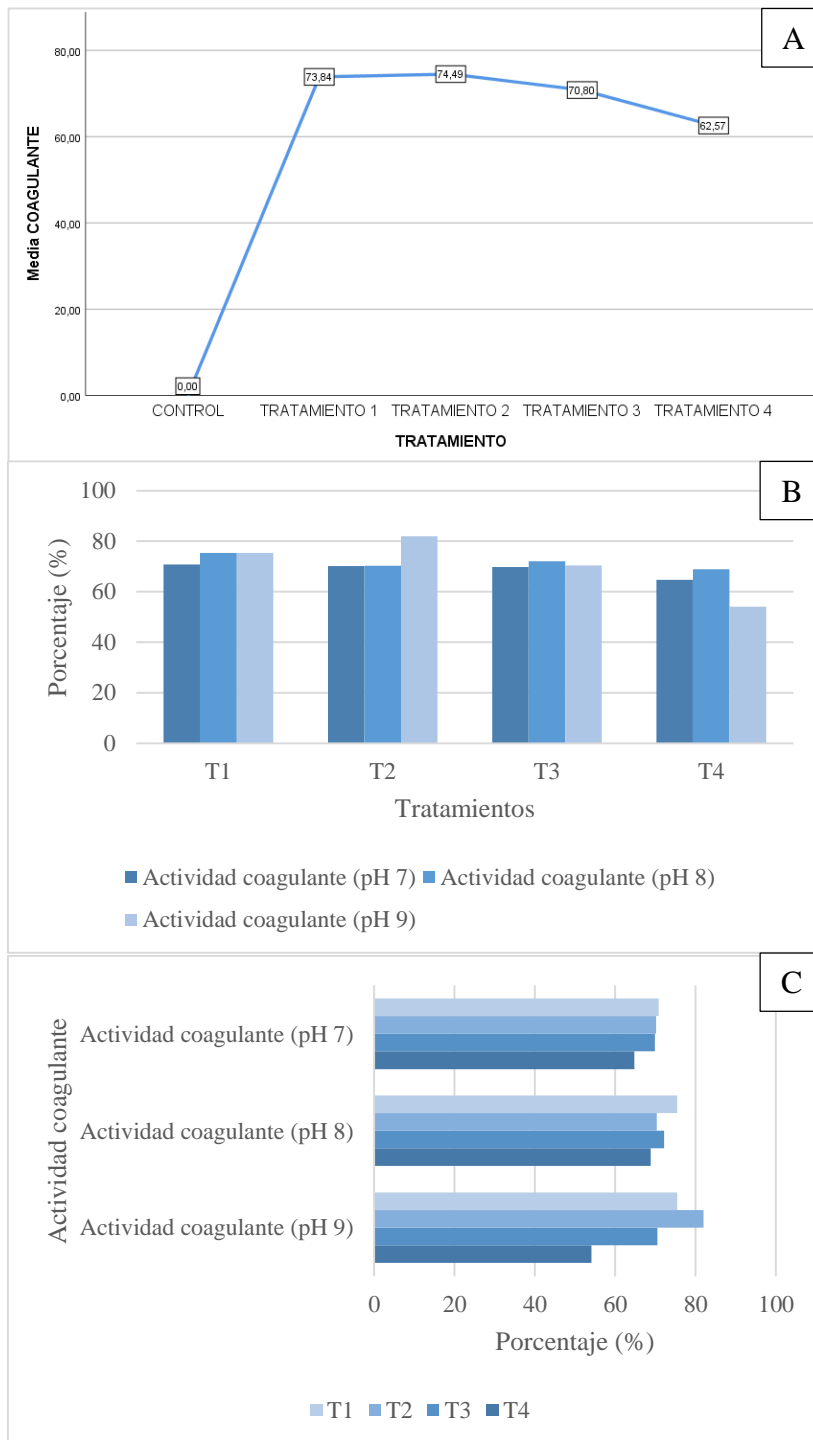


Figura 14. Líneas simples de los valores medios del porcentaje de actividad coagulante (A), porcentaje de actividad coagulante vs. tratamientos (B), y actividad coagulante (en función al pH) (C) de los tratamientos con *M. oleifera*.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al porcentaje de la actividad coagulante vs. tipo de tratamiento, el análisis post hoc de comparaciones múltiples (prueba de rango múltiple de Tukey) mostró diferencias significativas al 5 % en 90 % (18/20) de las comparaciones del porcentaje de la actividad coagulante con los tipos de tratamientos (Apéndice 22), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que la existencia de cuatro subconjuntos del tipo de tratamiento, los cuales mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 23).

Sobre el porcentaje de la actividad coagulante vs. pH, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en 66.7 % (4/6) las comparaciones del porcentaje de la actividad coagulante con los niveles de pH (Apéndice 24), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que los dos subconjuntos del nivel de pH mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 25).

3.2.2. Variación del porcentaje de la eliminación de la turbiedad

La variación de los valores medios para el porcentaje de la eliminación de la turbiedad mostró las diferencias existentes entre el control y los tratamientos, con una tendencia creciente entre el control y el T1 (Figura 15A).

Se observó un ligero incremento del porcentaje de eliminación de turbiedad en función al pH en T1 (64,28 % a pH 8 y 63,63 % a pH 9), mientras que para T2 la mayor eliminación ocurrió a pH 9 (75,00 %) (Figura 15B). La mayor eliminación para T3 ocurrió a pH 7 (61,66 %) y para T4 fue a pH 8 (54,76 %), en tanto que hubo un descenso para ambos a pH 9 (T3: 59,09 % y T4: 36,36 %) (Figura 15B).

A pH 7, el porcentaje de eliminación de turbiedad fue similar entre T1 (62,91 %), T2 (62,08 %) y T3 (61,66 %), pero con un descenso para T4 (48,95 %) (Figura 15C). A pH 8, la mayor actividad correspondió a T1 (64,28 %) y la menor a T4 (54,76 %) (Figura 15C). A pH 9, la mayor actividad fue observada para T2 (75,00 %) y la menor para T4 (36,36 %) (Figura 15C).

El ANOVA para varios factores (factores fijos: tratamientos y pH) indicó que existen diferencias para el porcentaje de la eliminación de la turbiedad según la combinación de tratamientos y pH que se considere, modelo que cuenta con una alta capacidad predictiva ($R^2 = 1,000$) (Apéndice 26).

En cuanto al porcentaje de la eliminación de la turbiedad vs. tipo de tratamiento, el análisis post hoc de comparaciones múltiples (prueba de rango múltiple de Tukey) mostró diferencias significativas al 5 % en todas las comparaciones del porcentaje de la eliminación de la turbiedad con los tipos de tratamientos (Apéndice 27), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que todos los subconjuntos del tipo de tratamiento mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 28).

Sobre el porcentaje de la eliminación de la turbiedad vs. pH, la prueba de rango múltiple de Tukey mostró diferencias significativas al 5 % en todas las comparaciones del porcentaje de la eliminación de la turbiedad con los niveles de pH (Apéndice 29), mientras que el análisis de subconjuntos de medias homogéneos reveló que todos los subconjuntos del nivel de pH mostraron diferencias significativas entre sí (Apéndice 30).

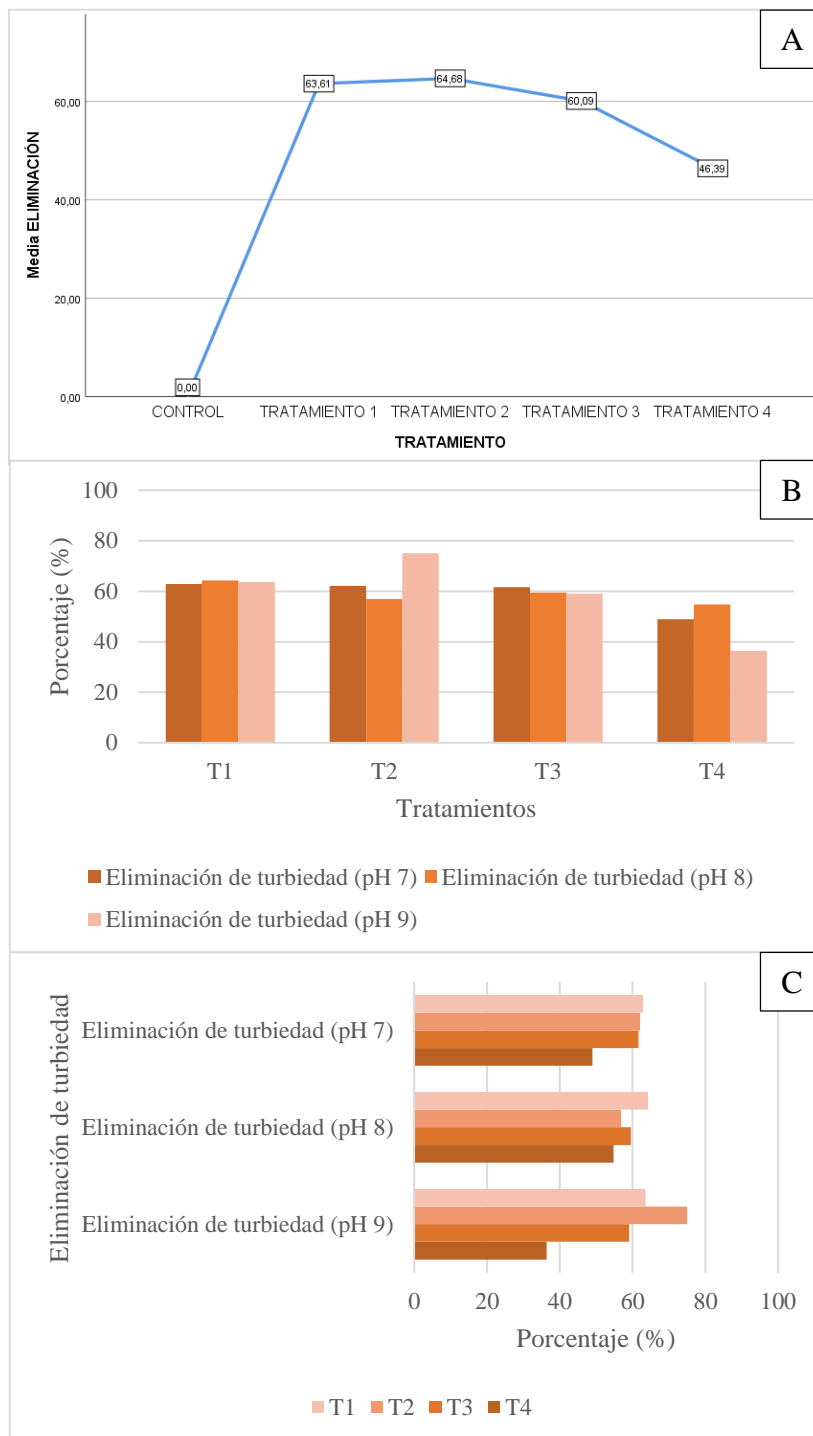


Figura 15. Líneas simples de los valores medios del porcentaje de eliminación de turbiedad (A), porcentaje de eliminación de turbiedad vs. tratamientos (B), y eliminación de turbiedad (en función al pH) (C) de los tratamientos con *M. oleifera*.

Fuente: Elaboración propia

3.3. Evaluación del crecimiento de *Raphanus sativus* regado con las muestras de agua tratadas con el extracto de *M. oleifera*

La Tabla 7 muestra los resultados de la altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo del cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) regado con las muestras de agua del humedal Albufera de Medio Mundo tratadas con el extracto de *M. oleifera* en condiciones de invernadero, en tanto que la Tabla 8 resume los resultados de rendimiento por planta y diámetro de raíz del cultivo de *R. sativus*.

En relación con la altura de planta de *R. sativus*, se observaron diferencias mínimas entre el control (22,50 cm) y el tratamiento con *M. oleifera* (T2) (21,96 cm) durante los primeros 40 días después de la siembra (Figura 16A).

Tabla 7

Valores obtenidos de la altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo del cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) regado con las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de *M. oleifera*

Días después de la siembra (dds)	Altura de planta (cm)		Número de hojas (unidades)		Diámetro de tallo (cm)	
	Control	Tratamiento con <i>M. oleifera</i> (T2)	Control	Tratamiento con <i>M. oleifera</i> (T2)	Control	Tratamiento con <i>M. oleifera</i> (T2)
5	2,70	2,40	3	4	0,20	0,20
10	3,66	3,77	6	5	0,25	0,23
15	7,45	6,99	8	7	0,30	0,29
20	10,60	10,20	11	12	0,35	0,35
25	12,70	12,10	11	13	0,37	0,36
30	13,77	13,34	11	13	0,40	0,39
35	19,55	19,00	12	12	0,55	0,44
40	22,50	21,96	11	10	0,67	0,56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Valores promedio obtenidos del rendimiento por planta y diámetro de raíz del cultivo de rabanito (*R. sativus*) regado con las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de *M. oleifera*

Variables agronómicas	Control	Tratamiento con <i>M. oleifera</i> (T2)
Rendimiento por planta (g)	96,55	95,89
Diámetro de raíz (cm)	5,11	4,97

Fuente: Elaboración propia

Sobre el número de hojas de *R. sativus*, se evidenció una variabilidad de los datos registrados en función al tiempo: (i) 5-15 días, el mayor número de hojas correspondió al control, (ii) 20-30 días, T2 mostró un mayor número de hojas, (iii) 35 días, sin diferencias entre el control y T2, y (iv) 40 días, el control presentó un mayor número de hojas (11) con respecto a T2 (10) (Figura 16B).

En cuanto al diámetro de tallo de *R. sativus*, se observó una baja variabilidad de los datos registrados en función al tiempo: (i) 5-30 días, valores similares entre el control y T2, y (ii) 35-40 días, con un mayor diámetro de tallo para el control (0,67 cm) con respecto a T2 (0,56 cm) (Figura 16C).

Finalmente, respecto de las variables agronómicas, las diferencias para el rendimiento por planta (96,55 g para el control vs. 95,89 g para T2) y diámetro de raíz (5,11 cm para el control vs. 4,97 cm para T2) son mínimas (Tabla 8).

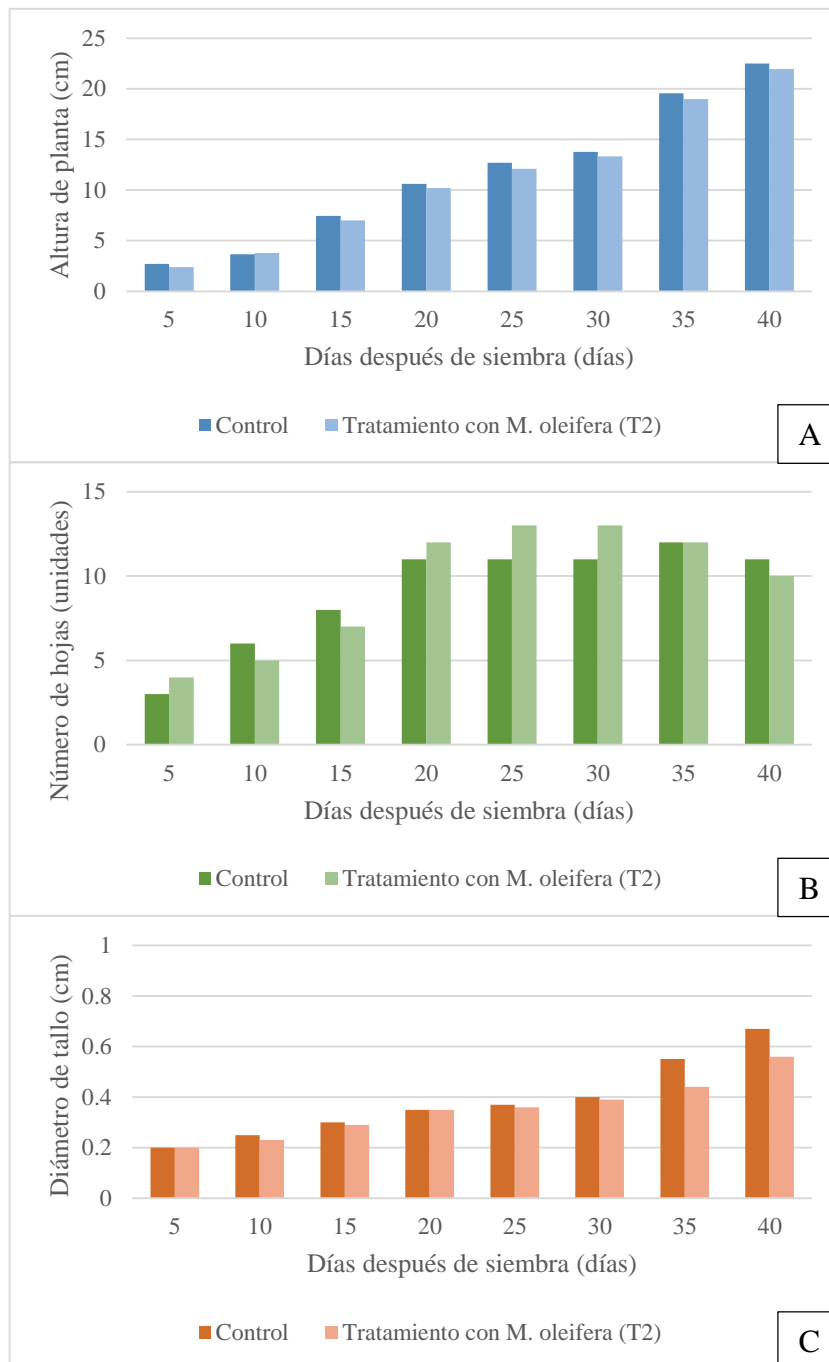


Figura 16. Resultados de altura de planta (A), número de hojas (B) y diámetro de tallo (C) del cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) regado con las muestras de agua obtenidas del humedal Albufera de Medio Mundo y tratadas con el extracto de *M. oleifera*.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Parámetros físico-químicos de las muestras de agua tratadas con el extracto de *M. oleifera*

En cuanto a la conductividad eléctrica, Mera-Alegría *et al.* (2016) reportó una reducción de la conductividad de 3,520 mS/cm a 2,690 mS/cm (23,58 %) para *M. oleifera* y 3,210 mS/cm (8,81 %) para el sulfato de aluminio en el tratamiento de agua residual de beneficio de café, mientras que la reducción fue de 3,350 mS/cm a 2,866 mS/cm (14,45 %) para *M. oleifera* y 2,866 mS/cm (14,45 %) para el sulfato de aluminio en el tratamiento de agua residual del pelado químico de vegetales, de la misma manera para la data estadística procesada muestra que el análisis de varianza es altamente significativa y mediante la prueba de Duncan determinaron que el tratamiento con *M. oleifera* fue el más significativo. Por otra parte, Quiroz (2019) realizó una evaluación de los estados tróficos del humedal Albufera de Medio Mundo, en el cual analizó la conductividad eléctrica en 30 y 60 cm de profundidad del cuerpo de agua, donde determinó en 0 cm una media de 5,333 mS/cm; en 30 cm una media de 5,378 mS/cm y en 60 cm una media de 5,421 mS/cm en los 28 puntos de muestreo establecidos, siendo las muestras a 60 cm las de mayor porcentaje de concentración de C.E. En el presente estudio, la conductividad eléctrica disminuyó de 3,83 mS/cm a 2,05 mS/cm (T4), logrando una reducción total de 46,48 %, por lo que los resultados muestran el potencial de control de la conductividad eléctrica en el tratamiento de aguas superficiales con el extracto de *M. oleifera*; en relación a la variación de las medias de la conductividad eléctrica, esta mostró un descenso entre el control y tratamientos (T1, T2 Y T3), pero en el T4 produjo un ligero aumento. Asimismo, la prueba de Tukey referido a la conductividad eléctrica vs pH y Tratamientos mostraron diferencias significativas al 5%. En consecuencia, la variación de los datos comparados con este estudio puede diferenciarse por la variabilidad de factores, puesto que en el estudio comparado (Mera-Alegría *et al.*, 2016) se analizaron muestras de agua residual proveniente del proceso de café, mientras que el presente estudio fue desarrollado con muestras provenientes de aguas superficiales salobres, con alta presencia de nutrientes como material biológico y con fines agrícolas. Finalmente, referente

al estudio realizado en la caracterización de la columna de agua (Quiroz, 2019) mostraron las siguientes variaciones: los periodos de ejecución del estudio mencionado fue en el mes de diciembre del 2018, y del presente estudio fue realizado en el mes de octubre del 2018; comparando los valores de C.E. se evidenciaron una significativa diferencia, dado la investigación de evaluación trófica de dicho ecosistema fue realizado a diferentes profundidades (30 y 60 cm) y en 28 puntos de muestreo, en tanto el presente estudio se tomó una muestra representativa a unos 30 cm aproximadamente y en un solo punto de muestreo, así mismo, ambos exceden el valor establecido por el ECA de agua (C.E. = 1,000 mS/cm).; y de igual manera el desarrollo de actividades humanas en cercanas en dicho humedal contribuyen a la variabilidad de este parámetro.

Relativo a la DBO, Mejía (2016) logró una remoción de DBO5 con *M. oleifera* de 25,9 %, en comparación con un 35,0 % para coagulante químico (sulfato de aluminio). En el presente estudio, la DBO del tratamiento T4 se redujo de 8,56 mg/L a 3,96 mg/L frente al resto de los tratamientos (Tabla 5), logrando una reducción total de 53,74 %, por lo que los resultados muestran el potencial de remoción de DBO en el tratamiento de aguas superficiales con el extracto de *M. oleifera*. Urquía (2017) logró disminuir la DBO5 desde 3 700 g/L hasta 26,6 g/L (99,28 %) (para una dosis de 0,5 g/L) y 29,6 g/L (99,20 %) (para una dosis de 0,75 g/L). Arias-Hoyos *et al.* (2017) reportó una disminución de la DBO de 1 620-4 110 mg/L para aguas residuales de una central de sacrificio, lo que representa una remoción de 7,6 %-55,2 %. La diferenciación de resultados probablemente se debe a que las muestras de aguas analizadas de los estudios en comparación son provenientes de una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) y del río Huaycoloro respectivamente, cada una con variables microbiológicas, factores climáticos y material biológico que permiten que presenten condiciones diferentes frente a los tratamientos de agua provenientes del humedal Albufera de Medio Mundo con *M. oleifera*. Mientras que, las aguas del presente estudio se caracterizan por contener altas temperaturas, fauna y flora presente, y presencia de nutrientes (N y P), factores que influyeron y determinaron los resultados obtenidos en base al tratamiento T4 que fue el más exitoso para este parámetro.

Sobre el fósforo total (P total), Feria-Díaz *et al.* (2016) reportaron valores de 0,002 g/kg de P total en lodos de coagulación de agua cruda tratada con *M. oleifera* para uso

agrícola. Por otro lado, Quiroz (2019) reportó una investigación del estado trófico del humedal Albufera de Medio Mundo, donde analizaron fosfatos en 3 de profundidad (30 y 60 cm) en 28 puntos de muestreo, los resultados obtenidos fueron: 0,128 mg/L, 0,127 mg/L y 125 mg/L, respectivamente. En el presente estudio, P total disminuyó de 0,15 mg/L a 0,02 mg/L (T2), logrando una reducción total de 86,67 %, por lo que los resultados muestran el potencial de remoción de P total en el tratamiento de aguas superficiales con el extracto de *M. oleifera*. Asimismo, el análisis estadístico procesado en este estudio muestra que la variación de valores medios confirma la existencia de diferencias entre el control y los tratamientos (T3 y T4), y con un descenso entre los tratamientos T1 y T2 (Figura 12B). Las pruebas de rango múltiple de Tukey evidenciaron que el P total vs tratamientos mostraron diferencias significativas al 5 % en 70 % de las comparaciones realizadas (Apéndice 7), de la misma forma el P total vs pH mostraron diferencias significativas al 5% en 66.7% con los 3 valores de pH (7,0; 8,0 y 9,0) (Apéndice 9). En referencia a los resultados, el primer estudio solamente manifiesta una cantidad determinada de fósforo total, el cual estuvo condicionado debido a la poca cantidad de macronutrientes y existencia de coliformes fecales dentro de los lodos con *M. oleifera*. Tomando lo expuesto en el segundo caso, los resultados obtenidos del muestreo inicial son muy similares al del presente estudio, por lo que podría relacionarse a que los ambos estudios se realizaron en la misma estación climática y año, pero a diferentes niveles de muestreo. Por ende, las muestras de agua analizadas del humedal Albufera de Medio Mundo evidencia condiciones como: material biológico, poblaciones aledañas, existencia de aguas residuales subterráneas, y cercanía al mar reporta Tovar (1977), las cuales brindaron a las muestras de agua altos niveles de fósforo. Finalmente, el tratamiento T2 (pH=9,0) mostró un nivel óptimo en la reducción del fósforo total.

Referente al nitrógeno total (N total), Garde *et al.* (2017) mostraron una reducción de nitratos (1,8 mg/L) y nitritos (29,3 mg/L) del 20 % al 100 %. Adicionalmente, Quiroz (2019) reportó el análisis de nitrógeno total en muestras de columnas de agua en el humedal Albuferas de Medio Mundo, obteniendo por resultados medias de 4,810 mg/L (0 cm de profundidad), 4,958 mg/L (30 cm de profundidad) y 5,028 mg/L (60 cm de profundidad). En el presente estudio, N total se redujo de 19,13 mg/L a 0,53 mg/L (T4), logrando una reducción total de 97,23 %, por lo que los resultados muestran el potencial de remoción de N total en el tratamiento de aguas superficiales con el extracto de *M. oleifera*. Las pruebas de rango múltiple de Tukey muestran diferencias significativas al 5 % en 90 % de las

comparaciones realizadas entre el N total vs tratamientos, de la misma manera el N total vs pH bajo la prueba de Tukey mostraron diferencias significativas al 5% en un 100% en los 3 niveles de pH (7,0; 8,0 y 9,0). Los valores medios mostraron la existencia de diferencias entre el control y tratamientos, con un descenso entre el control y T3 (excepto T4) (Figura 13A). De lo anterior, la primera investigación mencionada presenta un bajo nivel de N total debido a que los lodos de *M. oleifera* contienen bajos niveles de N, P, K, Na y la ausencia de materia orgánica; adicionalmente, lo referente a la segunda investigación los resultados obtenidos y comparados con los resultados del presente estudio, muestran una diferencia significativa en las concentraciones de N total, por lo que podría asociarse la presencia de nitrógeno en ecosistemas acuáticos con suministro de aguas subterráneas, niveles bajos de eutrofización del humedal que refiere Tovar (1977) hace presencia del fitoplancton y el exceso de nutrientes como el nitrógeno en los cuerpos de agua analizados, donde el T4 pudo desarrollar niveles altos de remoción de N total.

Relativo a otros parámetros físico-químicos y microbiológicos no contemplados en el presente estudio, Villaseñor-Basulto *et al.* (2018) indican que una variable como dureza del agua puede potencialmente contemplar la presencia de diferentes compuestos iónicos (como carbonatos, cloruros, fosfatos y sulfatos) que pueden ejercer efectos sobre el proceso de coagulación. En cuanto a la dosis, Vunain *et al.* (2019) afirman que el polvo de semilla de *M. oleifera* cuenta con un tiempo de sedimentación que podría ayudar a reducir la carga microbiana (p. ej. coliformes termotolerantes).

En cuanto a los procedimientos de extracción del polvo de *M. oleifera*., Villaseñor-Basulto *et al.* (2018) inciden sobre la relevancia del tratamiento previo de la muestra de extracto, ya que eventualmente podría conducir al aislamiento de metabolitos, por lo que se requiere el uso de procedimientos como la electroforesis capilar o la cromatografía preparativa de iones o líquido o la extracción en fase sólida con el fin de identificar compuestos presentes en el extracto que puedan afectar los procesos de tratamiento de agua. Adicionalmente, resaltan que el origen de la muestra de semillas de *M. oleifera* puede incidir sobre los resultados, debido a la amplia variabilidad de condiciones en las que los árboles de *M. oleifera* pueden desarrollarse, lo que puede influir sobre la concentración de proteínas y las propiedades de coagulación.

4.2. Eliminación de turbiedad con el extracto de *M. oleifera*

Aldana (2012) realizó una investigación para la potabilización de agua proveniente del Río Rímac mediante el uso del extracto de *M. oleifera* como coagulante natural frente al empleo del sulfato de aluminio, al igual que el presente estudio demostraron la eficiencia en la reducción de la turbiedad por parte del extracto de M.O. como tratamiento alternativo frente a coagulantes químicos, cabe resaltar que el caso mencionado el agua resultante fue para consumo humano a comparación que el del presente estudio que el agua tratada tuvo como destino fines agrícolas (rabanito), así mismo, el agua muestreada del Río Rímac presentaba características físico-químicas distintas como: coliformes fecales, dureza, y residuos domésticos (alcantarillado), en comparación con el agua proveniente del humedal Albufera de Medio Mundo, la cual se encontró compuesta por: agua salobre, aguas residuales provenientes de actividades humanas, altos niveles de nitrógeno total y fósforo total. De igual manera, Sandoval y Laines (2013) reportaron un estudio en base uso de *M. oleifera* como coagulante alternativo para agua procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), de manera similar a la presente investigación, ambos estudios evidenciaron la eficacia del empleo del extracto de M.O. como coagulante natural en la remoción de la turbidez y color de sus aguas tratadas, además la presencia de una solución salina complementaria como el cloruro de sodio en las dos investigaciones, no obstante el origen de las muestras de aguas tratadas son distintas, ya que en el primer caso la composición del agua tratada fue por agentes patógenos, alcalinidad, materia orgánica y color, contrastando con el presente estudio aguas del humedal: altos niveles de nutrientes (N total y F total), aguas residuales domésticas y aguas provenientes del sector avícola y ganadero. También Mejía (2016) reportó uso de la *M. oleifera* como tratamiento primario en aguas procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales, de manera semejante al presente estudio coinciden en la metodología de molienda, extracción y preparación del extracto de M.O., asimismo, todos los ensayos se realizaron en pruebas de jarras, la aplicación de M.O. con cloruro de sodio (NaCl) y mostraron un resultado positivo en la reducción de la turbidez de las aguas tratadas, pero la única diferencia radicó en el origen de las aguas tratadas. Por otra parte, Mera-Alegría *et al.* (2016) reportaron el uso del polvo de *M. oleifera* en el tratamiento de aguas residuales de café y pelado químico de vegetales, al igual que el presente caso la metodología de extracción (Soxhlet) de la M.O. fue la misma, la prueba de jarras, la eficiencia en la reducción del 92 % de la turbiedad del agua residual de café y 80 % de la turbiedad del agua residual del pelado químico vegetal; las diferencias

se evidenciaron que en el primer caso de manera paralela utilizaron sulfato de aluminio como coagulante químico para la comparación con la M.O., se manejaron distintas concentraciones en los coagulantes tanto químico como natural y ambas con distintas composiciones y origen de las aguas tratadas. Pereira *et al.* (2016) realizaron una investigación sobre el uso de *M. oleifera* como tratamiento alternativo para aguas superficiales, las similitudes encontradas con el presente estudio fueron: la metodología de extracción de M.O. mediante una solución salina (NaCl), la eficiencia de la reducción de la turbiedad sin embargo, para el primer estudio la aplicación del extracto de M.O. fue realizado en dos soluciones simuladas: agua + tierra orgánica y agua + células de *Microcystis aeruginosa*, en las cuales el extracto de semillas de M.O. obtuvo una reducción de 40 y 50 % respectivamente. Con relación a Rondon *et al.* (2017) reportaron un estudio basado en el tratamiento de aguas residuales municipales empleando semillas de M.O., de manera análoga al presente estudio, ambos utilizaron la misma metodología de extracción de las semillas de M.O. (Soxhlet), el método de jarras para la determinación de la dosificación óptima, se trabajaron en un rango del pH de 4,0-9,0; el extracto de M.O. en los dos estudios alcanzaron niveles positivos en la reducción de la turbiedad y en el uso de la M.O. como coagulante natural y su valor ambiental frente a coagulantes químicos (sulfato de aluminio); la única diferencia fue la procedencia del agua a tratar. Con relación a Urquía (2017) reveló una investigación en base a la comparación de dos especies vegetales como tratamiento de aguas superficiales; las principales diferencias fueron que fueron dos especies vegetales de familias y origen distinto, el agua muestra del primero estudio tuvo como procedencia el río Huaycoloro, mientras que el presente estudio del humedal Albufera de Medio Mundo, el procedimiento de extracción de las especies mencionadas anteriormente fueron distintos: para la *Opuntia ficus-indica* colocaron en una estufa por 24 horas y para la *Moringa oleífera* se pulverizaron las semillas; en cambio las similitudes radicaron en la eficiencia de las dos especies frente a la turbiedad de aguas superficiales y en los dos casos siendo el extracto de M.O. la más eficiente. Al mismo tiempo Boulaadjoul *et al.* (2018) realizaron una investigación uso del polvo de M.O. como coagulante natural para aguas residuales de la industria del papel, similitudes encontradas con el presente estudio fueron: el objetivo del uso de la M.O. como coagulante natural, su efectividad en la reducción de la turbiedad de aguas tratadas; las disimilitudes radicaban en la procedencia y características de las aguas a tratar y comparación con el sulfato de aluminio como coagulante químico. Por otro lado, Landázuri-Rojas *et al.* (2018) reportaron un estudio orientado al tratamiento de aguas residuales empleando la *Moringa oleífera* como coagulante natural; similitudes halladas en

ambos estudios fueron: empleo de la M.O. como tratamiento para aguas residuales y la eficiencia en la reducción de la turbiedad; las diferencias fueron: el uso de los residuos de la molienda de M.O. como tratamiento adicional, los valores de pH fueron entre 4,0 – 7,0 y las características físico-químicas de las aguas residuales: coliformes, agentes patógenos, materia orgánica y residuos domésticos. Asimismo, Vunain *et al.* (2019) reportaron una investigación orientada en el tratamiento de aguas residuales domésticas, las diferencias con el presente estudio fueron: las características físico-químicas en las aguas residuales domésticas, el polvo de la M.O. fue analizada por el espectroscopio infrarrojo para hallar las bandas de absorción y presencia de polisacáridos, trabajaron en cinco niveles de concentraciones de M.O., experimentaron en el rango de pH de 4,0 – 7,0 y la determinación del nivel de porosidad del polvo de semilla de M.O.; las similitudes halladas fueron: el uso de la M.O. como coagulante natural y la eficiencia de la M.O. para la reducción de la turbiedad presente en las muestras. En suma, el presente estudio mostró un alto nivel de turbiedad, los cuales pueden derivar de los siguientes factores: alto nivel de eutrofización de la laguna de Medio Mundo, condiciones climáticas, flora y fauna acuática presente en la laguna mencionada y actividades primarias (ganadería y agricultura) cercanas al humedal reportado por Tovar (1977); la aplicación de los tratamientos con extracto de *M. oleifera* como coagulante natural fueron determinantes en la reducción de altos porcentajes de turbiedad, ya que es una de las metodologías más usadas como refieren los estudios mencionados anteriormente. Finalmente, en el presente estudio, de todos los tratamientos evaluados, el tratamiento más óptimo fue el T4, el cual obtuvo un 75 % de remoción, presentando un valor cercano a lo reportado en las investigaciones mencionadas.

4.3. Evaluación del crecimiento de *Raphanus sativus*

En cuanto a la altura de planta de *R. sativus*, Torrez (2011) reportó los valores de 14,20 cm (a 15 días después de siembra o dds) y 20,50 cm (a 26 dds) bajo fertilización química, mientras que Tercero y Portillo (2012) revelaron un rango de 9,25–10,40 cm considerando la influencia de los ciclos lunares. Los resultados del presente estudio mostraron que los valores de altura de planta fueron 7,45 cm (control) y 6,99 cm (T2) a 15 dds, en tanto que los valores fueron 12,70 cm (control) y 12,10 cm (T2) a 25 dds, lo que revela que los datos se encuentran por debajo de los datos reportados por Torrez (2011). La altura a 40 dds fue 22,50 cm para el control vs. 21,96 cm para T2, lo que no es posible comparar con los resultados de Tercero y Portillo (2012), ya que el estudio en mención tuvo una duración de

20 días. En los estudios realizados líneas arriba, los factores que pudieron haber influido tanto en el crecimiento como el desarrollo de la misma fueron: las condiciones climáticas, el agua utilizada para el riego fue agua captada por un pozo, la siembra fue realizada directamente en el suelo y a 20 cm del suelo en el mes de abril del 2009, también realizaron un control de plagas adicionando insecticida a base de hojas de Neem y por último la incorporación de abonos orgánicos (compost) refiere Torrez (2011). Los resultados fenológicos del presente estudio fueron determinados por los siguientes factores: condiciones climáticas (la siembra se desarrolló en el mes de octubre del 2018), la siembra fue realizada en maceteros de plásticos, el agua utilizada para el riego fue el agua tratada con el extracto de M.O.

Con respecto al número de hojas por planta, Torrez (2011) obtuvo 5,84 (a 15 dds) y 6,85 (a 26 dds), en tanto que Tercero y Portillo (2012) mostraron un rango de 5,8–8,2 a los 12 dds y 20 dds respectivamente. Los resultados del presente estudio mostraron que los valores de número de hojas por planta fueron 8 (control) y 7 cm (T2) a 15 dds, mientras que los valores fueron 11 cm (control) y 13 cm (T2) a 25 dds, lo que revela que se encuentran por encima de los datos reportados por Torrez (2011). El número de hojas por planta a 40 dds fue 11 para el control vs. 10 para T2, lo que no es posible comparar con los resultados de Tercero y Portillo (2012), ya que el estudio en mención tuvo una duración de 20 días. Para los estudios previos, la siembra del rabanito fue realizado directamente en un suelo preparado, uso de fertilizantes como compost, riego del rabanito con agua potable y agua de pozo menciona Torrez (2011). Por otro lado, los factores determinantes para la presente investigación fueron: la siembra del rabanito fue en maceteros, el suministro de agua fue en base al agua tratada con el extracto de M.O. y se le adicionaron pequeñas cantidades de tierra preparada (N, P y K), siendo estos los de mayor influencia en el número de hojas para la planta.

Relativo al diámetro de tallo, Torrez (2011) logró 0,438 cm (a 15 dds) y 0,797 cm (a 26 dds), mientras que Tercero y Portillo (2012) consiguieron un rango de 0,25–0,31 cm a los 12 dds y 20 dds respectivamente. Los resultados del presente estudio mostraron que los valores de diámetro de tallo fueron 0,30 cm (control) y 0,29 cm (T2) a 15 dds, en tanto que los valores fueron 0,37 cm (control) y 0,36 cm (T2) a 25 dds, lo que revela que los datos se

encuentran por debajo de los datos reportados por Torrez (2011). El diámetro de tallo a 40 dds fue 0,67 cm para el control vs. 0,56 cm para T2, lo que no es posible comparar con los resultados de Tercero y Portillo (2012), ya que el estudio en mención tuvo una duración de 20 días.

Sobre el rendimiento, Torrez (2011) consiguió un valor de 7 158 (kg/ha), en tanto que Tercero y Portillo (2012) alcanzaron un rango de 42 669,6–52 143,6 kg/ha. Los resultados del presente estudio mostraron que los valores de rendimiento fueron 96,55 g/planta (control) y 95,89 g/planta (T2), por lo que no es posible realizar una comparación con los mencionados autores debido a las diferentes unidades de medida empleadas y dado que las siembras fueron realizadas con un número de parcelas/ha.

Referente al diámetro de raíz (o bulbo), Torrez (2011) obtuvo un valor de 2,610 cm, mientras que Tercero y Portillo (2012) tuvieron un rango de 3,03–3,36 cm. Los resultados del presente estudio mostraron que los valores de diámetro de raíz fueron 5,11 cm (control) vs. 4,97 cm (T2), por lo que se encuentran por encima de los datos reportados por Torrez (2011) y Tercero y Portillo (2012).

Finalmente, el empleo del rabanito tuvo como finalidad de cultivo indicador y debido a su alto rendimiento agrícola en aguas residuales tratadas (Méndez, 2006), fue la especie vegetal más idónea para el agua tratada con extracto de M.O. Ante la ausencia de material bibliográfico en base al uso del rabanito con aguas tratadas, es por tal motivo que las investigaciones referenciadas para este apartado mostraron algunas inexactitudes al ser comparadas (diámetro del tallo, rendimiento y diámetro de la raíz), ya que fueron desarrolladas en hectáreas/parcelas, la siembra realizadas en suelos previamente preparados con sustratos como compost, implementaron el uso de insecticidas, el tiempo de siembra y cosecha tuvo una duración de 30 días y el riego fue realizado con agua potable o agua de pozo. Por otro lado, cabe resaltar que en este estudio el agua tratada utilizada para el riego del rabanito fue del T2, que fue el tratamiento más óptimo y obtuvo mejores resultados a nivel de parámetros.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Se logró un cumplimiento del 60 % de los parámetros con respecto al ECA para agua después del tratamiento con el extracto de *M. oleifera* (conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno total, con reducciones máximas de 46,48 %, 53,74 %, 97,23 %, respectivamente), mientras que fósforo total y turbiedad (que tuvieron reducciones máximas de 86,67 % y 86,07 %, respectivamente) no están contemplados como parámetros en el ECA para agua para la Categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
2. Los mejores valores del porcentaje de la actividad coagulante (69 %-82 %) ocurrieron en un rango óptimo de pH de 8,0-9,0, con una actividad máxima para el tratamiento T2 a pH 9,0 (81,96 %); mientras que los mayores valores del porcentaje de eliminación de turbiedad (55 %-75 %) estuvieron presentes en un rango de pH de 7,0-9,0, con una actividad máxima para el tratamiento T2 a pH 9,0 (75,00 %).
3. El efecto del riego con agua tratada con *M. oleifera* fue insignificante en el cultivo de *R. sativus*, tanto en altura de planta (22,50 cm para el control vs. 21,96 cm para T2), pasando por número de hojas (11 para el control vs. 10 para T2) y diámetro de tallo (0,67 cm para el control vs. 0,56 cm para T2), como rendimiento (96,55 g/planta para el control vs. 95,89 g/planta para T2) y diámetro de raíz (5,11 cm para el control vs. 4,97 cm para T2).

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de distintos tipos de sales (NaCl, KCl o NaOH), a distintas concentraciones, para favorecer la disolución acuosa del extracto de *M. oleifera*.
- Se sugiere el uso de coagulantes químicos (como el sulfato de aluminio) como control positivo de los experimentos de tratamiento de aguas con extracto de *M. oleifera*.
- Se recomienda la medición de otros parámetros físico-químicos (como demanda química de oxígeno (DQO), color, dureza total, materia orgánica, sólidos totales suspendidos y disueltos) y microbiológicos (como coliformes termotolerantes).
- Se sugiere contemplar la granulometría del polvo de semilla de *M. oleifera* para los ensayos de laboratorio.
- Se sugiere considerar la floculación (tiempo de retención y gradiente de velocidad) y la sedimentación (velocidad de sedimentación), así como el tiempo de agitación (lenta vs. rápida).
- Se recomienda el uso del agua tratada con M.O. para fines agrícolas y recreativos.
- Se sugiere un análisis de costo para el tratamiento de agua con M.O. en un estudio piloto agrícola.
- Se recomienda considerar para el empleo del agua del humedal, que la toma de muestras se realice en el punto de desembocadura del cuerpo de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, E. (2012). Uso del extracto de la semilla de moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano (tesis de grado), Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3387/1/aldana_re.pdf
- Álvarez, C. D. (2007). *Evaluación de la diversidad específica de las aves de los Humedales de Ventanilla, Callao, Perú*. (Tesis de grado). Universidad Ricardo Palma. Recuperado de <http://www.urp.edu.pe/pdf/biologia/Tesis%20Alvarez.pdf>
- ANA – Autoridad Nacional del Agua. (2016a). Glosario de Recursos Hídricos. Autoridad Nacional del Agua, Lima. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._180-2016-ana_0.pdf
- ANA – Autoridad Nacional del Agua. (2016b). Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Autoridad Nacional del Agua, Lima. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf
- APHA (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, 21st ed. Washington, D.C.
- Aponte, H. y Ramírez, D. (2011). Humedales de la costa central del Perú: estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología aplicada*, 10(1): 31-39. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162011000100004
- Arias-Hoyos, A., Hernández-Medina, J. L., Castro-Valencia, A. F., Sánchez-Peña, N. E. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la *M. oleifera* como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 1: 29-39. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe/v15nspea04.pdf>
- Blanco, D., y Carbonell, M. (2001). El censo neotropical de aves acuáticas. Los primeros 10 años: 1990-1999. Wetlands International, Buenos Aires, Argentina y Ducks Unlimited, Inc. Memphis, USA. 190 págs.

- Boulaadjoul, S., Zemmouri, H., Bendjama, Z., Drouiche, N. (2018). A novel use of *Moringa oleifera* seed powder in enhancing the primary treatment of paper mill effluent. *Chemosphere* 206, 142-149. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653518307720>
- Aprobación del reglamento de la Ley N°29338. Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de marzo de 2010. pp 1-81. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2010/ds01-2010-ag.pdf>
- Aprueban los Estándares de Calidad (ECA) Ambiental para agua y Establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 06 de junio de 2017. pp 1. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Feria-Díaz, J. J., Polo-Corrales, L., Hernandez-Ramos, E. J. (2016). Evaluation of coagulation sludge from raw water treated with *Moringa oleifera* for agricultural use. *Ingeniería e Investigación*, 36(2): 14-20. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v36n2/v36n2a03.pdf>
- Folkard, G. y Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. *Agroforestry Today*, 8(3): 5-8. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x6324s.pdf>
- García, A. (2012). Criterios modernos para la evaluación de la calidad de agua para riego. *IAH*, 6: 27–35. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Garde, W. K., Buchberger, S. G., Wendell, D., Kupferle, M. J. (2017). Application of *Moringa oleifera* seed extract to treat coffee fermentation wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 329, 102–109. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417300080>
- Gobierno Regional de Lima. (2014). Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo: Plan Maestro 2015-2019. Lima. Recuperado de http://siar.regionlima.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/plan_maestro_acramm.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (2012). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Recuperado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad//gui-a-para-el-monitoreo-de-vertimientos-aguas-superficiales-y-aguas-subterranas>

- Landázuri-Rojas, A. C., Villarreal, J. S., Núñez, E., Pico, M. M., Lagos, A. S., Caviedes, M. (2018). Experimental evaluation of crushed *Moringa oleifera* Lam. seeds and powder waste during coagulation-flocculation processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 5443–5451. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343718304536>
- Ley que modifica la ley de Recursos Hídricos N°29338. Resolución Ministerial N° 0327-2017-MINAGRI. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 14 de agosto de 2017. pp. 1. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/08/LEY-30640-modifica-Ley-de-Recursos-H%C3%ADdricos.pdf>
- Ley de Recursos Hídricos N°29338. (2009). Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de marzo de 2009. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/ley_29338_0.pdf
- Mejía, P. (2016). Uso de la *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) como coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas. Tesis de grado. Universidad César Vallejo, Lima. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/920>
- Melo y Turriago. (2012). Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de *Moringa oleifera* como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño Cola de Pato ubicado en el sector rural del Municipio de Acacias. Tesis de grado. Universidad Nacional Abierta y a distancia, Boyacá. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1428/TESIS%20DE%20GRADO%20EFICIENCIA%20UTILIZACION%20DE%20SEMILLAS%20DE%20MORINGA%20%20BIORREMEDIACION.pdf;jsessionid=8CF589ADA6BDC36775CBA9C7ED273BC0.jvm1?sequence=1>
- Mendoza, I., Fernández N., Ettiene, G. y Díaz, A. (2000). Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas, *CIENCIA*, 8(2): 235-242. Recuperado de <http://www.elaguapotable.com/Uso%20de%20la%20Moringa%20oleifera%20como%20coagulante.pdf>
- Mera-Alegría, C., Gutiérrez-Salamanca, M., Montes-Rojas, C. y Paz-Concha, J. (2016). Efecto de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas residuales en el cauca, Colombia. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2): 100–109. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a12.pdf>
- Méndez, M; Ricardo, M.; Pérez, J.; Hernández, G. y Campos, O. (2006). Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Revista Ciencias*

Técnicas Agropecuarias, 15(3): 17-21. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/932/93215304.pdf>

MINAGRI – Ministerio de Agricultura y Riego. (2007). D.S. Establece el Área de Conservación Regional “Albufera de Medio Mundo”. Ministerio Nacional de Agricultura, Lima. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/DECRETO%20SUPREMO%20N%20006-2007-AG.pdf>

MINAM – Ministerio del Ambiente. (2016). Glosario de términos – sitios contaminados. Ministerio del Ambiente, Lima. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>

Núñez, C. (2014). Recuperación de sólidos del agua de cola por coagulación-floculación y cuantificación de histamina. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1920>

Olson, M. y Fahey, J. (2011). *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4): 1071–1082. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000400001

ONU – Organización de las Naciones Unidas. (1997). Glosario de estadísticas del medio ambiente. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/handle/minam/281>

Pereira, F., Serrão, V., Bergamasco, R., Ribau Teixeira, M. (2016). The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 313: 226–237, Paraná. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894716317831>

Pérez, A.; Sánchez, T.; Armengol, N y Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de *Moringa oleifera* Lamark. *Pastos y forrajes*, 33(4): 01-16. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v33n4/pyf01410.pdf>

Pérez, L. (2005). Teoría de la sedimentación. Instituto de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Recuperado de http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf

ProNaturaleza. (2010). Humedales en la Costa Peruana. Recuperado de http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/humedales_de_la_costa_peruanavf.pdf

- Quiroz, R. (2018). Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura - Lima. Tesis de grado. Universidad Católica Sedes Sapientiae, Lima. Recuperado de <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/649>
- Rivera, A. (2017). Uso de la *Moringa oleifera* y carbón activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el distrito de San Martín de Porres-Lima 2017. Tesis de grado. Universidad César Vallejo, Lima. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3595>
- Rondón, M., Díaz, Y., Rodríguez, S., Guerra, B., Fernández, E. y Tabio, D. (2017). Empleo de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 38(2): 87-101. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200007
- Sáenz, C. (2000). Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia spp.*) fruits and cladodes, *Journal of Arid Environments*, 46: 209–225. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196300906761?via%3Dihub>
- Sandoval, M. y Laines, J. (2013). *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2): 93-101. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México, México D.F.: McGRAW-HILL
- Tercero, R. E., Portillo, K. A. (2012). Evaluación del crecimiento y rendimiento del cultivo de Rábano (*Raphanus sativus* L) en diferentes fases lunares en la unidad de producción Las Mercedes, UNA, Managua 2010. Tesis de graduación. Universidad Nacional Agraria, Managua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2202/1/tnf01t315.pdf>
- Torrez, M. S. (2011). Evaluación del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L) variedad Crimson Giant utilizando sustratos mejorados y determinación de los coeficientes “Kc” y “Ky”, bajo riego. Finca Las Mercedes, Managua, 2009. Trabajo de diploma. Universidad Nacional Agraria, Managua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2150/1/tnf01t693.pdf>
- Tovar, A. (1977). Sinecología de la laguna de Medio Mundo. *Revista Forestal del Perú*, 7(1-2): 1-25. Recuperado de http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol07_no1-2_77_%2810%29/vol7_art7.pdf

- Urquía, K. (2017). Eficiencia de la *Opuntia ficus-indica* frente a la *Moringa oleifera*, en el tratamiento de aguas del río Huaycoloro, SJL-2017. Tesis de grado. Universidad César Vallejo, Lima. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10877>
- Velázquez-Zavala, M., Peón-Escalante, I., Zepeda-Bautista, R., Jiménez-Arellanes, M. (2015). Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): usos potenciales en la agricultura, industria y medicina. *Revista Chapingo serie Horticultura. Review article*, 22(2): 95–116. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v22n2/2007-4034-rcsh-22-02-00095.pdf>
- Villaseñor-Basulto, D. L., Astudillo-Sánchez, P. D., Real-Olvera, J., Bandala, E. R. (2018). Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23: 151–164. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714418300990>
- Vunain, E., Masoamphambe, E. F., Mpeketula, P. M. G., Monjerezi, M., Etale, A. (2019). Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction T capacity of *Moringa oleifera* seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7: 103-118. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343719302416>
- World Agroforestry Center. (2009). Agroforestry database. *Moringa oleifera*. Recuperado de http://old.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Moringa_oleifera.PDF

TERMINOLOGÍA

Agua superficial: Es agua procedente de la lluvia, deshielos o nieve (ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, nieve, hielo, mares, estuarios y humedales) (ANA, 2016a).

Agua dulce: Es agua natural que presenta una baja concentración de sales. En general se considera apropiada para su extracción y tratamiento con el fin de producir agua potable (ONU, 1997).

Agua salobre: colindantes al litoral con presencia de aguas dulces-ríos, marinas-mar (ProNaturaleza, 2010).

Aguas residuales: Son todas aquellas por actividades humanas las cuales requieren un tratamiento para su reúso o descarga a la red de alcantarillado (Rivera, 2017).

Aguas subterráneas: Son aguas que se encuentran almacenadas bajo el suelo y que por acciones geológicas se encuentran en un periodo desplazamiento, para poder hacer uso de ellas se tiene que realizar diversos procesos extracción (MINAM, 2016).

Coagulación: se define como la desestabilización por neutralización de partículas cargadas y la agregación inicial de coloides (Urquía, 2017).

Contaminación del agua: debe considerarse que un agua contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones de utilización a las que se hubiera destinado en su estado natural (Melo y Turriago, 2012).

Contaminación: Es la disposición de sustancias químicas en un área o zona poca propicia donde pueda afectar características o propiedades del suelo, aire o agua y suscitar efectos adversos sobre la salud o más aún en el ambiente (MINAM, 2016).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C) (ANA, 2016a).

Floculación: Es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia (Aldana, 2012).

Potencial de hidrógeno: Es la medida de la acidez o la alcalinidad de un líquido. Un pH de 0 a 7 indica acidez, de 7 a 14 indica alcalinidad y 7 significa neutralidad (ONU, 1997).

Sólidos en suspensión: está relacionada con la turbiedad y se debe al alto contenido de materia orgánica, que impide la penetración de la luz solar sobre la columna de agua, convirtiéndose en una limitante para el crecimiento macrófitas acuáticas (Mera-Alegría *et al.*, 2016).

Turbiedad: Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido, mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas (Núñez, 2014).

APÉNDICES

Apéndice 1

Prueba de efectos inter-sujetos para conductividad con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CONDUCTIVIDAD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	24,085 ^a	14	1,720	4117,935	,000
Intersección	359,382	1	359,382	860223,878	,000
TRATAMIENTO	22,766	4	5,692	13623,306	,000
pH	,465	2	,233	556,580	,000
TRATAMIENTO * pH	,854	8	,107	255,589	,000
Error	,013	30	,000		
Total	383,480	45			
Total corregido	24,098	44			

a. R al cuadrado = ,999 (R al cuadrado ajustada = ,999)

Apéndice 2

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para conductividad eléctrica y tipo de tratamiento.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
HSD Tukey

(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95 %	
					Límite inferior	Límite superior
CONTROL	TRATAMIENTO 1	1,0411*	,00964	,000	1,0132	1,0691
	TRATAMIENTO 2	1,5422*	,00964	,000	1,5143	1,5702
	TRATAMIENTO 3	1,9744*	,00964	,000	1,9465	2,0024
	TRATAMIENTO 4	1,8122*	,00964	,000	1,7843	1,8402
TRATAMIENTO 1	CONTROL	-1,0411*	,00964	,000	-1,0691	-1,0132
	TRATAMIENTO 2	,5011*	,00964	,000	,4732	,5291
	TRATAMIENTO 3	,9333*	,00964	,000	,9054	,9613
	TRATAMIENTO 4	,7711*	,00964	,000	,7432	,7991
TRATAMIENTO 2	CONTROL	-1,5422*	,00964	,000	-1,5702	-1,5143
	TRATAMIENTO 1	-,5011*	,00964	,000	-,5291	-,4732
	TRATAMIENTO 3	,4322*	,00964	,000	,4043	,4602
	TRATAMIENTO 4	,2700*	,00964	,000	,2421	,2979
TRATAMIENTO 3	CONTROL	-1,9744*	,00964	,000	-2,0024	-1,9465
	TRATAMIENTO 1	-,9333*	,00964	,000	-,9613	-,9054
	TRATAMIENTO 2	-,4322*	,00964	,000	-,4602	-,4043
	TRATAMIENTO 4	-,1622*	,00964	,000	-,1902	-,1343
TRATAMIENTO 4	CONTROL	-1,8122*	,00964	,000	-1,8402	-1,7843
	TRATAMIENTO 1	-,7711*	,00964	,000	-,7991	-,7432
	TRATAMIENTO 2	-,2700*	,00964	,000	-,2979	-,2421
	TRATAMIENTO 3	,1622*	,00964	,000	,1343	,1902

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 3

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para conductividad eléctrica y tipo de tratamiento.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

HSD Tukey^{a,b}

TRATAMIENTO	N	SUBCONJUNTO				
		1	2	3	4	5
TRATAMIENTO 3	9	2,1256				
TRATAMIENTO 4	9		2,2878			
TRATAMIENTO 2	9			2,5578		
TRATAMIENTO 1	9				3,0589	
CONTROL	9					4,1000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 4

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para conductividad eléctrica y nivel de pH.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

HSD Tukey

(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
pH 7	pH 8	-,0987*	,00746	,000	-,1171	-,0803
	pH 9	,1487*	,00746	,000	,1303	,1671
pH 8	pH 7	,0987*	,00746	,000	,0803	,1171
	pH 9	,2473*	,00746	,000	,2289	,2657
pH 9	pH 7	-,1487*	,00746	,000	-,1671	-,1303
	pH 8	-,2473*	,00746	,000	-,2657	-,2289

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 5

Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para conductividad eléctrica y nivel de pH.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

HSD Tukey^{a,b}

pH	N	SUBCONJUNTO		
		1	2	3
pH 9	15	2,6940		
pH 7	15		2,8427	
pH 8	15			2,9413
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 6

Prueba de efectos inter-sujetos para fósforo total con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: FÓSFORO TOTAL

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,729 ^a	14	,052	227,151	,000
Intersección	,394	1	,394	1719,767	,000
TRATAMIENTO	,338	4	,084	368,344	,000
pH	,102	2	,051	222,392	,000
TRATAMIENTO * pH	,289	8	,036	157,745	,000
Error	,007	30	,000		
Total	1,130	45			
Total corregido	,736	44			

a. R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,986)

Apéndice 7

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para fósforo total y tipo de tratamiento.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: FÓSFORO TOTAL

HSD Tukey

(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
CONTROL	TRATAMIENTO 1	-,0490*	,00714	,000	-,0697	-,0283
	TRATAMIENTO 2	,1544*	,00714	,000	,1337	,1751
	TRATAMIENTO 3	,1511*	,00714	,000	,1304	,1718
	TRATAMIENTO 4	,1422*	,00714	,000	,1215	,1629
TRATAMIENTO 1	CONTROL	,0490*	,00714	,000	,0283	,0697
	TRATAMIENTO 2	,2034*	,00714	,000	,1827	,2241
	TRATAMIENTO 3	,2001*	,00714	,000	,1794	,2208
	TRATAMIENTO 4	,1912*	,00714	,000	,1705	,2119
TRATAMIENTO 2	CONTROL	-,1544*	,00714	,000	-,1751	-,1337
	TRATAMIENTO 1	-,2034*	,00714	,000	-,2241	-,1827
	TRATAMIENTO 3	-,0033	,00714	,990	-,0240	,0174
	TRATAMIENTO 4	-,0122	,00714	,442	-,0329	,0085
TRATAMIENTO 3	CONTROL	-,1511*	,00714	,000	-,1718	-,1304
	TRATAMIENTO 1	-,2001*	,00714	,000	-,2208	-,1794
	TRATAMIENTO 2	,0033	,00714	,990	-,0174	,0240
	TRATAMIENTO 4	-,0089	,00714	,725	-,0296	,0118
TRATAMIENTO 4	CONTROL	-,1422*	,00714	,000	-,1629	-,1215
	TRATAMIENTO 1	-,1912*	,00714	,000	-,2119	-,1705
	TRATAMIENTO 2	,0122	,00714	,442	-,0085	,0329
	TRATAMIENTO 3	,0089	,00714	,725	-,0118	,0296

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 8

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para fósforo total y tipo de tratamiento.

FÓSFORO TOTAL				
HSD Tukey ^{a,b}				
TRATAMIENTO	N	SUBCONJUNTO		
		1	2	3
TRATAMIENTO 2	9	,0189		
TRATAMIENTO 3	9	,0222		
TRATAMIENTO 4	9	,0311		
CONTROL	9		,1733	
TRATAMIENTO 1	9			,2223
Sig.		,442	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 9

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para fósforo total y nivel de pH.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: FÓSFORO TOTAL

HSD Tukey

(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
pH 7	pH 8	,0093	,00553	,231	-,0044	,0229
	pH 9	-,0960*	,00553	,000	-,1096	-,0824
pH 8	pH 7	-,0093	,00553	,231	-,0229	,0044
	pH 9	-,1053*	,00553	,000	-,1189	-,0916
pH 9	pH 7	,0960*	,00553	,000	,0824	,1096
	pH 8	,1053*	,00553	,000	,0916	,1189

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 10

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para fósforo total y nivel de pH.

FÓSFORO TOTAL

HSD Tukey^{a,b}

pH	N	SUBCONJUNTO	
		1	2
pH 8	15	,0554	
pH 7	15	,0647	
pH 9	15		,1607
Sig.		,231	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 11

Prueba de efectos inter-sujetos para nitrógeno total con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: NITRÓGENO TOTAL

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2077,702 ^a	14	148,407	157880,091	,000
Intersección	1427,149	1	1427,149	1518243,414	,000
TRATAMIENTO	2070,917	4	517,729	550775,701	,000
pH	,955	2	,478	508,130	,000
TRATAMIENTO * pH	5,830	8	,729	775,275	,000
Error	,028	30	,001		
Total	3504,879	45			
Total corregido	2077,730	44			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Apéndice 12

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para nitrógeno total y tipo de tratamiento.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: NITRÓGENO TOTAL

HSD Tukey

(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
CONTROL	TRATAMIENTO 1	15,9867*	,01445	,000	15,9447	16,0286
	TRATAMIENTO 2	17,5833*	,01445	,000	17,5414	17,6253
	TRATAMIENTO 3	17,6244*	,01445	,000	17,5825	17,6664
	TRATAMIENTO 4	16,3256*	,01445	,000	16,2836	16,3675
TRATAMIENTO 1	CONTROL	-15,9867*	,01445	,000	-16,0286	-15,9447
	TRATAMIENTO 2	1,5967*	,01445	,000	1,5547	1,6386
	TRATAMIENTO 3	1,6378*	,01445	,000	1,5959	1,6797
	TRATAMIENTO 4	,3389*	,01445	,000	,2970	,3808
TRATAMIENTO 2	CONTROL	-17,5833*	,01445	,000	-17,6253	-17,5414
	TRATAMIENTO 1	-1,5967*	,01445	,000	-1,6386	-1,5547
	TRATAMIENTO 3	,0411	,01445	,057	-,0008	,0830
	TRATAMIENTO 4	-1,2578*	,01445	,000	-1,2997	-1,2159
TRATAMIENTO 3	CONTROL	-17,6244*	,01445	,000	-17,6664	-17,5825
	TRATAMIENTO 1	-1,6378*	,01445	,000	-1,6797	-1,5959
	TRATAMIENTO 2	-,0411	,01445	,057	-,0830	,0008
	TRATAMIENTO 4	-1,2989*	,01445	,000	-1,3408	-1,2570
TRATAMIENTO 4	CONTROL	-16,3256*	,01445	,000	-16,3675	-16,2836
	TRATAMIENTO 1	-,3389*	,01445	,000	-,3808	-,2970
	TRATAMIENTO 2	1,2578*	,01445	,000	1,2159	1,2997
	TRATAMIENTO 3	1,2989*	,01445	,000	1,2570	1,3408

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 13

Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para nitrógeno total y tipo de tratamiento.

NITRÓGENO TOTAL

HSD Tukey^{a,b}

TRATAMIENTO	N	SUBCONJUNTO			
		1	2	3	4
TRATAMIENTO 3	9	1,5111			
TRATAMIENTO 2	9	1,5522			
TRATAMIENTO 4	9		2,8100		
TRATAMIENTO 1	9			3,1489	
CONTROL	9				19,1356
Sig.		,057	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 14

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para nitrógeno total y nivel de pH.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: NITRÓGENO TOTAL

HSD Tukey

(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
pH 7	pH 8	-,1213*	,01120	,000	-,1489	-,0937
	pH 9	-,3513*	,01120	,000	-,3789	-,3237
pH 8	pH 7	,1213*	,01120	,000	,0937	,1489
	pH 9	-,2300*	,01120	,000	-,2576	-,2024
pH 9	pH 7	,3513*	,01120	,000	,3237	,3789
	pH 8	,2300*	,01120	,000	,2024	,2576

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 15

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para nitrógeno total y nivel de pH.

NITRÓGENO TOTAL

HSD Tukey^{a,b}

pH	N	SUBCONJUNTO		
		1	2	3
pH 7	15	5,4740		
pH 8	15		5,5953	
pH 9	15			5,8253
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 16

Pruebas de efectos inter-sujetos para turbiedad con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: TURBIEDAD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	140,508 ^a	14	10,036	8996,671	,000
Intersección	474,143	1	474,143	425028,783	,000
TRATAMIENTO	137,793	4	34,448	30879,968	,000
pH	,224	2	,112	100,422	,000
TRATAMIENTO * pH	2,491	8	,311	279,085	,000
Error	,033	30	,001		
Total	614,685	45			
Total corregido	140,541	44			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Apéndice 17

Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para turbiedad y tipo de tratamiento.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: TURBIEDAD

HSD Tukey

(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
CONTROL	TRATAMIENTO 1	2,9578*	,01574	,000	2,9121	3,0034
	TRATAMIENTO 2	4,9211*	,01574	,000	4,8754	4,9668
	TRATAMIENTO 3	4,3978*	,01574	,000	4,3521	4,4434
	TRATAMIENTO 4	3,9933*	,01574	,000	3,9477	4,0390
TRATAMIENTO 1	CONTROL	-2,9578*	,01574	,000	-3,0034	-2,9121
	TRATAMIENTO 2	1,9633*	,01574	,000	1,9177	2,0090
	TRATAMIENTO 3	1,4400*	,01574	,000	1,3943	1,4857
	TRATAMIENTO 4	1,0356*	,01574	,000	,9899	1,0812
TRATAMIENTO 2	CONTROL	-4,9211*	,01574	,000	-4,9668	-4,8754
	TRATAMIENTO 1	-1,9633*	,01574	,000	-2,0090	-1,9177
	TRATAMIENTO 3	-,5233*	,01574	,000	-,5690	-,4777
	TRATAMIENTO 4	-,9278*	,01574	,000	-,9734	-,8821
TRATAMIENTO 3	CONTROL	-4,3978*	,01574	,000	-4,4434	-4,3521
	TRATAMIENTO 1	-1,4400*	,01574	,000	-1,4857	-1,3943
	TRATAMIENTO 2	,5233*	,01574	,000	,4777	,5690
	TRATAMIENTO 4	-,4044*	,01574	,000	-,4501	-,3588
TRATAMIENTO 4	CONTROL	-3,9933*	,01574	,000	-4,0390	-3,9477
	TRATAMIENTO 1	-1,0356*	,01574	,000	-1,0812	-,9899
	TRATAMIENTO 2	,9278*	,01574	,000	,8821	,9734
	TRATAMIENTO 3	,4044*	,01574	,000	,3588	,4501

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 18

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para turbiedad y tipo de tratamiento.

TURBIEDAD

HSD Tukey^{a,b}

TRATAMIENTO	N	SUBCONJUNTO				
		1	2	3	4	5
TRATAMIENTO 2	9	1,5789				
TRATAMIENTO 3	9		2,1022			
TRATAMIENTO 4	9			2,5067		
TRATAMIENTO 1	9				3,5422	
CONTROL	9					6,5000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 19

Pruebas post hoc de comparaciones múltiples para turbiedad y nivel de pH.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: TURBIEDAD

HSD Tukey

(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
pH 7	pH 8	-,1693*	,01220	,000	-,1994	-,1393
	pH 9	-,0547*	,01220	,000	-,0847	-,0246
pH 8	pH 7	,1693*	,01220	,000	,1393	,1994
	pH 9	,1147*	,01220	,000	,0846	,1447
pH 9	pH 7	,0547*	,01220	,000	,0246	,0847
	pH 8	-,1147*	,01220	,000	-,1447	-,0846

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 20

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para turbiedad y nivel de pH.

TURBIEDAD

HSD Tukey^{a,b}

pH	N	SUBCONJUNTO		
		1	2	3
pH 7	15	3,1713		
pH 9	15		3,2260	
pH 8	15			3,3407
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 21

Prueba de efectos inter-sujetos para el porcentaje de la actividad coagulante con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: PORCENTAJE DE COAGULACIÓN

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,002 ^a	14	,000	38562,505	,000
Intersección	,006	1	,006	2052634,218	,000
TRATAMIENTO	,002	4	,000	131930,123	,000
pH	1,874E-6	2	9,372E-7	325,268	,000
TRATAMIENTO * pH	3,315E-5	8	4,143E-6	1438,005	,000
Error	8,644E-8	30	2,881E-9		
Total	,007	45			
Total corregido	,002	44			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Apéndice 22

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la actividad coagulante y tipo de tratamiento.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: PORCENTAJE DE ACTIVIDAD COAGULANTE
HSD Tukey

(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
CONTROL	TRATAMIENTO 1	-,0136*	,00003	,000	-,0136	-,0135
	TRATAMIENTO 2	-,0135*	,00003	,000	-,0136	-,0134
	TRATAMIENTO 3	-,0141*	,00003	,000	-,0142	-,0141
	TRATAMIENTO 4	-,0162*	,00003	,000	-,0162	-,0161
TRATAMIENTO 1	CONTROL	,0136*	,00003	,000	,0135	,0136
	TRATAMIENTO 2	,0001	,00003	,105	,0000	,0001
	TRATAMIENTO 3	-,0006*	,00003	,000	-,0006	-,0005
	TRATAMIENTO 4	-,0026*	,00003	,000	-,0027	-,0025
TRATAMIENTO 2	CONTROL	,0135*	,00003	,000	,0134	,0136
	TRATAMIENTO 1	-,0001	,00003	,105	-,0001	,0000
	TRATAMIENTO 3	-,0006*	,00003	,000	-,0007	-,0006
	TRATAMIENTO 4	-,0027*	,00003	,000	-,0027	-,0026
TRATAMIENTO 3	CONTROL	,0141*	,00003	,000	,0141	,0142
	TRATAMIENTO 1	,0006*	,00003	,000	,0005	,0006
	TRATAMIENTO 2	,0006*	,00003	,000	,0006	,0007
	TRATAMIENTO 4	-,0020*	,00003	,000	-,0021	-,0019
TRATAMIENTO 4	CONTROL	,0162*	,00003	,000	,0161	,0162
	TRATAMIENTO 1	,0026*	,00003	,000	,0025	,0027
	TRATAMIENTO 2	,0027*	,00003	,000	,0026	,0027
	TRATAMIENTO 3	,0020*	,00003	,000	,0019	,0021

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,881E-9.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 23

Análisis de subconjuntos de medias homogéneas para porcentaje de la actividad coagulante y tipo de tratamiento.

PORCENTAJE DE ACTIVIDAD COAGULANTE

HSD Tukey^{a,b}

TRATAMIENTO	N	SUBCONJUNTO			
		1	2	3	4
CONTROL	9	,0000			
TRATAMIENTO 2	9		,0135		
TRATAMIENTO 1	9		,0136		
TRATAMIENTO 3	9			,0141	
TRATAMIENTO 4	9				,0162
Sig.		1,000	,105	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,881E-9.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 24

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la actividad coagulante y nivel de pH.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Porcentaje de actividad coagulante
HSD Tukey

(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
pH 7	pH 8	,0004*	,00002	,000	,0004	,0005
	pH 9	,0000	,00002	,123	-,0001	,0000
pH 8	pH 7	-,0004*	,00002	,000	-,0005	-,0004
	pH 9	-,0005*	,00002	,000	-,0005	-,0004
pH 9	pH 7	,0000	,00002	,123	,0000	,0001
	pH 8	,0005*	,00002	,000	,0004	,0005

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,881E-9.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 25

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para porcentaje de la actividad coagulante y nivel de pH.

PORCENTAJE DE ACTIVIDAD COAGULANTE

HSD Tukey^{a,b}

pH	N	SUBCONJUNTO	
		1	2
pH 8	15	,0112	
pH 7	15		,0116
pH 9	15		,0116
Sig.		1,000	,123

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,881E-9.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 26

Prueba de efectos inter-sujetos para el porcentaje de la eliminación de turbiedad con dos factores fijos (tipo de tratamiento y nivel de pH).

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA TURBIDEZ

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,003 ^a	14	,000	4841200,312	,000
Intersección	,009	1	,009	227162677,860	,000
TRATAMIENTO	,002	4	,001	15882146,107	,000
pH	9,681E-6	2	4,841E-6	123852,262	,000
TRATAMIENTO * pH	,000	8	1,954E-5	500064,426	,000
Error	1,173E-9	30	3,908E-11		
Total	,012	45			
Total corregido	,003	44			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Apéndice 27

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la eliminación de turbiedad y tipo de tratamiento.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA TURBIDEZ
HSD Tukey

(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
CONTROL	TRATAMIENTO 1	-,0157*	,00000	,000	-,0157	-,0157
	TRATAMIENTO 2	-,0157*	,00000	,000	-,0157	-,0157
	TRATAMIENTO 3	-,0166*	,00000	,000	-,0167	-,0166
	TRATAMIENTO 4	-,0222*	,00000	,000	-,0222	-,0222
TRATAMIENTO 1	CONTROL	,0157*	,00000	,000	,0157	,0157
	TRATAMIENTO 2	,0001*	,00000	,000	,0000	,0001
	TRATAMIENTO 3	-,0009*	,00000	,000	-,0009	-,0009
	TRATAMIENTO 4	-,0065*	,00000	,000	-,0065	-,0065
TRATAMIENTO 2	CONTROL	,0157*	,00000	,000	,0157	,0157
	TRATAMIENTO 1	-,0001*	,00000	,000	-,0001	,0000
	TRATAMIENTO 3	-,0010*	,00000	,000	-,0010	-,0010
	TRATAMIENTO 4	-,0065*	,00000	,000	-,0065	-,0065
TRATAMIENTO 3	CONTROL	,0166*	,00000	,000	,0166	,0167
	TRATAMIENTO 1	,0009*	,00000	,000	,0009	,0009
	TRATAMIENTO 2	,0010*	,00000	,000	,0010	,0010
	TRATAMIENTO 4	-,0055*	,00000	,000	-,0056	-,0055
TRATAMIENTO 4	CONTROL	,0222*	,00000	,000	,0222	,0222
	TRATAMIENTO 1	,0065*	,00000	,000	,0065	,0065
	TRATAMIENTO 2	,0065*	,00000	,000	,0065	,0065
	TRATAMIENTO 3	,0055*	,00000	,000	,0055	,0056

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 3,908E-11.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 28

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para porcentaje de la eliminación de turbiedad y tipo de tratamiento.

PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA TURBIDEZ

HSD Tukey^{a,b}

TRATAMIENTO	N	SUBCONJUNTO				
		1	2	3	4	5
CONTROL	9	,0000				
TRATAMIENTO 2	9		,0157			
TRATAMIENTO 1	9			,0157		
TRATAMIENTO 3	9				,0166	
TRATAMIENTO 4	9					,0222
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 3,908E-11.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Apéndice 29

Prueba post hoc de comparaciones múltiples para porcentaje de la eliminación de turbiedad y nivel de pH.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA TURBIDEZ
HSD Tukey

(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
pH 7	pH 8	,0002*	,00000	,000	,0002	,0002
	pH 9	-,0009*	,00000	,000	-,0009	-,0009
pH 8	pH 7	-,0002*	,00000	,000	-,0002	-,0002
	pH 9	-,0011*	,00000	,000	-,0011	-,0011
pH 9	pH 7	,0009*	,00000	,000	,0009	,0009
	pH 8	,0011*	,00000	,000	,0011	,0011

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 3,908E-11.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Apéndice 30

Análisis de subconjuntos de medias homogéneos para porcentaje de la eliminación de turbiedad y nivel de pH.

PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA TURBIDEZ

HSD Tukey^{a,b}

pH	N	SUBCONJUNTO		
		1	2	3
pH 8	15	,0136		
pH 7	15		,0138	
pH 9	15			,0147
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 3,908E-11.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = ,05.