



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

**USO DE POLÍMEROS NATURALES *Moringa oleifera* EN EL  
TRATAMIENTO DEL AGUA PARA RIEGO EN UN COMPLEJO  
DEPORTIVO EN SAN ISIDRO-LIMA**

Tesis para optar el título profesional de:  
**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:  
Bach. Rosa Lady Neyra Sánchez

Asesora:  
Dra. Susan Mery Medina Canzio

Lima – Perú  
2020

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 15 de mayo de 2020.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca	<input type="checkbox"/>
Miembro: Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez	
Miembro: Blgo. Gustavo Ricardo Dreyfus Raymond	

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**USO DE POLÍMEROS NATURALES (*Moringa olifera*) EN TRATAMIENTO DE AGUA PARA RIEGO EN UN COMPLEJO DEPORTIVO EN SAN ISIDRO, LIMA**

Presentada por la bachiller:

- Rosa Lady Neyra Sanchez

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

Asesorada por:

- Dra. Susan Mery Medina Canzio

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( x ) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesis: Rosa Lady Neyra Sanchez			Nota (en letras): Diecisiete	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (x )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )	

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



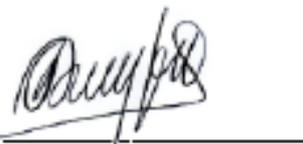
\_\_\_\_\_  
**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
 Presidenta del Jurado



\_\_\_\_\_  
**Dra. Susan Mery Medina Canzio**  
 Asesor



\_\_\_\_\_  
**Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez**  
 Miembro 1



\_\_\_\_\_  
**Blgo. Gustavo Ricardo Dreyfus Raymond**  
 Miembro 2

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi madre Denis Sánchez Campos, una mujer bondadosa que me brinda sus consejos en los momentos más difíciles, quien me inculco muchos valores como la puntualidad, el respeto, la responsabilidad y a perseverar en alcanzar mis objetivos. A mi padre Estaly Neyra Saavedra un hombre trabajador, bueno y honrado, que me brinda su apoyo y amor incondicional, me enseñó a esforzarme para cumplir mis metas, la honradez, a valorar a las personas que me rodean; mis padres me enseñaron que el estudio es una forma de salir adelante. Además, dedicó este trabajo a mis hermanos, a quienes aprecio y me brindan su cariño.

Esta tesis también se la quiero dedicar a mi asesora, una mujer fuerte e inteligente, solidaria, de la cual he aprendido varias cosas y me ha brindado sus consejos, es la persona que me animo a culminar este proyecto.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por sus consejos, apoyo incondicional en mi etapa universitaria, y en este proceso de obtención del título profesional.

A mis amigos por el apoyo brindado en la ejecución de la presente investigación, por siempre brindarme un consejo y ánimo para culminar mi proyecto.

Agradezco al programa de Beca 18 – convocatoria 2013 de Pronabec del Ministerio de Educación del Perú por haberme financiado la carrera de Ingeniería Ambiental en la universidad Científica Del Sur.

Agradezco a CONCYTEC por brindarme el apoyo económico y a la Universidad Nacional Agraria La Molina por permitirme usar el equipo para la realización de mi tesis.

A la dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Científica Del Sur por haberme proporcionado financiamiento desde el Fondo Semilla 2019-I.

Al director de la carrera de Ingeniería ambiental y al equipo de coordinadores por el apoyo en el desarrollo de la tesis, así como al Blgo. Juan Juscamaita Morales por brindarme facilidades en el laboratorio del departamento de biología de la Universidad Nacional agraria La Molina.

A mi asesora por el apoyo constante en la realización de mi proyecto de tesis, por sus consejos y brindarme las pautas necesarias para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	10
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
III.	MARCO TEÓRICO .....	13
1.	Tratamiento de agua .....	13
1.1	Tratamiento preliminar .....	13
1.2	Coagulación – Floculación .....	14
1.3	Bioabsorción.....	17
2.	Uso de agua para riego de áreas verdes .....	20
2.1	Estándares de calidad de agua en Perú .....	20
2.2	Complejo Deportivo en San Isidro - Lima .....	21
IV.	OBJETIVOS/HIPÓTESIS.....	21
3.	Objetivos de la investigación.....	21
4.	Hipótesis .....	22
V.	METODOLOGÍA.....	22
5.	Área de estudio .....	22
5.1	Campo deportivo de San Isidro. ....	22
5.1	Descripción del canal de riego.....	22
6.	Técnicas de muestreo y registro de datos .....	23
6.1	Muestreo .....	23

7.	Diseño experimental .....	24
7.1	Obtención de coagulantes .....	24
7.2	Evaluación de la eficiencia de coagulación .....	25
7.3	Prueba de Jarras para la coagulación .....	26
7.3	Medición de parámetros .....	27
8.	Análisis estadístico de datos .....	29
VI.	RESULTADOS .....	30
9.	Parámetros físico químicos.....	30
9.1	Turbiedad.....	30
9.2	Potencial Hidrógeno (pH).....	36
9.3	Oxígeno disuelto.....	40
9.4	Conductividad.....	43
10.	Parámetro Microbiológico .....	45
10.1	Coliformes totales.....	45
VII.	DISCUSIÓN .....	48
11.	Eficiencia en el tratamiento a través de la disminución de turbidez y carga de coliformes totales.....	50
11.1	La eficiencia de la reducción de la turbidez de la moringa vs. sulfato de aluminio .....	50

11.2 La eficiencia de la reducción de la concentración de E. coli de la moringa vs. Sulfato de aluminio.....51

12. Efectividad entre dos tipos de coagulantes: sulfato de aluminio y el coagulante natural .....52

13. Eficiencia del tratamiento aplicado al agua residual y al agua del canal de riego 56

VIII. CONCLUSIONES .....57

IX. RECOMENDACIONES .....58

X. REFERENCIAS .....59

**FIGURAS**

Figura 1. Toma de muestra: Se recolecto las muestras en dos galones de 20 litros, de la laguna después del tratamiento preliminar y lagunas aireadas.....24

Figura 2. Obtención del coagulante natural.....24

Figura 3. Preparación de soluciones .....25

Figura 4. Prueba de Jarras: Equipo utilizado en la experimentación en el laboratorio del Departamento de Biología-UNALM .....27

Figura 5. Instrumentos de Medición: Izquierda: Multiparámetro, centro. medidor de oxígeno disuelto y derecha. Turbidímetro.....28

Figura 6. Medición de parámetros. Izquierda, medición con el oxímetro, centro, medición del pH y derecha, medición en el turbidímetro. ....28

Figura 7. Frascos de recolección de alícuota para la medición de coliformes totales.....29

Figura 8.Efecto en la turbiedad del agua de PTAR con los coagulantes.....31

Figura 9. Efectos en la Turbiedad del agua de la PTAR donde T100, T200, T300 son las concentraciones en mg/l usadas con los coagulantes *M. oleífera* y sulfato de aluminio, s/c (sin coagulante). La línea base de 5NTU de turbidez para uso de agua según la guía técnica de reúso de agua de Lima Metropolitana. ....32

Figura 10. Sedimentación del tratamiento con *M. oleífera* para agua residual, flóculos formados por el coagulante natural, a mayor concentración la formación de flóculos y precipitación es más rápida que las demás concentraciones. ....33

Figura 11. Sedimentación del tratamiento con sulfato de aluminio, a una mayor concentración de sulfato de aluminio la sedimentación es mayor y en menor tiempo. ..33

Figura 12. Efecto en la turbiedad del agua del río Surco con los coagulantes .....34

Figura 13. Efectos en la Turbiedad del agua del río surco con las concentraciones aplicadas: T100, T200, T300 son las concentraciones en mg/l usadas con los coagulantes *M. oleífera* y sulfato de aluminio y s/c (sin coagulante). ....35

Figura 14. Sedimentación del tratamiento con *M. oleífera* para agua de riego.....35

Figura 15. Sedimentación del tratamiento con coagulante sintético en agua de riego....36

Figura 16. pH del agua de la PTAR al aplicar coagulantes .....37

Figura 17. pH del agua de riego al aplicar coagulantes.....38

Figura 18. pH de los tratamientos aplicados en el agua de la PTAR .....39

Figura 19. pH de los tratamientos aplicados en el agua de riego. ....40

Figura 20. Oxígeno disuelto evaluado en agua de la PTAR después de aplicar los coagulantes, donde los valores mayores 4 son los aceptados por el ECA.....41

Figura 21. Oxígeno disuelto en agua de la PTAR después de aplicar los tratamientos, donde los valores mayores de 4 son los aceptados por el ECA.....42

Figura 22. Oxígeno disuelto evaluado en agua de riego después de aplicar los coagulantes, donde los valores mayores de 4 son los aceptados por el ECA.....42

Figura 23. Oxígeno disuelto en agua de riego después de aplicar los tratamientos, donde los valores mayores de 4 son los aceptados por el ECA. ....43

Figura 24. Conductividad del agua de la PTAR con los coagulantes. ....44

Figura 25. Conductividad en el agua de la PTAR después de aplicar los coagulantes. ..44

Figura 26. Conductividad del agua de riego después de aplicar los coagulantes.....45

Figura 27. Conductividad del agua de riego después de aplicar los tratamientos. ....45

Figura 28. Reducción de coliformes totales en el agua de PTAR .....47

Figura 29. Reducción de coliformes totales en el agua del río Surco. ....47

**TABLAS**

Tabla 1. Estándares de calidad de agua-categoría 3 .....20

Tabla 2. Tratamientos con *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio.....26

Tabla 3. Precio de coagulantes .....55

Tabla 4. Costo de tratar agua con sulfato de aluminio y *M. oleifera*.....55

Tabla 5. Reducción de Turbiedad y Coliformes.....56

## RESUMEN

Actualmente la falta de tratamiento de agua es uno de los factores de contaminación más relevantes en el Perú, perjudicando la calidad de agua en ríos, lagunas y mar. El incremento de la población en Lima, hace que cada año la demanda de agua potable aumente, así como para el mantenimiento de áreas verdes, por ello es necesario hacer eficiente el tratamiento de agua y buscar formas alternativas para reusar agua residual.

La presente investigación está centrada en la evaluación del coagulante natural (*M. oleifera*) en el tratamiento de agua, así como su capacidad de remoción de turbiedad y coliformes. Para evaluar su eficiencia se comparó con el coagulante sintético (sulfato de aluminio) y se encontraron diferencias significativas con ambos coagulantes, sin embargo, la mayor dosis de *M. oleifera* fue la que permitió una mayor remoción de turbiedad y reducción de coliformes totales. Este trabajo contribuye a la línea de investigación sobre el uso de coagulantes naturales para el tratamiento de agua.

Palabras clave: tratamiento de agua, coagulante natural (*Moringa oleifera*), sulfato de aluminio, turbiedad, Coliformes totales.

## ABSTRACT

The current shortage of water treatment is one of the most relevant pollution factors in Peru, this affects the quality of rivers, lagoons and the sea. In Lima there is a great population, which requires potable water, as well as for the maintenance of green areas, so it is necessary to treatment water efficient and find alternatives to reuse wastewater. This research is focused on the evaluation of the natural coagulant (*Moringa oleifera*) in water treatment, as well as its capacity to remove turbidity and coliforms; To evaluate its efficiency it was compared with the synthetic coagulant (aluminum sulfate) and significant differences were found with both coagulants, however, the highest dose of moringa was the one that allowed a greater turbidity removal and reduction of total coliforms. This research contributes to the line of research on the use of natural coagulants for water treatment.

Keywords: water treatment, natural coagulant (*M. oleifera*), aluminum sulfate, turbidity, Total coliforms.

## I. INTRODUCCIÓN

En el mundo existen diversos factores de presión sobre los recursos hídricos como el crecimiento demográfico, la urbanización, contaminación por agua residual (ONU, 2019), estos factores afectan el uso, calidad y disponibilidad del agua. En Lima existen plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que tratan efluentes domésticos, estas 29 PTARs son operadas por entidades públicas y privadas (SEDAPAL, 2019); sin embargo, la cantidad tratada no es suficiente y se necesita mejorar la eficiencia.

Ante esta situación, se debe buscar nuevos métodos y alternativas para el tratamiento de agua que sean amigables con el ambiente y favorezcan el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible como agua limpia y saneamiento.

Por ello esta investigación brindará una posible alternativa para tratar agua residual y de riego a través del coagulante natural (*Moringa oleifera*) con el objetivo de incrementar las áreas verdes del casco urbano y tratar de forma eficiente el agua de un complejo deportivo en San Isidro. Estas áreas verdes son sumideros de carbono y mejoran la calidad del aire (Quiceno, 2015), al incrementar el reúso de aguas residuales se responde a una estrategia nacional además de mantener saludables ríos, mar y lagos (Diario Oficial La Republica, 2018).

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disminución de la calidad de agua es un problema que afecta a la población, las principales causas de contaminación son los efluentes de aguas residuales. A nivel mundial se extraen 3.928 km<sup>3</sup> de agua dulce por año, de esta cantidad un 44% es usado en actividades agrícolas y el 56% llega al ambiente como aguas residuales en forma de efluentes procedentes de viviendas e industrias (WWAP [Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas], 2017).

En Lima, el río Rímac es la fuente de abastecimiento de agua y está contaminado por varias actividades de aprovechamiento y explotación (MINAGRI [Ministerio de Agricultura], 2010), el factor principal de esta situación es la falta de tratamiento de agua, pues los 1 202 286m<sup>3</sup> al día de aguas residuales que se generan solo el 20.5% recibe tratamiento, provocando que los estándares de calidad del agua disminuyan en ríos y canales de riego (OEFA [Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental], 2014). Este problema afecta a las personas, animales y ecosistemas acuáticos, e impide el uso del agua (ANA [Autoridad Nacional del Agua], 2017), por ello surge la necesidad de reusar el agua debido a la crisis en el abastecimiento de la misma.

En ciudades como Lima, el mantenimiento de áreas verdes públicas o privadas es un factor de presión sobre el recurso hídrico porque incrementa la demanda de agua para riego, cabe señalar que el sector que más se ve afectado por la contaminación de agua es el sector agrícola (ANA, 2017b). Otro sector afectado es urbano pues generalmente se usa agua potable para el riego de áreas verdes y no se reusa las aguas grises (Moscoso, 2016).

Por otro lado, en áreas como Lima Metropolitana se recomienda  $9\text{m}^2$  de áreas verdes por habitante, sin embargo, el área verde real solo llega a los  $3,2\text{m}^2$  (O. D. A. C. R. L [Observatorio del Agua Chillón Rimac Lurín], 2017). Atendiendo a las necesidades de la población actual es necesario incrementar las 2714.5 ha de áreas verdes a 4834 ha y la demanda potencial de agua se incrementará 2949.3 l/s; por ello, se necesita plantear nuevos métodos para reusar aguas residuales y hacer eficiente el uso del recurso hídrico (O. D. A. C. R. L , 2017). Los distritos de San Borja, San Isidro, Santiago de Surco, Ate y El Agustino (Lima) demandan la mayor cantidad de agua para riego de áreas verdes y solo los distritos de Miraflores, Punta Hermosa y Villa El Salvador reportan un mayor uso de las aguas residuales en el 2017 (ANA, 2017b).

En la actualidad se usa preponderantemente el sulfato de aluminio, para el tratamiento de agua (Ramírez y Jaramillo, 2016). Este coagulante sintético genera trazas que puede contaminar el agua y a los usuarios (Chicaiza, 2017), algunas de estas trazas son: el bromoformo, cloroformo, dibromoclorometano, bromodiclorometano, estos son contaminantes que podrían generar cáncer en los seres humanos (Silva et al., 2015). Por esta razón descrita en la línea anterior, se propone como alternativa el empleo de macromoléculas de polímeros naturales obtenidos de plantas como *Cassia fistula* (lluvia de oro), *Jatropha curcas* (piñón de tempate), *Goma guar* (guaran), *Strychnos potatorum* (la nuez vómica), *Hibiscus sabdariffa* (rosa de jamaica) y *Clidemia angustifolia* (cursse) (Guzman, Taron y Nuñez, 2015) entre otros como la desarrollada en la investigación de Carrasquero, et al. (2017) usando *Solanum tuberosum* (papa) y *Musa paradisiaca* (plátano), así también se ha investigado el almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*) (Solis, Laines y Hernández, 2012). Estos coagulantes deben ser estudiados pues son una

alternativa amigable con el ambiente, que no genera trazas en el agua como el sulfato de aluminio y bajan el riesgo de adquirir enfermedades neurodegenerativas (Claros, 2015).

### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **1. Tratamiento de agua**

##### **1.1 Tratamiento preliminar**

Es un proceso físico, químico o mecánico (remueve impurezas) que modifica algunas de las características indeseables del agua, un ejemplo de tratamiento preliminar es el proceso de cloración al breakpoint, que es la adición de cloro con la función de desinfección y oxidación (hierro, amonios, sulfuros entre otros) (Romero, 2008). El tratamiento preliminar generalmente remueve la parte sólida con rejas, tamices, trituradores, y desarenadores para evitar fallos en los procesos de tratamiento de agua en las empresas prestadoras de servicio, además que mejora el funcionamiento, elimina y reduce sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas con la apariencia estética de las plantas de tratamiento (Rojas, 2002).

##### **a. Tratamiento primario**

El tratamiento primario consiste en usar métodos físicos o mecánicos para remover el material que no fue retenido en el tratamiento preliminar, como la materia orgánica y los sólidos suspendidos. “La carga orgánica puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos, como tratamientos tenemos: Sedimentación primaria, Flotación, Precipitación química, Filtros gruesos, Coagulación, floculación, sedimentación y filtración” (Rojas, 2002).

## **b. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario consiste en reducir la carga orgánica, estos sólidos sedimentables pueden ser removidos a través de tanques de sedimentación. Los procesos más usados son biológicos como los lodos activados y filtros percoladores, estos se aplican según las necesidades o requerimientos de cada tratamiento dentro de un proceso de remediación de agua (Rojas, 2002).

### **1.2 Coagulación – Floculación**

La coagulación consiste en seleccionar un coagulante sintético o natural que desestabiliza las partículas coloidales para que sean removidas, y su efectividad depende de la concentración del coagulante y del pH final de la mezcla (Chulluncuy, 2011). Posterior a la coagulación, se produce la floculación que consiste en el aglutinamiento de partículas, para favorecer esto se mezcla la solución, estas partículas son llamadas flóculos que precipitan al incrementar su tamaño (Cárdenas, 2000, p. 33).

Los coagulantes orgánicos son polímeros que se usan por sus largas cadenas moleculares que se adaptan a los requerimientos físicos y químicos de agua contaminada, y luego pueden flocularse. Estos polímeros pueden clasificarse en no aniónicos los que no tienen sitios ionizables y están cargados negativamente, y catiónicos los que tienen sitios que pueden estar positivamente cargados, y los anfóliticos, que tienen sitios tanto positivos como negativos (Singley, 1986)

## **c. Mecanismos de coagulación**

Compresión de la doble capa: ocurre cuando dos partículas semejantes se aproximan y sus capas difusas al interactuar se genera una fuerza de repulsión que hace que precipiten, este mecanismo está en función de la distancia que los separa (Cárdenas, 2000).

Adsorción y neutralización de cargas: las partículas coloidales con carga negativa atraen a las de polos opuestos que se encuentran en la solución agua, formando una primera capa adherida al coloide (Cárdenas, 2000, 11).

Atrapamiento de partículas en un precipitado: Para aglutinar las partículas suspendidos de una solución generalmente se usa sales de metales trivalentes como sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , o Cloruro Férrico  $FeCl_3$ , estos son llamados coagulantes y favorecen el desequilibrio de coloides suspendidos, atrapándolos en un floc (Cárdenas, 2000, 11).

Adsorción y puente: En el tratamiento de agua se usan coagulantes, estos pueden ser polímeros anicónicos o catiónicos. La teoría del “puente” se basa en la característica que tienen los polímeros, su larga cadena permite la unión de más partículas (coloides suspendidos) favoreciendo la aglomeración y posterior sedimentación (Cárdenas, 2000).

#### **d. Coagulantes sintéticos**

Son sustancias químicas usadas en el tratamiento de agua, existen varios compuestos inorgánicos. “Los más conocidos son los compuestos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), sulfato férrico ( $Fe_2(SO_4)_3$ ) y cloruro férrico ( $FeCl_3$ )” (Cogollo, 2011, p.18).

El sulfato de aluminio (coagulante sintético) se obtiene de la reacción del hidróxido de aluminio con ácido sulfúrico, es una sal sólida de color blanco, que causa la sedimentación de partículas suspendidas en el agua contribuyendo, así a la remoción del color y sabor (Leal y Granados, 2018).

### e. Coagulante natural (*Moringa oleifera*)

*Moringa oleifera* Lam. pertenece a la familia *Moringaceae*, género *Moringa*, es nativo de la India, se encuentra de forma silvestre en las regiones sub-Himalaya del norte de India (Pérez et al., 2010). *M. oleifera* (Lam.) o comúnmente llamado moringa es un árbol que puede llegar de 7 a 12 m de altura. Sus hojas son compuestas, alternas y tripinnadas, dispuestas en 5 pares de folíolos y uno terminal, sus flores son bisexuales, su fruto esta en forma de capsula trilobulada, dentro de estas están sus semillas redondas y color marrón, aproximadamente al año se puede obtener 15,000 a 25,000 semillas (Roa, 2003).

Fue introducida a América Latina y Centroamérica en el siglo XX como árbol ornamental, cerca viva y cortina rompe vientos, es una planta que presenta flexibilidad en cuanto a sus requerimientos ambientales. Resiste el frío hasta  $-2-3^{\circ}\text{C}$ , a temperaturas menores de  $14^{\circ}\text{C}$  no florece pero se puede reproducir de forma asexual a través de estacas, crecen a altitudes desde el nivel del mar hasta los 1,800 msnm (Roa 2003). Los estudios realizados con moringa demuestran su resistencia a bajas precipitaciones desde 300 mm anuales, además se puede adaptar a regiones áridas y semiáridas de Asia y África (Ramachandran, Peter y Gopalakrishnan, 1980). Esto hace que se adapte y cultive en amplias zonas geográficas en Perú se está cultivando en varios departamentos como en Ica, Lambayeque (Carrillo, 2010).

Por otro lado, las semillas de *M. oleifera* son usadas como coagulante debido a que contienen aminoácidos polares hidrofílicos como la: glutamina, ácido aspártico, arginina, histidina y lisina, estos aminoácidos tienen cadenas polipeptídicas solubles en agua permitiendo que tengan un mayor contacto con el material suspendido en el agua, convirtiéndola así en un coagulante natural (Gómez, 2010).

### 1.3 Bioabsorción

Es un proceso espontáneo, en la cual se aumenta la concentración de las moléculas e iones en la superficie de los sólidos o líquidos, este proceso fisicoquímico incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones; los biosorbentes pueden ser materiales derivados de microorganismos bacterias, hongos, algas marinas, plantas o algunos polímeros naturales, los cuales son capaces de adsorber especies iónicas de metales en soluciones acuosas (Muñoz, 2007).

#### f. Parámetros físico químicos

##### Potencial de Hidrogeno (PH)

Este parámetro mide la actividad del ion hidrogeno en el agua, existen equipos especializados que miden este valor, aunque se puede expresar de la siguiente forma:

$$pH = -\log\{H^+\}$$

La actividad del ion hidrogeno está influenciada por la cantidad de iones y la alcalinidad del agua, su variación es importante pues existe un rango de pH óptimo donde la coagulación se produce rápidamente, cabe señalar que el pH varía dependiendo de las características del agua (Andía, 2000).

##### Turbiedad

Este parámetro mide la pérdida de transparencia del agua, la concentración de material suspendido determina la turbiedad del agua, el instrumento de medición es el nefelómetro o turbidímetro, la técnica en la que se basa el instrumento es el paso de luz a través del cuerpo de agua, por ello a mayor concentración de partículas menor paso de luz (Díaz, 2014)

### Oxígeno disuelto

Esta unidad es muy importante para determinar la calidad de un cuerpo de agua además sirve de soporte para la vida acuática, generalmente los niveles de oxígeno altos indican un agua de mejor calidad (Peña, 2007). En la siguiente sección se desarrollarán los valores correspondientes al ECA de agua.

A continuación, se describen algunos rangos y características de estado:

- 5-6 ppm Suficiente para el desarrollo de la mayor parte de las especies.
- < 3 ppm Dañino para la mayor parte de especies acuáticas
- < 2 ppm Falta a la mayor parte de las especies.

### Color

El color intenso en el agua se debe a la presencia de materia orgánica como sustancias húmicas, metales como el hierro y el manganeso, y residuos industriales presentes en el agua (World Health Organization, 1988). Este parámetro ayuda a determinar de una forma cualitativa la calidad del agua.

### Conductividad

La conductividad consiste en la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, su valor depende de la presencia de partículas cargadas, su concentración y movilidad, cuanto existe un valor alto de conductividad generalmente es por la presencia de compuestos inorgánicos pues conducen mayor corriente que los orgánicos, por otro lado para medir este parámetro se utiliza un conductímetro y se expresa en micromho por

centímetro ( $\mu\text{mho/cm}$ ), microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ) o milisieme por centímetro ( $\text{ms/cm}$ ) en el Sistema Internacional de Unidades (Solís, Zúñiga y Mora-Alvarado, 2018).

#### **g. Parámetros microbiológicos**

El parámetro microbiológico es importante para el tratamiento de agua, sirve como indicador para determinar la calidad del agua pues la presencia de microorganismos puede ser perjudicial para la salud.

##### *Escherichia coli*

*Escherichia coli* es una bacteria gram negativa de la familia *Enterobacteriaceae*, anaeróbica y facultativa, para el ser humano esta bacteria genera infecciones intestinales y una de las formas de esquirirla es a través del agua; cabe señalar que la contaminación por aguas residuales es la causa del exceso de estos microorganismos en el agua, aproximadamente se vierten (108-109 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por mililitro) por agua no tratada (Larrea et al., 2013).

##### Coliformes termotolerantes

Las coliformes termotolerantes pertenecen al grupo de termotolerantes, tiene un intervalo de temperatura amplia hasta  $45^{\circ}\text{C}$  y son los mejores indicadores de higiene en alimentos y en agua, las coliformes termotolerantes indican que un cuerpo de agua está contaminado por material fecal ya sea por excretas humanas o animales, dentro de este grupo se encuentra la *E. coli* que es la más representativa en un 90 -100%, pero se pueden encontrar otras formas menos frecuentes como *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae* (Larrea et al., 2013).

##### Coliformes totales

El parámetro coliformes totales es indicador de calidad de agua, predice el riesgo de la población de contraer patógenos presentes en el agua, estas bacterias gran-negativas fermentan la lactosa a una temperatura de 35 y 37°C, con producción de ácido, gas y aldehído, dentro de 24 y 48 horas, cabe señalar que un sub-grupo de las bacterias coliformes totales, son las coliformes termo resistentes que tienen las mismas propiedades excepto que toleran y crecen a una mayor temperatura 44- 44.5 °C (World Health Organization, 1988).

## 2. Uso de agua para riego de áreas verdes

### 2.1 Estándares de calidad de agua en Perú

Los estándares de calidad del agua miden la concentración de elementos, sustancias en el agua con el fin de establecer límites a los cuales estas sustancias, elementos afectan la salud de las personas y del medio ambiente. El agua que tratamos en esta investigación es para riego y la categoría con la que se comparará será C3: Riego de vegetales y bebidas animales según el DS 004-2017 en los cuales se aprueban los ECA para agua (SINIA, 2017).

Tabla 1. Estándares de calidad de agua-categoría 3

<b>C3. Riego de vegetales y bebidas animales</b>		
<b>D1 Riego de vegetales</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Agua para riego no restringido (c)</b>
<b>Físico-químico</b>		
OD (Oxígeno Disuelto)	mg/L	≥ 4
pH	Unidad de pH	6 – 10
Temperatura	°C	0-30
conductividad	µs/cm	2500
<b>Microbiológicos</b>		
Coliformes totales	NMP/100 ml	1000

Nota: Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales,  
Fuente: ECA Agua 2017.

## **2.2 Complejo Deportivo en San Isidro - Lima**

El campo deportivo evaluado está ubicado en el distrito de San Isidro y cuenta con 8 ha de áreas verdes, así mismo con una planta de tratamiento de aguas residuales con tratamiento preliminar y lagunas aireadas con un caudal de diseño de 15 l/s, además de usar agua del canal de riego del río Surco para el riego del área verde.

### **IV. OBJETIVOS/HIPÓTESIS**

#### **3. Objetivos de la investigación**

##### Objetivo general

Proponer un tratamiento biológico pasivo como forma alternativa, económica, eficiente y amigable con el ambiente para el tratamiento de agua para riego.

##### Objetivo específico

- Evaluar la eficiencia en el tratamiento a través de la disminución de turbiedad y carga de coliformes totales.
- Comparar la efectividad entre los dos tipos de coagulantes, el sulfato de aluminio y el coagulante natural.
- Determinar la eficiencia del tratamiento aplicado al agua residual y al agua del canal de riego.

#### 4. Hipótesis

H1: Usar coagulantes naturales (*Moringa oleifera*) como tratamiento alternativo para tratar aguas residuales y superficiales es eficiente para obtener agua apta para riego de áreas verdes en un campo deportivo.

H0: Usar coagulantes naturales (*Moringa oleifera*) como tratamiento alternativo para tratar aguas residuales y superficiales no es eficiente para obtener agua apta para riego de áreas verdes en un campo deportivo.

### V. METODOLOGÍA

#### 5. Área de estudio

##### 5.1 Campo deportivo de San Isidro.

Las muestras utilizadas en esta investigación se tomaron del campo deportivo ubicado en el distrito de San Isidro, el cual cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales con tratamiento preliminar y lagunas aireadas, además usa agua del canal de riego del río Surco para regar sus instalaciones que comprenden 8 ha de áreas verdes donde crecen pasto y árboles, las cuales mantienen durante todo el año.

##### 5.1 Descripción del canal de riego

El canal de riego del río Surco tiene una longitud de 29,5 Km hasta su desembocadura, es uno de los sub-sectores del río Rímac que abastece de agua a 26,2% del total de áreas verdes en Lima y en San Isidro específicamente 187.50 ha, el canal se ve afectado por contaminación local debido al desecho de residuos sólidos y el vertimiento ilegal de aguas

residuales (Ortiz 2017). Este canal pasa por el complejo deportivo del cual se tomaron las muestras de agua.

## 6. Técnicas de muestreo y registro de datos

En la planta de tratamiento de aguas residuales del campo deportivo de San Isidro se realizó la toma de muestras usando el “Protocolo de monitoreo de la calidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales Lima” (Ministerio de Vivienda construcción y saneamiento (MVCS), 2013). Para la toma de muestras de agua del canal de riego se tuvo en cuenta “El protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de agua de los recursos hídricos superficiales” (ANA 2016).

### 6.1 Muestreo

Se recolectaron 30 litros de muestras de agua de la planta de tratamiento del complejo deportivo de San Isidro (laguna de sedimentación, después del tratamiento con lagunas facultativas) y del canal de riego de la comisión de regantes del Río Surco (distrito de San Isidro) ubicado en el Complejo deportivo durante la época de invierno ya que es la época más predominante en el sistema de tratamiento, además que de acuerdo a previas visitas el agua cuenta con una turbiedad similar a la época de verano (ver

Figura 1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Luego las muestras se llevaron al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) donde se realizó la experimentación con la prueba de Jarras en el laboratorio del departamento de Biología y se midieron los parámetros físico químicos.



Figura 1. Toma de muestra: Se recolecto las muestras en dos galones de 20 litros, de la laguna después del tratamiento preliminar y lagunas aireadas.

**7. Diseño experimental**

**7.1 Obtención de coagulantes**

Se compraron 2 Kg de semilla de *M. oleífera* y se trasladaron en bolsas de cierre hermético hasta el laboratorio de microbiología del a Universidad Científica del Sur; se lavaron las semillas y para facilitar la extracción de la cáscara se secaron en el horno a 50 °C durante 1 hora, luego con ayuda de un mortero se retiró la cascara de la semilla para luego obtener un polvo fino con ayuda de una licuadora y un cernidor (ver Figura 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 2. Obtención del coagulante natural

Luego, se prepararon las soluciones madre de coagulante natural y sintético al 1% ambas (200 ml) (es decir se pesó 2g para 200ml), cada solución se agitó a 60 rpm durante 10

minutos en un vaso precipitado de 200 ml de capacidad, para la solución con moringa se pasó también por un tamiz con el fin de obtener una mezcla homogénea (ver Figura 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

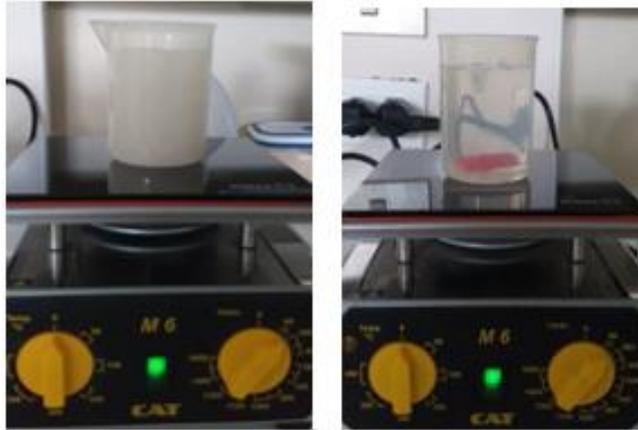


Figura 3. Preparación de soluciones

### 7.2 Evaluación de la eficiencia de coagulación

Para este proceso se utilizaron las semillas de *M. oleifera* como biocoagulante para demostrar su eficacia en la reducción de turbiedad y eliminación de patógenos como la *Escherichia coli*, además se evaluaron otros parámetros importantes para uso del agua en riego de áreas verdes como: pH, conductividad, oxígeno disuelto, estos fueron medidos con un multiparámetro y oxímetro, en cada uno de los tratamientos (T) que se describen a continuación.

Para la coagulación se realizó la prueba de Jarras con dos tipos de agua: Agua del canal de riego (AC) y agua residual tomada después del pre tratamiento con rejillas del complejo deportivo de San Isidro (AR).

Las concentraciones del coagulante natural AC fueron de 100 (T1), 200 (T2) y 300 (T3) mg moringa/litro de agua, con una mezcla rápida a 150 rpm durante 2 minutos, después una mezcla lenta a 30 rpm por 15 minutos, y finalmente se dejó sedimentar por 60 minutos

sin agitación (Sandoval y Laines, 2013) (ver Tabla 2). Para AR, las concentraciones de moringa fueron 100 (T4), 200 (T5) y 300 (T6) mg moringa /l de agua con una velocidad de agitación rápida de 100 rpm por 2 minutos, luego velocidad de agitación lenta de 35 rpm por 15 minutos y finalmente 1 h de sedimentación sin agitación (Rondon et al., 2017). Así mismo, los blancos de comparación (B) se hicieron replicando las velocidades, concentraciones y tiempo de sedimentación para AC y AR con sulfato de aluminio al 1% (B1-B6) correspondientes (ver Tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos con *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio

	Concentración de coagulante (mg/L)			Mezcla rápida (rpm) x 2 min	Mezcla lenta (rpm) x 15 min
	T1	T2	T3		
<b>Agua del canal</b>					
Coagulante ( <i>Moringa oleifera</i> )	100	200	300	150 rpm	30 rpm
	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>		
Blanco (sulfato de aluminio )	100	200	300	150 rpm	30 rpm
<b>Agua residual</b>					
Coagulante ( <i>Moringa oleifera</i> )	100	200	300	100 rpm	35 rpm
	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>		
Blanco (sulfato de aluminio)	100	200	300	100 rpm	35 rpm

### 7.3 Prueba de Jarras para la coagulación

En esta investigación se utilizó la prueba de Jarras (ver Figura 4) para evaluar el comportamiento de los biocoagulantes y sus propiedades, permitiendo determinar a pequeña escala variables físicas y químicas como: disminución de la turbiedad, concentración del coagulante, tiempo de sedimentación (Perez y López, 2017).

El coagulante natural y sintético se instalaron en los tratamientos (T1-T6), blancos (B1-B6) y un control negativo de agua potable, se midieron los parámetros de pH,

conductividad, turbiedad, coliformes totales y oxígeno en agua antes y después de aplicar el tratamiento, este procedimiento se realizó para el agua del canal de riego (AC) y agua residual (AR) (ver Tabla 2).

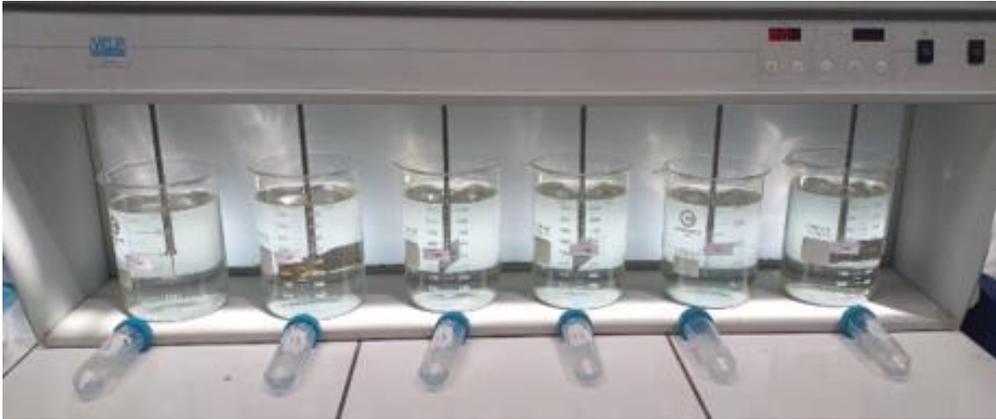


Figura 4. Prueba de Jarras: Equipo utilizado en la experimentación en el laboratorio del Departamento de Biología-UNALM

La eficiencia del tratamiento se evaluó en función a la disminución de los parámetros de turbiedad y coliformes totales, además se compararon con los estándares de calidad de agua (ECA: pH, conductividad, turbiedad, pH y carga de *E. coli*) para riego de áreas verdes, categoría 3, el agua es de uso no restringido (SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental), 2017) y la Guía Técnica Para Reúso Municipal de Aguas Residuales Tratadas en el riego de Áreas Verdes de Lima Metropolitana (Méndez, 2018).

### 7.3 Medición de parámetros

Para la medición de parámetros físico-químicos se utilizaron instrumentos de medición como el multiparámetro YK-2001PHA, turbidímetro portátil 2100Q01 y el analizador de oxígeno disuelto HI 9146 (ver Figura 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Los parámetros se midieron antes y después del tratamiento, así como los controles utilizados (ver Figura 6). Es decir, con los sensores de cada aparato se

registraron las medidas antes de la floculación, introduciendo el sensor en la muestra de agua y se registró la medida por triplicado. Luego de la agitación, floculación y sedimentación se volvieron a medir los parámetros como lo describimos líneas antes.



Figura 5. Instrumentos de Medición: Izquierda: Multiparámetro, centro. medidor de oxígeno disuelto y derecha. Turbidímetro.



Figura 6. Medición de parámetros. Izquierda, medición con el oxímetro, centro, medición del pH y derecha, medición en el turbidímetro.

El parámetro microbiológico (Coliformes totales) se midió por el método NMP en el laboratorio certificado de CERPER (Certificaciones del Perú), para ello se recolecto la muestra de 500 ml del sobrenadante en frascos estériles proporcionados por CERPER para su posterior análisis, manteniendo la cadena de frio y la cadena de custodia (ver Figura 7), se recolectaron muestras de todos los ensayos.



Figura 7. Frascos de recolección de alícuota para la medición de coliformes totales.

### 8. Análisis estadístico de datos

El análisis de los datos se realizó con el programa IBM SPSS Statistics, se compararon los resultados obtenidos del tratamiento con sulfato de aluminio y la *Moringa oleifera* para cada tipo de agua y concentración. Se utilizó un modelo lineal multivariable que proporcionó un análisis de regresión y un análisis de varianza para variables dependientes múltiples (Parámetros analizados) por dos variables de factor (Coagulantes y tratamientos) en todos los casos se comprobó que los datos cumplan con normalidad y homogeneidad. Luego se hizo el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la diferencia significativa entre los tratamientos (T1-T6 y B1-B6), además para determinar la diferencia significativa que existe entre las medias de los niveles de un factor (dosis de sulfato de aluminio y de *M. oleifera*). Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey para determinar las diferencias entre los tratamientos con *M. oleifera* y sulfato de aluminio, así como las diferencias entre las concentraciones aplicadas en cada tratamiento. Luego se formularon las gráficas de columnas calculando las desviaciones y errores estándar.

## VI. RESULTADOS

### 9. Parámetros físico químicos

#### 9.1 Turbiedad

##### h. Muestra de agua de la planta de tratamiento

Para los dos tratamientos (*M. olifera* y sulfato de aluminio a diferentes concentraciones), se demostró con el análisis de las medias y ANOVA que hay diferencias significativas entre los tratamientos así como entre los tipos de agua.

El agua de la PTAR s/c (sin coagulante) presenta una turbiedad promedio de 33.25 NTU (100%), al aplicar el coagulante sintético se obtiene una disminución de 92% (2.51 NTU) y con *M. oleifera* un 66% (11.29 NTU) respecto al promedio de los tratamientos (ver

Figura 8). Por otra parte, el tratamiento con sulfato presenta una mayor reducción de turbiedad, se realizó con tres concentraciones y se obtuvo porcentajes de reducción de 89.14% (3.61NTU) a 100 mg/l, 95.88% (1.37NTU) a 200 mg/l y 92.39% (2.54NTU) a 300 mg/l, la mayor reducción se obtuvo con la dosis de 200 mg/l llegando a niveles comparables con el agua potable, sin embargo, el tratamiento con moringa tubo reduccion de turbiedad de 59,85% (13.35NTU) a 100% , 67,52% (10.80NTU) a 200% y 70,80% (9.71NTU) a 300% , la mayor reducción se alcanzó con

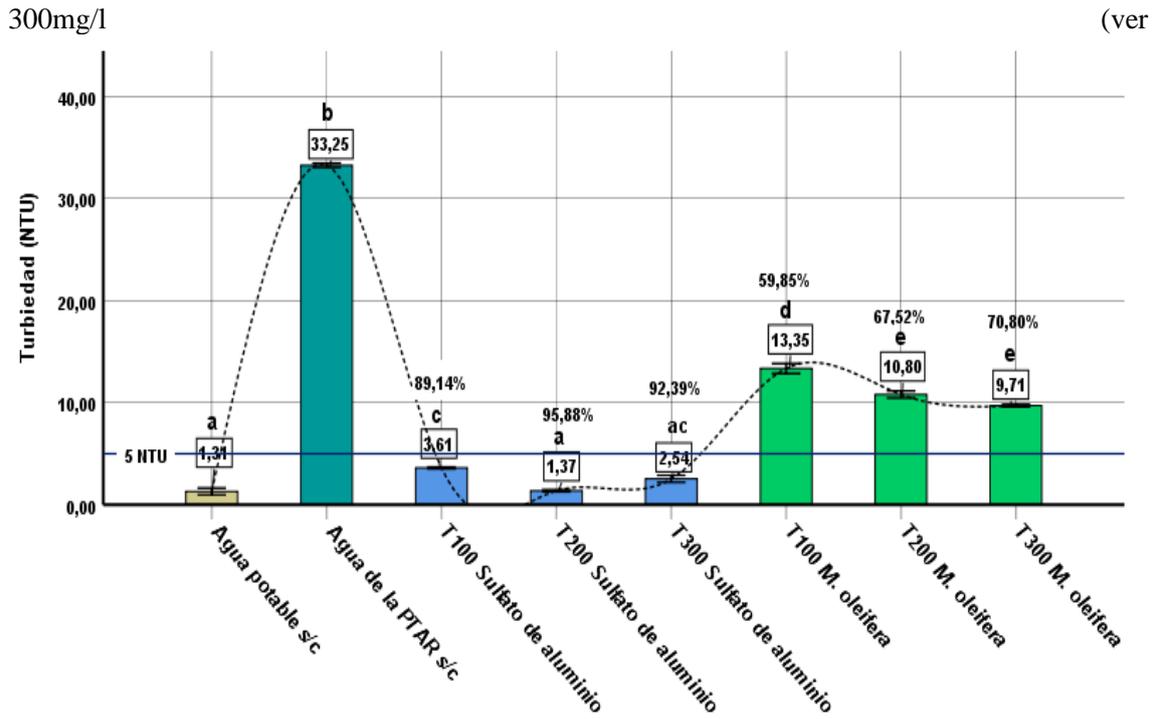


Figura 9).

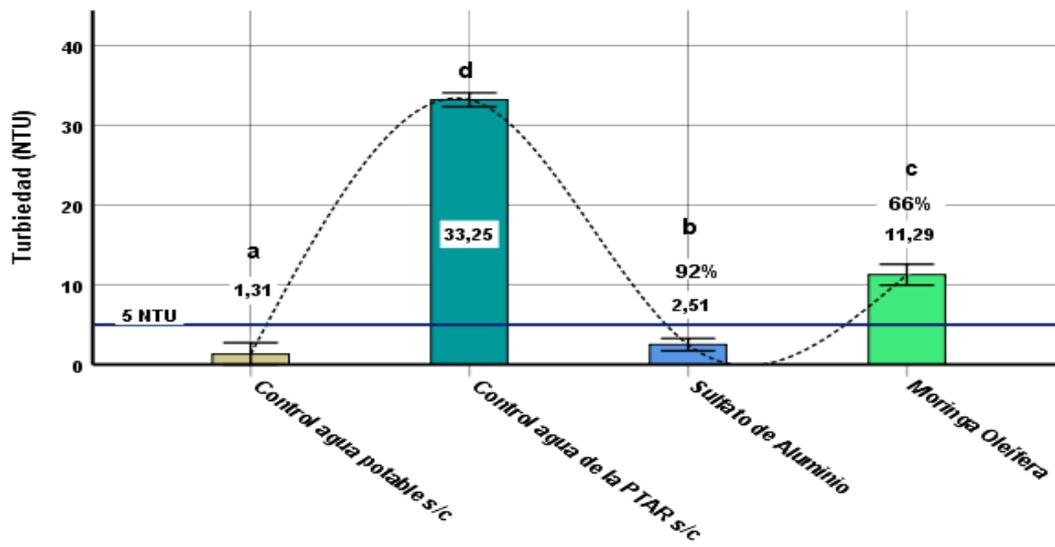


Figura 8.Efecto en la turbiedad del agua de PTAR con los coagulantes.

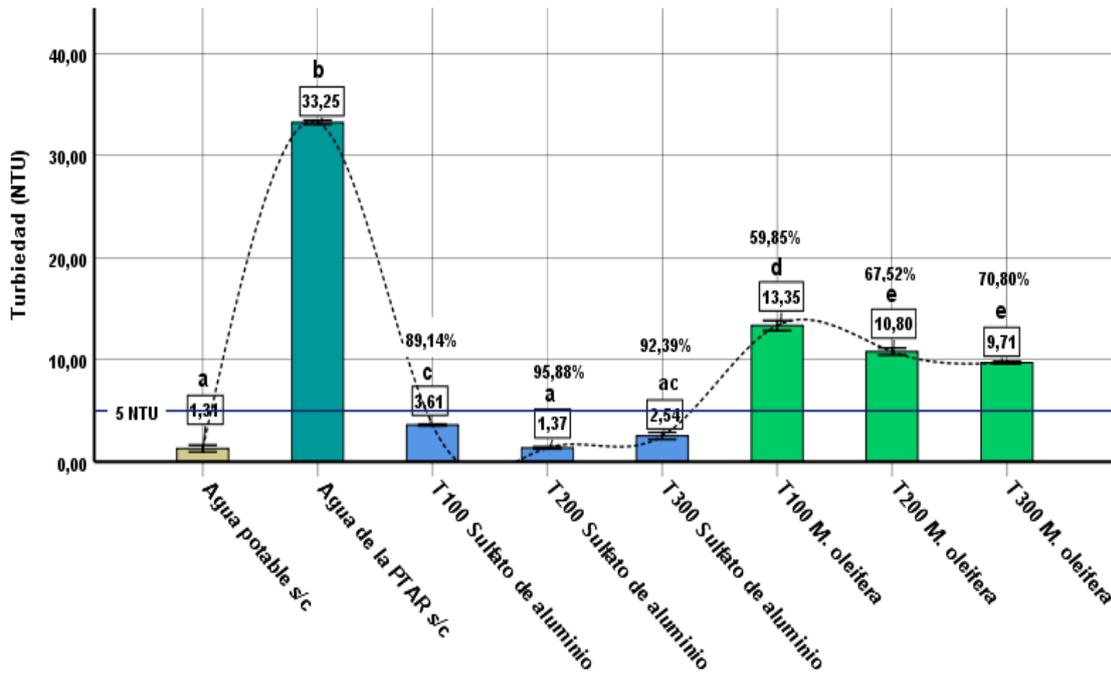
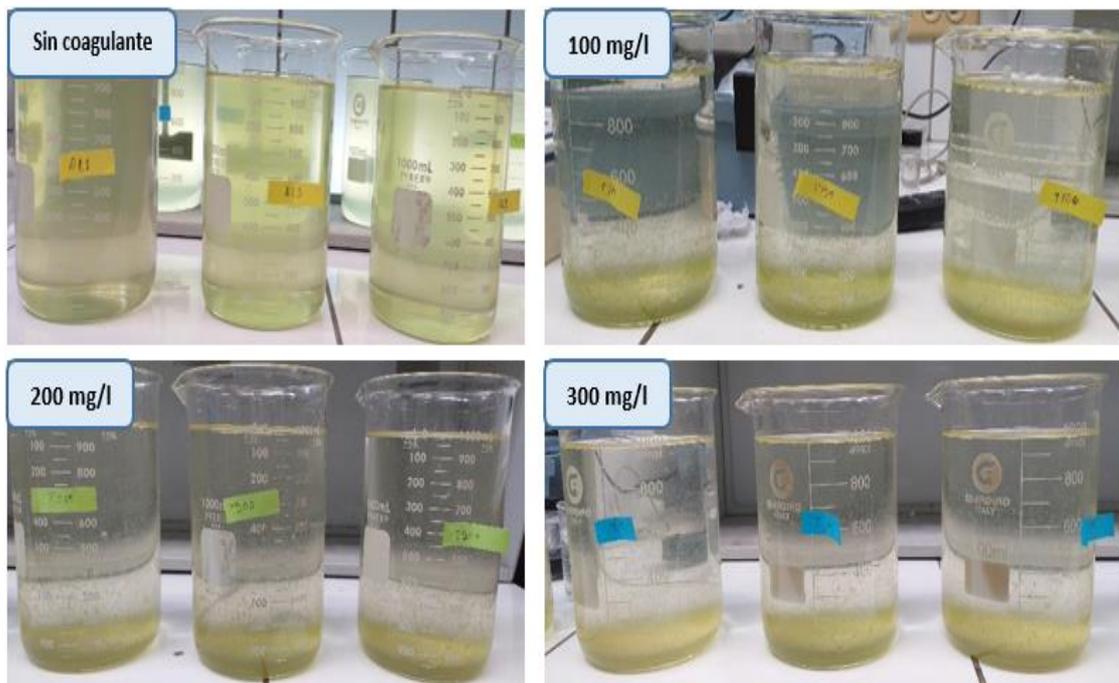


Figura 9. Efectos en la Turbiedad del agua de la PTAR donde T100, T200, T300 son las concentraciones en mg/l usadas con los coagulantes M. oleífera y sulfato de aluminio, s/c (sin coagulante). La línea base de 5NTU de turbidez para uso de agua según la guía técnica de reúso de agua de Lima Metropolitana.

Una condición importante en la aplicación de tratamientos fue el tiempo de sedimentación, para esta investigación fue de una hora, con el coagulante natural se



observó que a mayor concentración se presenta una rápida conglomeración de partículas y flóculos que posteriormente precipitan (ver

Figura 10), así mismo el coagulante sintético presento una rápida sedimentación con todos sus tratamientos, a una concentración mayor la formación de flóculos y sedimentación es más rápida (ver Figura 11).

Figura 10. Sedimentación del tratamiento con *M. oleifera* para agua residual, flóculos formados por el coagulante natural, a mayor concentración la formación de flóculos y precipitación es más rápida que las demás concentraciones.

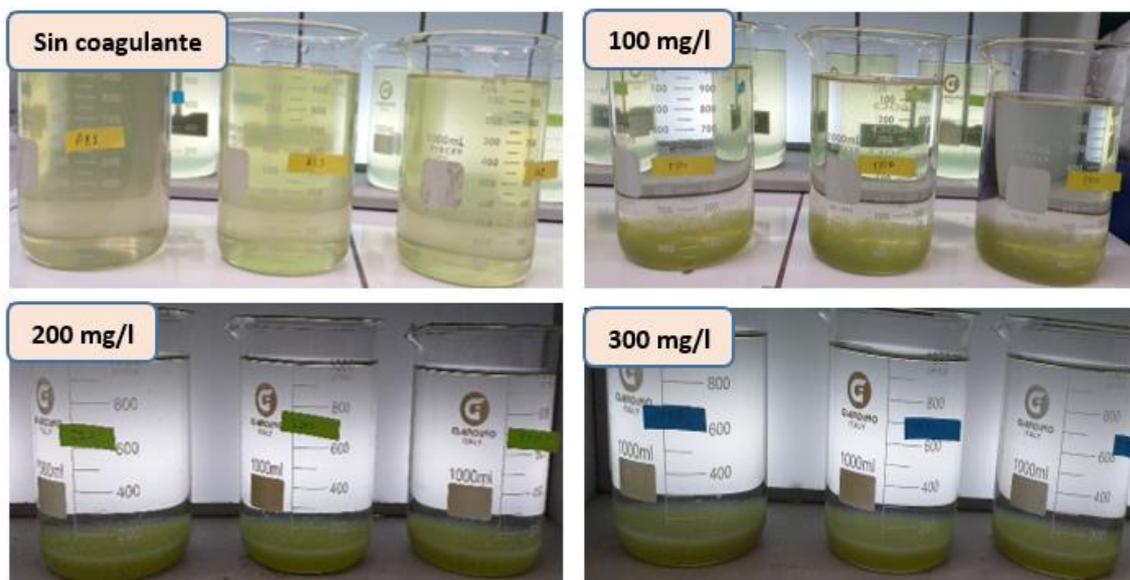


Figura 11. Sedimentación del tratamiento con sulfato de aluminio, a una mayor concentración de sulfato de aluminio la sedimentación es mayor y en menor tiempo.

### i. Muestra de agua del río Surco

El agua de riego proveniente del río surco presenta una turbidez promedio de 15.30 NTU, al comparar los tratamientos con los dos coagulantes se observa que el sulfato de aluminio reduce la turbidez en un 84.64% (2.35NTU) mientras que la *M. Oleifera* un 58.17% (6.41NTU) (Ver

Figura 12).

Sin embargo, el coagulante natural muestra reducción en la turbidez a una mayor concentración, los resultados obtenidos de son 49.22% (7.78NTU), 56.88% (6.58NTU) y

68.17% (4.87NTU), para las concentraciones de 100%, 200% y 300% respectivamente, siendo este último el resultado de una concentración de 300 mg/l.

Cabe señalar que los resultados obtenidos del coagulante natural a 300 mg/l son similares a los tratamientos con sulfato de aluminio que alcanza el nivel niveles inferiores a 5 NTU (1.72, 3.34 y 2.98 NTU) (ver Figura 13).

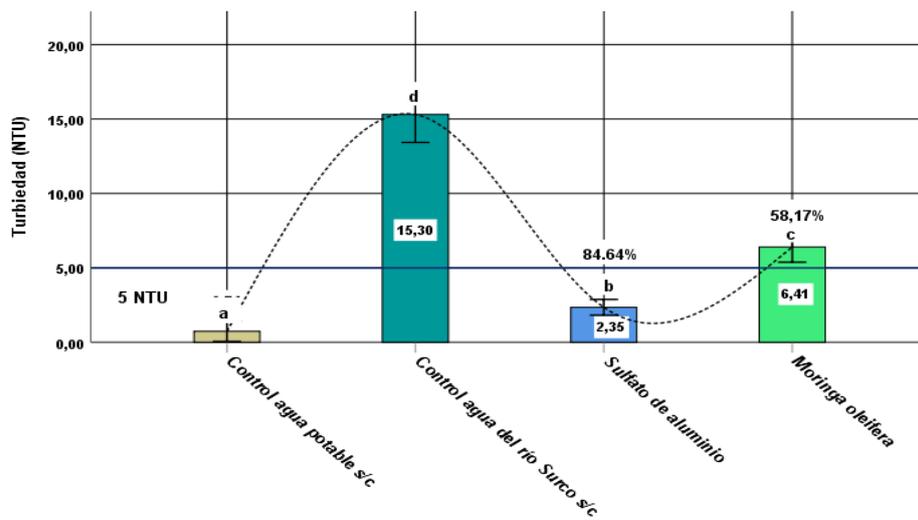


Figura 12. Efecto en la turbiedad del agua del río Surco con los coagulantes.

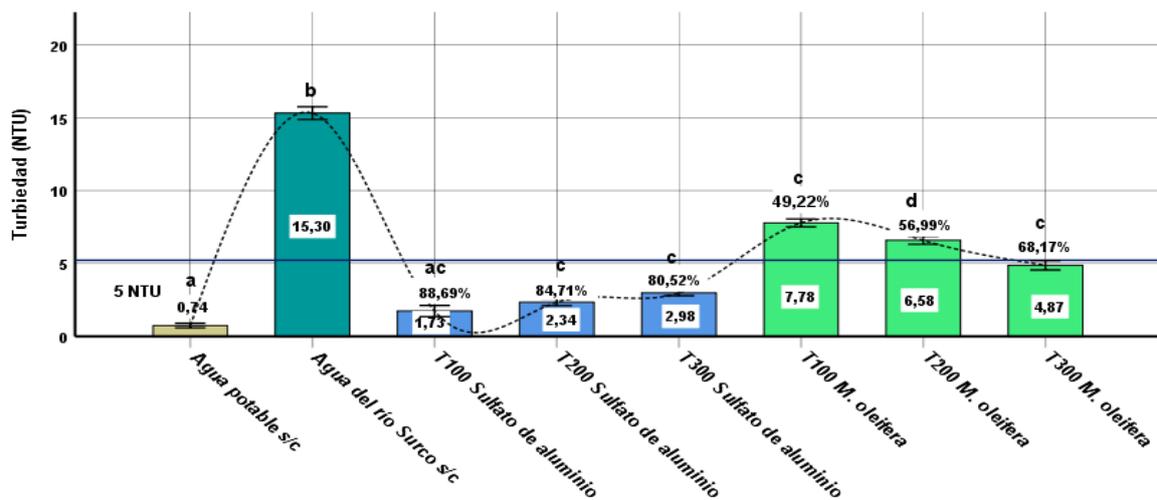


Figura 13. Efectos en la Turbiedad del agua del río surco con las concentraciones aplicadas: T100, T200, T300 son las concentraciones en mg/l usadas con los coagulantes *M. oleifera* y sulfato de aluminio y s/c (sin coagulante).

El agua de riego de río Surco, presenta una turbidez baja pues es captada y llevada a una laguna donde se almacena el agua, se observó la presencia de solidos suspendidos, no presentó olores y el tiempo de sedimentación fue de una hora.

Con el coagulante natural se observa la formación de flóculos los primeros 30 minutos, pasada la hora se produce la sedimentación, este sedimento es de color marrón, debido a las arcillas presentes en el agua, así mismo, se identificó que a una mayor concentración de coagulante natural, se puede llegar a niveles inferiores a los 5 NTU, este valor es óptimo cuando se requiere un riego tecnificado (ver Figura 14).

Por otro lado, con el coagulante sintético la aglomeración de partículas se presenta en un menor tiempo conforme se aumenta la concentración, el tratamiento que presenta mayor eficiencia es a una concentración de 100 mg/l (ver Figura 15).

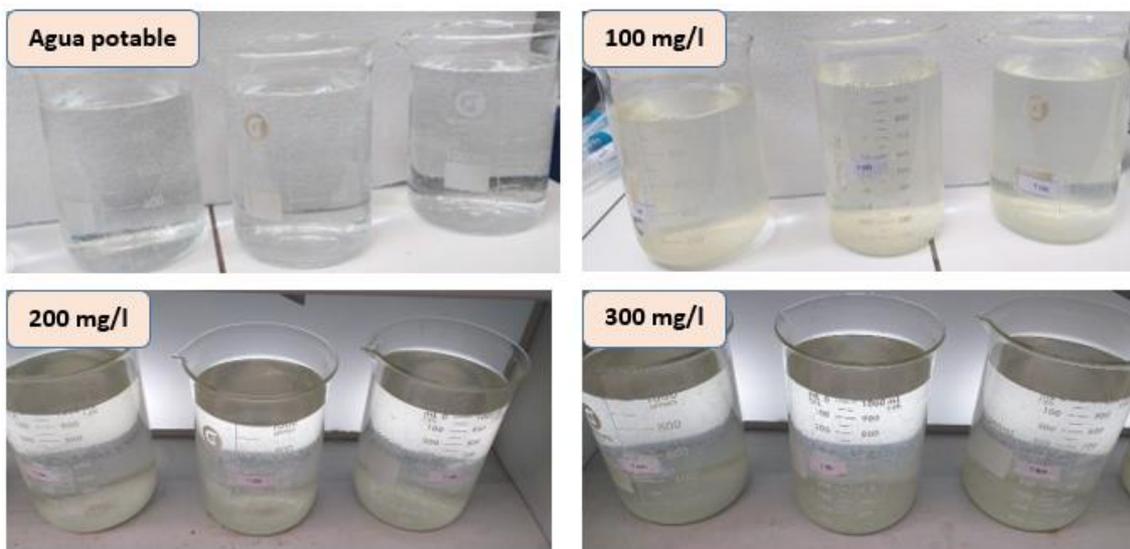


Figura 14. Sedimentación del tratamiento con *M. oleifera* para agua de riego.

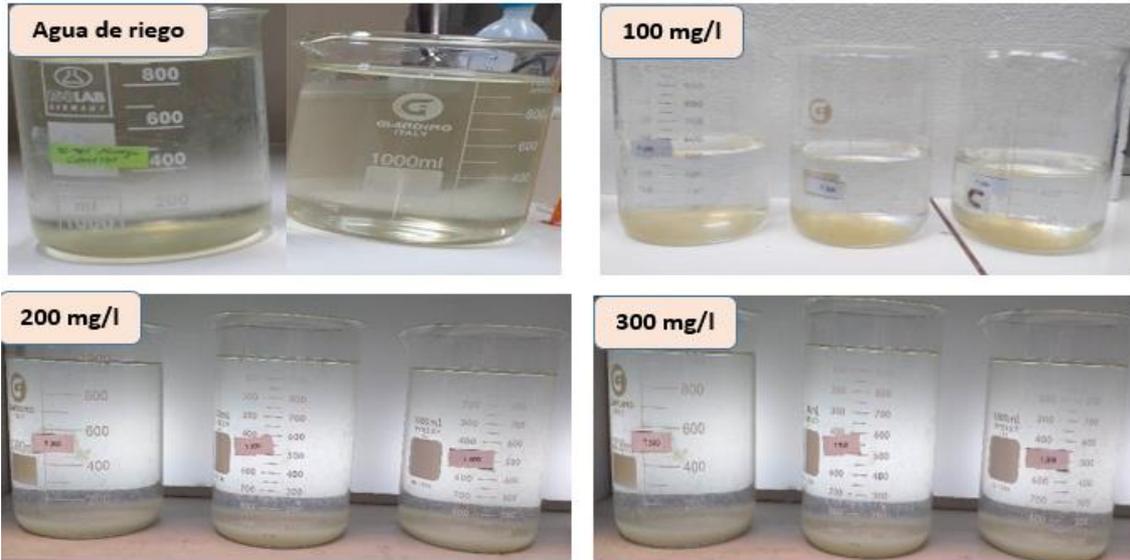


Figura 15. Sedimentación del tratamiento con coagulante sintético en agua de riego.

### 9.2 Potencial Hidrógeno (pH)

Al aplicar el tratamiento con moringa a diferentes concentraciones, en ambas muestras de agua, se demostró diferencias significativas entre los tratamientos con el análisis de varianza de las medias, respecto al parametro de pH, por otro lado, con el tratamiento de sulfato de aluminio no se encontraron diferencias significativas (ver

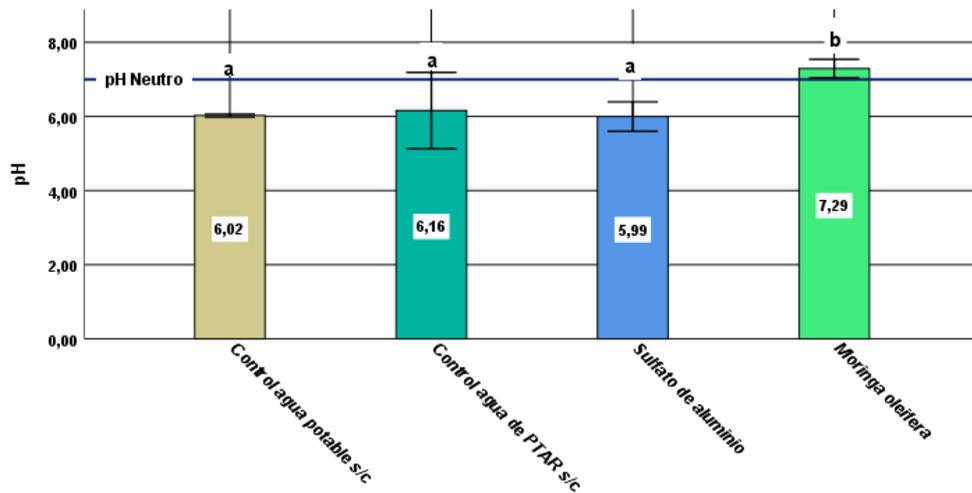


Figura 16 y Figura 17).

Las concentraciones en los tratamientos con coagulante sintético influyen en la disminución del pH, en las mediciones realizadas se obtiene un descenso a una concentración de 300 mg/l, no obstante, los tratamientos donde se usa coagulante natural (*M. oleifera*) el pH tiende a elevarse a un estado neutro de 7 ideal para los cuerpos de agua ( ver

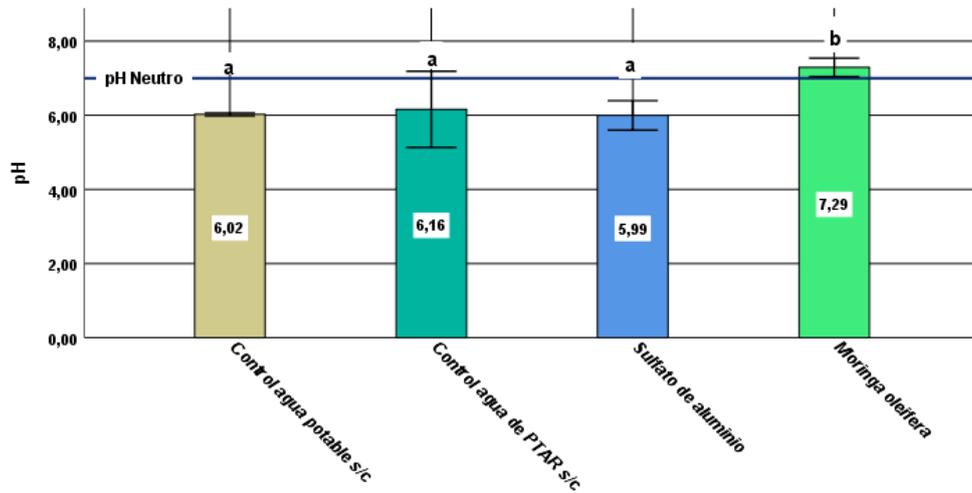


Figura 16 y Figura 17).

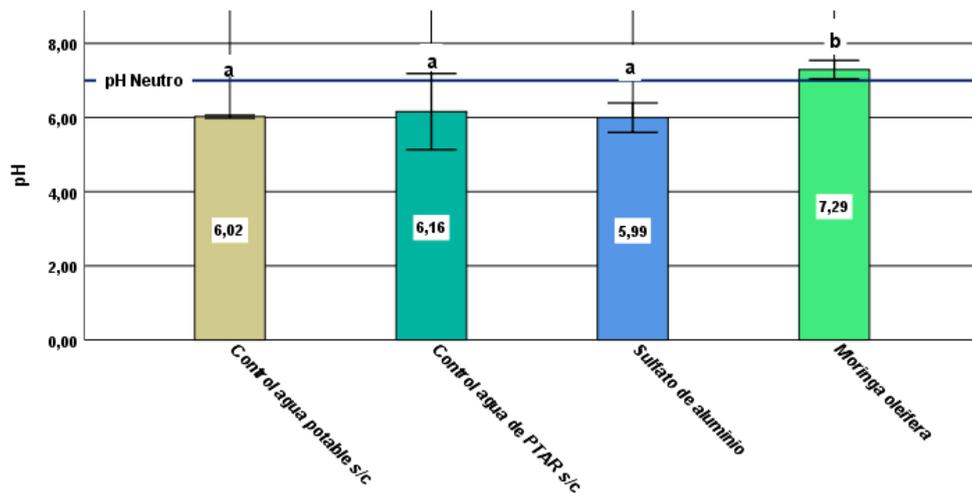


Figura 16. pH del agua de la PTAR al aplicar coagulantes

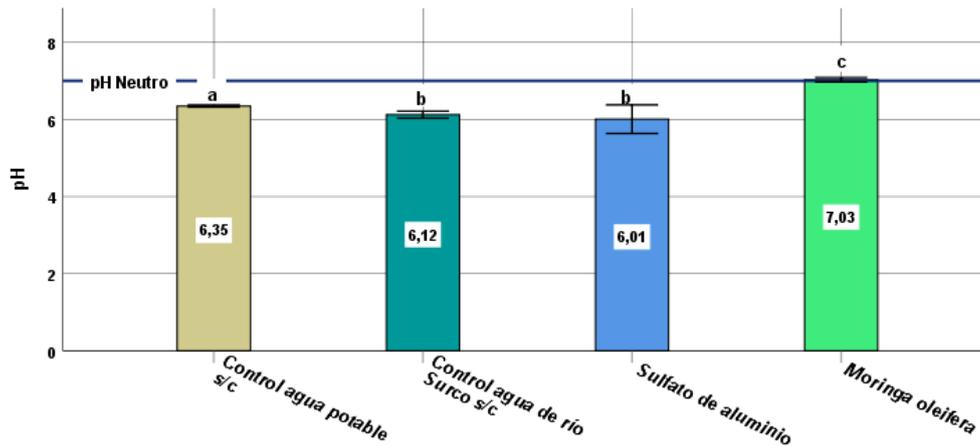


Figura 17. pH del agua de riego al aplicar coagulantes.

Ahora bien, para el agua de la PTAR con coagulante sintético se obtuvo valores de pH: 6.27 (100%), 6.39 (200%) y 5.33 (300%) (Ver Figura 18), para el agua de riego valores de 7.24 (100%), 6.10 (200%) y 4.68 (300%) (Ver

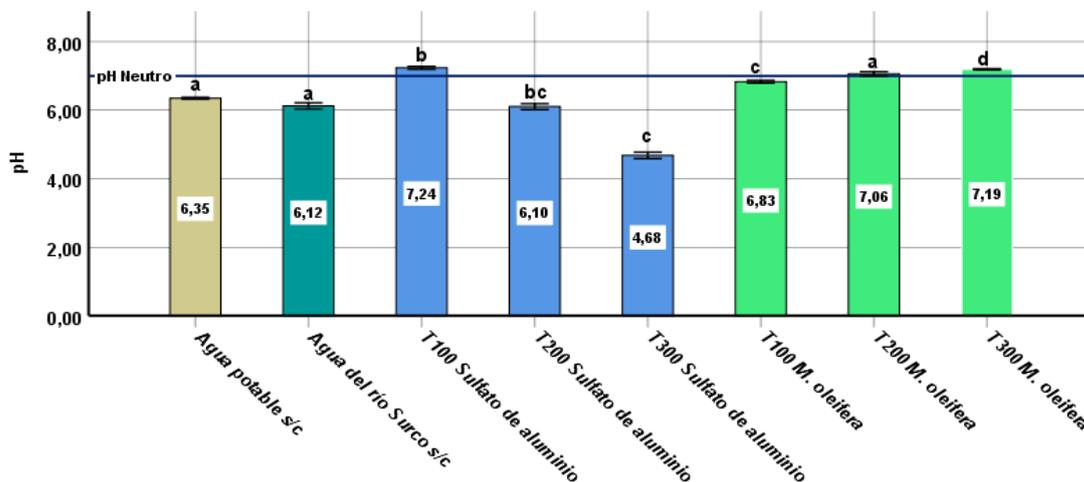


Figura 19), siendo la concentración de 300 mg/l de sulfato de aluminio en la que se obtiene un menor potencial de hidrogeno.

Es importante resaltar que las concentraciones de 200 mg/l y 300 mg/l de *Moringa oleifera* aplicadas al agua de riego son las que obtuvieron valores de pH 7.06 y 7.1

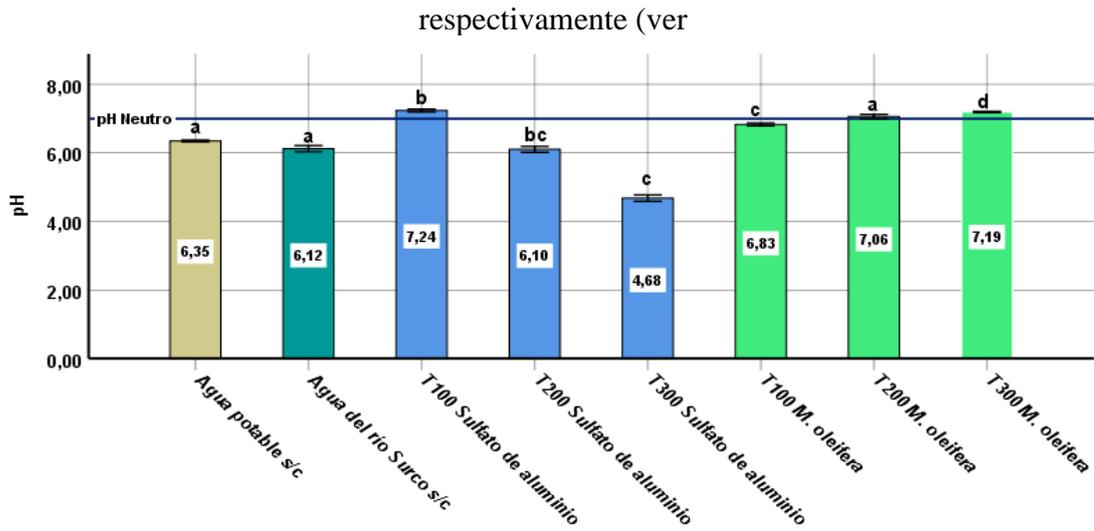


Figura 19) y para el agua de la PTAR 7.35, 7.59 respectivamente (ver Figura 18), así mismo son las que se obtiene una mayor remoción de turbiedad.

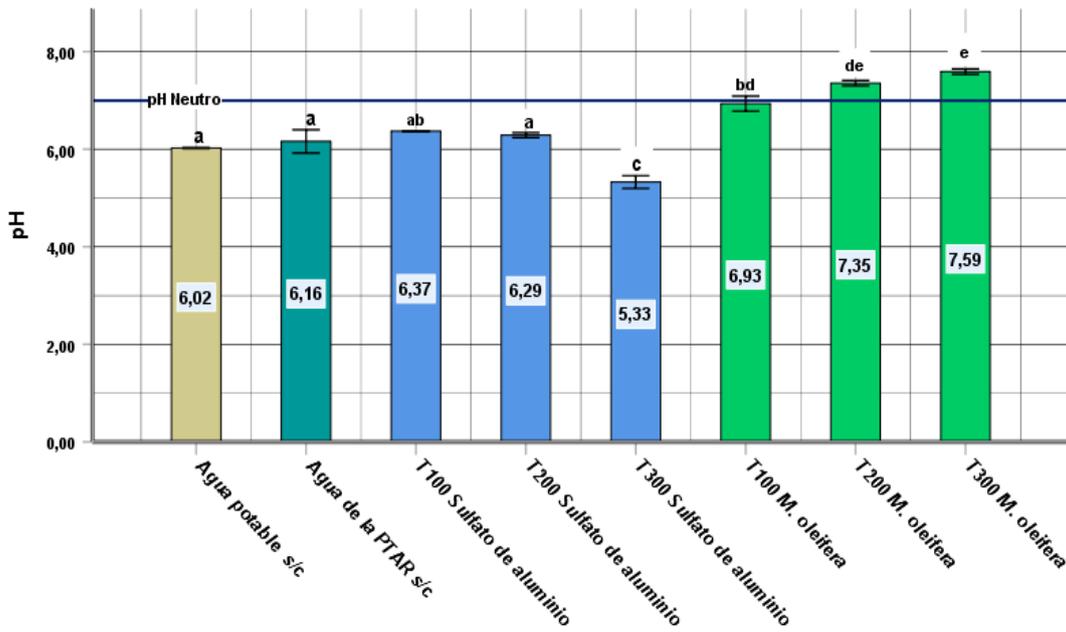


Figura 18. pH de los tratamientos aplicados en el agua de la PTAR

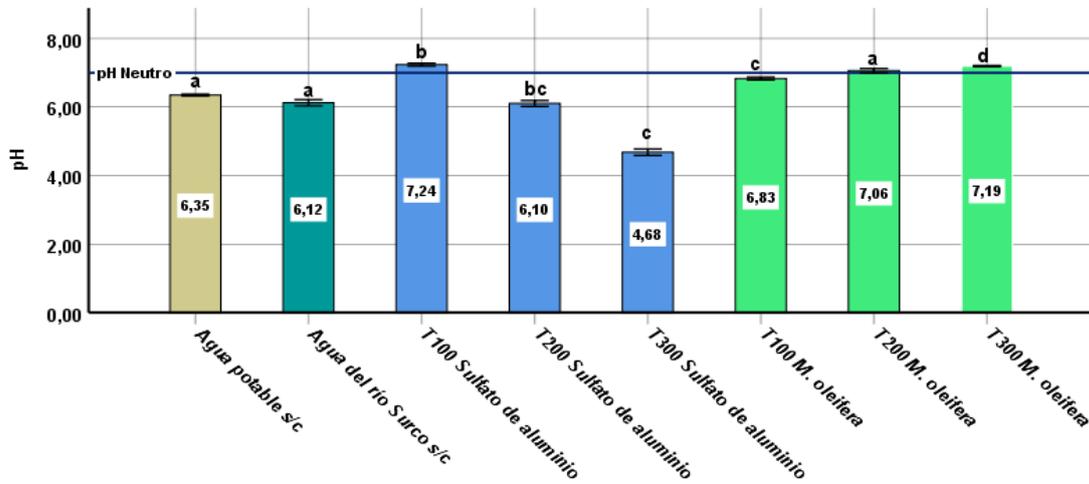


Figura 19. pH de los tratamientos aplicados en el agua de riego.

### 9.3 Oxígeno disuelto

Al inicio de cada tratamiento se caracterizaron las dos muestras de agua, para el agua proveniente de la laguna se obtuvo valores de 44.37mg/l de oxígeno disuelto y para el agua del riego 12.47mg/l.

Después de aplicar los tratamientos con sulfato de aluminio y *M. oleifera*, se dejaron sedimentar por una hora y se midió el oxígeno disuelto en agua, para el agua proveniente de la PTAR se obtuvo valores promedio de 30.34mg/l con el coagulante sintético y 20.91 mg/l con el coagulante natural (ver

Figura 20).

Ahora bien, para las concentraciones con sulfato aplicadas al agua de la PTAR a T100 (100 mg/l) se obtuvo 43.77 mg/l, T200 (200 mg/l) 23.70 mg/l, T300 (300 mg/l) 23.55 mg/l y para una concentración de moringa al T100 (100mg/l) se obtuvo 24.12 mg/l estos son niveles similares, a diferencia de las concentraciones con moringa a T200 (200mg/l)

que se obtuvo 18.30 mg/l y a T300 (300 mg/l) 20.30 mg/l, sin embargo, los niveles obtenidos se encuentran dentro del rango aceptable por el ECA agua (ver Figura 21).

Por otro lado para el agua del río Surco, con las concentraciones de T100 sulfato (100 mg/l) se obtuvo 4.15 mg/l y T200 sulfato (200 mg/l) 4.10 mg/l estos niveles de oxígeno se acercan a 4mg/l, el límite establecido por el ECA agua para áreas de riego, no obstante, para las concentraciones con el coagulante *M. oleifera* se observa niveles de oxígeno de 5.80mg/l usando una concentración de T100 moringa (100 mg/l), 5.20 mg/l para T200 moringa (200 mg/l) y 4.88 mg/l para T300 moringa (300 mg/l) comparables con los medidos en el agua potable y aceptados por el ECA (Ver Figura 22 y Figura 23).

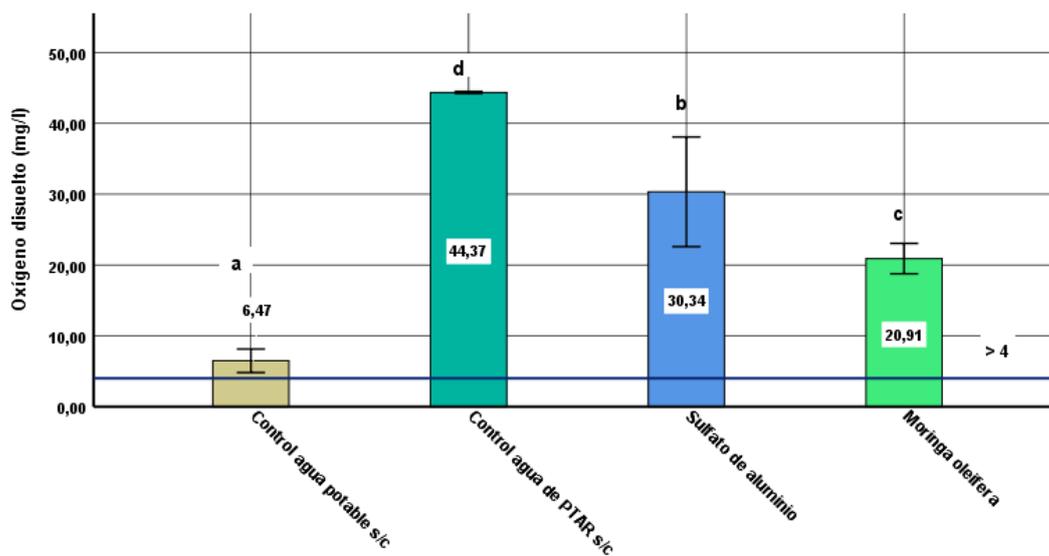


Figura 20. Oxígeno disuelto evaluado en agua de la PTAR después de aplicar los coagulantes, donde los valores mayores 4 son los aceptados por el ECA.

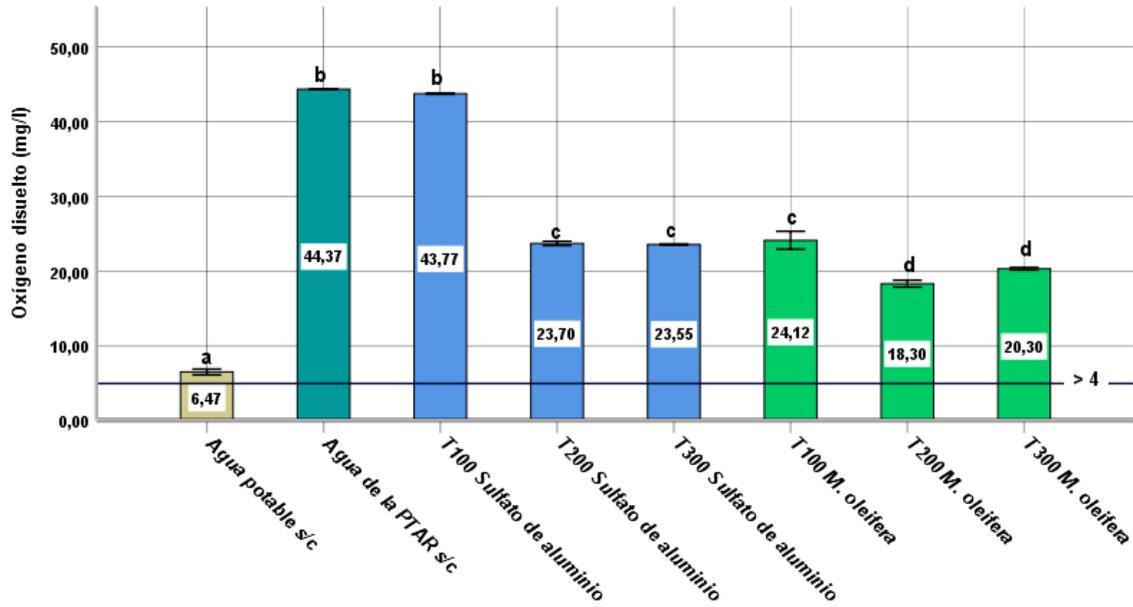


Figura 21. Oxígeno disuelto en agua de la PTAR después de aplicar los tratamientos, donde los valores mayores de 4 son los aceptados por el ECA.

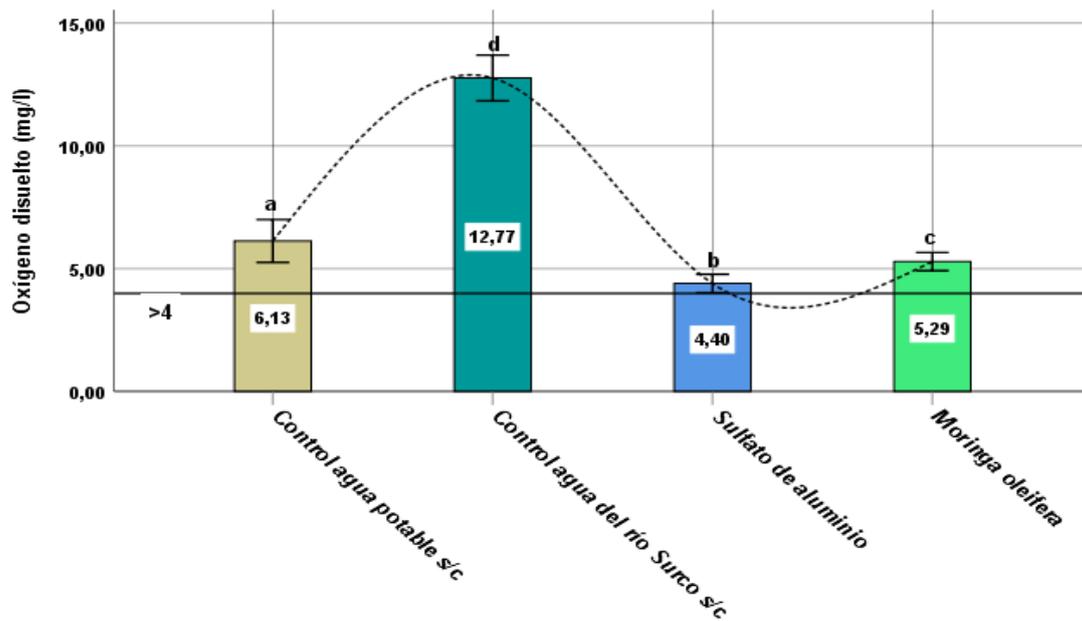


Figura 22. Oxígeno disuelto evaluado en agua de riego después de aplicar los coagulantes, donde los valores mayores de 4 son los aceptados por el ECA.

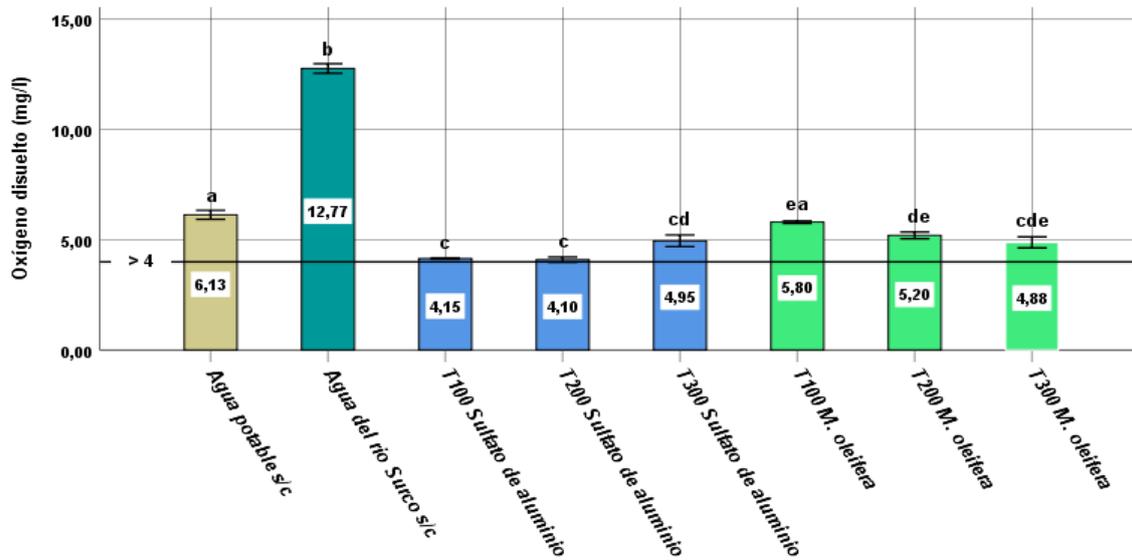


Figura 23. Oxígeno disuelto en agua de riego después de aplicar los tratamientos, donde los valores mayores de 4 son los aceptados por el ECA.

#### 9.4 Conductividad

La conductividad promedio para el agua residual es de 11097 $\mu$ s/cm y para el agua potable es de 3120  $\mu$ s/cm, al aplicar los coagulantes no se encuentra diferencia significativa respecto al agua de la PTAR (ver Figura 24 y Figura 25).

De igual manera para el agua de riego proveniente del río Surco se obtiene valores de 610  $\mu$ s/cm, no se encuentra diferencia significativa después de aplicar los tratamientos en cuanto a la conductividad, sin embargo, se encuentra diferencia con el agua potable (ver Figura 26 y Figura 27).

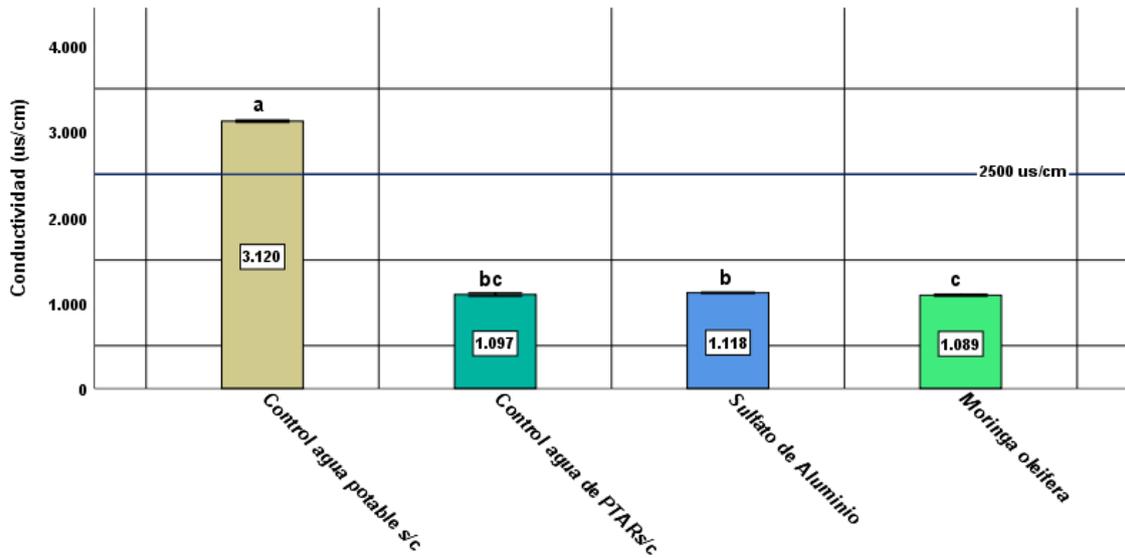


Figura 24. Conductividad del agua de la PTAR con los coagulantes.

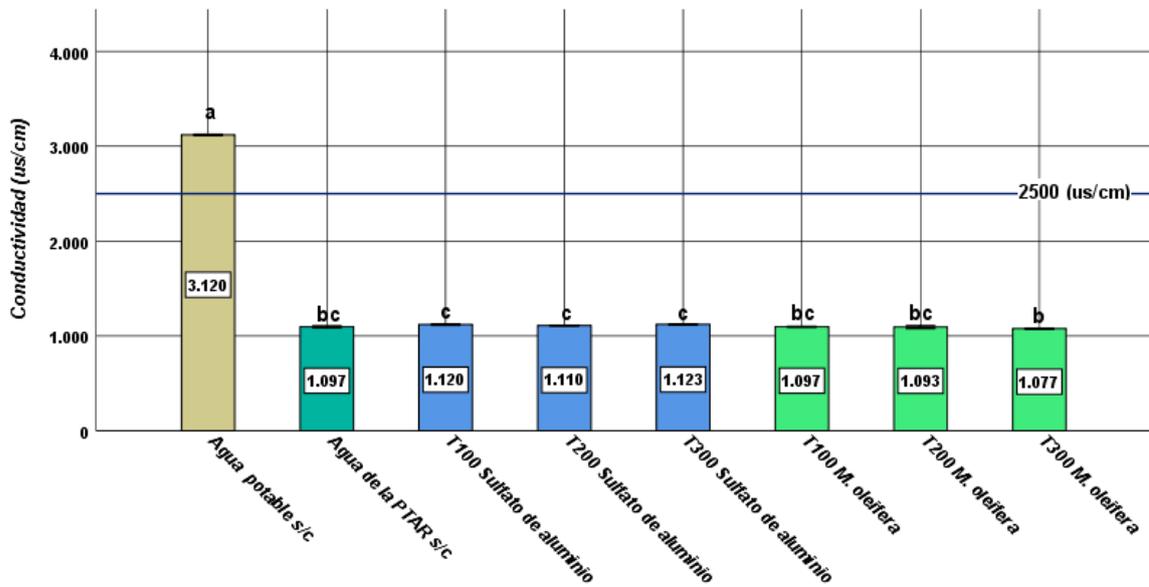


Figura 25. Conductividad en el agua de la PTAR después de aplicar los coagulantes.

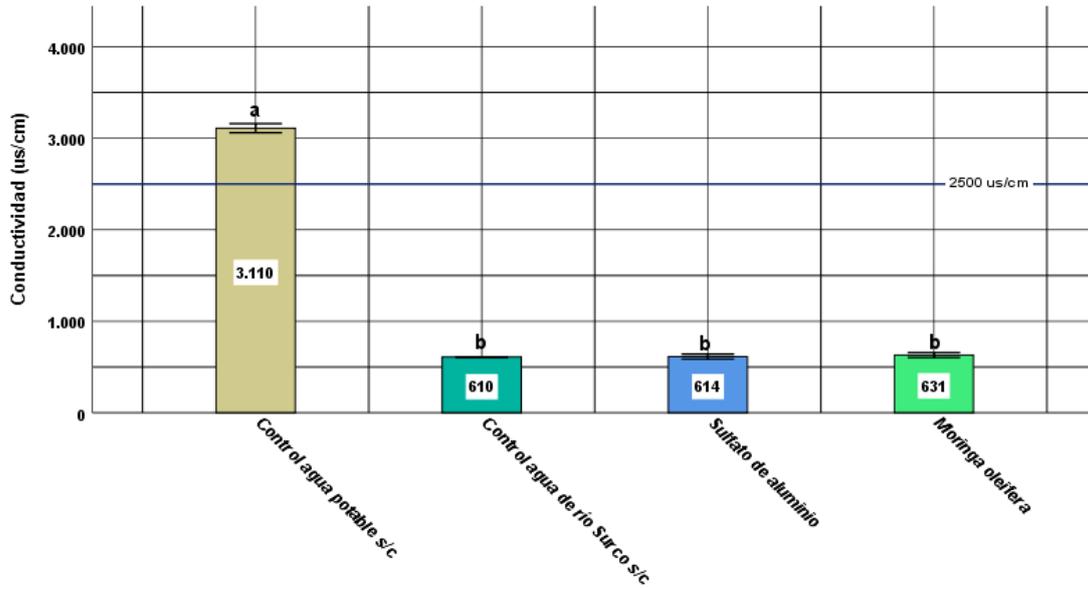


Figura 26. Conductividad del agua de riego después de aplicar los coagulantes.

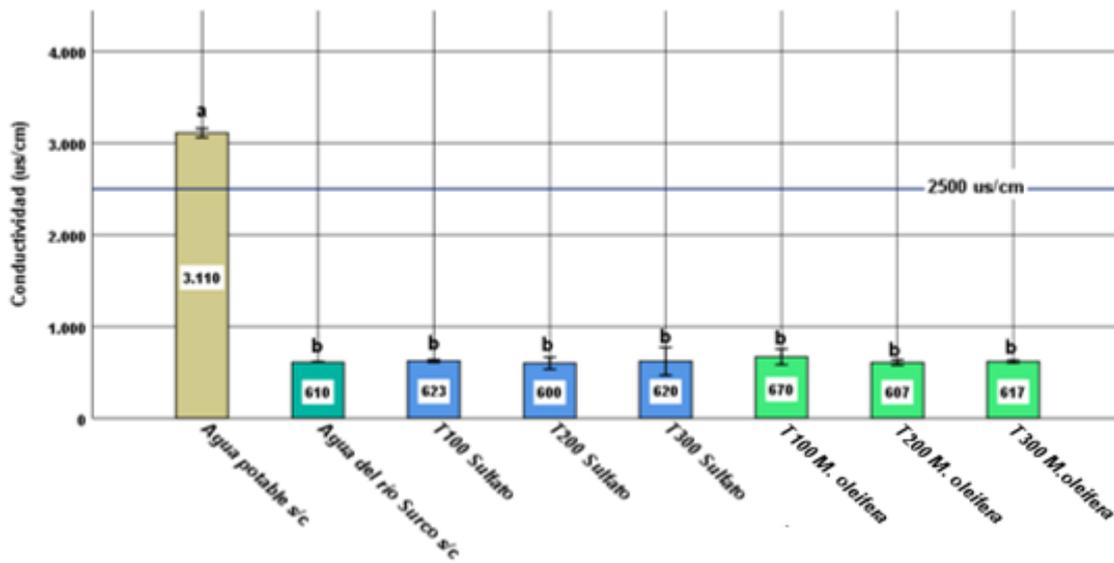


Figura 27. Conductividad del agua de riego después de aplicar los tratamientos.

## 10. Parámetro Microbiológico

### 10.1 Coliformes totales

En la evaluación del parámetro microbiológico se identificó que el agua de riego presenta una mayor cantidad de coliformes totales que el agua de la PTAR, ahora bien, al aplicar

los coagulantes se observa que la *M. oleifera* tiene una mayor capacidad de reducción de coliformes.

Para el agua de PTAR a través del nivel de significancia se determinó que para el coagulante natural la reducción de coliformes fue en un 99.99% (ver Figura 28). Ahora bien, para el agua de riego donde se encontró niveles de coliformes elevadas, aplicando los coagulantes sulfato de aluminio y *M. oleifera* los valores fueron diferenciados significativamente, para las concentraciones de 200mg/l y 300mg/l de coagulante natural la reducción fue menor a los 1000 NMP (ver Figura 29).

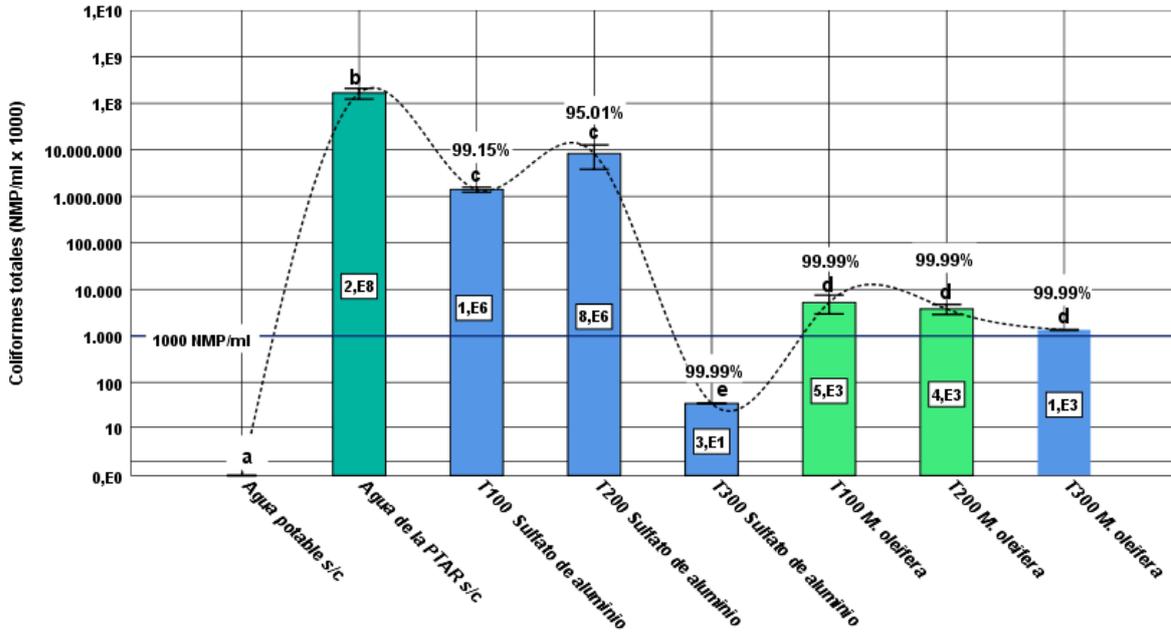


Figura 28. Reducción de coliformes totales en el agua de PTAR.

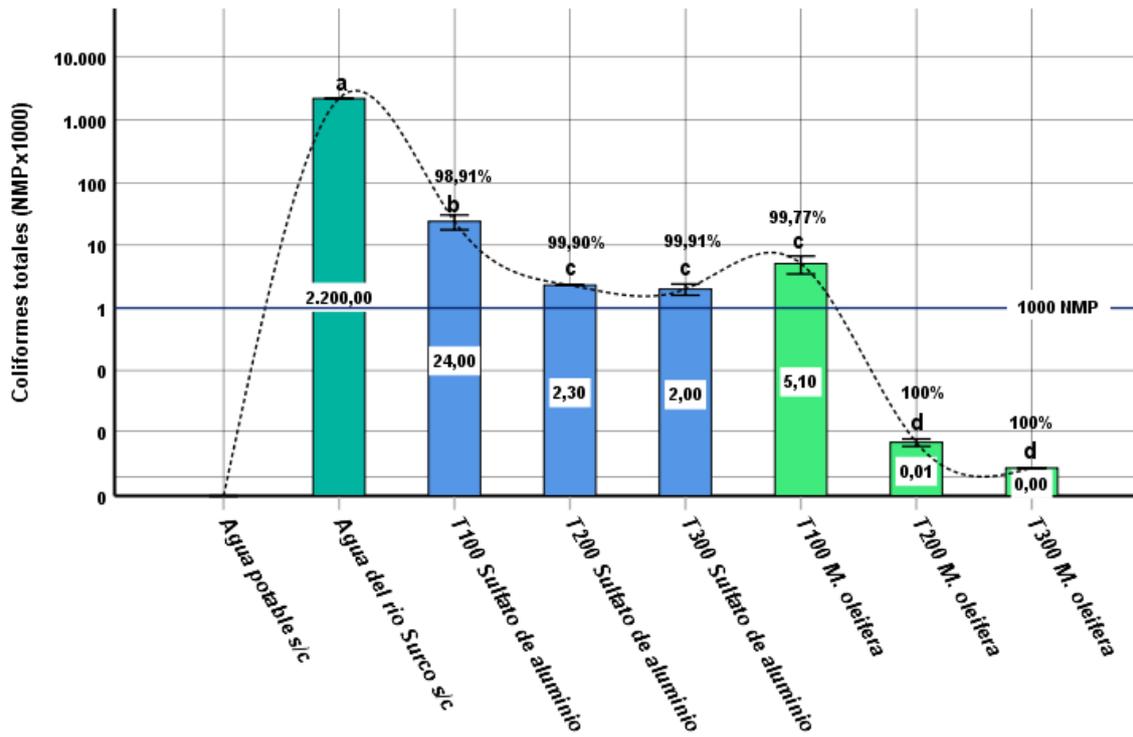


Figura 29. Reducción de coliformes totales en el agua del río Surco.

## VII. DISCUSIÓN

El Perú registra una baja cobertura en el tratamiento de agua residuales y estas son vertidas sin tratamiento a un cuerpo receptor, disminuyendo la calidad del recurso hídrico superficial, es así como a través del Plan estratégico de recurso hídricos se presentan lineamientos para mejorar la oferta de agua en calidad, cantidad y oportunidad (ANA, 2013), por ello se promueve el reúso de aguas residuales y mejoras en el tratamiento de agua.

Actualmente el tratamiento de agua con coagulantes naturales es una alternativa eficiente y se investiga con el propósito de reemplazar el uso de sustancias sintéticas en el tratamiento de agua, así como la producción de lodos biodegradables (Choque et al., 2018), con ello se busca mejorar el tratamiento, abastecer de agua potable y de riego a la población. Sobretudo cubrir la demanda de agua de riego para el mantenimiento de áreas verdes con una alternativa más amigable con el ambiente, ya que después de una coagulación con moringa, el agua mejora la calidad disminuyendo parámetros microbiológicos y manteniendo los parámetros fisicoquímicos (Gálvez, Moreno y Fernández, 2019). El floculo residual es totalmente compostable a diferencia de los lodos con sulfato de aluminio que no son aptos para acondicionamiento de suelos agrícolas pues algunas plantas adsorben aluminio en su tejido vegetal (Panizza, et al., 2008).

El complejo Deportivo de San Isidro, usa dos fuentes de agua para riego de áreas verdes, una que proviene de la PTAR y otra de riego del río Surco, estas muestras de agua al ser tratadas con un coagulante natural *M. oleifera* mostraron reducciones en turbiedad de 66% y 58%, más con el coagulante sintético se obtuvo 92% y 84%. Además de esto, utilizando el coagulante natural se puede obtener reducciones de coliformes en un 99%,

para ambas muestras de agua, y mantener un pH neutro, esto favorece a la mantención de las especies vegetales, ya que el agua a pH ácido puede alterar su comportamiento fisiológico, sin embargo, al regarse con agua a pH entre 6 y 9 y con menor cantidad de *E. Coli* estas plantas se desarrollarán mejor y se mantendrán en mejores condiciones (Valles et al., 2017). El usar un coagulante natural es favorable para el tratamiento de agua pues no cambia las propiedades químicas, lo contrario sucede cuando se agrega sulfato de aluminio al agua, porque luego se ha de agregar cal o soda para alcalinizar el medio y llegar a pH neutros o básicos (Ochoa, 2017). Otra gran ventaja es que al regar las áreas verdes de uso humano con menor cantidad de *E. coli* se minimiza el Riesgo de contaminación fecal, así como de contraer infecciones urinarias, meningitis, cólera o colitis entre otras, protegiendo a niños, animales y personas que utilizan las áreas verde como lugar de recreación (Ríos, Agudelo y Gutierrez, 2017), es decir se minimiza el impacto negativo en los usuarios pues la presencia de virus, bacterias, protozoos o helmintos, da lugar a un riesgo para la salud humana, a través del contacto directo con remanentes de aguas Residuales (Prado, 2015).

Por otro lado, en la actualidad se le atribuye al sulfato de aluminio enfermedades neurológicas como el Alzheimer, pues en la actualidad este aluminio es usado en varias industrias en forma de sulfato de aluminio como coagulante para el tratamiento de agua, y luego se encuentra más biodisponible para ser absorbido por el intestino (Cervantes et al., 2018). Otra investigación indica que el estrés oxidativo generado por la presencia de aluminio en humanos es el causante de varias enfermedades neurológicas así como el Alzheimer, Parkinson y alteraciones neuro-comportamentales (Chen, Chang y Pan, 2016).

Es por ello que se busca brindar una alternativa amigable con la salud y el medio ambiente.

## **11. Eficiencia en el tratamiento a través de la disminución de turbidez y carga de coliformes totales**

### **11.1 La eficiencia de la reducción de la turbidez de la moringa vs. sulfato de aluminio**

La eficiencia del coagulante natural para remover turbiedad comparada con el sulfato de aluminio (sustancia química más utilizada en los procesos de potabilización) consiguió diferenciar lo siguiente:

En el caso del agua del río Surco cuya turbiedad inicial fue de 15.30 NTU, al usar el coagulante natural se obtuvo una remoción del 68.17% (4,87 NTU) a una concentración máxima de 300 mg/l, de acuerdo con reportes anteriores (Pico, 2017) que señalan que para disminuir turbiedad de 15 NTU la dosis optima de remoción son de 225 mg/L y 275 mg/L, que coinciden con las de esta investigación, sin embargo con la misma dosis de sulfato de aluminio se obtuvo 2.98NTU, estas remoción es superior a la obtenida con un coagulante natural.

Por otro lado, para el agua de PTAR cuya una turbiedad inicial fue de 33.35 NTU usando *M. oleifera*. se removió un máximo de 70.80% (9 NTU) a una concentración de 300 mg/l, pero con el coagulante sintético se logra 2.54 NTU, estos resultados son similares a los obtenidos por estudios anteriores (Souza et al., 2016) donde encontraron que el tratamiento con *Moringa oleifera* reduce la turbidez inicial del agua de 37.95 NTU en un 47.56% (19.9 NTU) con una dosis de 200mg/l. Otros estudios señalan que a 750 mg/l de *M. oleifera* la turbiedad se reduce en un 64%, sin embargo en esta investigación se

demuestra que a una concentración de 300 mg/l se puede obtener reducciones desde 70% (Meza et al., 2018). Si bien el ECA para agua establece 100 NTU para usarla como agua de riego, la guía técnica para reúso de aguas residuales establece que si se utiliza el agua para riego tecnificado los parámetros de turbiedad deben ser cercanos a 5 NTU (Méndez, 2018).

Otro factor que se debe considerar es el tiempo de sedimentación, pues permite la formación de flóculos y posterior sedimentación, este tiempo no es constante, sin embargo, se reportó en un estudio que al poner a flocular por 120 minutos a una concentración de 100 mg/l para turbiedad inicial de 30NTU, se obtuvo la sedimentación de flóculos a los primeros 60 minutos (Pereira et al., 2017), esto es corroborado en varios estudios (García et al., 2015) que han utilizado una hora como tiempo de sedimentación, esta optimización es la que fue usada en esta investigación. Con una hora de sedimentación se observó que la remoción de turbiedad con el coagulante Natural para ambos tipos de agua fue de 70.80% y 68.17%, lo que podría sugerir que al llevar a cabo un mayor tiempo de sedimentación el porcentaje de remoción podría aumentar potencialmente.

### **11.2 La eficiencia de la reducción de la concentración de E. coli de la moringa vs. Sulfato de aluminio**

En la actualidad es necesario estudiar el potencial de coagulantes naturales, uno de ellos es la semilla de *Moringa oleifera* a la cual se le atribuyen propiedades antimicrobianas, es así que en esta investigación se buscó comprobar su eficiencia. Se encontró presencia de coliformes totales en ambas muestras de agua tanto para la planta de tratamiento y agua de riego del río Surco, en esta última muestra se encontró una mayor cantidad de

coliformes, esto se debe a una contaminación fecal en el cauce del río Surco con un foco no identificado.

Usando el coagulante natural se obtuvo reducciones para ambas muestras de agua por debajo de los 1000 NMP establecidas por el ECA agua, siendo la dosis más efectiva 300mg/l de moringa, igualmente con sulfato de aluminio a 300mg/l se redujo a este límite solo en la muestra de PTAR, esta reducción con moringa es confirmada con otras investigaciones donde han obtenido reducciones de coliformes a 325 mg/l de coagulante natural (Pico, 2017).

Se ha demostrado que al usar un coagulante natural se remueve coliformes, esto es gracias a las propiedades de las semillas, pues contienen pterigospermina, una proteína soluble en agua, con potente actividad antibiótica, antimicótica, con carga neta positiva y de bajo peso molecular; por ello, al mezclarse con agua no tratada, neutraliza y desestabiliza las cargas negativas de las partículas coloidales en suspensión (García et al., 2015), esto reduce la cantidad de coliformes.

## **12. Efectividad entre dos tipos de coagulantes: sulfato de aluminio y el coagulante natural**

La efectividad del coagulante sintético y *M. oleifera* se expresa en la disminución de los parámetros microbiológicos y obtención de óptimos parámetros fisicoquímicos comparables con el ECA de agua. En general, con el agua de la planta de tratamiento se obtuvo una turbiedad de 2.51 NTU con sulfato de aluminio y 11.28 NTU con *M. oleifera*, al aplicar el tratamiento en agua del río Surco se obtiene 2.35 NTU con sulfato de aluminio y 6.41 NTU con el coagulante natural, en nuestra experimentación obtuvimos mayor remoción de turbiedad con la mayor dosis aplicada (300 mg/l) consiguiendo

niveles bajos (2-4 NTU) en 1 hora de sedimentación aceptados con fines de riego, contrastando con los experimentos reportados donde determinaron que el tiempo de sedimentación óptima era de 120 minutos a una concentración de 300 mg/l (Adedayo et al., 2019).

En cuanto a la disminución de parámetros microbiológicos, se evidenció que aplicando ambos coagulantes se reduce la carga de coliformes mencionados en el párrafo anterior, Este efecto antimicrobiano es producto de las propiedades de las semillas de moringa, pues presentan varias proteínas como la lectina, que contiene dos o más sitios de unión para carbohidratos, por ello estas moléculas tienen la habilidad para aglutinar células (Santos et al., 2015) tales como las bacterias coliformes favoreciendo así la sedimentación de estas bacterias dañinas para la salud.

Al evaluar la efectividad del coagulante se busca mantener las condiciones fisicoquímicas del agua, como el pH, oxígeno disuelto y conductividad. En los tratamientos aplicados se observó una disminución de pH al variar la dosis de menor a mayor concentración de sulfato de aluminio, para la PTAR cambio entre 6.37 y 5.33, para el agua de riego entre 7.24 a 4.68, la disminución del pH en el agua coincide con los datos reportados en otra investigación (Carrasquero et al., 2017). Sin embargo, ocurre lo contrario cuando con el coagulante natural, el pH se incrementa con la mejor dosis de 300mg/l llegando para el agua de PTAR a 7.59 y el agua de riego 7.16 que son pH neutros que favorecen el reúso del agua. Esto se debe a que las semillas tienen proteínas catiónicas diméricas solubles en el agua, estos aminoácidos básicos en las proteínas de la *Moringa oleifera* aceptan un protón del agua, liberando un grupo hidroxilo, lo que hace que la solución de agua sea básica (Vunaina et al., 2019).

Otro parámetro observado fue el oxígeno disuelto, la medición se realizó antes y después de aplicar los tratamientos, para la PTAR valores iniciales promedio fueron de 44.37 mg/l, esto se debe a que en el lugar de toma de muestra se usan formas de aireación mecánica (aireadores), además tienen presencia de algas que realizan fotosíntesis liberando oxígeno al medio, así como microorganismos que a su vez generan nutrientes y el dióxido de carbono para la proliferación de las mismas (Vázquez, 2016). Por otro lado, la cantidad de oxígeno disuelto en aguas superficiales depende de las características del cauce, la turbulencia del agua, los procesos químicos y biológicos (Custodio y Chanamé, 2016), en nuestra investigación se encontraron niveles de 12.47 mg/l de oxígeno disuelto, comparado con otras investigaciones donde se ha encontrado niveles de 8.2 mg/l pues tienen una alta carga orgánica (Mazza, 2015).

Los niveles de oxígeno con *M. oleifera* a concentraciones de 200 y 300 mg/l disminuyeron (inicial de 44.37 mg/l), para el agua de la PTAR a valores son de 18.30mg/l y 20.30mg/l y para agua de riego a 5.20mg/l y 4.88mg/l, esta disminución se debe a la acción del coagulante y al arrastre de todas las células y moléculas en el flóculo tal cual reportado en estudios anteriores (Landázuri et al., 2018), por lo que las concentraciones de oxígeno medidas en esta investigación cumplen con lo establecido en el ECA para riego.

Por otro lado, la conductividad es un parámetro que no presentó variación al aplicar los coagulantes sulfato de aluminio y *Moringa oleifera*, el resultado fue similar al obtenido en otra investigación (Fuentes, Molina y Carla, 2016). Sin embargo, el control negativo (agua potable) presentó una elevada conductividad de 3120  $\mu\text{s}/\text{cm}$  esto podría significar que hay una elevada presencia de iones de calcio y magnesio contenidos en el agua, a raíz del tratamiento del agua potable o de las tuberías (Barragán, Centeno y Guayara, 2018).

Por último, se evaluó el beneficio económico de tratar agua con un coagulante natural y químico, la evaluación se realizó tomando los costos de coagulante sintético y natural (Tabla 3), en caso de este último a través de un proveedor se calculó el precio de la semilla en polvo de acuerdo al mercado nacional y el sulfato de aluminio fue adquirido a través de un laboratorio.

Se escaló el precio de acuerdo a los mg (miligramos) usados para un litro de agua, al día se producen 1.5m<sup>3</sup> de agua para regar 49ha de áreas verdes en el campo deportivo, el costo de tratar 1m<sup>3</sup> de agua a una concentración de 300 mg/l con moringa cuesta 12 soles y con sulfato de aluminio 150 soles, al mes los costos añadidos a los gastos de mantenimiento de la planta de tratamiento son: con el coagulante *Moringa oleifera* 540 soles y con sulfato de aluminio 6750 soles (

Tabla 4) por ello en términos económicos resulta factible usar un coagulante natural, pues el costo que se incrementaría al mantenimiento y riego de áreas verdes sería menor.

Tabla 3. Precio de coagulantes

	Peso (g)	Precio
sulfato de aluminio	500	250
<i>Moringa oleifera</i>	500	20

Tabla 4. Costo de tratar agua con sulfato de aluminio y *M. oleifera*

Concentraciones	sulfato de Aluminio			<i>Moringa oleifera</i>		
	100 mg/l	200mg/l	300mg/l	100 mg/l	200mg/l	300mg/l
<b>Costo (soles x m3)</b>	<b>33.33</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>2.66</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Costos al día (Soles)</b>	<b>50</b>	<b>150</b>	<b>225</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>18</b>
<b>Costo al mes (soles)</b>	<b>1500</b>	<b>4500</b>	<b>6750</b>	<b>120</b>	<b>360</b>	<b>540</b>

\* El costo diario se calculó para 1,5 m<sup>3</sup> de agua que se utilizan diariamente

Los costos de usar un coagulante natural son económicamente factibles, además traen beneficios ambientales, pues reducen la turbiedad y la carga de coliformes totales (Tabla 5), esta última es la causante de diversas enfermedades infecciosas intestinales y constituye la tercera causa de morbilidad (MINSA, 2011). Cabe destacar que según un informe del (IETSI (Instituto de evaluación de tecnologías en salud e investigación), 2016) el gasto promedio que se invierte en el tratamiento de enfermedades causadas por coliformes es de alrededor de 300 soles por persona. Estos gastos de tratamiento sumados a las 7 días que un trabajador deja de laborar para tratar una infección intestinal (Ministerio de Salud, 2007), son el costo ambiental que la empresa percibiría.

Tabla 5. Reducción de turbiedad y coliformes

Concentraciones	sulfato de aluminio			<i>Moringa oleifera</i>		
	100 mg/l	200mg/l	300mg/l	100 mg/l	200mg/l	300mg/l
<b>Agua de río Surco</b>						
Reducción de turbiedad	88.69%	84.71%	80.52%	49.22%	56.99%	68.17%
Reducción de coliformes	98.91%	99.90%	99.91%	99.77%	100%	100%
<b>Agua de la planta de tratamiento</b>						
Reducción de turbiedad	89.14%	95.88%	92.39%	59.84%	67.52%	70.80%
Reducción de coliformes	99.15%	95.01%	99.99%	99.99%	99.99%	99.99%

### 13. Eficiencia del tratamiento aplicado al agua residual y al agua del canal de riego

Aplicar un coagulante natural para el tratamiento de agua resulta eficiente con ambas muestras de agua, al aplicar el tratamiento al agua de riego del río Surco se obtiene valores de remoción de 4.87 NTU a 300mg/l con un pH alcalino, conductividad y oxígeno adecuado para el riego de áreas verdes. La remoción de turbiedad alcanzada con el coagulante natural fue de 58% y con sulfato 84%, con el coagulante sintético se obtiene una mayor remoción, sin embargo, usar semillas de *M. oleifera* como coagulantes es beneficioso gracias a su baja toxicidad y alta capacidad de remoción comparada con el sulfato de aluminio (Meza et al., 2018), además su aplicación en el tratamiento de agua superficial es factible y beneficioso económicamente, amigable con el entorno y disminuyendo los impactos generados por las trazas de aluminio.

Por otro lado, tratar el agua residual con moringa para hacer más eficiente el tratamiento, es útil pues reduce la turbiedad a 9.71NTU y carga de *E. coli* menor a 1000 NMP siendo la concentración óptima 300mg/l, en otras investigaciones se ha evidenciado uso potencial del coagulante natural para tratamiento de aguas residuales coincidiendo con investigación anterior (Cabrera, 2019) quien concluye que la *M. oleifera* es una alternativa para reemplazar el uso de coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio,

cabe señalar usando el coagulante natural se mantiene los niveles adecuados de oxígeno, conductividad y aumenta el pH, lo contrario sucede con el sulfato de aluminio, para la dosis de 200mg/l la remoción de turbiedad fue 1.37NTU sin embargo se muestra decaimiento en el pH, esta característica se le atribuye al tratamiento que se realiza con coagulantes sintéticos además de la producción de grandes volúmenes de lodo (Choque et al.,2018).

## VIII. CONCLUSIONES

El tratamiento con coagulante natural es eficiente al remover la turbiedad en ambas muestras para el agua de riego del río Surco remueve un 70.80% (4,87 NTU) a una concentración máxima de 300 mg/l, así también, para la planta de tratamiento de aguas se remueve un máximo de 70.80% (9 NTU), si bien el ECA agua establece como máximo

100 NTU para riego de Aguas superficiales destinadas para recreación, ahora bien, la guía técnica para reusó de aguas residuales establece que para agua tratada con fines de riego tecnificado la turbiedad debe ser 5 NTU, el tratamiento aplicado al agua superficial se obtuvo los valores deseados, pero con el agua de la planta los valores fueron cercanos, sugiriendo que se debe lograr remoción con mayor tiempo de remoción o aplicando una mayor dosis. Además, la moringa demostró su potencial como coagulador y su capacidad en remover coliformes totales con en ambas muestras.

El tratamiento de agua con un coagulante sintético presenta mayor remoción de turbidez que el coagulante natural, sin embargo, al usar un coagulante natural la remoción de coliformes totales es de 99% y el pH se mantiene neutro, lo contrario ocurre con el sulfato pues a dosis de 300mg/l este se acidifica.

Al usar el tratamiento con *M. oleifera* para la muestra de la planta de tratamiento se obtiene como dosis optima 300 mg/l, pues mantiene niveles inferiores de coliformes, reduce la turbidez, pH neutro y oxígeno adecuado, por otro lado, la mejor dosis de aplicación de sulfato de aluminio es a 300mg/l pues reduce en un mayor porcentaje de turbiedad y coliformes, pero no mantiene condiciones aceptables de pH. Con la muestra de agua de riego del río surco al usar moringa se obtuvo como dosis optima 300mg/l pues removió mayor cantidad de coliformes y turbiedad, sin embargo, con sulfato de aluminio a 200 mg/l se redujo coliformes por debajo de las 1000NMP.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que para la aplicación de coagulantes en la planta de tratamiento es necesario implementar un filtro donde de grava y arena, donde se agregara el coagulante

a base de *M. Oleifera* con el objetivo de maximizar la eficiencia, esta propuesta se hace basada en la investigación de (Apaza, 2018).

## X. REFERENCIAS

Adedayo, Olusola, Fatima Abdulkareem, Adeyinka Yusuff, y Mayowa Lala. «Response Surface Methodology Approach to Optimization of Process Parameter for.» *South African Journal of Chemical Engineering* 28 (2019): 46-51.

- ANA . «Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.» 2016.  
<https://www.dhn.mil.pe/Archivos/catalogospincam/PDF/14.pdf>.
- ANA [Autoridad Nacional del Agua]. «Octavo foro mundial de Brasilia 2018: Compartiendo Agua.» 2017.  
<http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/ANA/935/ANA0000717.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- ANA. «Estado situacionas de los recurss hidricos de las cuencas Chillon, Rimac y Lurin 2016/2017.» 2017b.
- . *Plan Nacional de recursos hídricos*. 2013. <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/plan-nacional-de-recursos-hidricos> (último acceso: 2019).
- Andía, Yolanda. «Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación.» *Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico*, 2000: 44.
- Apaza, David. «TRATAMIENTO ECOLÓGICO, UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE PARA LA PURIFICACION DE AGUAS CONTAMINADAS DESTINADAS AL RIEGO DE CULTIVOS EN AREQUIPA”.» *FONAN*, 2018.
- Barragán, Dahyana, Angie Centeno, y María Guayara. «Análisis de alta conductividad y dureza en agua dulce y su potencial incidencia en la salud humana caso aplicativo región de San Antonio, Municipio de Anapoima Cundinamarca.» 2018.
- Cabrera, Iankarlo. «Formulación de una mezcla constituida por semillas de moringa (Moringa oleifera) y sulfato de aluminio, para ser usada en el proceso de

- coagulación-floculación en el tratamiento de agua residual.» Lambayeque: Repositorio de la Universidad Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- Cárdenas, Yolanda. «Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación.» *Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico*, 2000: 1-44.
- Carrasquero, Sedolfo, Stefany Montiel, Emily Faria, Paola Parra, Julio Marin, and Altamira Diaz. "Sedolfo José CARRASQUERO FERRER\*, Stefany MONTIEL FLORES, Emily." *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 13, no. 2 (2017): 90-99.
- Carrillo, Walter. «Siembra la nutrición en el Perú.» *El Peruano*, Viernes de Octubre de 2010: 11.
- Cervantes, Carlos, Servando Lopez, Diana Pérez, y Ivan García. «The aluminum used in wastewater treatment and its possible relationship with.» *ournal of Negative and No Positive Results* 3, n° 2 (2018): 139-143.
- Chen, Chien-Li, Kuang-Yao Chang, y Tzu-Ming Pan. «Monascus purpureus NTU 568 fermented product.» *Journal of Functional Foods* 21 (2016): 167-177.
- Chicaiza, N. «Estudio de la turbiedad y su incidencia en la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la E.P. Metropolitana de agua potable y saneamiento, ubicada en el cantón quito.» 2017. <http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/640/1/TESIS%20CHICAIZA%20HIDALGO%20NORMA%20ELIZABETH.pdf>.

- Choque, David, Yudith Choque, Aydeé Solano, y Betsy Ramos. «Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua.» *Scielo* 38, n° 2 (2018): 2224-6185.
- Chulluncuy, Nadia. «Tratamiento de agua para consumo humano.» Editado por Universidad de Lima. *Ingeniería Industrial*, n° 29 (2011): 153-170.
- Claros, J. H. «Efectos del polihidroxiclورو de aluminio, velocidad de agitación y pH en la turbidez del agua del río Shullcas -Huancayo, 2013.» 2015.
- Cogollo, Juan. «Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados; caso del hidróxido de aluminio.» *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* 78, n° 165 (2011): 18-27.
- Custodio, María, y Fernán Chanamé. «Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales.» *Scientia Agropecuaria [online]*, 2016: 33-44.
- Diario Oficial La Republica. «Resolucion Jafatural No 136. (2018). .» 25 de Abril de 2018.
- Díaz, José. «Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas.» 2014.
- Fuentes, Natalia, Emiro Molina, y Ariza Carla. «Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas.» *Producción + Limpia* 11, n° 2 (2016): 41-54.

- Gálvez, María, Alexander Moreno, y Yulien Fernández. «Efecto biorremediador de semillas de Moringa Oleífera Lam (Mol) para mejorar la calidad del agua de consumo en granjas avícolas.» *Revista Científica Agroeco-sistemas* 7, n° 1 (2019): 125-133.
- García, Andrea, Lucia Bravo, Gabry Campos, y Diego Medina. «Antimicrobial action of Moringa's Pterigospermina Olipheral over water.» *Revista electronica de la Facultad de Ingeniería* 3, n° 1 (2015): 11-19.
- Gómez, Karen. «Eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa Oleífera en el tratamiento de agua con baja turbidez.» Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2010.
- Guzman, Luis, Arnulfo Taron, y Antonio Nuñez. «Polvo de semilla Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda.» *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 13, n° 2 (2015): 123-129.
- IETSI (Instituto de evaluación de tecnologías en salud e investigación). «Dictamen preliminar de evaluación de tecnología sanitaria.» *Instituto de evaluación de tecnologías en salud e investigación*, 2016.
- Landázuri, Andrea, Juan Villarreal, Esteban Núñez, Andres Lagos, y Mario Caviedes. «Experimental evaluation of crushed Moringa oleifera Lam. seeds and powder waste during coagulation-flocculation processes.» *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6, n° 4 (2018): 5443-5451.

- Larrea, J., M. Rojas, B. Romeu, N. Rojas, y M. Heydrich. «Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura.» *Revista CENIC: Ciencias biológicas* 44, n° 3 (2013).
- Leal, Jessica, y Jennifer Granados. «Evaluación de la contaminación del agua para consumo humano por aluminio, provincia del alto Magdalena, Departamento de Cundinamarca.» *UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA*, 2018: 1-95.
- Mazza, Sandro. «Control de calidad del agua en serpar Lima.» Lima, 2015.
- Méndez, Juan. *Guía Técnica Para Reúso Municipal de Aguas Residuales Tratadas en el riego de Áreas Verdes de Lima Metropolitana*. 2018.
- Meza, María, Katerine Riaños, Iván Mercado, Rafael Olivero, y Mario Jurado. «Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico.» *Revista UIS Ingenierías* 17, n° 2 (2018): 95-104.
- MINAGRI [Ministerio de Agricultura]. «Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac: estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas.» 2010. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1690>.
- Ministerio de Salud. «Lista de categorías de enfermedades y máximo de días que se pueden justificar como incapacidad para el trabajo a través del certificado médico inicial de enfermedad o accidente.» 2007: 21.

Ministerio de Vivienda construcción y saneamiento (MVCS). «Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR.» 2013.

MINSA. «Política Nacional de Salud Ambiental 2011 -2020.» 2011: 34.

Moscoso, J. «Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas.» 2016.

Muñoz, J. C. «Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “Citrus cinensis” pretratada.» 2007.

O. D. A. C. R. L [Observatorio del Agua Chillón Rimac Lurín]. «Análisis geoespacial de canales de riego en relación a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) y áreas verdes en el ámbito de Lima Metropolitana.» 2017.

Ochoa, Edgar. «Determinación del modelo matemático basado en redes neuronales del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal de la planta de tratamiento de agua potable carigan.» Loja, 5 de septiembre de 2017.

OEFA [Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental]. «Fiscalización ambiental en aguas residuales.» 2014. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827).

ONU. «Perspectivas de medio ambiente mundial GEO 6.» *Organización de las Naciones Unidas*, 2019.

Ortiz, Muriel. «PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú).» 2017. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9875>.

- Panizza, Amalia, et al. "Evaluación del compost elaborado a partir de lodos con alto contenido de sulfato de aluminio." *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2008: 342-348.
- Peña, Evelyn. «Calidad de agua.» Lima: Escuela Superior Politecnica Del Litoral, junio de 2007.
- Pereira, Franciele, Vânia Serrão, Rosângela Bergamasco, y Margarida Ribau. «The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment.» *Science Direct* 313 (2017): 226-237.
- Pérez, A., Sánchez T., N. Armengol, y F. Reyes. «Characteristics and potential of Moringa oleifera, Lamark.» *Scielo* 33, nº 4 (2010): 1.
- Perez, Wilber, y Javier López. «Aplicación de un diseño factorial 24 en la remoción de turbiedad del Rio Rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara.» *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 3, nº 1 (2017): 28.
- Pico, Marlon. «Evaluación de la concentración óptima de semillas trituradas de Moringa oleifera Lam., en el proceso de coagulación-floculación en comparación con el Sulfato de Aluminio.» *Evaluación de la concentración óptima de semillas trituradas de Moringa oleifera Lam., en el proceso de coagulación-floculación en comparación con el Sulfato de Aluminio*. Quito: Quito: USFQ, Mayo de 2017.
- Prado, Vanessa. *Aprovechamiento de aguas residuales en el patio taller de la línea 1 del metro de Lima*. 2015.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2168/P10-P7-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Quiceno, M. «Propuesta para mitigar la contaminación atmosférica en el sector zona centro del casco urbano de la dorada caldas, generada por el parque automotor, mediante la arborizacion urbana.» 2015. <https://repository.unad.edu.co/bitstre>.

Ramachandran, C, K Peter, y P. Gopalakrishnan. «Drumstick (Moringa Oleífera): a multipurpose Indian vegetable.» *Economic botany* 34, nº 3 (1980): 276-283.

Ramírez, Hildebrando, y Jhoan Jaramillo. «Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua.» *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 11, nº 2 (2016): <https://doi.org/10.18359/issn.1900-4699>.

Ríos, Sandra, Ruth Agudelo, y Lina Gutierrez. «Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano.» *Rev. Fac. Nac. Salud Pública* 35, nº 2 (2017): 236-247.

Roa, Mario. *Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizadas en sistemas silvopastoriles*. Nicaragua: NI. INAFOR (Instituto nacional forestal de Nicaragua)., 2003.

Rojas, Ricardo. «Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales.» *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*, 2002: 1-19.

Romero, Mynor. «Tratamientos utilizados en potabilización de agua.» Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, 2008.

- Rondon, M., Y. Diaz, S. Rodriguez, B. Guerra, E. Fernandez, y Tabio. D. «Empleo de semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de residuales líquidos.» *Ingeniería hidráulica y ambiental* 38, n° 2 (2017): 87-101.
- Sandoval, María Martha, y José Laines. «Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas.» *Ingeniería* 17, n° 2 (2013): 10.
- Santos, Andréa, et al. "Moringa oleifera: Resource Management and." *Advances in Research* 4, no. 6 (2015): 388-402.
- SEDAPAL. «Distribucion de Plantas de Tratamiento de aguas residuales.» *Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima*, 2019.
- Silva, E, et al. "Inspección preliminar de algunas características de toxicidad en el agua potable domiciliaria, Bogotá y Soacha, 2012." *Biomédica* 35 (2015): 15.
- Singley, J. «Revisión de la teoría de coagulación del agua. Gainesville, Estados.» *Estados Unidos: Universidad de la Florida*, 1986: 9-26.
- SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*. 2017. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>.
- Solis, R., J. R. Laines, y J. R. Hernández. «Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales.» *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 28, n° 3 (2012): 229–236.

- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46.
- Souza, José, et al. "Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble Moringa oleifera seed lectin to reduce turbidity." *Chemosphere* 163 (2016): 133-141.
- Valles, María, Damaris Ojeda, Victor Guerrero, Jesus Prieto, y Estefan Sánchez. «Calidad del agua para riego en una zona Nogalera en el estado de Chihuahua.» *Revista internacional de contaminación ambiental* 33, n° 1 (2017): 0188-4999.
- Vázquez, Francisco. «Lagunas de estabilización.» *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica.*, 2016: 148-163.
- Vunaina, Ephraim, Effita Masoamphambe, Placid Mpeketula, Maurice Monjerezi, y Anita Etale. «Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction.» *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7, n° 3 (2019): 103-118.
- World Health Organization . «Guías para la calidad del agua potable.» *Pan American Health Org* 508 (1988).
- WWAP [Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas]. «Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017.» *ONU (Organización de las Naciones Unidas)*. 2017.