

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

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



**“*Caesalpinia spinosa* y *Moringa oleífera* EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DEL RIO LURIN”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

DE LA TORRE MALDONADO, ANA LIZ

**Villa El Salvador
2020**

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido realizar este trabajo y por darme mucha salud para cumplir mis metas.

A mi madre que en paz descansa, a mis abuelos, quienes se preocupan más por mí, por motivarme en mi educación y por su apoyo incondicional.

A mis seres queridos por su apoyo y motivación en toda mi etapa académica.

AGRADECIMIENTO

Quedo muy agradecida con mi alma mater, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur – UNTELS por haberme permitido formarme profesionalmente, así mismo a los docentes de la Facultad de Ingeniería y Gestión quienes me brindaron sus enseñanzas, a mi tutor académico, a mi novio, mis compañeros y amigos que fueron parte de este proceso académico.

Agradezco al Dr. Robert Richard Rafael Rutte por las asesorías brindadas para la finalización de este proyecto y a las encargadas del laboratorio por su tiempo y tolerancia dedicada.

INDICE

CAPÍTULO I	11
INTRODUCCIÓN	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo general.....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
CAPÍTULO II	13
MARCO TEÓRICO	13
2.1 Bases Teóricas	13
2.2. Definición De Términos.....	34
CAPÍTULO III	36
METODOLOGIA DE DESARROLLO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA	36
3.1 Delimitación Temporal y Espacial	36
3.2 Determinación y Análisis del Problema.....	36
3.3 Modelo de Solución Propuesto	37
3.4 Análisis de Resultados.....	48
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFIA	66
ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuba de dos litros, de acrílico, del equipo de prueba de jarras.....	25
Figura 2. Modelo esquemático del proceso de coagulación.....	26
Figura 3. Fruto de <i>Caesalpinia spinosa</i> (Tara).	27
Figura 4. Procedimiento para el tratamiento de las aguas del río Lurín con los coagulantes naturales.	37
Figura 5. Descascarado de la semilla de moringa.....	39
Figura 6. Pesado de la muestra de moringa para la colocación en el equipo Soxhlet.	39
Figura 7. Eliminación parcial del aceite de las semillas de moringa.....	40
Figura 8. Desenvainado de la semilla de la tara.....	41
Figura 9. Separación de endospermo de la cáscara y el germen.	41
Figura 10. Plano de ubicación de la toma de muestra (ArcGIS 10.5).....	43
Figura 11. Toma de muestra de agua del río Lurín	44
Figura 12. Preparación de coagulantes a una concentración de 1.5 %.	45
Figura 13. Medición de la turbidez de la muestra de agua del río Lurín.....	46
Figura 14. Medición del pH de la muestra de agua del río Lurín.....	47
Figura 15. Medición de la temperatura de la muestra de agua del río Lurín.	47
Figura 16. Porcentaje de reducción de turbidez en la primera prueba de jarras. ...	50
Figura 17. Variación de la turbidez en la primera prueba de jarras.	50
Figura 18. Porcentaje de reducción de turbidez en la segunda prueba de jarras. 51	
Figura 19. Variación de turbidez en la segunda prueba de jarras.	51
Figura 20. Porcentaje de reducción de turbidez en la tercera prueba de jarras. ...	52
Figura 21. Variación de turbidez en la tercera prueba de jarras.....	52
Figura 22. Variación del pH en la primera prueba de jarras.	54
Figura 23. Variación del pH para la segunda prueba de jarras.	54
Figura 24. Variación del pH para la tercera prueba de jarras.....	55
Figura 25. Variación del temperatura en la primera prueba de jarras.	57
Figura 26. Variación del temperatura en la segunda prueba de jarras.....	57
Figura 27. Variación del temperatura en la tercera prueba de jarras.	58
Figura 28. Porcentaje de reducción de la turbidez de manera general.	60
Figura 29. Variación la turbidez de manera general.....	60
Figura 30. Promedio de variacion del pH.	61

Figura 31. Promedio de variacion de la temperatura.....	62
Figura 32. Prueba comparativa de coagulantes naturales.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares de calidad ambiental para aguas.....	21
Tabla 2. Taxonomía de la Tara.....	28
Tabla 3. Uso y aplicaciones del árbol de M. oleifera.	30
Tabla 4. Taxonomía de la Moringa.....	31
Tabla 5. Se muestra la composición de los nutrientes en: las hojas, el pericarpio y semillas.	32
Tabla 6. Variable dependiente e independiente	37
Tabla 7. Pruebas de jarras con cada coagulante.	45
Tabla 8. Parámetros del test de jarras	45
Tabla 9. Concentración y dosificación de los coagulantes naturales (incluido el coagulante control $Al_2(SO_4)_3$	48
Tabla 10. Resultados de la turbidez en las pruebas de jarras.....	49
Tabla 11. Resultados de la pH en las pruebas de jarras.....	53
Tabla 12. Resultados de la temperatura en las pruebas de jarras.	56
Tabla 13. Resultados promedios de turbidez.	59
Tabla 14. Resultados promedios de Potencial de hidrógeno.	61
Tabla 15. Resultados promedios de temperatura.....	62

ANEXOS

Anexo 1: Certificado de calibración de turbidímetro	71
Anexo 2: Certificado de calibración de pHmetro.	73

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de los coagulantes naturales de *Moringa oleífera* y *Caesalpinia spinosa* en el tratamiento del agua residual del río Lurín, ubicado en el distrito de Lurín, provincia de Lima y departamento de Lima; para ello se tomó 18 muestras de agua para determinar la turbidez, pH y temperatura; con el equipo de Prueba de Jarras se hizo el procedimiento de coagulación y floculación mediante la mezcla rápida, la mezcla lenta y por último la sedimentación; para lo cual se preparó una concentración de 1.5 % con dosis de 10 mg/l y 15 mg/l para ambos coagulantes, y considerando como coagulante control al sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

Los resultados alcanzados fueron con el coagulante de *M. olifera* con mejor efectividad debido a la reducción de la turbidez de 20.16 % con una variación de 78.40 NTU a 63.43 NTU con una dosis óptima de 15 mg/l. Así mismo los parámetros de pH y temperatura tuvieron variaciones de 7.83 a 8.08 y de 18.5 °C a 18.92 °C respectivamente, puesto que se logró mejorar la calidad del agua residual.

ABSTRACT

The research work aims to evaluate the effect of the natural coagulants of *Moringa oleífera* and *Caesalpinia spinosa* cogulants in the treatment of wastewater from the Lurín river, located in the district of Lurín, province of Lima and department of Lima; For this, 18 water samples were taken to determine turbidity, pH and temperatura; With the Jar Test equipment, the coagulation and flocculation procedure was carried out, the fast mixing, the slow mixing and finally the sedimentation; For which a concentration of 1.5 % was prepared with doses of 10 mg/l and 15 mg/l for both coagulants, and considering aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$) as a control coagulant.

The results achieved were with the coagulant of *M. oleífera* with better effectiveness due to the reduction of turbidity of 20.16 % with a variation of 18.40 NTU to 63.43 NTU with an optimal dose of 15 mg/l. Likewise, the pH and temperature parameters had variations from 7.83 to 8.08 and from 18.5 °C to 18.92 °C respectively, since it was possible to improve the quality of the residual water.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país con extensos recursos naturales y una gran biodiversidad. Sin embargo, el uso indebido durante años de los recursos hídricos por parte de las industrias, los efectos del cambio climático, una población en crecimiento y unas prácticas agrícolas inadecuadas han incrementado la escasez de agua y obstaculizado los esfuerzos hacia el desarrollo sostenible. A esto se le une el hecho de que la distribución nacional del agua es desigual debido a la mala gestión (UNOPS, 2015).

En este siglo, la falta de agua segura para el consumo humano, de saneamiento y de higiene es uno de los principales y más urgentes problemas relacionados con la salud. Prácticamente la décima parte de la carga global de enfermedades podría prevenirse mejorando el abastecimiento de agua, el saneamiento, la higiene y la gestión de los recursos hídricos. Asegurar el acceso a las poblaciones pobres a agua segura para beber, a un saneamiento adecuado y favorecer la higiene personal, doméstica y comunitaria mejorará la calidad de vida de millones de personas (OMS, 2012).

Por este motivo, se han desarrollado muchos mecanismos para el tratamiento de las aguas residuales. Como alternativa, los países en vías de desarrollo, han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua. De ellas la más estudiada es la utilización de extractos naturales de plantas para clarificación de agua cruda, mediante el proceso fisicoquímico de coagulación y floculación (Dorea, 2006).

En consecuencia, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad comparar la reducción de turbidez y la variación de los parámetros de pH y temperatura en el agua superficial del río Lurín mediante la aplicación de dos coagulantes naturales de *Caesalpinia spinosa* y *Moringa oleifera*, con el propósito comprobar una mejor capacidad de remoción por parte del coagulante natural.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de los coagulantes de *Caesalpinia spinosa* y *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales del río Lurín.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de los coagulantes de *Caesalpinia spinosa* y *Moringa oleífera* en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del río Lurín.
- Determinar la dosis óptima de los coagulantes de *Caesalpinia spinosa* y *Moringa oleífera* en la reducción de turbidez.
- Evaluar las variaciones de pH y temperatura del agua residual tratada con los coagulantes de *Caesalpinia spinosa* y *Moringa oleífera*

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 BASES TEÓRICAS

2.1.1 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas que han sido modificadas físico, químico y biológico, por las actividades del hombre y que necesita de un tratamiento. El proceso de tratamiento debe estar en función a los Límites Máximos Permisibles (LMP) de cada sector. Las aguas residuales son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo. Se excluye a aquellas que por sus características de calidad no requieren de un tratamiento previo en función a los Límites Máximos Permisibles de la actividad, según lo establecido expresamente en el Instrumento de Gestión Ambiental aprobado (OEFA, 2014).

La toxicidad del agua se debe principalmente al uso irracional y la inadecuada disposición de residuos sólidos y líquidos, que terminan incorporándose en los cuerpos de agua, perjudicando la calidad de agua. Así nos afirma Diaz Fernandez (2018), el desarrollo de la industria química, sumado al uso irracional del agua y la ineficiente disposición de los residuos sólidos y líquidos, que terminan siendo diluidos en las aguas superficiales e incorporándose al ciclo hidrológico, afecta a la calidad del agua y representa un peligro para todas las especies que dependen de este recurso natural.

2.1.1.1 ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES

De acuerdo con el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014), las aguas residuales se clasifican en 3 tipos:

- A. Aguas Residuales Domesticas (ARD):** Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.
- B. Aguas Residuales Municipales (ARM):** Son aquellas aguas residuales domesticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con

aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

C. Aguas Residuales Industriales (ARI): Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otros.

Las aguas residuales tienen diferente tratamiento de acuerdo al a su origen y/o tipo de fuente de agua residual, como las aguas residuales domesticas que tiene un tratamiento convencional y las aguas residuales industriales así los indica Fernández Alba, y otros, (2006) a diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

De acuerdo con lo señalado anteriormente podemos mencionar que las aguas residuales industriales contienen metales pesados, y son causadas por las actividades minera, industrial y manufacturera que originan descargas de efluentes con metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y las especies de flora y fauna. Estos elementos metálicos diluidos o mezclados con la materia orgánica en los cuerpos de agua se bioacumulan y biomagnifican en la cadena trófica, generando graves daños en los seres vivos como cambios en el sistema circulatorio, sistema nervioso, enfermedades endocrinas y reproductivas, entre otras. De esta manera lo afirma Díaz Fernandez, (2018) el origen de este tipo de elementos puede ser natural como las rocas presentes en la corteza terrestre o las disposiciones atmosféricas de emisiones volcánicas; sin embargo, el mayor aporte de metales pesados al medio ambiente lo hacen las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la descarga de efluentes de la industria minera, metalúrgica y de baterías. Los metales pueden aparecer disueltos directamente en forma iónica o como complejos orgánicos que favorecen su estabilización en el agua. Estos elementos que se bioacumulan y biomagnifican en la cadena trófica tienen graves efectos en los seres vivos, como alteración del sistema endocrino, trastornos de

comportamiento y problemas de fertilidad, además son persistentes y no se degradan naturalmente.

2.1.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se explican las características de las aguas residuales según Metcalf & Eddy (1996). A continuación, se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cada tratamiento, métodos de análisis y unidades.

2.1.1.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas más importantes son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, sedimentable, coloidal y materia disuelta. Otras características físicas no menos importante son el olor, temperatura, color y turbiedad.

A. Sólidos totales

Se define sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C. No se define sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquello que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos.

Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables y no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio (Whatman GF/C), con un tamaño nominal de poro de 1,2 micrometros, aunque también suele emplearse filtro de membrana de policarbonato. Según lo mencionado podemos deducir que existen dos clases de sólidos totales como los filtrables y no filtrables, y que a su vez estos pueden pasar por proceso de filtro mediante la fibra de vidrio de Whatman y la membrana de policarbonato, de manera que se mostrarn algunas diferencias de ambos filtros.

B. Olores

Normalmente, los olores son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta mas tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaeróbios. En otras palabras el agua adquirirá el olor de acuerdo a su composición, en este caso puede contener sustancias orgánicas o inorgánicas, y mediante la descomposición de alguna materia, estas se disuelven en el cuerpo de agua.

Se ha podido constatar que, en condiciones estrictamente controladas, la medida sensorial (organoléptica) de los olores, empleando el olfato humano puede proporcionar resultados fiables y significativos. La razón por lo que continuamente, se usa el método sensorial para la medición de olores.

C. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procesada de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. Es decir que la temperatura del agua cambiara de acuerdo a la estación y tiempo climático que se encuentre.

En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varia entre 10 y 21 °C. Entonces el valor de la temperatura de dara de acuerdo al espacio y época del año.

D. Color

Historicamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al

desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado a este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Es decir que el color del agua va cambiando en el transcurso de su recorrido y de acuerdo al uso en las diferentes actividades del hombre.

E. Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Podemos mencionar que la turbiedad esta constituida por partículas en suspensión, producto del uso del agua en las actividades del hombre o por la misma naturaleza.

La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspen de referencia en las mismas condiciones. Al respecto conviene decir que para la medición de la turbiedad del agua, existen instrumentos como el nefelómetro o turbidímetro más relevante y que mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

2.1.1.2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

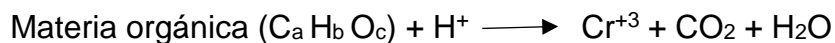
A. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO5). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Entonces la medición del oxígeno disuelto está sujeto a algunas limitaciones, debido a que los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:

1. Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
2. Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
3. Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
4. Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

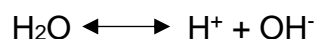
B. Demanda química de oxígeno (DQO)

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El dicromato potásico proporciona excelentes resultados en este sentido. Este proceso de oxidación se realiza a temperaturas elevadas para un mejor resultado. También es necesario incluir un catalizador como el sulfato de plata para ser más fácil la oxidación.



C. pH

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales o residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento de con procesos biológicos, y el efluente puede modificarla concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. Es decir que las concentraciones de hidrogeno en el agua se modifican debido a la disociación de moléculas de agua.



La mejor forma de expresar la concentración de ion hidrógeno es como Ph, que se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de ion hidrógeno.

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

2.2.2.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. Estos microorganismos son clasificados de acuerdo al grupo al que pertenece y su división celular.

A. Bacterias

Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentoso. Las bacterias esferoidales reciben el nombre de cocos, tienen un diámetro de aproximado de entre 1 y 3 micras. Las bacterias de forma de bastón, conocidas como bacilos, tienen tamaños muy variables, entre 0,5 y 2 micras de ancho por entre 1 y 10 micras de largo. Los *Escherichia coli*, organismo común en heces humanas, miden del orden de 0,5 micras de ancho por 2 micras de largo. Las bacterias del tipo de bastón curvado tienen dimensiones que pueden variar entre 0,6 y 1,0 micras de ancho por entre 2 y 6 micras de longitud. Las bacterias con forma de espiral pueden alcanzar longitudes del orden de las 50 micras, mientras que las filamentosas pueden llegar a superar las 100 micras.

B. Hongos

Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Muchos de los hongos son saprófitos, basan su alimentación en materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias; pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Lo dicho hasta aquí suponemos que los hongos son fundamentales en el ciclo de carbono, puesto que sin este proceso se acumularía la materia orgánica.

C. Algas

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno, que se conoce como crecimiento explosivo, puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas. En pocas palabras podemos deducir que este crecimiento explosivo, se llama eutrofización de manera que afecta algunas características del agua como el olor y sabor.

También menciona Romero Rojas (2010), el control del contenido de carbono, nitrógeno, fósforo y de algunos elementos como hierro y cobalto son algunas de las soluciones propuestas para desestimular el crecimiento de algas en las aguas.

D. Protozoos

Los protozoos son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una célula abierta. La mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimio heterótrofos anaerobios, aunque se conocen algunos anaerobios. Los protozoos de importancia para el ingeniero sanitario son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Se puede afirmar que los protozoos, son importantes para el funcionamiento de tratamiento biológico en la purificación del agua, debido a que mantienen el equilibrio natural de los diferentes tipos de microorganismos.

E. Plantas y animales

Las diferentes plantas y animales que tienen importancia para el ingeniero sanitario tienen tamaños muy variados: desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. Este conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.

Desde el punto de vista de la salud pública, existen ciertos gusanos que merecen atención y preocupación. Los platelmintos (comúnmente llamados gusanos planos) y los asquelmintos son importantes familias de gusanos. Platelmintos como la Tubelaria están presentes en lagos y cursos de agua de todo el mundo, y la Trematoda y la Cestoda son formas parasíticas de gran importancia para la salud pública. Dentro de los asquelmintos destaca la familia de los nematodos, que cuenta con más de 10.000 especies. Las formas parasíticas de mayor importancia son la Triquinela, causante de triquinosis; Necator, que origina anquilostomiasis; Áscaris, causante de infecciones por ascárides; y la Filaria, que provoca filariosis. Se puede concluir que la presencia de este tipo de animales es preocupante para

algunos lugares que no cuentan con una planta de tratamiento de agua, y que por tal motivo existen problemas en la salud de las personas, que afectan su salud.

2.1.2 ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA

En julio de 2008 se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, con el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Así mismo podemos mencionar que es modificado por la presente norma, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM en esta recopilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías, subcategorías de los ECA, y mantiene otros (Ambiente-MINAM, 2017).

La normativa de los ECA tiene como objetivo comparar los parámetros físicos y químicos del agua. Los parámetros de turbidez, pH y la temperatura se evaluarán comparando con la sub categoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de aguas potable, que pertenece a la categoría 1 (Tabla 1).

Tabla 1

Estándares de calidad ambiental para aguas

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5-8.5	5.5-9.0	5.5-9.0
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Nota: se toma en cuenta la subcategoría A, para la evaluación específicamente de turbidez, debido a que es el principal parámetro a evaluar.

2.1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A lo largo de la historia los sistemas tratamiento de agua fueron evidenciándose en sus inicios bajo diversas formas como las denominadas letrinas públicas que recolectaban las aguas domésticas y pluviales hacia un colector principal, para luego ser utilizadas en la agricultura como fertilizante y regadío; este tipo de manejo de aguas residuales. Así lo indica López Vázquez, Buitrón Méndez, García, & Cervantes Carrillo, (2017) el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales se hizo mas evidente en el siglo XX. Estos sistemas fueron considerados por mucho tiempo como un riesgo potencial para la salud y molestos en aglomeraciones urbanas. El valor fertilizante de las excretas humanas fue reconocido recientemente. Los antiguos griegos (300 A.C. a 500 D.C.) utilizaban letrinas publicas que denaban hacia la alcantarilla que transportaban las aguas residuales y pluviales hacia un colector en las afueras de la ciudad. De ahí, el agua residual era conducida hacia campos agricolas por canaletas de ladrillo para ser utilizada en el riego y la fertilizacion de cultivos y huertas.

El tratamiento de aguas residuales integra diversos procesos fisico-quimicos y biologicos que tratan los contaminantes que fueron incorporados por las actividades humanas con el proposito de alcanzar una calidad de agua requerida, y una disposicion final de lodos. Asi nos menciona Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, (2008) el tratamiento de aguas residuales (o agua servida, doméstica, etc.) incorpora procesos físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable al ambiente, y un residuo sólido o lodo que con un proceso adecuado sirve como fertilizante orgánico para la agricultura o jardineria.

2.1.3.1 NIVELES DE TRATAMIENTO DENTRO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Según el autor Noyola, Morgan, & Guereca (2013), el nivel de tratamiento para un agua residual depende del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada, lo que puede estar determinado por alguna normatividad. a continuación se describen someramente los distintos niveles de tratamiento.

A. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar de un agua residual, se refiere a la eliminación de aquellos componentes que pueden provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o sistemas auxiliares. Un ejemplo de ello es la eliminación de materiales de gran y mediano volumen como plásticos, ramas, animales muertos, piedras, entre otros. Este proceso se realiza mediante rejillas y desarenadoras que permitirán retener ciertos residuos.

B. Tratamiento Primario

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). En esta etapa se lleva a cabo la sedimentación de sólidos suspendidos para continuar con la etapa de tratamiento secundario.

C. Tratamiento secundario

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción.

Basicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados de la corriente de agua tratada, normalmente por sedimentación. De tal manera que la materia orgánica se formara flóculos, que por su densidad y el efecto de la fuerza de gravedad estas se depositan en el fondo, formando un tipo de biomasa llamado lodos.

2.1.4 PRUEBA DE JARRAS

La prueba de jarras o ensayo de jarras, es un proceso donde se evalúa la coagulación y floculación mediante un equipo, de manera que se somete al agua a una fuerte agitación adicionándole algunos reactivos con el fin de llevar a cabo la coagulación de este, y de esta manera el proceso de floculación, que por su densidad estos serán fácilmente sedimentables. Así lo menciona Fernández Alba, y otros (2006), los equipos en los que se lleva cabo este proceso, suelen constar de dos partes bien diferenciadas: una primera donde se adicionan los reactivos, y

se somete el agua a una fuerte agitación y durante un corto periodo de tiempo. Con el objetivo de conseguir una buena y rápida mezcla de reactivos y coloide para llevar a cabo la coagulación. A continuación se pasa a una zona de donde la agitación es mucho menos intensa y donde el agua permanece más tiempo. En este caso el objetivo es que se produzca la floculación. De esta forma la materia en suspensión tiene unas características mucho más adecuadas para la eliminación mecánica.

Este experimento se realiza bajo ciertas medidas y circunstancias tomando en cuenta algunas características del agua factores del experimento. Según Martinez Delgadillo (1999), durante el desarrollo de prueba de jarras, se tiene que tomar en cuenta factores tales como: temperatura de la experimentación, fuerza del coagulante, secuencia y tiempo de adición de los reactivos, duración e intensidad del mezclado rápido y lento, método de muestreo, entre otras. Es importante definir el termino gradiente de velocidad media G , ya que mide la intensidad de mezclado en el mezclado rápido y en la floculación, es decir, es el trabajo suministrado al fluido por unidad de tiempo y por unidad de volumen, y se define según la ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \text{segundos}^{-1}$$

Donde:

W = Función de disipación o suministro de potencia por unidad de volumen.

μ = Viscosidad absoluta del liquido

Según Martinez Delgadillo (1999), para la prueba de jarras se tiene la Figura 1 donde se relaciona en función de las revoluciones por minuto (rpm) de las paletas de la cuba del equipo de prueba de jarras.

Algunos de los factores que deben considerarse en la selección del coagulante son:

- Calidad de agua a tratar
- pH de la muestra
- pH optimo del coagulante
- Dosis
- Volumen de lodos generados

- Velocidad de sedimentación
- Eficiencia de remoción de contaminante

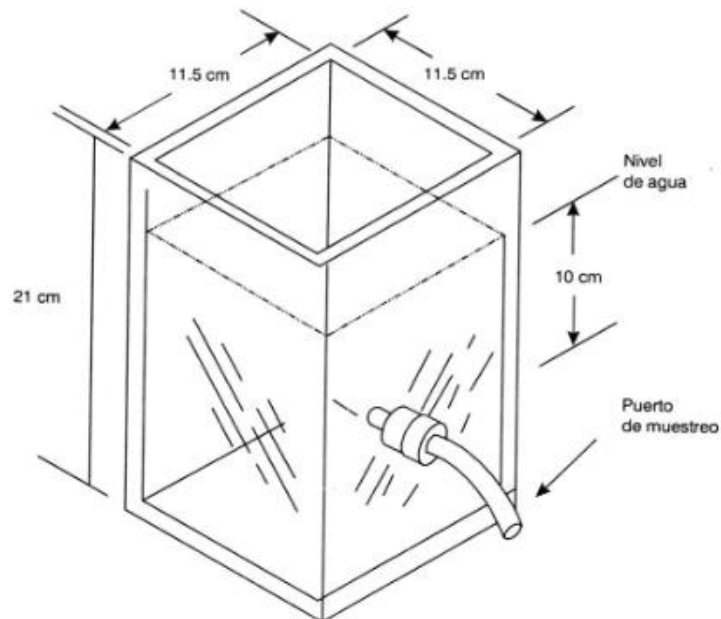


Figura 1. *Cuba de dos litros, de acrílico, del equipo de prueba de jarras.*

2.1.5 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Según Rigola Lapeña (1990), la turbidez y el color son dos características indeseables en las aguas. Ambas suelen ser causadas por partículas coloidales. Mientras las partículas en el orden de magnitud de una micra, se pueden considerar en suspensión, y las de una milésima de micra entran en el dominio de moléculas de solución, los tamaños intermedios corresponden al tamaño coloidal.

De manera que la coagulación y floculación son procedimientos que se aplican para la remoción de aguas residuales, principalmente los componentes coloidales que formaran grandes aglomeraciones de partículas y fácilmente sedimentable. Así lo menciona Martínez Delgadillo, (1999) la coagulación y floculación son métodos que se emplean para remover de las aguas residuales la materia coloidal y la suspendida. La estabilidad de la materia suspendida se debe a la repulsión entre partículas inducidas por el alto potencial. Esta materia no sedimenta fácilmente y no puede ser removida por métodos físicos convencionales.

Durante la coagulación se desestabilizan los coloides debido a que disminuye la potencial zeta de las partículas mediante la adición de coagulantes. Esta desestabilización se produce por el contacto que se establece entre las partículas suspendidas (coloides) y los micro-flóculos de carga positiva de fierro o aluminio.

El punto óptimo para la coagulación es cuando el potencial zeta alcanza su más bajo nivel, o punto isoeléctrico, que es cuando las fuerzas de Van der Waals prevalecen.

Considerando el antecedente de O`Melia (1969), identificaron varias etapas en el proceso de coagulación.

1. Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
2. Absorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
3. Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
4. Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van del Waals.
5. Formación de los flóculos.

Algunas de estas etapas ocurren secuencialmente. Otras coinciden parcialmente y otras pueden ocurrir simultáneamente. Se puede suponer que las diferentes etapas de la reacción pueden resultar controlables en un cierto porcentaje, bajo diversas condiciones químicas (Figura 2).

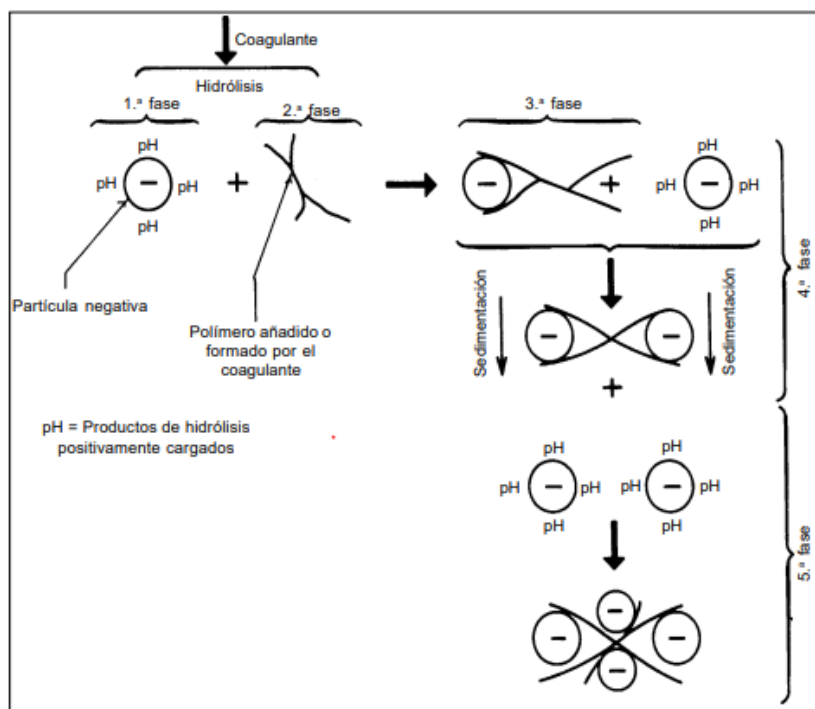


Figura 2. Modelo esquemático del proceso de coagulación.

Los coagulantes naturales tienen gran importancia debido a que son amigables con el medio ambiente y de fácil biodegradación; la mayoría de estos coagulantes son de origen vegetal que presentan algunos activos como taninos y/o proteínas como coagulantes. Así lo menciona Renault, Sancey, Badot, & Crini (2009), tienen gran potencial debido a que son biodegradables y no generan daños en el medio ambiente, la mayoría son de origen vegetal y presentan en su composición agentes coagulantes como carbohidratos, taninos y proteínas.

2.1.5.1 *Caesalpinia spinosa*

La *C. spinosa* conocida como tara, taya o guarango es un árbol pequeño de 2 a 3 m de altura, puede llegar a hasta los 12 m aproximadamente, tiene un fuste corto, cilíndrico o tortuoso con ramas bien pobladas donde sus hojas son en forma de plumas, parcadadas u ovoides de 1.5 cm de largo y sus flores presentan un color amarillo rojizo (Figura 3). Los frutos de esta especie son vainas explanadas de color naranja que miden de 8 a 10 cm de largo y 2 cm de ancho, dentro de ellas se encuentra los granos de semilla que presenta un color pardo negruzco cuando están maduros (De la Cruz, 2004).

Según Narváez, Calvo & Troya (2009), la tara crece de forma silvestre o cultivada en diferentes países de la región sudamericana en rango de 1000 a 3000 msnm, es un árbol que produce vainas y semillas, de ellas se extrae los taninos, gomas, hidrocoloides y galactómanos para el uso de industrias. Como leguminosa aporta nitrógeno al suelo y crece normalmente en suelos pobres puesto que necesita poca agua para subsistir, además de ser resistente a plagas y enfermedades.



Figura 3. Fruto de *Caesalpinia spinosa* (Tara).

A. Taxonomía

Según Garcia, (1992) la tara pertenece a la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 2).

Tabla 2

Taxonomía de la Tara

Taxonomía	
División	Espermatofita
Clase	Angiosperma
Subclase	Dicotiledónea
Orden	Fabales
Familia	Caesalpinacea
Género	<i>Caesalpinia</i>
Especie	<i>Caesalpinia spinosa Kuntze</i>

B. Propiedades

La tara es actualmente muy utilizada en industrias farmacéuticas, alimenticios, manufacturas y textiles; debido a la obtención de taninos que se encuentran en las vainas de los frutos utilizados en la fabricación de diferentes productos, también este elemento es usado como bactericidas y clarificadores. Así lo menciona De la Cruz Lapa (2004) los taninos se utilizan en la industria para la fabricación de de curtidos de cueros, fabricación de plásticos y adhesivos, galvanizados y galvanoplásticos, condición de aparejos de pesca de condición bactericida y funguicida, como clarificador de vinos, como sustituto de la malta para dar cuerpo a la cerveza; en la industria farmacéutica por tener un amplio uso terapéutico, para la protección de metales, cosmetología, perforación petrolífera, industria del caucho.

C. Trabajos relacionados

Según la investigación realizada por Pérez Huachaca & Torres (2019) evaluó la eficiencia para la remoción de la turbidez y patógenos a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara y de moringa. Para ello recolectó muestras de agua del río Rímac para efectuar los ensayos en el laboratorio mediante la prueba de jarras y determinó variables independientes como concentración de tara, moringa, pH,

velocidad alta y baja y volumen de dosificación de los coagulantes para lograr una buena remoción de turbiedad y coliformes totales. Donde muestra resultados muy significativos de turbidez que tuvo una variación de 500 NTU a 4 NTU con una remoción de 99.20 % y una remoción de *coliformes totales* de 98.57 %.

Seguidamente Charapaqui Ancasi (2019) utilizó tres coagulantes químicos (cloruro ferrico, sulfato ferroso y sulfato de aluminio), y dos floculantes naturales polvo de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) para la evaluación de los parámetros de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, pH, color, turbidez y volumen de lodos. Se determinó la mejor combinación y dosis óptima de reactivos que permitieron remover los sedimentos de las aguas del embalse Cuchoquesera, mediante procesos fisicoquímicos de coagulación-floculación. En los resultados obtuvo como mejor combinación el coagulante de sulfato de aluminio (27.9 mg/l) con el floculante natural de goma de tara (3 mg/l) que remueve de 150 NTU y 137 U Pt-Co a 1.7 UNT y 3.2 U Pt-Co, respectivamente.

Terrones Vega (2019) también utilizó la goma de *Caesalpinia spinosa* como coagulante natural y evaluó los parámetros fisicoquímicos de pH, turbidez, conductividad eléctrica, DQO y DBO. Los resultados que obtuvo fue un cambio significativo con un 7.41 pH, turbidez 54.84 %, conductividad eléctrica 0.383 mS/cm, DQO de 99.11 % y la DBO de 97.73 %, de manera que mejoró la calidad del agua del Río Chancay.

Otro trabajo relacionado es el de Chacon Ramos & Ramos Zabala (2019) que evaluaron la eficiencia de remoción de los parámetros de turbidez, DB5 y DQO mediante la organoarcilla y la goma de tara. Se determinó mejores resultados, que lograron bajar en total de turbidez de 75.7 a 1.6 NTU con una eficiencia de remoción de 97.89 %, DBO5 de 300 a 94.30 mg/l con 68.56 % y DQO de 628 a 191.33 mg/l con 69.53 %, donde concluye que la organoarcilla es más eficiente que la goma de tara.

Montenegro Valdivia (2019) utilizó el mucílago de *Opuntia ficus-indica* (tuna) y la goma de *Caesalpinia spinosa* (tara) para comprobar la eficiencia en la mejora de la calidad del agua residual del camal del distrito de José Leonardo Ortiz, y obteniendo como mejor resultado con la goma de *Caesalpinia spinosa* con una dosis de 40 ml que redujo un 97.19 % de turbidez y la DQO un 60.21 %, logrando mejorar la calidad del agua residual.

2.1.5.2 Moringa oleífera

La *Moringa oleífera* es originaria del noroeste de la península india y se extiende a través de varios continentes. Su área de distribución intertropical coincide con regiones, en unos casos superpoblados y en otros pocos desarrollados (Olson ME, 2001).

El árbol de la moringa es una planta con muchos beneficios que pueden emplearse como alimento, medicinal, cosméticos entre otros (Tabla 3).

Tabla 3

Uso y aplicaciones del árbol de M. oleífera.

Parte	Usos y aplicaciones
Semillas	<ul style="list-style-type: none">- La cáscara de las semillas puede emplearse para la preparación de carbón activado.- Pueden emplearse como coagulante natural para el tratamiento de aguas.- El aceite de las semillas pueden emplearse en la dieta humana, la producción de biodiesel, lubricante de maquinaria fina y la elaboración de productos de cuidado personal.
Hojas	<ul style="list-style-type: none">- Rica en proteínas, vitaminas y minerales
Raíces	<ul style="list-style-type: none">- Poseen actividad antiinflamatoria.
Flores	<ul style="list-style-type: none">- Propiedades para reducir la hipocolesterolemia.- Gran fuente de néctar aprovechada por los criadores de abejas.

A. Taxonomía

Conforme a Singh, Gesare, & Kaur (2013), la tara presenta la siguiente taxonomía (Tabla 4).

Tabla 4

Taxonomía.

Taxonomía	
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Super División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Eudicots
Subclase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Genero	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleífera</i>

B. Propiedades

La *M. oleífera* es una planta rica en minerales, aminoácidos y biomoléculas. Todos los órganos de la planta son susceptibles de aprovechamiento. Así se muestra en la siguiente Tabla 5 de López García (2016).

Tabla 5

Se muestra la composición de los nutrientes en: las hojas, el pericarpio y semillas.

Componente /100 g de peso	Hojas	Fruto inmaduro Pericarpio	Semillas
Macronutrientes			
Proteína %	19-27.1	17.2-19.3	32.9-38.3
Lípidos %	4.7-5	0.4-1.3	30.8-44.8
Fibra %	7.9-19.2	22.6-46.8	4.9-15.9
Carbohidratos %	27.8-38	21-51	14.4-16
Minerales			
Calcio (Ca) mg	1875-2079	12.5-29	76.9
Hierro (Fe) mg	27.8-38	2.3-5.3	13.7
Aminoácidos			
Met+Cys mg	140-835	90-140	-
Lisina mg	1406-1530	150-250	-
Ácidos grasos % respecto total AG			
C18:1 Ácido oleico %	6.27	18	67.9-78
Otros			
Ácido ascórbico (Vit C) mg	18.7-140	871	84.5
Clorofila mg	126.8	-	-
Energía (Kcal)	205-295.6	178.2	564.5

Nota: Esta tabla fue elaborada por el autor citado anteriormente.

C. Trabajos relacionados

Según Arenas Díaz Elizabeth (2019), evaluó el efecto de la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleífera* para mejorar los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbiedad. Para ello preparo agua sintética. Para la preparación de los coagulantes utilizo dos solventes,

el cloruro de sodio (NaCl) y el agua destilada; con niveles de turbiedad de: 20 NTU, 120 NTU y 500 NTU. En conclusión, la mejor remoción fue de la Moringa con solvente de NaCl, removiendo un 93 % y un con solvente de agua destilada con un 44 %. Es decir, a mayor turbiedad inicial en el agua a tratar, mayores son las dosis óptimas requeridas (a excepción de las aguas de baja turbiedad), mayor es la turbiedad residual en el agua tratada y mayor es la eficiencia de la remoción de turbiedad.

Cabrera Rivas (2019) también utilizó una mezcla compuesta por semilla de moringa (*Moringa oleífera*) y sulfato de aluminio con la finalidad de obtener un proceso eficiente de coagulación – floculación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la destilería de Cobre. Concluyendo que la formación o dosificación óptima fue de 0.6 g de $Al_2(SO_4)_3$ y 0.4 g de semilla de Moringa, el pH óptimo de 8.26, con una temperatura de óptima de 26°C, reduciendo la turbidez inicial de 73 NTU A 6.5 NTU. A dichas condiciones óptimas se redujo además la DBO de 582 ppm a 396 ppm y la DQO de 1213 ppm a 985 ppm.

Carrizales Condori & Enríquez Nateros (2019) determina la dosis y concentración óptima de Moringa oleifera en la clarificación del agua de la quebrada de Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica. tomó 10 muestras de agua para la determinación de turbidez y evaluó la coagulación – floculación con la prueba de jarras. Como resultado tuvo un intervalo de dosis óptima de 10 mg/l a 50 mg/l para turbidez de 50 NTU y 30 mg/l a 100 mg/l para turbidez de 50 NTU.

Hidalgo del Castillo & Cayao Villanueva (2019), tiene como objetivo evaluar la eficiencia de *Moringa oleifera* como agente coagulante en el tratamiento de agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento para el riego de vegetales . Para ello tuvo 6 litros de muestra de agua con una turbidez inicial de 70 NTU, utilizó dosis de 400, 500, 600, 700 y 800 mg/l. Al finalizar tuvo como resultados que alcanzó un máximo de 54.29 % con una dosis de 700 mg/l. Concluye que el polvo de Moringa sería considerada como agente coadyuvante.

Según Guanilo Iñigo (2019), utiliza los coagulantes de *Moringa oleifera* y el *Aloe barbadensis* para desestabilizar coloides y posteriormente sedimentarlos. Tras la implementación del tratamiento observo que la velocidad de agitación, dosis de coagulante y el tiempo de sedimentación fueron los factores principales para determinara la efectividad del tratamiento, además de ser amigable con el ambiente

y su bajo costo económico. Para ello realizó 3 tratamientos, los cuales son T1 a base de *Moringa oleifera*, T2 a base de *Aloe barbadensis* y T3 que consta el uso de la *Moringa oleifera* y el *Aloe barbadensis*, empleó tres dosis de coagulantes (500 mg/l, 800 mg/l y 1000 mg/l). Obtuvo como resultado una efectividad de remoción de fósforo del 85.9 %, la reducción de la conductividad eléctrica de 684 us/cm a 89.72 us/cm con el T3 (*Moringa oleifera* y el *Aloe barbadensis*) y la turbidez de 96.2 NTU a 7.75 NTU con el T3 (*Moringa oleifera* y el *Aloe barbadensis*). De manera que demostró la efectividad para la remediación de aguas contaminadas con fósforo Total del tipo residual doméstico.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Aguas residuales: son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Coagulación: Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía (Andia, 2000).

Floculación: la floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad (Andia, 2000).

Coagulantes naturales: se ha descubierto que los extractos naturales derivados de semillas, hojas, cortezas de árboles y raíces forman coágulos o flóculos cuando es utilizado en el proceso de clarificación del tratamiento de aguas residuales. Además, tienen demostradas ventajas sobre los tradicionales; como ser de bajo costo, tener un poder antimicrobiano y la capacidad de trabajar en bajas concentraciones (López León, Matias Cervantes, Matías Pérez, & García Montalvo, 2017).

Test de jarra: Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes

dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes (Andia Cárdenas, 2000).

Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)$: es una sal solida de color blanco, que por sus propiedades fisicas y quimicas se utiliza como agente coagulante y floculante primario en tratamiento de aguas de consumo humano y aguas residuales. Se caracteriza por agrupar los solidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, contribuyendo a la disminución de la caraga bacteriana, asi como la remoción del color y sabor (EcuRed, 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE DESARROLLO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA

3.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL

El presente trabajo se desarrolló en el laboratorio de química de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur que está comprendido en el distrito de Villa el Salvador, provincia de Lima, departamento de Lima.

Se tomó la muestra de agua residual, del río Lurín ubicado según las coordenadas UTM 293985.00 m este y 8644891 m al norte. El periodo de ejecución del trabajo de investigación, fue de 6 meses aproximadamente.

3.2 DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Las aguas del río Lurín vienen siendo contaminadas a lo largo de su recorrido, principalmente por residuos sólidos, desmontes e incluso aguas de desagüe clandestino de distritos vecinos. Por estas irregularidades de contaminación del agua del río Lurín, el problema más grave se dan en las épocas de estiaje que inicia entre los meses de setiembre y noviembre, donde los contaminantes se concentran y se degradan, propagando la proliferación de mosquitos, zancudos; así como la generación malos olores (Pachacamac, 2007).

Otro de los problemas relacionados a la contaminación del río Lurín es la agricultura, debido a que estos están ubicados a lo largo del río y que son afectados por la filtración del agua contaminada a sus cultivos, que son absorbidos por las plantas que producen alimentos para la población (Pachacamac, 2007).

Según la ANA (2014), la calidad del agua del río Lurín son de naturaleza básica a lo largo de la cuenca, presentando valores de pH que exceden los ECA-Agua Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales", fluctúan en el rango de 8.10 y 9.03 en noviembre de 2013 y en rango de 8.24 y 8.86 en febrero de 2014. Asimismo, en la cuenca del río Lurín, entre Cieneguilla y Manchay Bajo presentaron valores de los parámetros microbiológicos tales como *Coliformes termotolerantes* y *E. coli* que exceden los ECA-Agua Categoría 3, asociado, a las descargas de origen doméstico.

En cuanto a lo anterior, podemos mencionar que las aguas del río Lurin esta siendo afectada, tanto en la calidad y sus propiedades fisico químicas y biológicas.

3.3 MODELO DE SOLUCIÓN PROPUESTO

Considerando el contexto descrito anteriormente, se valora la idea de la utilización de coagulantes de origen natural para el tratamiento de aguas residuales. Es por ello que se evaluó las siguientes variables tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Variable dependiente e independiente

Variable Dependiente	Calidad de agua residual
Variable Independiente	Dosis de semilla de moringa (<i>Moringa oleífera</i>), goma de tara (<i>Caesalpinia spinosa</i>) y Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)$ como control.

El procedimiento se realizó con el apoyo del equipo de prueba de jarras para una mejor evaluación de los coagulantes, como se muestra en la siguiente Figura 4.

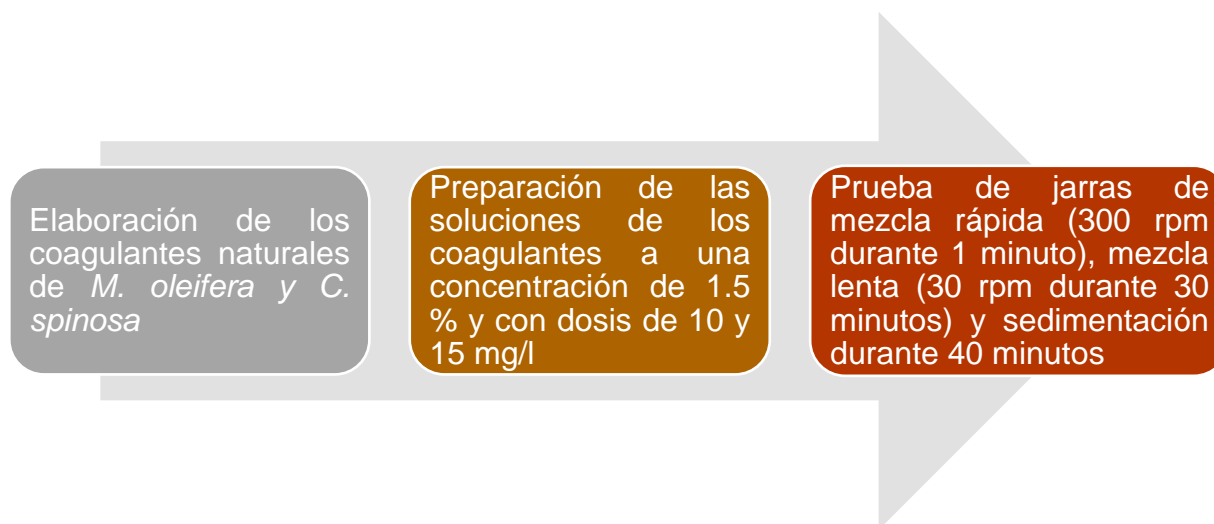


Figura 4. Procedimiento para el tratamiento de las aguas del río Lurín con los coagulantes naturales.

3.3.1 MATERIALES

Materiales del laboratorio

- Vasos de precipitación
- Pipetas
- Probetas
- Embudo
- Papel filtro
- Recipientes de plástico
- Otros (guantes quirúrgicos, guardapolvo, trapo y mascarilla)

Equipos y reactivos

- Equipo de prueba de jarras
- Turbidímetro
- Termómetro
- pH-metro
- Equipo Soxhlet
- Estufa 40 °C
- Licuadora doméstica
- Balanza Analítica
- Alcohol etílico a 96°
- Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)$
- Cloruro de Sodio NaCl

Insumos

- Agua destilada
- Semillas de moringa y tara

3.3.2 PROCEDIMIENTO

3.3.2.1 Preparación del coagulante a base de semilla de Moringa

- Se colectaron semillas de moringa.
- Las semillas se pelaron con ayuda de un pequeño cuchillo, como se muestra en la Figura 5.

- Luego de tener las semillas peladas, después de ello se pasó a molerlas en una licuadora doméstica y se procedió a tamizar.



Figura 5. *Descascarado de la semilla de moringa.*

- Una vez tamizada la muestra se llevó al laboratorio de química para pesar en una balanza analítica marca Sartorius con serie TE2142; se pesó en dos partes, cada una con 10 gramos para cada equipo Soxhlet como se muestra en la siguiente Figura 6.



Figura 6. *Pesado de la muestra de moringa para la colocación en el equipo Soxhlet.*

- Se eliminó parcialmente el aceite de las semillas de moringa; mediante el equipo Soxhlet, con 250 ml de alcohol etílico a 96° (Figura 7). Este proceso se realizó durante 6 horas aproximadamente.



Figura 7. *Eliminación parcial del aceite de las semillas de moringa.*

- Finalmente, la muestra fue llevada a la estufa a una temperatura de 98 °C por un tiempo de 1 hora, para la eliminación de residuos de etanol y el secado de la semilla.

3.3.2.2 Preparación del coagulante a base de la semilla de Tara

- Se recolectó las vainas de tara de los campos del distrito de Chalhuanca, luego se procedió a desenvainar las semillas (Figura 8) de la tara para ponerlos a remojar.



Figura 8. *Desvainado de la semilla de la tara.*

- Se remojó las semillas durante dos días aproximadamente, luego se separó con un cuchillo el endospermo de la cáscara y el gérmen como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. *Separación de endospermo de la cáscara y el gérmen.*

- Una vez separado el endospermo separado se procedió a secar, moler y tamizar.
- Finalmente se conservó el coagulante en un lugar seco para ser utilizado en las pruebas de jarras.

3.3.3 Muestreo de agua residual

Se tomó la muestra de agua residual del cauce del río Lurín con las coordenadas 12.251432 Este y 76.893838 al norte, como se muestra en la Figura 10.

Se realizó la toma de muestra de agua siguiendo el Protocolo Nacional Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de agua Superficial (ANA, 2011). Para la ejecución del muestreo se siguió los siguientes pasos:

- Primeramente, se reconoció el entorno al cuerpo natural del agua y se tomó las coordenadas de ubicación del punto de muestreo. Para tomar la muestra y para la medición in situ se realizó con la indumentaria y EPPs adecuada como guantes descartables, lentes, cubre bocas, etc.
- En segundo lugar, se realizó el acondicionamiento del envase a utilizar en el muestreo para su preservación, etiquetado y transporte. La muestra de agua recolectada fue de 15 litros aproximadamente en un envase PET de 5 galones y colocadas en un cooler de capacidad de 60 litros.
- Seguidamente se realizó la medición de parámetros de campo in situ, para ello se llevó los equipos de turbidímetro y pHmetro calibrados. Luego de la medición se procedió a lavar los equipos con agua destilada y guardar.
- Finalizada la toma de muestra se transportó al laboratorio de química de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, para su preservación.

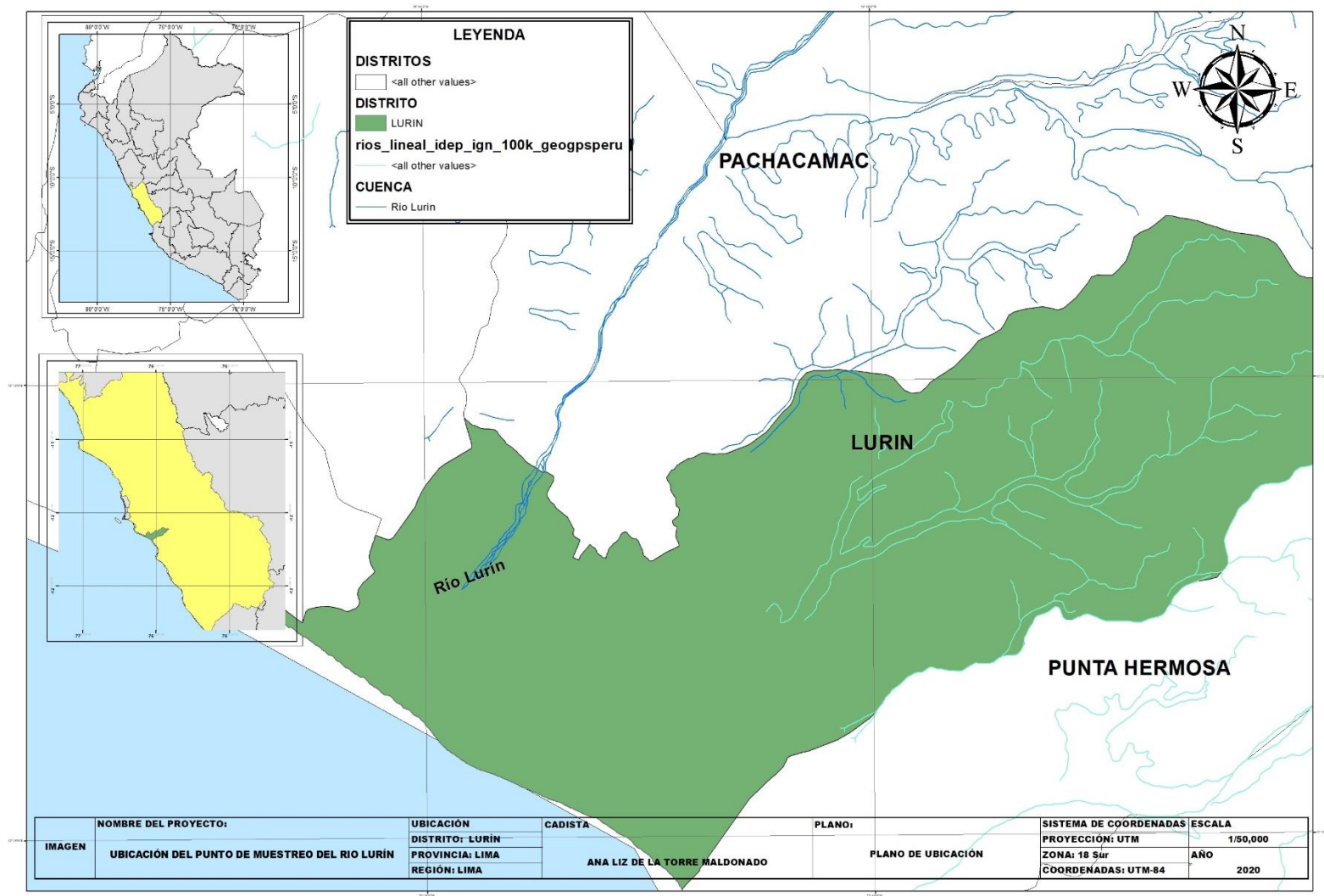


Figura 10. Plano de ubicación de la toma de muestra (ArcGIS 10.5).

En la toma de muestra se observó que que el agua está en épocas de estiaje con un nivel bajo de caudal como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. *Toma de muestra de agua del río Lurín*

3.3.4 Test de jarras

Se empleó el test de jarras para evaluar el efecto de remoción de los coagulantes, en los procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales del río Lurín.

Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

- Se midió el agua residual con una probeta de 1000ml y trasvasó a las 6 jarras.
- Seguidamente se tomó los datos de los parámetros del agua como turbidez, pH y temperatura.
- Luego, según Arenas (2019), se adicionó los coagulantes a una concentración de 1.5 %, con dosis de 10 mg/l y 15 mg/l como se muestra en la Figura 12 y Tabla 7.

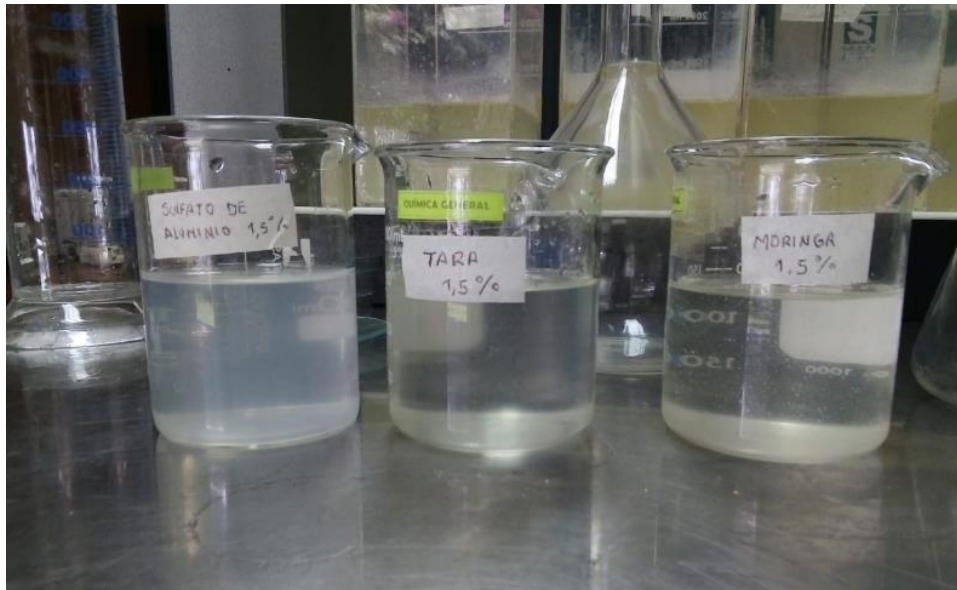


Figura 12. Preparación de coagulantes a una concentración de 1.5 %.

Tabla 7

Pruebas de jarras con cada coagulante.

Coagulante	Dosis
<i>Moringa oleífera</i>	10 mg/L
	15 mg/L
<i>Caesalpinia spinosa</i>	10 mg/L
	15 mg/L
Sulfato de Aluminio (Al₂(SO₄))	10 mg/L
	15 mg/L

Nota: Se considera al coagulante químico de sulfato de aluminio como un coagulante control.

Finalmente, se programó el equipo del test de jarras, para homogenizar mediante la mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación (Tabla 8).

Tabla 8

Parámetros del test de jarras

Parámetro	Valor	Tiempo
Mezcla rápida	300 rpm	1 minuto
Mezcla lenta	30 rpm	30 minutos
Sedimentación	0 rpm	40 minutos

3.3.5 Evaluación de parámetros de la muestra de agua

A. Turbidez

La turbidez de la muestra de agua residual se midió con un turbidímetro marca HACH modelo 2100 (Figura 13 y Anexo 1); La medición de turbidez se realizó antes de la dosificación y después de la aplicación del test de jarras, con la finalidad de no alterar los parámetros físico-químicos de la muestra de agua y los resultados de los mismos.



Figura 13. Medición de la turbidez de la muestra de agua del río Lurín.

B. pH

Se realizó las mediciones de pH se realizó con el pH-metro marca HACH modelo HQ40d (Anexo 2), al igual que la turbidez se realizó antes de la dosificación y después de la aplicación de test de jarras, este proceso se llevó a cabo con un pH-metro marca HQ40d (Figura 14).



Figura 14. *Medición del pH de la muestra de agua del río Lurín.*

C. Temperatura

La temperatura es otro de los parámetros que se evaluó utilizando un termómetro del laboratorio de química, marca MICRO-TEMP, al igual que los otros parámetros, se midió antes de la dosificación y después de la aplicación del test de jarras (Figura 15).

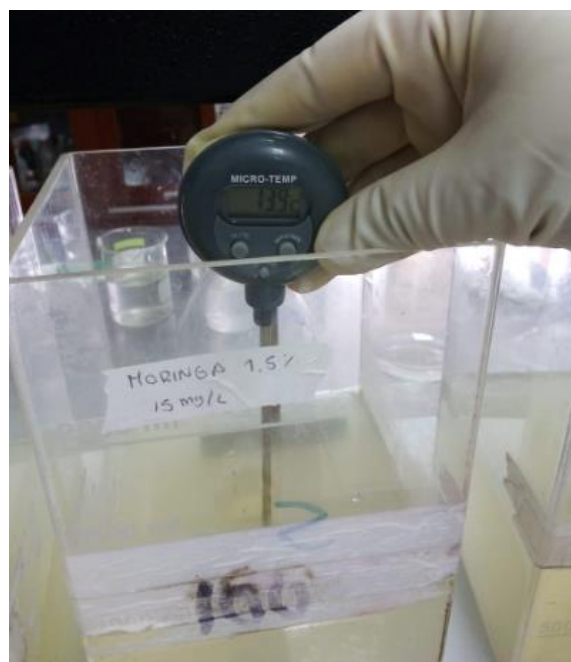


Figura 15. *Medición de la temperatura de la muestra de agua del río Lurín.*

En la siguiente Tabla 9 podemos observar el número de repeticiones que se realizó con la prueba de jarras, del mismo modo la concentración y dosis de los coagulantes.

Tabla 9

Concentración y dosificación de los coagulantes naturales (incluido el coagulante control $Al_2(SO_4)_3$.

Número de Pruebas	Concentración	Coagulante	Dosis (mg/l)
Primera Prueba	1.5 %	Moringa	10
		Moringa	15
	1.5 %	Tara	10
		Tara	15
	1.5 %	$Al_2(SO_4)_3$	10
		$Al_2(SO_4)_3$	15
Segunda Prueba	1.5 %	Moringa	10
		Moringa	15
	1.5 %	Tara	10
		Tara	15
	1.5 %	$Al_2(SO_4)_3$	10
		$Al_2(SO_4)_3$	15
Tercera Prueba	1.5 %	Moringa	10
		Moringa	15
	1.5 %	Tara	10
		Tara	15
	1.5 %	$Al_2(SO_4)_3$	10
		$Al_2(SO_4)_3$	15

3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los análisis físicos, datos y gráficos se presentaron con el software de Minitab 19, con la finalidad de demostrar la comparación de la efectividad de los coagulantes naturales teniendo en consideración el coagulante control (Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$).

3.4.1 Turbidez

Se muestra en la Tabla 10, los resultados obtenidos en las tres repeticiones utilizando los coagulantes naturales de *M. oleífera* y *C. spinosa* y teniendo como coagulante control el coagulante de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

Tabla 10

Resultados de la turbidez en las pruebas de jarras.

Número de Pruebas	Coagulante	Dosis (mg/l)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	% de Remoción
Primera Prueba	Moringa	10	78.8	63.8	19.04%
	Moringa	15	79.1	62.9	20.48%
	Tara	10	78.4	63.6	18.88%
	Tara	15	76.6	62.3	18.67%
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	80.6	60.9	24.44%
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	80.9	61.9	23.49%
Segunda Prueba	Moringa	10	78	63.7	18.33%
	Moringa	15	79.6	64.2	19.35%
	Tara	10	78.7	63	19.95%
	Tara	15	76.1	59.7	21.55%
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	79.4	62.8	20.91%
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	77.1	60.4	21.66%
Tercera Prueba	Moringa	10	78.4	62.8	19.90%
	Moringa	15	80.4	63.8	20.65%
	Tara	10	79.1	62.2	21.37%
	Tara	15	76.7	61.3	20.08%
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	76.8	60.8	20.83%
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	76.2	60.4	20.73%

En la primera prueba de jarras se observó que el coagulante de Moringa tuvo mayor efectividad, removiendo un 20.48 % con una variación de 79.1 NTU a 62.9 NTU con una dosis de 15 mg/l, sin embargo el coagulante de Tara tuvo una menor efectividad removiendo un 18.67 % con una variación de 76.6 a 62.3 con una dosis de 15 mg/l, como se muestra en la Figuras 16 y 17.

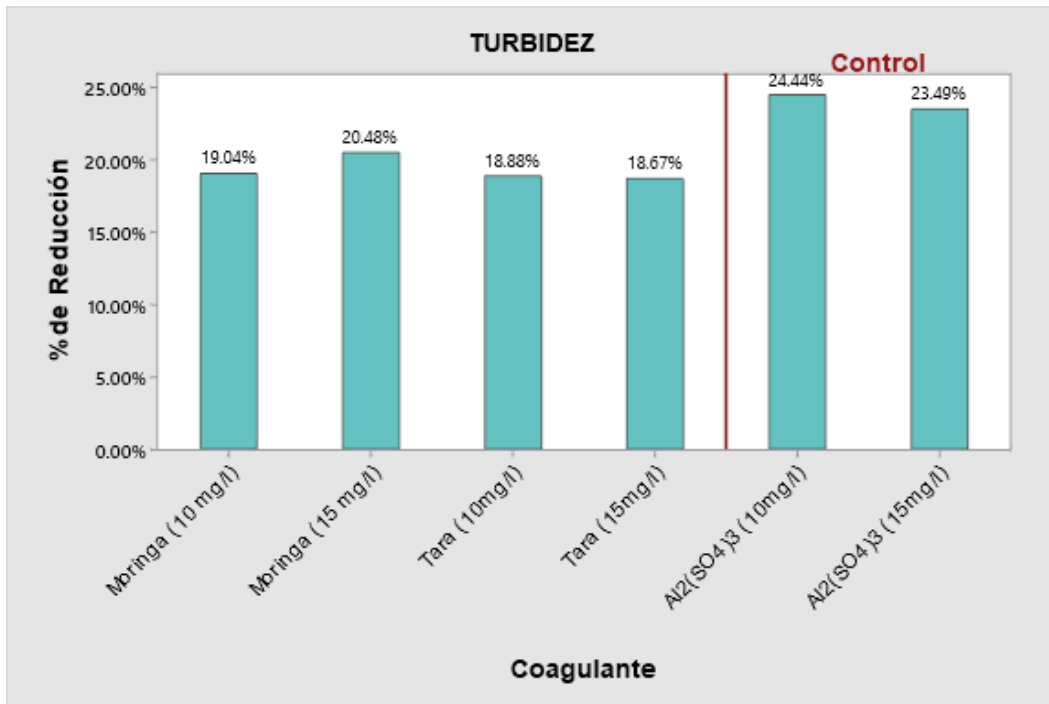


Figura 16. Porcentaje de reducción de turbidez en la primera prueba de jarras.

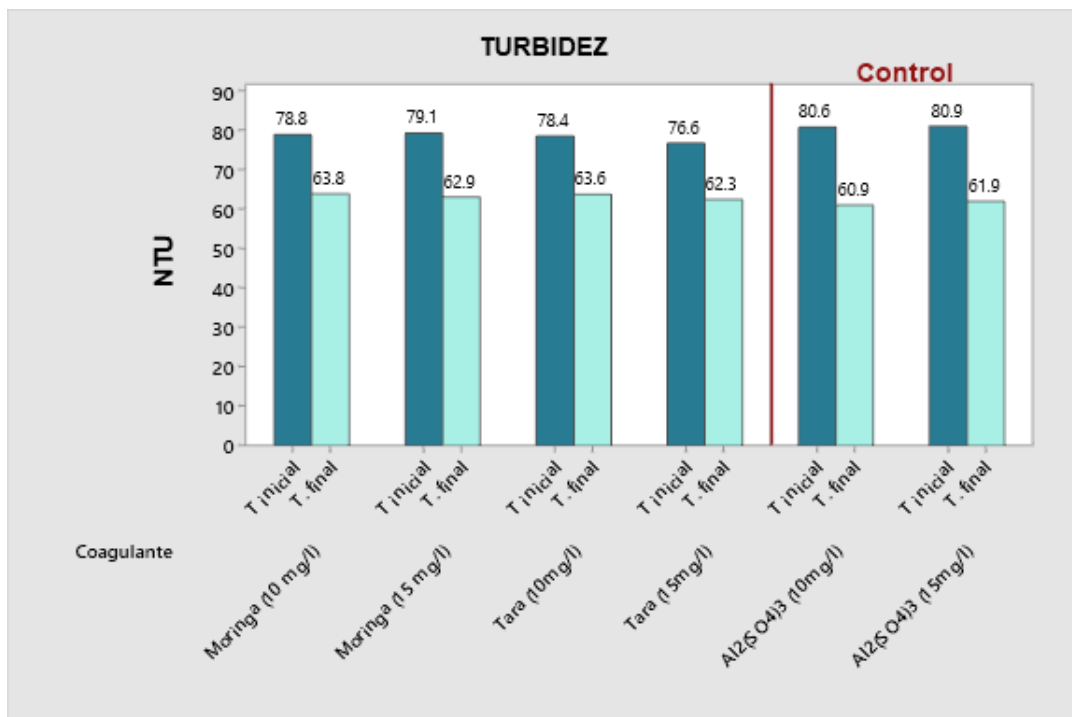


Figura 17. Variación de la turbidez en la primera prueba de jarras.

En la primera prueba de jarras se observó que el coagulante de Tara tuvo mayor efectividad, removiendo un 21.55 % con una variación de 76.1 NTU a 59.7 NTU con una dosis de 15 mg/l, sin embargo el coagulante de Moringa tuvo una menor

efectividad removiendo un 18.33 % con una variación de 78.0 a 63.7 con una dosis de 10 mg/l, como se muestra en la Figuras 18 y 19.

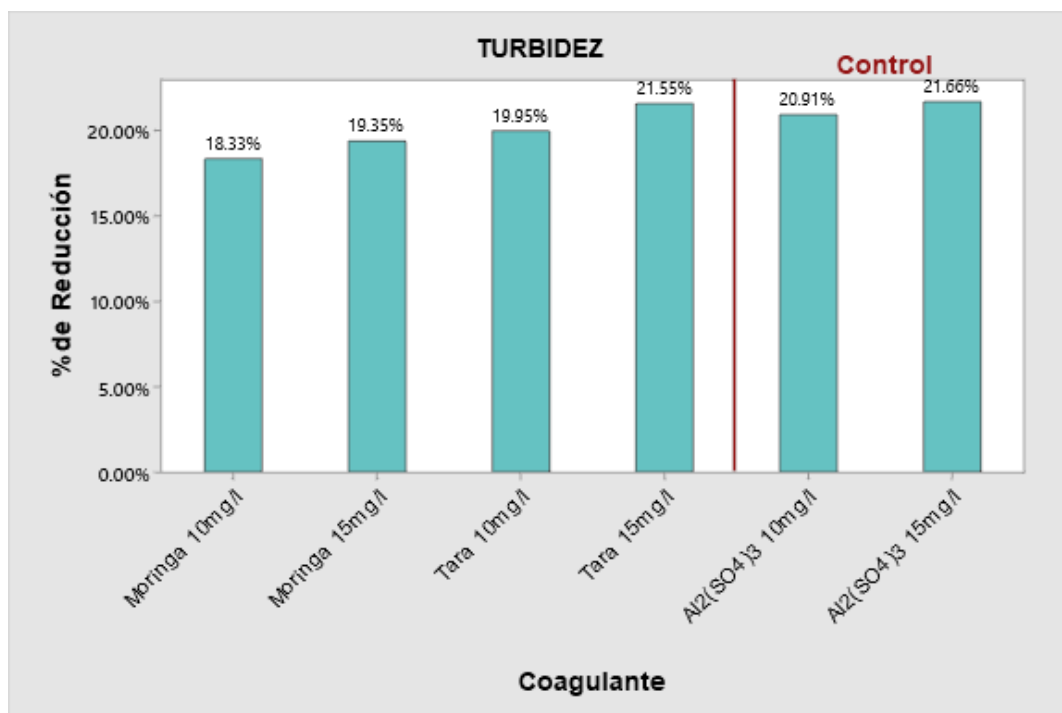


Figura 18. Porcentaje de reducción de turbidez en la segunda prueba de jarras.

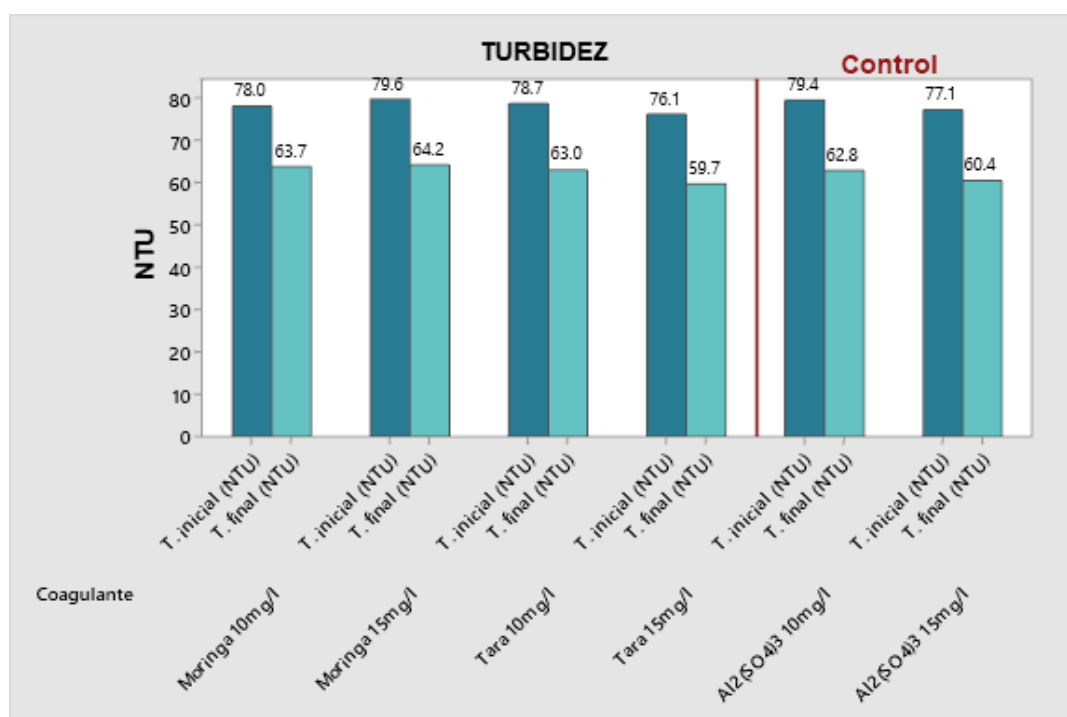


Figura 19. Variación de turbidez en la segunda prueba de jarras.

En la tercera prueba se observa que se obtuvo mayor reducción de turbidez con el coagulante de Tara con un porcentaje de 21.37 % de reducción, con una

variación de 79.1 NTU a 62.2 NTU con una dosis óptima de 10 mg/l, sin embargo el coagulante de Moringa tuvo una menor efectividad removiendo solo un 19.90 % con una variación de 78.4 a 62.8 con una dosis de 10 mg/l, como se muestra en la Figuras 20 y 21.

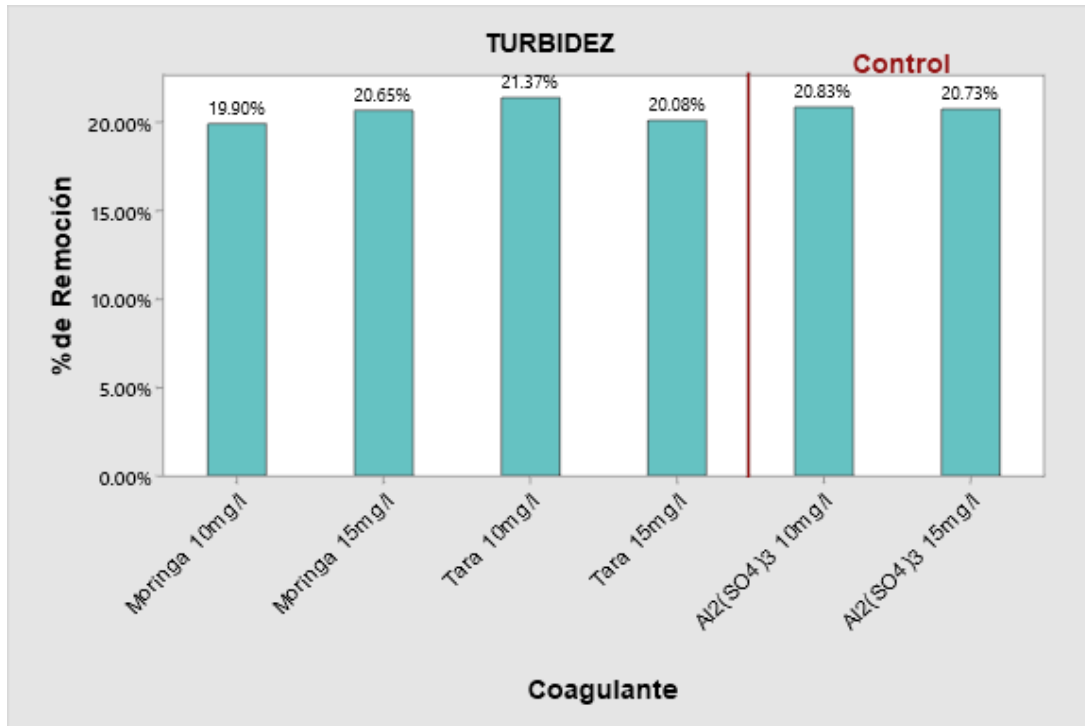


Figura 20. Porcentaje de reducción de turbidez en la tercera prueba de jarras.

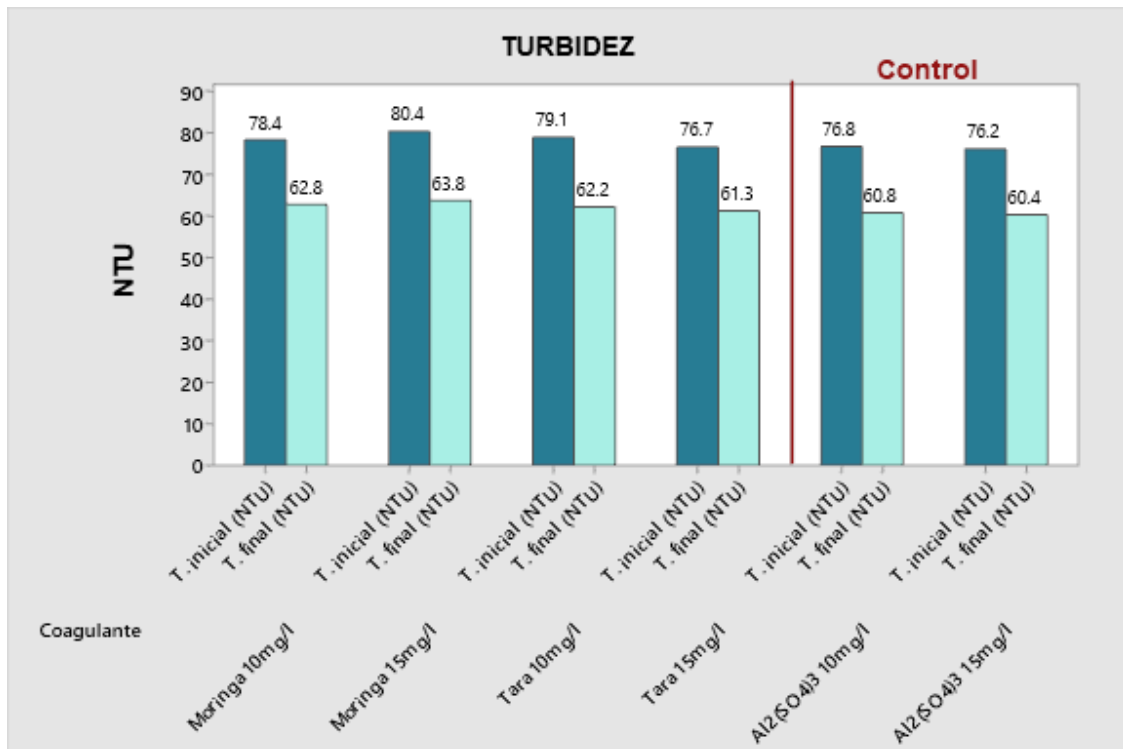


Figura 21. Variación de turbidez en la tercera prueba de jarras.

3.4.2 pH

De la misma forma se muestra en la Tabla 11 los resultados obtenidos durante el proceso de coagulación y floculación durante las tres pruebas de jarras utilizando los coagulantes de Moringa y Tara; y el sulfato de aluminio como coagulante control.

Tabla 11

Resultados de la pH en las pruebas de jarras.

Número de Pruebas	Coagulante	Dosis (mg/l)	pH inicial	pH final
Primera Prueba	Moringa	10	7.80	7.99
	Moringa	15	7.88	8.10
	Tara	10	7.95	8.20
	Tara	15	7.94	8.18
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	7.95	8.08
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	7.97	8.13
Segunda Prueba	Moringa	10	7.70	8.06
	Moringa	15	7.79	8.05
	Tara	10	7.92	8.11
	Tara	15	8.02	8.12
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	7.90	8.07
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	7.94	8.08
Tercera Prueba	Moringa	10	7.95	8.20
	Moringa	15	7.93	8.06
	Tara	10	7.94	8.16
	Tara	15	7.93	8.18
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	7.92	8.13
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	7.94	8.14

En los resultados de la primera prueba de jarras, observamos que el Potencial de Hidrógeno (pH) tuvo menores variaciones de pH con el coagulante de Moringa con variación de 7.80 a 7.99 y con una dosis de 10 mg/l, sin embargo el coagulante de Tara tuvo una mayor variación de 7.94 a 8.18 con dosis de 15 mg/l, así se muestra en la Figura 22.

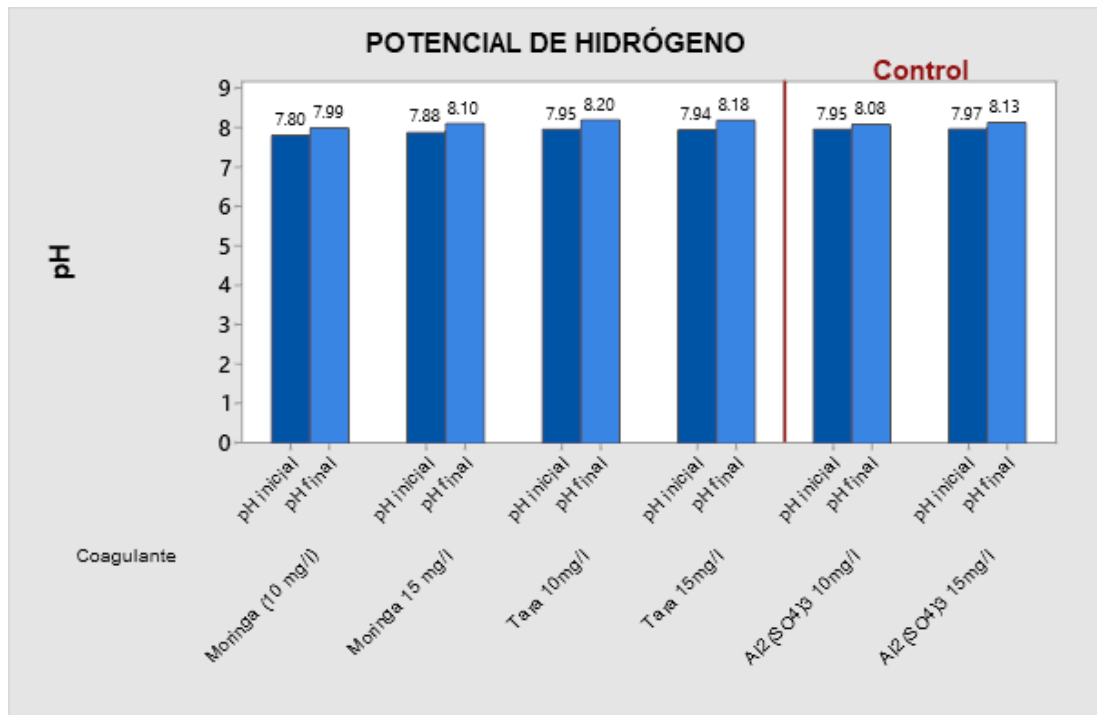


Figura 22. Variación del pH en la primera prueba de jarras.

En la segunda prueba de jarras, observamos que el Potencial de Hidrógeno (pH) tuvo menores variaciones de pH con el coagulante de Tara con variación de 8.02 a 8.12 con una dosis de 15 mg/l, sin embargo el coagulante de Moringa tuvo una mayor variación de 7.70 a 8.06 con una dosis de 10 mg/l, así se muestra en las Figura 23.

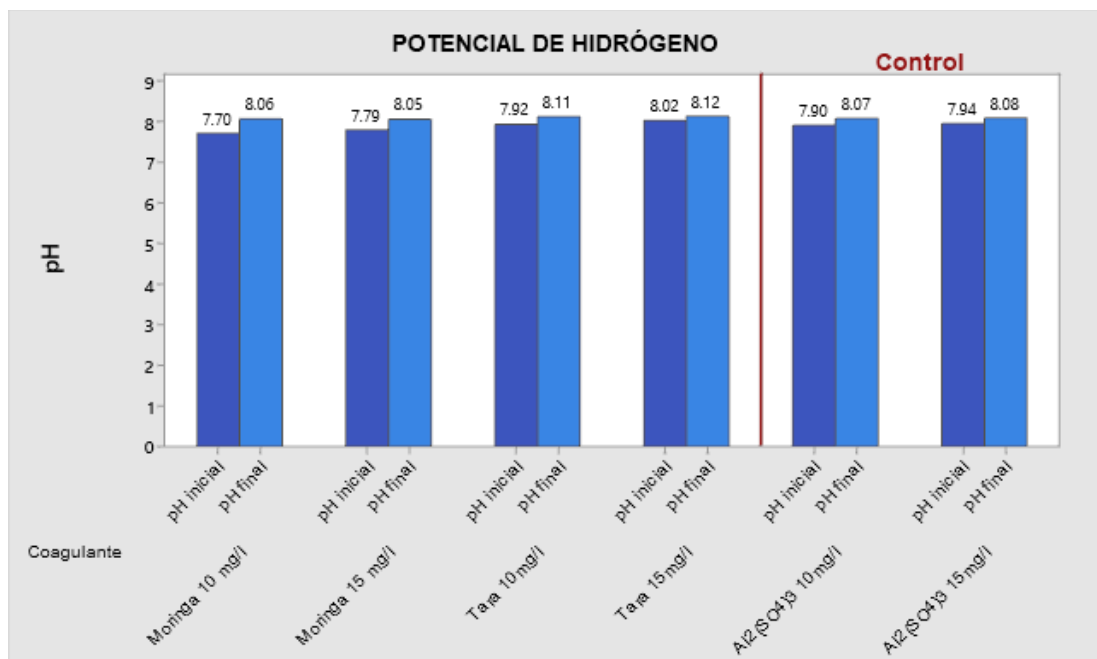


Figura 23. Variación del pH para la segunda prueba de jarras.

En la tercera prueba de jarras, observamos que el Potencial de Hidrógeno (pH) tuvo menores variaciones de pH con el coagulante de Moringa con variación de 7.93 a 8.06 con una dosis de 15 mg/l, sin embargo el coagulante de Tara tuvo una mayor variación de 7.93 a 8.18 con una dosis de 15 mg/l, así se muestra en la Figura 24.

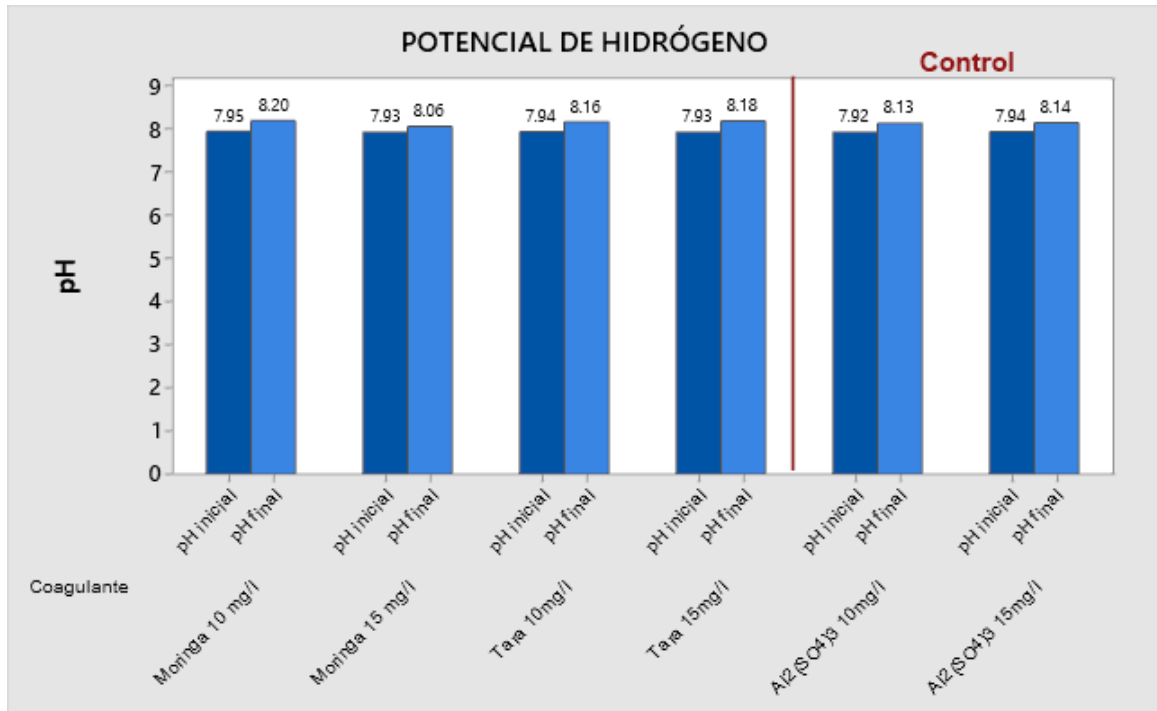


Figura 24. Variación del pH para la tercera prueba de jarras.

3.4.3 Temperatura

En la evaluación de la temperatura se muestra ciertas variaciones durante el proceso coagulación y floculación, como se muestra en la Tabla 12

Tabla 12

Resultados de la temperatura en las pruebas de jarras.

Número de Pruebas	Coagulante	Dosis (mg/l)	Temperatura inicial (°C)	temperatura final (°C)
Primera Prueba	Moringa	10	17.90	18.40
	Moringa	15	17.80	18.30
	Tara	10	17.85	18.30
	Tara	15	18.00	18.30
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	18.10	18.30
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	18.30	18.30
Segunda Prueba	Moringa	10	18.30	18.70
	Moringa	15	18.30	18.60
	Tara	10	18.50	18.60
	Tara	15	18.40	18.70
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	18.40	18.70
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	18.30	18.70
Tercera Prueba	Moringa	10	19.40	19.80
	Moringa	15	19.30	19.70
	Tara	10	19.40	19.70
	Tara	15	19.40	19.60
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	19.30	19.70
	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	19.40	19.60

En la primera prueba de jarras, se tuvo menores variaciones de temperatura con el coagulante de Tara con una variación de 18.0 °C a 18.3 °C, sin embargo se observa que no hay variación con el coagulante de Moringa tuvo mayor variación de temperatura de 17.9 °C a 18.4 °C y 17.8 °C a 18.3 °C, así se muestra en la Figura 25.

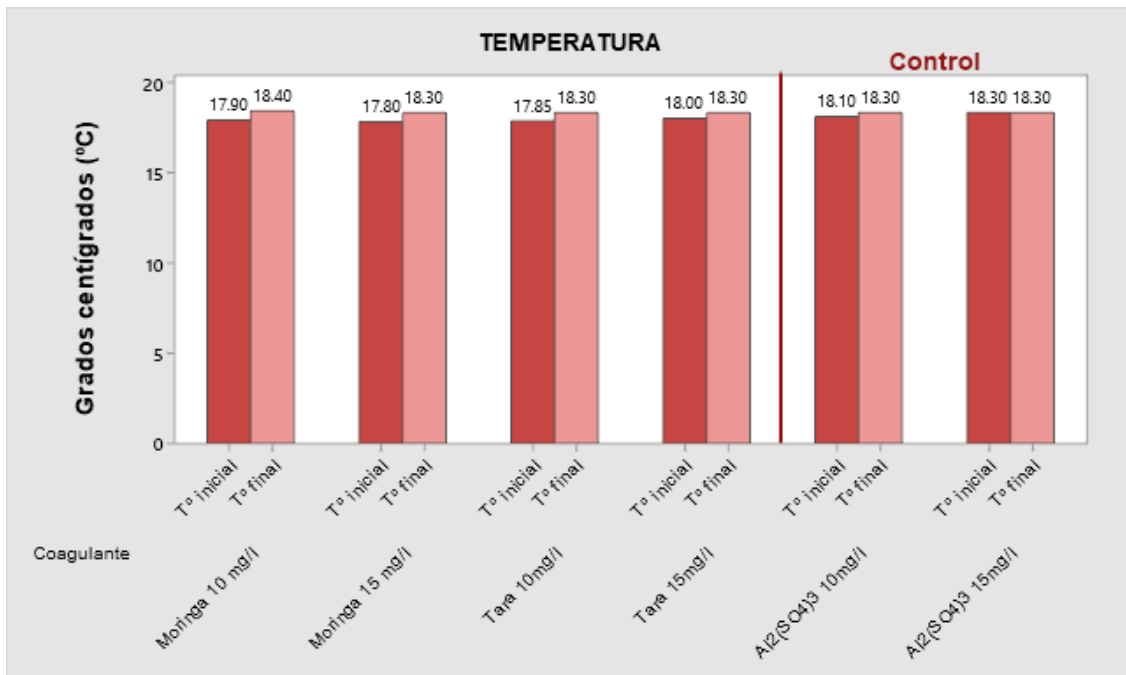


Figura 25. Variación del temperatura en la primera prueba de jarras.

En la segunda prueba de jarras, se tuvo menores variaciones de temperatura con el coagulante de Tara con una variación de 18.5 °C a 18.6 °C, sin embargo se observa que tuvo mayor variación el coagulante de Moringa de 18.3 °C a 18.7 °C, así se muestra en la Figura 26.

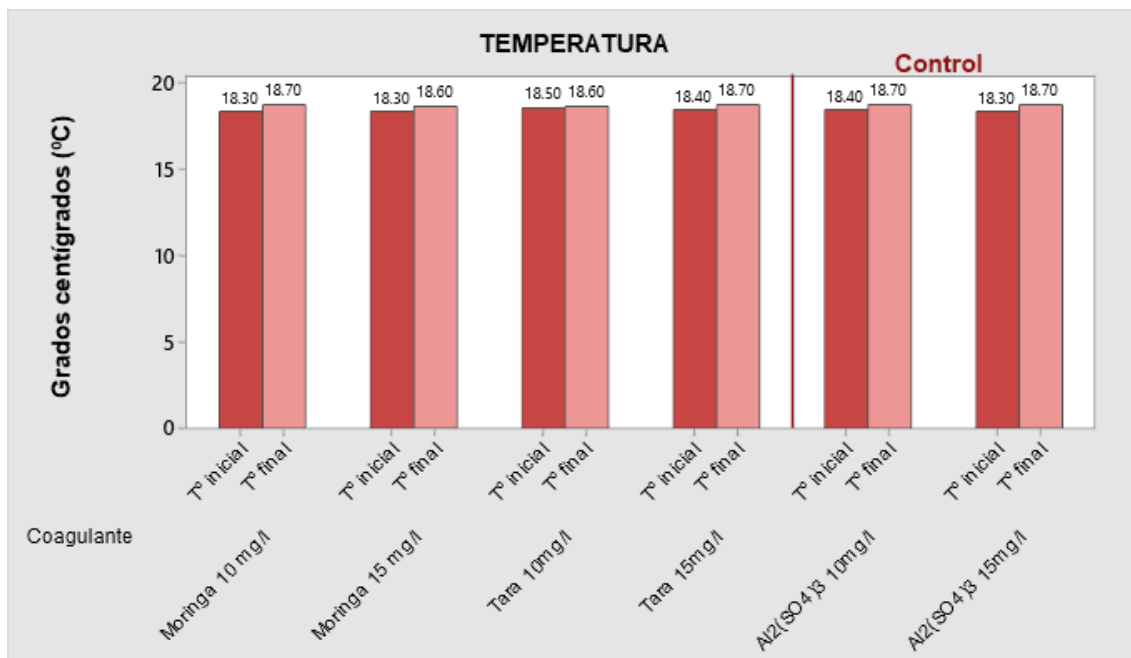


Figura 26. Variación del temperatura en la segunda prueba de jarras.

En la tercera prueba de jarras, también se tuvo menores variaciones de temperatura con la aplicación del coagulante de Tara con una variación de 19.4 °C a 19.6 °C, sin embargo se observa que no hay variación con el coagulante de Moringa tuvo mayor variación de temperatura de 19.4 °C a 19.8 °C (Figura 27).

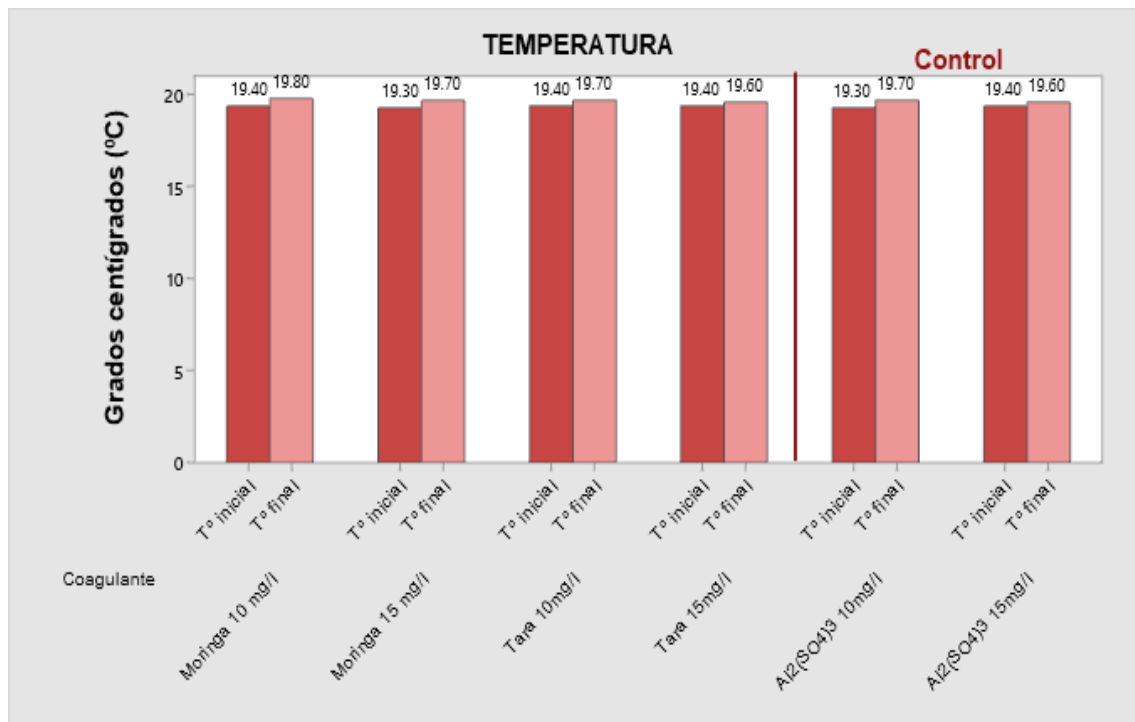


Figura 27. Variación del temperatura en la tercera prueba de jarras.

Los resultados promedios alcanzados con los dos coagulantes (*M. oleifera* y *C. spinosa*) se dieron de la siguiente manera:

- El porcentaje de reducción de la turbidez con el coagulante Moringa fue de 20.16 % con una variación de turbidez de 79.7 NTU a 63.63 NTU con dosis de 15 mg/l; a diferencia de Arenas (2019), que removi6 un 5 % (casi 1 UNT) de turbidez; por lo que deducimos que nuestros resultados fueron mejores al del autor mencionado.
- Y con el coagulante de Tara se obtuvo un porcentaje de reducci6n de 20.10 % con una variaci6n de turbidez de 76.47 NTU a 61.10 NTU con dosis de 15 mg/l a diferencia de Montenegro Valdivia (2019), que obtuvo un mejor resultado en turbidez con 97.19 % con una concentraci6n de 0.01 g/ml; de manera que se optaria por una dosis mayor de coagulante de Tara.

- Según Lozano Rivas & Lozano Bravo (2015), la turbidez esta causada por sustancias y material no soluble en suspensión tales como: arcilla, sedimentos, partículas orgánicas coloidales, placton y microorganismos; de tal forma que los parámetros de temperatura y el pH influye en la estimulación y desarrollo de estos microorganismos.

De acuerdo a los resultados expuestos se deduce que la Moringa es más efectivo que el coagulante de Tara, como se muestra en las siguiente Tabla 13 y en las Figuras 28 y 29.

Tabla 13

Resultados promedios de turbidez.

Coagulante	Dosis (mg/l)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	% de Remoción
Moringa	10	78.40	63.43	19.09%
Moringa	15	79.70	63.63	20.16%
Tara	10	78.73	62.93	20.07%
Tara	15	76.47	61.10	20.10%
Al₂(SO₄)₃	10	78.93	61.50	22.09%
Al₂(SO₄)₃	15	78.07	60.90	21.99%

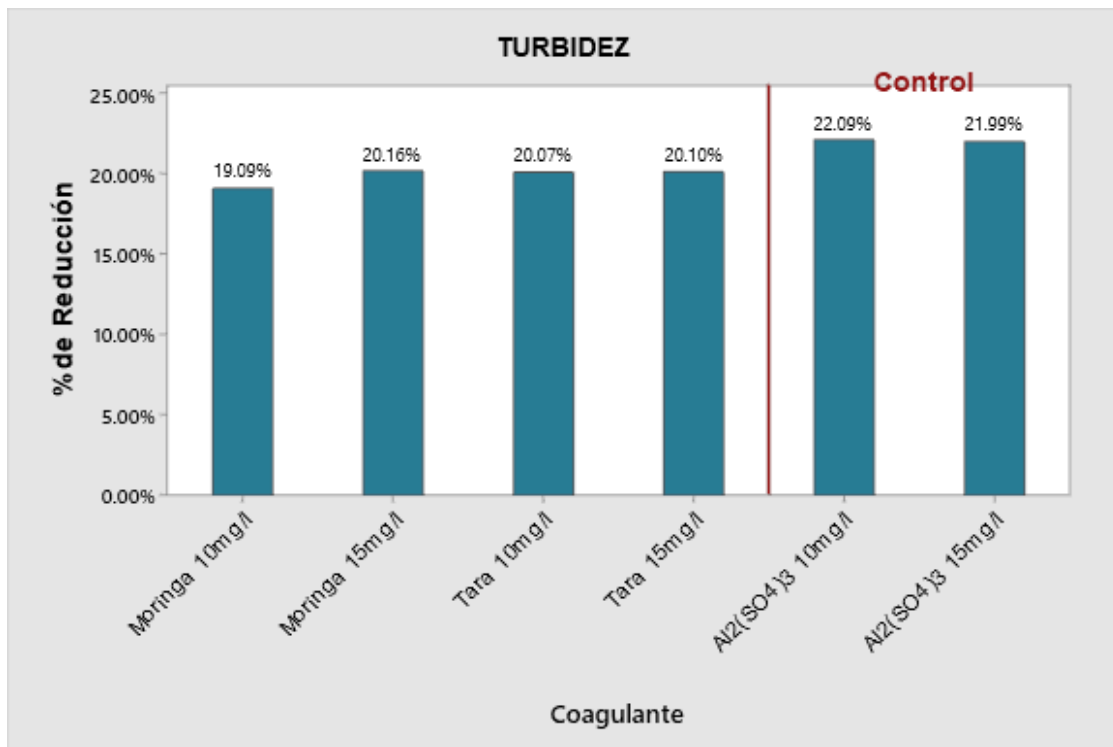


Figura 28. Porcentaje de reducción de la turbidez de manera general.

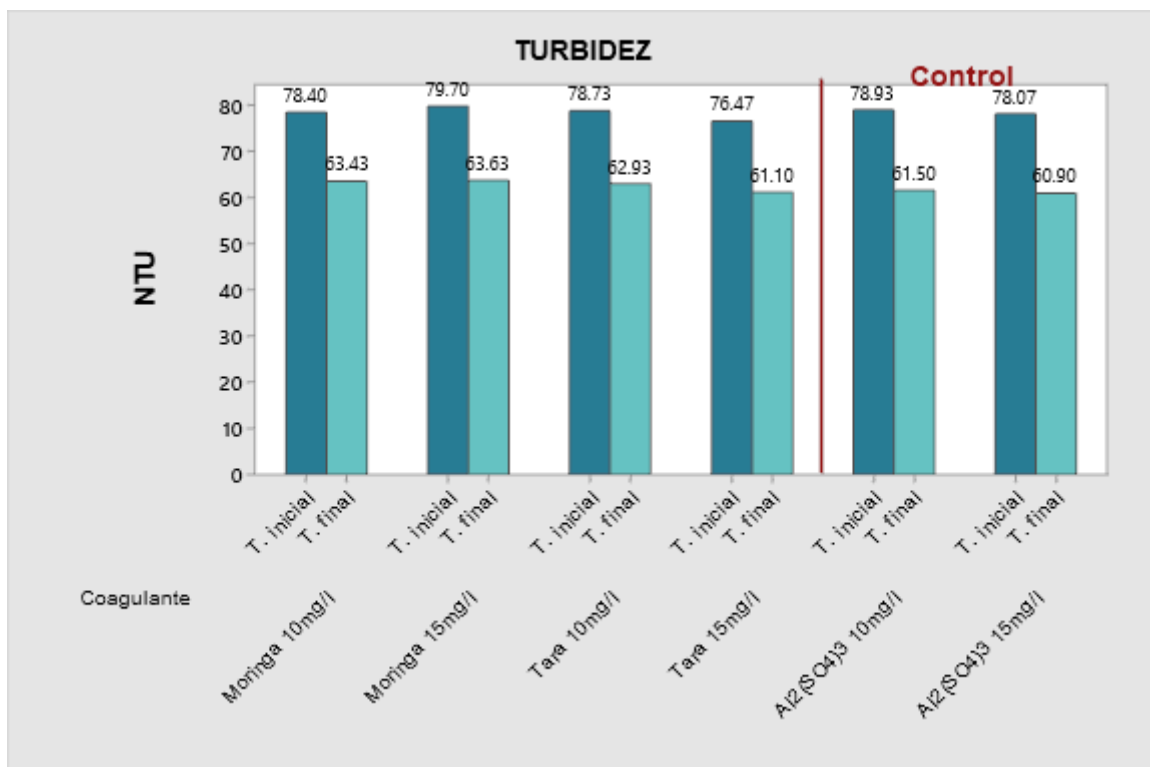


Figura 29. Variación la turbidez de manera general.

En la variación del pH promedio, se generó en menor proporción con el coagulante Moringa con una variación de 7.87 a 8.07 de pH y el coagulante de

Tara con una variación de 7.96 a 8.16 de pH, ambos con dosis de 15 mg/l como se muestra en la Tabla 14 y en la Figura 30.

Tabla 14

Resultados promedios de Potencial de hidrógeno.

Coagulante	Dosis (mg/l)	pH inicial	pH final
Moringa	10	7.82	8.08
Moringa	15	7.87	8.07
Tara	10	7.94	8.16
Tara	15	7.96	8.16
Al ₂ (SO ₄) ₃	10	7.92	8.09
Al ₂ (SO ₄) ₃	15	7.95	8.12

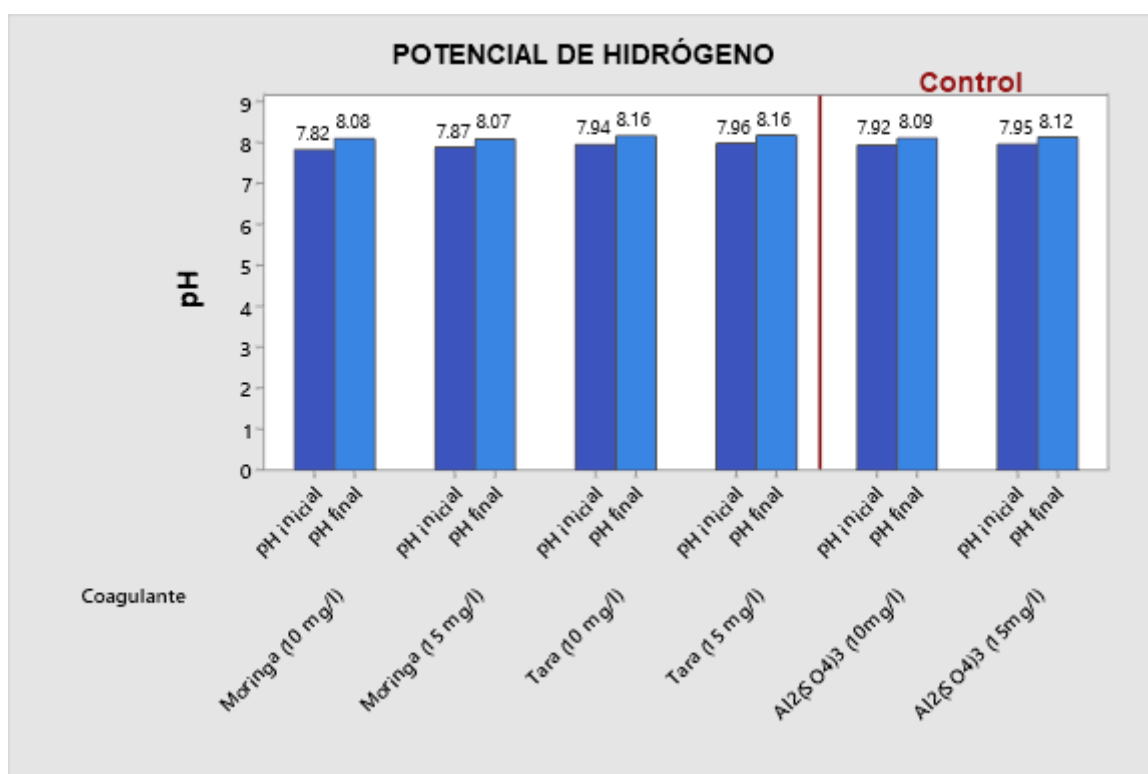


Figura 30. Promedio de variación del pH.

En cuanto a la variación de temperatura promedio; se dio una mayor variación con el coagulante de semilla de Moringa que varía de 18.50 °C a 18.92 °C. Sin embargo, con el coagulante de semilla de Tara la variación fue de 18.59 °C a 18.87 °C, como se indica en la Tabla 15 y en la Figura 31.

Tabla 15

Resultados promedios de temperatura.

Coagulante	Dosis (mg/l)	Temperatura inicial	Temperatura final
Moringa	10	18.53	18.97
Moringa	15	18.47	18.87
Tara	10	18.58	18.87
Tara	15	18.60	18.87
Al ₂ (SO ₄) ₃	10	18.60	18.90
Al ₂ (SO ₄) ₃	15	18.67	18.87

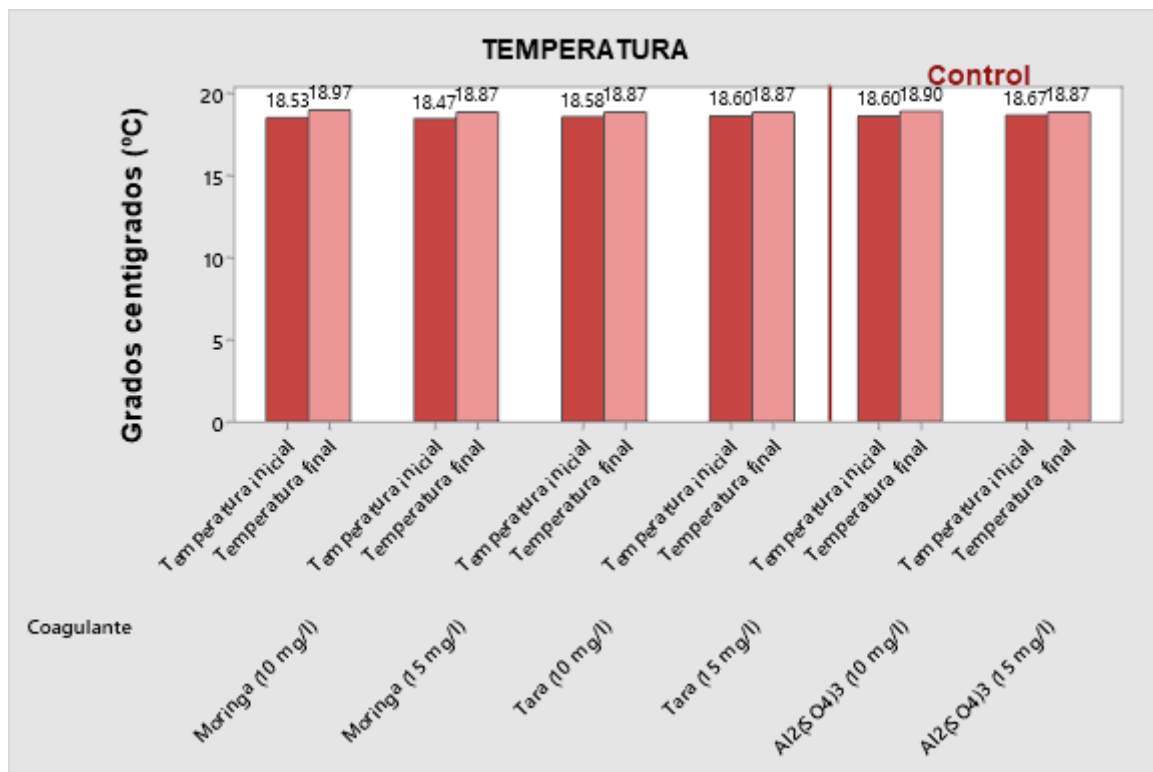


Figura 31. Promedio de variación de la temperatura.

El análisis estadístico comparativo de la eficiencia de los coagulantes de *Moringa oleifera* y *Casalpinia spinosa* se muestra en la siguiente Figura 32.

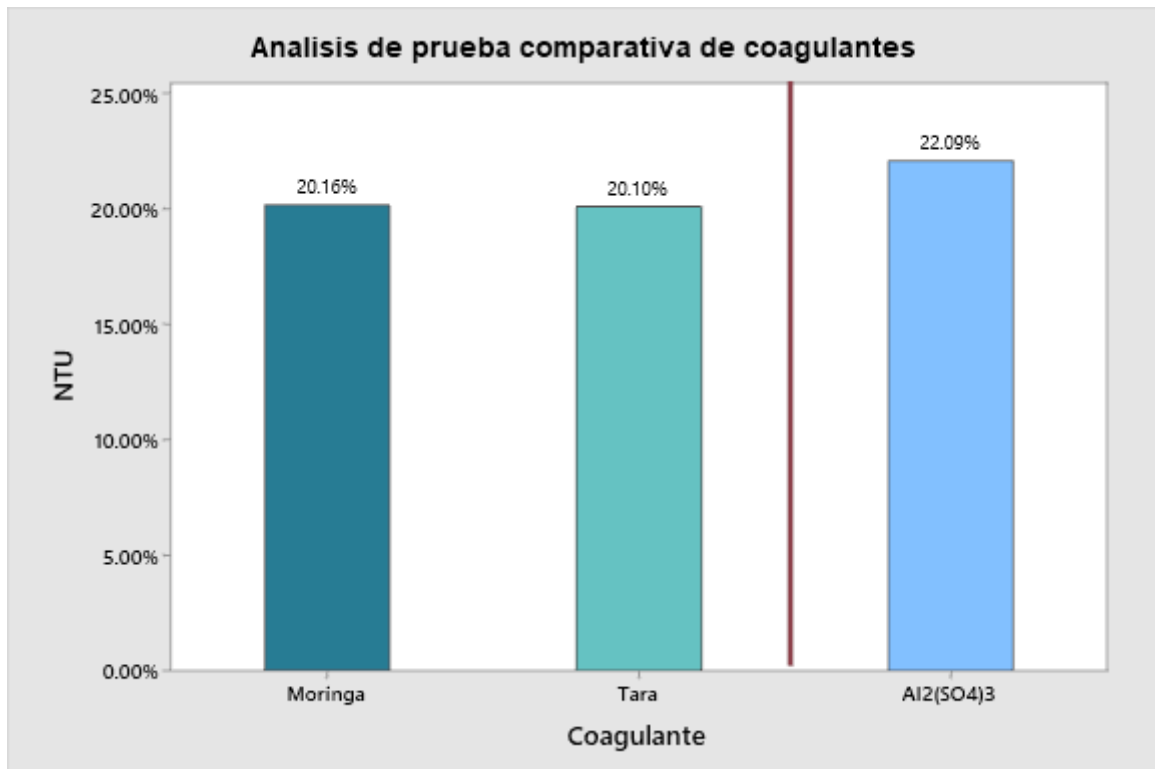


Figura 32. Prueba comparativa de coagulantes naturales.

CONCLUSIONES

- La semilla de *M. oleífera* tuvo una mejor efectividad en el tratamiento de aguas residuales del río Lurín, considerándose así el coagulante más efectivo respecto a los parámetros evaluados. Esta efectividad es debido a los aminoácidos polares hidrófilos presentes en la semilla de moringa que forman cadenas polipeptídicas solubles, que permiten el contacto con las partículas coloidales (Navarro, 2015).
- La *M. oleífera* tuvo una reducción de turbidez con un porcentaje de 20.16 % con una dosis óptima de 15 mg/l, con variación de turbidez de 79.70 NTU a 63.63 NTU. Sin embargo, la semilla de *C. spinosa* obtuvo un porcentaje de reducción de 20.10 % con una dosis de 15 mg/l y con una variación de turbidez de 76.47 NTU a 61.10 NTU.
- Las dosis óptimas de los coagulantes naturales fueron de 15 mg/l para la semilla de *M. oleífera* y 15 mg/l para la semilla de *C. spinosa*.
- Se generó menor variación de pH con ambos coagulantes naturales (*M. oleífera* y *C. spinosa*) con variaciones de 7.87 a 8.07 y 7.96 a 8.16 respectivamente. Así mismo estas variaciones se dieron con dosis de 15 mg/l. En relación a la temperatura, la semilla de *C. spinosa* generó una menor variación de 18.6 °C a 18.87 °C con dosis de 15 mg/l; una mayor variación de temperatura se dio con la semilla de *M. oleífera* de 18.53 °C a 18.97 °C.

RECOMENDACIONES

- Para una mayor efectividad del coagulante de *M. oleífera* en el proceso de coagulación-floculación se debe tener en cuenta, la eliminación total de los aceites de las semillas de moringa.
- En cuanto a los resultados se recomienda realizar pruebas con mayores dosis de coagulante para una mejor disminución en porcentaje de turbidez puesto que a mayor dosis, mayor es el porcentaje reducción de turbidez.
- Los resultados demostrados en este trabajo de investigación pueden generar un aporte en la utilización de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales, ya generan buenos resultados además de ser beneficiosos con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- Ambiente-MINAM, M. d. (2017). Estandar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias DS 004-2017-MINAM. Lima: El Peruano.
- ANA. (2011). Protocolo Nacional de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial. Dirección de la Autoridad Nacional de Agua, 12-13.
- ANA. (2014). Segundo Monitoreo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca del Río Lurín-Lima. Lima: Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos.
- Andia Cárdenas , Y. (2000). Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación. SEDAPAL: Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, 39.
- Andia Cárdenas , Y. (2000). Tratamiento de Aguas Coagulación y Floculación. SEDAPAL: Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, 30-31.
- Andia Cárdenas, Y. (2000). Tratamiento de Agua Coagulación y floculación. SEDAPAL: Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, 9-11.
- Arenas Diaz, E. M. (2019). Efecto de la remoción del aceite de las semillas de moringa oleífera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Universidad Nacional Agraria la Molina, 49-52.
- Cabrera Rivas, I. (2019). Formulación de una mezcla constituida por semillas de moringa (*Moringa oleífera*) y sulfato de aluminio, para ser usada en el proceso de coagulación - floculación en el tratamiento de agua residual. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Carlos, L. V., Germán , B. M., Héctor, G., & Francisco, C. C. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Reino Unido: IWA Publishing.
- Carrizales Condori, R., & Enríquez Nateros, N. (2019). Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleífera* en la clarificación del agua de la quebrada de Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Chacon Ramos, I., & Ramos Zabala, C. (2019). Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla. Lima: Universidad Peruana Unión.

- Charapaqui Anccasi, J. (2019). Dosificación de Coagulantes y Floculantes para la Remoción de Sedimentos del agua en el Embalse Cuchoquesera, Ayacucho. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- De la Cruz Lapa, P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la tara *Caesalpinia spinosa* - *Caesalpinia tinctoria*. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 65.
- De la Sota Terrel, G. (2019). Uso de las semillas de *Moringa oleífera* Lam. como coagulante. Lima: Universidad Científica del Sur.
- Díaz Fernández, J. M. (2018). Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas. Casarrubuelos, Madrid: Paraninfo, S.A.
- Dorea, C. (2006). Use of *Moringa* ssp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option. *Water Science* 6 No 1, 219-227.
- Fernández Alba, A. R., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., & Sanz García, J. (2006). Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales. Alcála, Madrid: CEIM.
- García H. (1992). Flora Medicinal de Colombia, Tomo I. Colombia: Tercer Mundo Editores.
- Gonzales Aragon, G. (2019). Evaluación y Optimización de las variables en el proceso de extracción de goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) y su aplicación en la planificación. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Guanilo Iñigo, A. (2019). Uso del *Aloe barbadensis* y *Moringa oleifera* como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones de laboratorio Ninabamba - Cajamarca, 2019. Lima: Universidad César Vallejo.
- Hidalgo del Castillo, W., & Cayao Villanueva, P. (2019). Eficiencia de la *Moringa oleifera* para el tratamiento de agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales. Morales, San Martín: Universidad Peruana Unión.
- Lopez Garcia, J. (2016). España Patente nº -.
- López García, J. (2016). *Moringa oleifera* Lam: Biología, Botánica, Propiedades Nutricionales y Medicinales. Universidad de Sevilla. Facultad de Farmacia, 23.

- López León, S., Matias Cervantes , C., Matías Pérez, D., & García Montalvo, I. (2017). Vegetable Coagulants as alternative for treatment of Wastewater in Mexico. *Journal of negative & No positive Results*, 3.
- López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., García, H., & Cervantes Carrillo, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. Reino Unido: IWA Publishing.
- López, R. (06 de Mayo de 2019). *El Comercio*. Obtenido de *El Comercio*: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/basura-desaguees-clandestinos-abundan-recorrido-llamado-rio-surco-noticia-632668-noticia/?ref=ecr>
- Lozano Rivas, W., & Lozano Bravo, G. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogota, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Martinez Delgadillo, S. (1999). *Parámetros de diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales*. México: UNIDAD AZCAPOTZALCO.
- Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales tratamiento, vertido y reutilización*. España: Impresos y revistas S.A. (IMPRESA).
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2008). *Manual Técnico de Difusión Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en Zonas Rurales*. Lima, Perú: Ministerio de Comercio Exterior y Turismo.
- Montenegro Valdivia, J. (2019). *Comparación de la eficiencia del mucílago de Opuntia ficus-indica y goma de Caesalpinia spinosa en la mejora de la calidad de agua residual de camal*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Narváez, A., Calvo, A., & Troya, A. M. (2009). *Las poblaciones naturales de la tara (Caesalpinia spinosa) en el Ecuador: una aproximación al conocimiento de la diversidad genética y el contenido de taninos a través de estudios moleculares y bioquímicos*. Serie de investigación y Sistematización No. 7. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION, 39.
- Navarro Garrido, P. (2015). *Moringa Oleífera Un aliado en la lucha contra la desnutrición*. Acción contra el Hambre, 8.
- Noyola, A., Morgan, J. M., & Guereca, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- O`Melia, C. R. (1969). The ccoagulation process: theoretical concepts useful in design. New York: Report submitted to the American Society of Civil Engineers.
- Olson ME, C. (2001). Correlaciones Anatómicas del tallo y la raíz con diversidad, ecología y sistemática en Moringa (Moringaceae). Bot J Linn Soc., 315-348.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalizacion Ambiental en Aguas Residuales. OEFA, 5.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). La fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. La fiscalización Ambiental en Aguas Residuales, 7.
- Pachacamac. (2007). Distrito de Pachacamac: Acuerdo marco de cooperación interinstitucional para la iniciativa de la mesa de trabajo del agua de la cuenca del Río Lurín y Sur de Lima. Mesa de trabajo del agua del Río Lurín, sn.
- Pérez Huachaca, W., & Torres Quispe, W. (2019). Optimización de Parámetros en la purificación del agua a base de biopolímeros orgánicos de goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) y Moringa (*Moringa oleifera*). Lima: Universidad Peruana Unión .
- Renault, F., Sancey, Badot, P., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes-an eco-friendly approach. Eur Polym, 1337-1348.
- Rigola Lapeña, M. (1990). Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso y residuales. España, Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Romero Norabuena, E. L. (2018). Calculo de la relación de pH, concentración y nivel cantidad de especie *Caesalpinia spinosa* para remover turbiedad en el periodo de avenidas para el rio Paria Huaraz-Ancash-2016. Universidad Nacional santiago Antunez de Mayolo. Facultad de ciencias del ambiente, 1-169.
- Romero Rojas, J. A. (2010). Tratamiento de Aguas Residuales teoria y principios de diseño. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Singh , D., Gesare, J., & Kaur, H. (2013). Bioprospecting of Moringa (*Moringaceae*): Microbiological perspective. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 193-215.

Terrones Vega, A. (2019). Dosis Óptima de la goma de *Caesalpinia spinosa* para la mejora de la calidad del agua del Río Chancay - Lambayeque. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.

UNOPS. (2015). Lucha contra la escasez de agua en el Perú. Perú: Noticias e Historias.

ANEXOS

Anexo 1: Certificado de calibración de turbidímetro



Certificado de Calibración LMG - 161 - 2019

Pág. 1 de 2

N° DE EXP.	E19112718	<p><i>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura de aproximadamente k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95% de confianza. Los resultados reportados son válidos sólo para el objeto calibrado y corresponden a las condiciones y momento en que se realizó la calibración y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de productos. Al solicitante y/o usuario le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de</i></p> <p style="text-align: center;">Observaciones</p> <p>(*) Rango de indicación según el manual del fabricante. (**) Resolución observada durante la calibración. El equipo posee múltiples resoluciones, según el manual del fabricante.</p>	
SOLICITANTE	INSTITUTO DE EDUCACION AMBIENTAL S.A.C.		
DIRECCION	Cal. Pacifico Mza. 29 Lote 9 A.H. Nuevo Lurin, Lurin - Lima - Lima.		
TIPO DE EQUIPO	TURBIDÍMETRO PORTÁTIL DIGITAL		
MARCA	HACH		
MODELO	2100Q		
NUMERO DE SERIE	14070C034047		
ALCANCE DE INDICACIÓN	0 NTU a 1000 NTU (*)		
RESOLUCIÓN	0,01 N; 0,1 N; 1NTU (**)		
PROCEDENCIA	China		
IDENTIFICACION	No indica		
FECHA DE CALIBRACIÓN	2019-11-29		
SELLO	FECHA DE EMISIÓN	GERENTE TÉCNICO	GERENTE DE OPERACIONES
	2019-12-02		
		Alexander Alza Zamudio	Wilmer Mena Chavez

Jr. Antonio Cabo N°896. Urb. El Trébol - Los Olivos / servicios@gesmin.pe, metrologia@gesmin.pe / www.gesmin.pe / Teléfono: 6254205

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Metrología de GESMIN S.R.L (Jr. Antonio Cabo N° 596, Los Olivos - Lima).

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Determinación del error del Turbidímetro, por comparación entre el valor medido por el instrumento y el valor proporcionado por materiales de referencia

MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO (MRC) EMPLEADO

Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a patrones internacionales. Se utilizó material de referencia certificado.

Trazabilidad	Patrón utilizado	N° de Lote / N° de catalogo
MR de Hach Company	Material de referencia 0,05 NTU	A8274 / 2684701
MR de Hach Company	Material de referencia 20 NTU	A8275 / 2684801
MR de Hach Company	Material de referencia 100,9 NTU	A8274 / 2684901
MR de Hach Company	Material de referencia 809,7 NTU	A8274 / 2660501

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

	INICIAL	FINAL
Temperatura (°C)	24,1	24,1
Humedad Relativa (%HR)	65,2	65,8

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Indicación (NTU)	Valor de referencia (NTU)	Error (NTU)	INCERTIDUMBRE (NTU)
0,12	0,05	0,07	0,06
19,8	20,0	-0,2	1,2
98,4	100,9	-2,5	5,8
798	809,7	-11,7	46,2

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Anexo 2: Certificado de calibración de pH-metro.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 018



CERTIFICADO DE CALIBRACION		LAB. FÍSICO QUÍMICA			
LFQ - 162 - 2019		Pág 1 de 2			
EXPEDIENTE	E19122740	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura de aproximadamente $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95% de confianza. Los resultados reportados son válidos sólo para el objeto calibrado y corresponden a las condiciones y momento en que se realizó la calibración y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de productos. Al solicitante y/o usuario le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición. Nuestros certificados de calibración sin firmas y sello del carecen de toda validez alguna.</p> <p>Observaciones:</p> <p>(*) Alcance y resolución para el parámetro de pH. El equipo posee múltiples parámetros, según manual del fabricante.</p>			
SOLICITANTE	INSTITUTO DE EDUCACION AMBIENTAL				
DIRECCIÓN	S.A.C. Cal.Pacifico Mza. 29 Lote 9 A.H. Nuevo Lurin, Lurin - Lima - Lima.				
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	MEDIDOR MULTIPARÁMETRO				
INFORMACIÓN DE INDICADOR					
MARCA	HACH				
MODELO	HQ40d				
NUMERO DE SERIE	150400018463				
INTERVALO DE INDICACIONES	0,00 pH a 14,00 pH (*)				
RESOLUCIÓN	0,01 pH (*)				
INFORMACIÓN DE ELECTRODO					
MARCA	HACH				
MODELO	PHC101				
NUMERO DE SERIE	131682581018				
PROCEDENCIA	USA				
UBICACIÓN	No indica				
FECHA DE CALIBRACIÓN	2019-12-03				
TEMP. DE REFERENCIA	25 °C				
SELO	FECHA DE EMISIÓN			GERENTE TÉCNICO	GERENTE DE OPERACIONES
	2019-12-05				
		Alexander Alza Zamudio	Wilmer Mena Chávez		

CERTIFICADO DE CALIBRACION LFQ - 162 - 2019

LAB. FÍSICO QUÍMICA

Pág. 2 de 2

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Físico Química (Jr. Antonio Cabo N° 596, Los Olivos)

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Comparación directa con Material de Referencia Certificado (MRC), según PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH"; Segunda Edición - Junio del 2017; INACAL-DM

PATRONES DE REFERENCIA

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Análisis
Material de referencia: NIST- EEUU	MRC de pH 4,011 con valor de incertidumbre 0,011 unidades de pH (25 °C)	CONTROL COMPANY , Certificado N° 4287-10265947
Material de referencia: NIST- EEUU	MRC de pH 6,997 con valor de incertidumbre 0,011 unidades de pH (25 °C)	CONTROL COMPANY , Certificado N° 4288-10453247
Material de referencia: NIST- EEUU	MRC de pH 10,016 con valor de incertidumbre 0,011 unidades de pH (25 °C)	CONTROL COMPANY , Certificado N° 4289-10023731

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrón de referencia del INACAL-DM	Termómetro digital con un valor de incertidumbre igual a 0,032 °C (en 25 °C)	INACAL-DM , Certificado N° LT-251-2019

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

	Minima	Máxima
Temperatura (°C)	26,5	26,8
Humedad Relativa (%HR)	63,2	63,4

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN ANTES DEL AJUSTE (AS FOUND DATA)

Indicación del pHmetro (pH)	Valor de referencia (pH)	Error de indicación (pH)	Incertidumbre (pH)
3,95	4,01	-0,06	0,02
7,00	7,00	0,00	0,02
9,79	10,02	-0,23	0,02

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

	Minima	Máxima
Temperatura (°C)	26,7	27,0
Humedad Relativa (%HR)	64,0	66,2

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DESPUES DEL AJUSTE (AS LEFT DATA)

Indicación del pHmetro (pH)	Valor de referencia (pH)	Error de indicación (pH)	Incertidumbre (pH)
3,94	4,01	-0,07	0,02
7,05	7,00	0,05	0,02
9,98	10,02	-0,04	0,02

Notas

- La medición fue realizada en un medio isoterma a una temperatura de 25 °C
- Longitud de inmersión: 2 cm

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN