

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

EFECTO EN LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL
RÍO SAMA, POR TRATAMIENTO CON SEMILLA
DE MORINGA (*Moringa oleifera* Lam.)

DE TACNA - 2018

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. MARCIAL ALFREDO CASTILLO COHAILA

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA - PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

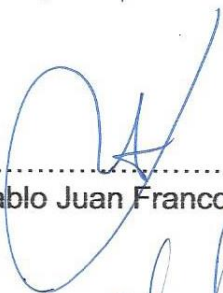
**EFFECTO EN LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL
RÍO SAMA, POR TRATAMIENTO CON SEMILLA
DE MORINGA (*Moringa oleifera* Lam.)
DE TACNA - 2018**

Tesis sustentada y aprobada el 22 de enero del 2020; estando el jurado calificador integrado por:


PRESIDENTE :


.....
Dra. Nelly Arévalo Solsol


SECRETARIO :


.....
Dr. Pablo Juan Franco León

MIEMBRO :


.....
Dr. Edgardo Oscar Avendaño Cáceres

ASESOR :


.....
Dr. Edgardo Oscar Avendaño Cáceres

DEDICATORIA

A mis padres, por su ejemplo.

A mis hijas, esposa y toda la familia.

AGRADECIMIENTO

A los docentes y personal administrativo de los laboratorios que me han apoyado en la investigación y en la realización de los análisis requeridos por la investigación.

A los docentes del doctorado en Ciencias Ambientales.

Al asesor de la tesis Dr. Edgardo Avendaño Cáceres.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
RESUMO	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1.1. Antecedentes del problema	2
1.1.2. Problemática de la investigación	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.1. Problema principal	5
1.2.2. Problemas secundarios	5
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	6
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	7
1.4.1. Alcances	7
1.4.2. Limitaciones	7
1.5. OBJETIVOS	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos	8
1.6. HIPÓTESIS	8
1.6.1. Hipótesis general	8
1.6.2. Hipótesis específicas	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	9
2.2. BASES TEÓRICAS	11
2.2.1. Moringa	11

2.2.2. Semilla de moringa	11
2.2.3. Agua	13
2.2.4. Proceso de clarificación del agua	18
2.2.4.1. Coagulación	19
2.2.4.2. Floculación	21
2.2.4.3. Sedimentación	22
2.2.5. Prueba de jarras	22
2.2.6. Coagulantes	23
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	26
2.3.1. Clarificación del agua	26
2.3.2. Agua cruda	26
2.3.3. Agua segura	26
2.3.4. Flóculo	26
2.3.5. Turbidez del agua	26
2.3.6. Calidad del agua	26
2.3.7. Color del agua	26
2.3.8. Color verdadero	27
2.3.9. Color aparente	27
2.3.10. Coagulación	27
2.3.11. Floculación	27
2.3.12. Sedimentación	27
2.3.13. Coagulación-floculación	27
2.3.14. Coloides	27
2.3.15. Turbidez	28
2.3.16. Índice de Willcomb	28
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	
3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1.1. Tipo de investigación	29
3.1.2. Diseño de investigación	29
3.1.3. Procedimiento de la investigación	33
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	38
3.2.1. Población	38

3.2.2. Muestra	38
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	39
3.3.1. Variable independiente	39
3.3.2. Variable dependiente	40
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	40
3.4.1. Objetivo específico 1: Determinar la dosis de semillas de moringa (<i>M. oleifera</i> Lam.) que reduce la turbidez del agua del río Sama.	40
3.4.2. Objetivo específico 2: Determinar la velocidad de floculación durante la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (<i>M. oleifera</i> Lam.).	43
3.4.3. Objetivo específico 3: Determinar el tiempo de floculación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (<i>M. oleifera</i> Lam.).	45
3.4.4. Objetivo específico 4: Determinar el tiempo de sedimentación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (<i>M. oleifera</i> Lam.).	47
3.4.5. Métodos utilizados	49
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	51
CAPÍTULO IV: MARCO FILOSÓFICO	
MARCO FILOSÓFICO	52
CAPÍTULO V; RESULTADOS	
5.1. COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE MORINGA	53
5.1.1. Composición física	53
5.1.2. Composición proximal	54
5.1.3. Turbidez de la solución de semillas de moringa	55
5.2. TURBIDEZ Y COLOR INICIAL DEL AGUA DEL RÍO SAMA	56
5.2.1. Para los diseños de experimentos factoriales	56
5.2.2. Para el diseño de bloques completos al azar	57
5.3. TURBIDEZ CON TRATAMIENTOS	57
5.4. COLOR CON TRATAMIENTOS	62
5.5. ÍNDICE DE WILLCOMB	66

5.6.	OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE SEMILLAS DE MORINGA (<i>M. oleifera</i> Lam.) DE TACNA QUE REDUCE LA TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO SAMA.	66
5.6.1.	Con el diseño de experimento factorial 2 ⁴	66
5.6.2.	Con el diseño de experimento factorial 2 ³	67
5.7.	OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN DURANTE LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SAMA, POR UTILIZACIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA (<i>M. Oleifera</i> Lam.).	68
5.7.1.	Con el diseño de experimento factorial 2 ⁴	68
5.7.2.	Con el diseño de experimento factorial 2 ³	69
5.8.	OBJETIVO ESPECÍFICO 3: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN NECESARIO PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SAMA, POR UTILIZACIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA (<i>M. Oleifera</i> Lam.).	70
5.8.1.	Con el diseño de experimento factorial 2 ⁴	70
5.8.2.	Con el diseño de experimento factorial 2 ³	71
5.9.	OBJETIVO ESPECÍFICO 4: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN NECESARIO PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SAMA, POR UTILIZACIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA (<i>M. oleifera</i> Lam.).	72
5.9.1.	Con el diseño de experimento factorial 2 ⁴	72
5.9.2.	Con el diseño de bloques completos al azar	73
5.9.3.	Determinación del tratamiento de sedimentación	75
5.10.	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ	76
5.11.	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL COLOR APARENTE	77
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN		
	DISCUSIÓN	79
	CONCLUSIONES	84
	RECOMENDACIONES	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición proximal de la semilla de moringa fresca	12
Tabla 2. Composición proximal de la semilla de moringa seca de 2 regiones de Pakistán	13
Tabla 3. Valores típicos de turbidez de varios líquidos	17
Tabla 4. Factores y niveles del diseño de experimento factorial 2^4 para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna	29
Tabla 5. Tratamientos del diseño de experimento factorial 2^4 para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna	30
Tabla 6. Factores y niveles del diseño de experimento factorial 2^3 para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna	31
Tabla 7. Tratamientos del diseño de experimento factorial 2^3 para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna	32
Tabla 8. Tratamientos del diseño experimental de bloques completos al azar de la investigación para el tiempo de sedimentación en la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna	33
Tabla 9. Composición física de las vainas y semillas de moringa procedentes de Tacna 2018	53
Tabla 10. Composición proximal de las semillas de moringa procedentes de Tacna 2018	54
Tabla 11. Turbidez de las soluciones de moringa procedentes de Tacna 2018 para el tratamiento del agua del río Sama	55

Tabla 12. Condiciones iniciales del agua del río Sama para tratamiento con harina de semillas de moringa en cada diseño de experimento factorial	56
Tabla 13. Condiciones iniciales del agua del río Sama utilizado para el diseño de bloques completos al azar al inicio del tratamiento con semillas de moringa	57
Tabla 14. Turbidez del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2^4	58
Tabla 15. Turbidez del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2^3	60
Tabla 16. Color (UPC) del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2^4	62
Tabla 17. Color (UPC) del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2^3	64
Tabla 18. Tiempo de formación de los flóculos según la turbidez del agua del río Sama tratada con semillas de moringa de Tacna	66
Tabla 19. Prueba de Tukey para la reducción de turbidez por tratamiento con semillas de moringa de Tacna durante la sedimentación del agua del río Sama	75
Tabla 20. Prueba de Tukey para la reducción del color por tratamiento con semillas de moringa de Tacna durante la sedimentación del agua del río Sama	76
Tabla 21. Porcentaje de reducción de turbidez de tres calidades de agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna	77
Tabla 22. Reducción de tres calidades de color del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna	78

Tabla 23. Turbiedad y color aparente del agua cruda del río Sama recolectada el 12, 18 y 19 de febrero del 2019	104
Tabla 24. ANOVA para la turbidez con diseño de experimento factorial 2^4 del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018	105
Tabla 25. ANOVA para la turbidez con diseño de experimento factorial 2^3 del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018	106
Tabla 26. ANOVA para el color con diseño de experimento factorial 2^4 del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018	107
Tabla 27. ANOVA para el color con diseño de experimento factorial 2^3 del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018	108
Tabla 28. ANOVA para el diseño experimental de bloques completos al azar del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Medición de turbidez con nefelómetro	18
Figura 2. Esquema de un modelo de enlace de puente para la desestabilización de coloides por polímeros.	25
Figura 3. Procedimiento para el tratamiento del agua del río Sama con semilla de moringa	34
Figura 4. Procedimiento para la caracterización física y proximal de las semillas de moringa de La Yara Los Palos	36
Figura 5. Relación de las variables dosis y Remoción de turbidez del agua tratada del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna	42
Figura 6. Velocidad de floculación vs clarificación del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna	44
Figura 7. Relación tiempo de floculación vs agua clarificada del río Sama por tratamiento con semillas de moringa	46
Figura 8. Relación tiempo de sedimentación vs clarificación del agua del río Sama por tratamiento con harina de semillas de moringa	48
Figura 9. Significancia de los factores e interacciones en la reducción de la turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa proveniente de Tacna según diseño de experimento factorial 2^4	59
Figura 10. Significancia de los factores en la reducción de la turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa proveniente de Tacna según diseño de experimento factorial 2^3	61
Figura 11. Significancia de los factores en la reducción del color del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa	

proveniente de Tacna utilizando el diseño de experimento factorial 2 ⁴	63
Figura 12. Significancia de los factores en la reducción del color del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa proveniente de Tacna con diseño de experimento factorial 2 ³	65
Figura 13. Efecto de la dosis de semillas de moringa proveniente de Tacna en la reducción de la turbidez del agua del río Sama con diseño de experimento factorial 2 ⁴	67
Figura 14. Efecto de la dosis de semillas de moringa proveniente de Tacna en la reducción de la turbidez del agua del río Sama con diseño de experimento factorial 2 ³	68
Figura 15. Efecto de la velocidad de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2 ⁴	69
Figura 16. Efecto de la velocidad de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2 ³	70
Figura 17. Efecto del tiempo de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2 ⁴	71
Figura 18. Efecto del tiempo de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2 ³	72
Figura 19. Efecto del tiempo de sedimentación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2 ⁴	73

Figura 20. Turbidez del agua del río Sama tratada con semillas de moringa de Tacna en 3 diferentes muestras de agua y a 4 diferentes tiempos de sedimentación.	74
Figura 21. Plantación de moringa en Tacna	109
Figura 22. Punto de recolección del agua del río Sama	109
Figura 23. Vainas de moringa de Tacna 2018	110
Figura 24. Semillas de moringa de Tacna 2018	110
Figura 25. Equipo probador Jar Test con muestras de agua iniciando el tratamiento	111
Figura 26. Equipo probador Jar Test con muestras después del tratamiento	111

RESUMEN

En el tratamiento de clarificación del agua del río Sama con semilla de moringa de Tacna se obtuvo una mínima turbidez y reducción ostensible del color aparente como consecuencia de la eliminación de las partículas coloidales contenidas en el agua. Las condiciones de operación requeridas para el tratamiento del agua son: dosis de semillas de moringa (agente coagulante) 0,2 g/L, velocidad de floculación 30 rpm y tiempo de floculación 30 minutos, establecidos utilizando agua con una turbidez inicial de 154 UNT. El tiempo de sedimentación de 1,5 h se estableció con el agua del río Sama con niveles de turbidez de 132; 48,6 y 424 UNT. La semilla de moringa fue de la producción del año 2018 proveniente del distrito de La Yarada Los Palos, con la cual se obtuvo harina de moringa con una composición proximal de 5,70 % de Humedad (método AOAC), 30,78 % de proteínas (Método micro Kjeldahl), 40,36 % de materia grasa (Método Soxhlet), 4,42 % de cenizas (Método AOAC) y 18,74 % de carbohidratos (por diferencia). Se utilizaron los diseños experimentales factoriales 2^4 y 2^3 y el diseño experimental de bloques completos al azar. Se obtuvo niveles de reducción de la turbidez de 97,04 %; 92,37 % y 98,88 % para valores de turbidez inicial del agua de 132; 48,6 y 424 UNT y se obtuvo niveles de reducción del color aparente de 96,03 %; 96,05 % y 95,23 % para valores de color aparente inicial de 996; 482 y 2 780 UPC.

Palabras clave: Semillas de moringa, turbidez, Clarificación, Color aparente

ABSTRACT

In the clarification treatment of the water of the Sama river with Tacna moringa seed, a minimum turbidity and ostensible reduction of the apparent color was obtained as a result of the elimination of the colloidal particles contained in the water. The operating conditions required for water treatment are: doses of moringa seeds (coagulating agent) 0,2 g/L, flocculation speed 30 rpm and flocculation time 30 minutes, established using water with an initial turbidity of 154 UNT. The settling time of 1,5 h was established with water from the Sama river with turbidity levels of 132; 48,6 and 424 UNT. The moringa seed was from the production of the year 2018 from the La Yarada Los Palos district, with which moringa flour was obtained with a proximal composition of 5,70 % Humidity (AOAC method), 30,78 % protein (Micro method Kjeldahl), 40,36 % fat (Soxhlet Method), 4,42 % ash (AOAC Method) and 18,74 % carbohydrates (by difference). The experimental factorial designs 2^4 and 2^3 and the experimental design of random complete blocks were used. Turbidity reduction levels of 97,04 % were obtained; 92,37 % and 98,88 % for initial water turbidity values of 132; 48,6 and 424 UNT and levels of apparent color reduction of 96,03% were obtained; 96,05 % and 95,23 % for initial apparent color values of 996; 482 and 2 780 UPC.

Keywords: Moringa seeds, turbidity, Clarification, Apparent color

RESUMO

No tratamento de clarificação da água do rio Sama com sementes de Tacna moringa, obteve-se uma turbidez mínima e uma redução ostensiva da cor aparente como resultado da eliminação das partículas coloidais contidas na água. As condições operacionais necessárias para o tratamento da água são: doses de sementes de moringa (coagulante) 0,2 g/L, velocidade de floculação 30 rpm e tempo de floculação 30 minutos, estabelecidas com água com turbidez inicial de 154 UNT. O tempo de decantação de 1,5 h foi estabelecido com água do rio Sama com níveis de turbidez de 132; 48,6 e 424 UNT. A semente de moringa foi proveniente da produção do ano de 2018 no distrito de La Yarada Los Palos, com a qual a farinha de moringa foi obtida com uma composição proximal de 5,70 % de umidade (método AOAC), 30,78 % de proteína (método micro) Kjeldahl), 40,36 % de gordura (Método Soxhlet), 4,42 % de cinza (Método AOAC) e 18,74 % de carboidratos (por diferença). Foram utilizados os delineamentos fatoriais experimentais 2^4 e 2^3 e o delineamento experimental de blocos completos aleatórios. Foram obtidos níveis de redução de turbidez de 97,04 %; 92,37 % e 98,88 % para os valores iniciais de turbidez da água de 132; 48,6 e 424 UNT e níveis de redução aparente da cor de 96,03 % foram obtidos; 96,05 % e 95,23 % para valores iniciais de cores aparentes de 996; 482 e 2 780 UPC.

Palavras-chave: sementes de moringa, turbidez, clarificação, cor aparente

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso escaso en la región Tacna, que en épocas de “abundancia” trae consigo la inconveniencia que es la turbidez del agua como consecuencia de la solubilidad en ella de los diferentes componentes del suelo por los que discurre, que no la hacen apta para el consumo humano, por lo que su tratamiento es absolutamente necesario para este propósito.

La utilización de la semilla de moringa para el tratamiento del agua, constituye a diferencia del tratamiento tradicional una alternativa amigable con el ambiente en momentos en que el mundo se torna hacia los principios ecológicos como premisa de una nueva visión.

Para la eliminación de la turbidez del agua existen fundamentalmente métodos que utilizan coagulantes convencionales y más recientemente sobre todo en comunidades rurales vienen considerándose como alternativa, además amigables con el ambiente, los materiales orgánicos procedentes de animales o vegetales, que como el caso de la moringa lo representa su semilla que conforme lo indican diversos autores tiene efectos en la clarificación del agua, aunque la variabilidad de resultados ameritan su esclarecimiento o estudio de la materia prima local.

La investigación contiene seis capítulos. La hipótesis de la investigación fue que la semilla de moringa de Tacna clarifica el agua del río Sama y el objetivo fue determinar el efecto en la clarificación del agua del río Sama por tratamiento con semilla de moringa de Tacna 2018, considerando la dosis de semilla de moringa, la velocidad de floculación, el tiempo de floculación y el tiempo de sedimentación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes del problema

La orientación a la utilización de elementos naturales para el tratamiento del agua (Paredes, 2013) sugiere vigilar y controlar la presencia de aluminio en el agua potable (Trejo y Hernández, 2004) para romper el paradigma de su utilización (Ramírez y Jaramillo, 2016), que como en el caso de la semilla de moringa, representen un eficiente y seguro coagulante en el proceso de purificación del agua (Feria et al., 2016), ya que consideran sus propiedades floculantes (Canett y Arvayo, 2014) y su eficiencia comprobada (Sánchez et al., 2013; Paterniani y Mantovani, 2009; Rodríguez, et al., 2005; Cardoso et al., 2008) y otros, y justifican su uso por significar una tecnología ambientalmente correcta (Lédo et al., 2009). Además, Samia (1986), después de ensayar diversos tipos de clarificadores tradicionales, comprobó que las semillas de *Moringa oleifera* Lam., son las más efectivas como coagulantes, siendo su acción comparable al sulfato de aluminio, además de eliminar un elevado porcentaje de bacterias y de no tener acción tóxica.

La efectividad de las semillas de moringa para la remoción de materias en suspensión en aguas turbias (Martín et al., 2013), constituye una efectiva alternativa de biorremediación (Melo y Turriago, 2012) y una excelente alternativa para la potabilización del agua en zonas rurales y en general para los países en vías de desarrollo (Feria y Polo, 2016), pues permiten reducir drásticamente el número de partículas suspendidas (Oliveira et al., 2018), y logran (Gómez y Salazar, 2016) remover turbiedades superiores a 95 %.

Para el tratamiento de coagulación la semilla de moringa se clasifica, seca, muele y tamiza, y posteriormente se desengrasa (Feria et al., 2014); se realiza la molienda en un molino hasta obtener una harina blanco amarillenta (Mas y Rubi et al., 2013), para entonces pesarla a una cantidad relativa masa volumen para añadirle agua destilada (Arantes et al., 2012).

En la potabilización del agua se han estudiado diferentes parámetros, como ser la turbidez, color, pH, alcalinidad (Mendoza et al., 2000), la eficiencia de la operación de sedimentación (Paterniani et al., 2009), el pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta (Perez y López, 2017); pero no ocurrió modificación significativa del pH ni alcalinidad durante el tratamiento de coagulación (Feria et al., 2015). Por consiguiente Sánchez et al. (2012) manifestaron que la remoción de la turbidez se incrementó con un óptimo mezclado de 80 rpm por 40 minutos del mismo proceso.

La semilla de moringa colectada en la estación seca tuvo la capacidad de remover la turbidez del agua por encima de 88 % (Narayasamy y Mohd, 2014), 96,23 % (Ali et al., 2010), 95 % mínimo (Menkiti et al. 2011), 91,11 % de turbidez y 94,12 % de color (Pereira et al., 2014), remoción del color de hasta 98,81 % utilizando soluciones salinas (Peruço et al., 2014); sin embargo, la torta de moringa mostró ser mas eficiente en mejorar la calidad del agua que la semilla (Kabore et al., 2013), por lo que constituye una alternativa que debe ser investigada por sus propiedades de mejoramiento de la calidad del agua (Paredes, 2013).

1.1.2. Problemática de la investigación

La moringa es un árbol rústico, oriundo de la India, que ha sido propagado por el hombre a diferentes partes del mundo, debido a su gran resistencia a condiciones agrícolas adversas y a sus múltiples beneficios.

La semilla de la moringa es obtenida de las vainas que produce el árbol y que, entre sus múltiples beneficios reportados, se menciona su uso para la

potabilización del agua. Habiéndose realizado en diferentes partes del mundo estudios a diferentes niveles, laboratorio y piloto, que ponen en evidencia el potencial que tiene la semilla de la moringa para su uso en la potabilización del agua, con la ventaja de no dejar residuos tóxicos en el agua tratada comparativamente con el sulfato de aluminio que es el coagulante que generalmente se utiliza como coagulante en la potabilización del agua.

En el Perú la moringa aún se encuentra en una fase de introducción. Aunque han transcurrido algunos años desde sus inicios como cultivo, aún es casi desconocida para la gran mayoría de la población peruana. Este producto cuenta con gran potencial alimenticio, por esta razón es que fomentan principalmente su cultivo, no dejándose de mencionar sus cualidades para la potabilización del agua, por los conocimientos que se tienen de los estudios realizados en otras partes del mundo

A nivel nacional, en el norte y centro del país, se reportan algunos estudios, especialmente prácticos, de potabilización del agua con semillas de moringa, aunque sí se han realizado algunos trabajos de investigación sobre los beneficios nutricionales de la moringa.

Si bien en el Perú se ha introducido hace algunos años el cultivo de la moringa, en la Región Tacna su cultivo es aún más incipiente y está limitado hasta ahora únicamente a iniciativas privadas aisladas, siendo absolutamente desconocida para la gran mayoría de la población.

Los contaminantes del agua pueden ser diversos minerales entre los cuales se encuentran los metales pesados, microorganismos (especialmente patógenos), y sustancias en suspensión. Estos contaminantes son removidos a diferente nivel por el proceso de potabilización, que incluye la etapa de clarificación, que en el caso del río Sama, son aguas que se encuentran cargadas de turbiedad en épocas de avenidas (lluvias), que dificultan el proceso de potabilización del agua.

El proceso de potabilización del agua incluye varias operaciones, entre las cuales el tratamiento primario de eliminación de los sólidos en suspensión y material flotante aún no eliminado es separado del agua.

En la provincia de Tacna, entre las zonas donde se ha introducido el cultivo de la moringa, se encuentra la zona del distrito La Yarada Los Palos, en donde se ha comprobado la capacidad productiva de sus semillas y que como consecuencia de su reciente introducción como cultivo los estudios que se han realizado a nivel regional son mínimos, considerando los multipropósitos que podría tener, siendo el uso de las semillas para clarificación del agua uno de ellos. Aun cuando a nivel mundial existen muchas investigaciones que respaldan el uso de las semillas para la clarificación del agua, no ocurre lo mismo a nivel regional, desconociéndose el efecto de la dosis, velocidad de floculación, tiempo de floculación y sedimentación que tendrá el uso de la semilla de moringa para la clarificación del agua del río Sama que normalmente presenta altos niveles de turbiedad en épocas de avenida lo que devendría en sumar otra de las potencialidades para su cultivo en esta Región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

¿Cuál es el efecto en la clarificación del agua del río Sama, por el tratamiento con semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.)?

1.2.2. Problemas secundarios

A.1 ¿Qué dosis de semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.) reduce la turbidez del agua del río Sama?

A.2. ¿Cuál es la velocidad de floculación en la clarificación del agua del río Sama por el uso de semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.)?

A.3. ¿Cuánto tiempo de floculación requiere la clarificación del agua del río Sama por el uso de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.)?

A.4. ¿Qué tiempo de sedimentación es necesario para la clarificación del agua del río Sama por el uso de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.)?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La presente investigación se justifica desde los siguientes puntos de vista:

Relevancia científico ambiental; porque permitirá tener conocimiento del efecto en la clarificación del agua del río Sama por el tratamiento orgánico con semilla de moringa en sustitución del tratamiento convencional con sustancias químicas como el sulfato de aluminio o cloruro férrico, los cuales constituyen posteriormente un contaminante del medio ambiente, así como las condiciones en que se deberá realizar el tratamiento de clarificación del agua del río Sama para la óptima remoción de su turbidez.

Relevancia académica; porque los resultados de la investigación permitirán fundamentar las condiciones necesarias para el tratamiento de clarificación del agua del río Sama cuando se utilizan las semillas de moringa.

Relevancia social; porque los resultados de la investigación permitirán contribuir al reconocimiento de la población del potencial económico del cultivo de la moringa en la región Tacna y el país. Asimismo, permitiría que las aguas tratadas con semillas de moringa en sustitución del sulfato de aluminio o cloruro férrico disminuyan su contenido en aluminio o hierro residual como consecuencia de la no incorporación del insumo químico que inevitablemente permanece como parte del tratamiento de potabilización. Consecuentemente, se contribuirá con el gran potencial para el desarrollo del cultivo de la moringa en la región Tacna, que además de su uso para el consumo humano, permitiría el aprovechamiento del residuo de la potencial industria extractora de aceite de moringa para el

tratamiento del agua, lo cual redundaría de ser así, en beneficio económico para los productores agrarios que tendrían otra posibilidad de ingreso económico.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1. Alcances

La presente investigación analiza la composición de las semillas de moringa producidas en el distrito de Tacna en el año 2018 y evalúa su aplicación en el tratamiento del agua proveniente del río Sama, con propósitos de su purificación para el consumo humano.

1.4.2. Limitaciones

La implementación y desarrollo de la investigación puede tener las siguientes limitaciones:

Época o periodo: La disponibilidad de la unidad de observación (agua del río Sama) donde realizar la investigación depende de la época de lluvias en la zona andina, que correspondería a los meses de enero a marzo.

Reactivos: La implementación oportuna con los reactivos necesarios para la realización de los ensayos. En el caso que la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann no los pueda proporcionar, será obtenida por cuenta propia.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Determinar el efecto en la clarificación del agua del río Sama, por el tratamiento con semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).

1.5.2. Objetivos específicos

- A.1. Determinar la dosis de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.) que reduce la turbidez del agua del río Sama.
- A.2. Determinar la velocidad de floculación durante la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).
- A.3. Determinar el tiempo de floculación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).
- A.4. Determinar el tiempo de sedimentación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

Las semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.) clarifican el agua del río Sama.

1.6.2. Hipótesis específicas

- A.1. Se reduce la turbidez del agua del río Sama, utilizando mayor dosis de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).
- A.2. A mayor velocidad de floculación, mayor clarificación del agua del río Sama por la utilización de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).
- A.3. A mayor tiempo de floculación, mayor clarificación del agua del río Sama utilizando semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).
- A.4. A mayor tiempo de sedimentación, mayor clarificación del agua del río Sama utilizando semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Los parámetros químicos y microbiológicos en las aguas superficiales pueden estar presentes de forma natural o ser introducidos por el hombre (Sardiñas et al., 2006); conocer la calidad del agua permite predecir el grado de contaminación y establecer estrategias de planeación del recurso hídrico (Amado et al., 2006). Las partículas suspendidas confieren color y turbidez indeseables a las aguas superficiales (Carmona, 2015), en tanto que aplicar procesos de clarificación permite remoción de partículas suspendidas y coloidales (Ramírez y Jaramillo, 2016), utilizándose coagulantes para la remoción de los sólidos suspendidos y disueltos (Olivero et al., 2017).

El uso de agentes químicos permite remover los sólidos suspendidos clarificando el agua (Solís et al., 2012), constituyendo coagulantes de hierro y aluminio la primera opción, por ejemplo, para el tratamiento de las aguas residuales; sin embargo, es objeto de discusión la posible afectación a la salud humana (Banchón et al., 2016), como por ejemplo el mal de Alzheimer (Biason et al., 2017), por lo que existe interés en el desarrollo de coagulantes naturales alternativos (Lédo et al., 2009) que pueden ser obtenidos de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas (Guzmán et al., 2015) o de sus extractos vegetales (Guzmán et al., 2013), observándose en estos que aumenta la remoción del material en suspensión conforme aumenta la dosis de coagulante (Choque et al., 2018), constituyendo una alternativa técnica a los coagulantes convencionales, con beneficios para la salud pública, además de la preservación del medio ambiente (Carvalho et al., 2010).

En la clarificación del agua, utilizando agentes naturales, se consideran factores como concentración y proporción de los coagulantes, pH y velocidad de

agitación (Contreras et al., 2015); en dicho proceso se encontró que la velocidad de agitación tiene incidencia en la acción clarificante para llegar hasta las partículas más dispersas que aumentan la eficiencia (Olivero, et al., 2014) en el proceso de remoción de turbidez del agua (Torres et al., 2017).

Como coagulantes naturales se utilizan cactáceas (González, et al., 2015; Olivero, et al., 2014); así las hojas de tuna (*Opuntia ficus*) registran eficiencia en remoción de color de 94 % en agua artificial (Jiménez et al., 2012); el almidón de plátano, aunque presentó una sedimentación lenta, sirve como ayuda en la floculación (Trujillo et al., 2014); la goma de tara permite un rápido proceso de coagulación (Tapia et al., 2010); las semillas del Neem y el maíz demostraron ser alternativas asequibles y sostenibles en la potabilización del agua (Aguirre y Piraneque, 2018); las semillas de tamarindo muestran un gran desempeño en la remoción de turbidez de aguas residuales muy turbias, pero no en aguas residuales de baja turbidez (Guardián y Coto, 2010), taninos extraídos a partir de cáscara de manzana alcanzaron eficiencia de reducción de la turbidez del agua superior a 70 % (Torres et al., 2017); el quitosano, como ayudante de floculación, permite reducir hasta en 50 % el uso del coagulante primario sin afectar el resultado de manera considerable (Balanta et al., 2010); taninos y mucílagos favorecen la remediación de efluentes de industrias textiles y de curtiembres (Banchón et al., 2016), permitiendo tener los sistemas de abastecimiento de agua sustentables de acuerdo a los principios de la química verde (Mangrich et al., 2014).

En la clarificación del agua se usan diferentes concentraciones de coagulante (Teutli y Pérez, 2013); y para el tratamiento con coagulantes naturales se utiliza agua turbia natural (Ramamurthy et al., 2012) o agua artificial (Jiménez et al., 2012) influyendo en el proceso factores químicos e hidráulicos que determinan la selección del mejor coagulante y su dosis óptima, siendo necesario realizar la prueba de jarras (Lorenzo, 2006). El almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) se usó a dosis de 0,1 a 5 mg/L (Campos et al., 1984), polvo de la semilla de la *Cassia fistula* en dosis de 15-25 mg/L (Tarón et al., 2017),

extracto en polvo obtenido de penca de tuna (*Opuntia ficus*) en dosis de 50 a 90 mg/L (Villabona et al., 2013), goma tara en solución al 10 % a una dosis de 10 ml/L (Perez y López, 2017).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Moringa

La Moringa oleífera es un árbol nativo del noroeste de la India (Ramachandran et al., 1980) con numerosas propiedades nutritivas y terapéuticas (Bonal et al., 2012) que puede producir de 15 000 a 25 000 semillas al año (Foidl et al., 1996), muy conocida en todo el mundo porque es complaciente con el medio ambiente y que soporta la inclemencia del mismo (Liñan, 2010) al cual se le atribuyen cuantiosas propiedades (Sánchez et al., 2013), siendo la especie de árbol con más rápido crecimiento en el mundo (Paniagua y Chora, 2016).

Es un árbol perenne pero poco longevo que puede vivir en zonas subhúmedas (Falasca y Bernabé, 2009), que brinda una innumerable cantidad de productos valiosos que las comunidades han aprovechado por cientos, tal vez miles de años (Folkard y Sutherland, 1996), con prácticamente todas las partes del árbol aprovechables (Martín et al., 2013), utilizándose como fertilizante, agente de limpieza, combustible biológico, clarificador de miel, pesticida, floculante al purificar el agua y reducir la turbidez y la contaminación bacteriana (Bonal et al., 2012) y como forraje por sus excelentes propiedades nutritivas y alta producción (Foidl et al., 1996).

2.2.2. Semilla de moringa

Las semillas de moringa tienen forma redonda y color castaño oscuro con alas blanquecinas con 12 a 25 semillas por fruto (Foidl et al., 1996) que sirve para la purificación del agua potable y para la sedimentación de partículas

minerales orgánicas en aguas residuales (Perez et al., 2010), como parte de la fitorremediación del agua (Delgadillo et al., 2008), siendo utilizada como coagulante del agua en plantas de tratamiento convencional (Aho y Lagasi, 2012) constituyendo un viable reemplazo coagulante en el tratamiento del agua por sus propiedades químicas semejantes al sulfato de aluminio (Sutherland y Folkard, 1994), esto ya que contienen un floculante natural tipo electrolito con función aniónica y catiónica, con excelentes propiedades coagulantes con importantes cantidades de aminoácidos polares con carga neta positiva y negativa (Jubisay et al., 2003) y que además de utilizarse para purificar agua, se emplea en la industria de pulpas y jugos para flocular y sedimentar y en la industria cervecera para sedimentar levaduras eliminando la turbidez y otorgándole brillantez al producto (Perez et al., 2010).

La semilla de moringa fresca está compuesta principalmente por agua y, además, contiene proteínas, grasa y fibra dietética (tabla 1); y el principal componente de la semilla seca proveniente de dos regiones de Pakistán, provincia de la frontera noroeste y la región de Sindh, con un nivel de humedad de 5,7, es la materia grasa con 8,9 % (tabla 2).

Tabla 1.

Composición proximal de la semilla de moringa fresca

Componente	Contenido (%)
Agua	88,2
Proteínas	2,1
Grasa	0,2
Fibra dietética	3,2

Fuente: Paniagua y Chora (2016)

2.2.2.1. Extracto de semilla de moringa

Se utilizan las semillas de moringa cruda (Guzmán et al., 2013) que se muelen (Solís et al., 2012) para preparar el extracto en agua destilada (Lo Monaco, et al., 2014) o NaCl (Aguirre y Piraneque, 2018).

Tabla 2.

Composición proximal de la semilla de moringa seca de 2 regiones de Pakistán

Descripción	Cantidad %	
	NWFP	Sindh
Humedad	5,70	8,9
Grasa	40,39	38,4
Proteínas	29,36	31,65
Cenizas	6,60	6,53
Fibra	7,20	7,54

Fuente: Anwar y Rashid (2007)

2.2.3. Agua

El agua no tiene olor, color ni sabor propio; pero según la procedencia puede tener composiciones muy características (Ojeda, 2015), pudiendo contener como en el caso del agua natural una gran variedad de impurezas, características del ciclo hidrológico que ha experimentado previamente (Rigola, 1990), considerándose inclusive que las aguas naturales no contaminadas presentan concentraciones de materia orgánica disuelta de menos de 2 mg/L (Roldán, 2003), que después se contaminan por la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos o aguas residuales (De Anda, 2005); por ejemplo, lo relacionado de los sulfatos con la pobre calidad del agua en sus datos organolépticos (Reyes et. al., 2016)

Los contaminantes del agua le dan propiedades indeseables, como corrosividad, incrustabilidad, toxicidad, mal olor, mal sabor y mala apariencia (Guerrero, 1991) por lo que siempre han sido una de las grandes preocupaciones del ser humano (Montoro, 2009), repercutiendo muy gravemente en su disponibilidad para su consumo (Roberto, 2009). Así la mayoría de las sustancias inorgánicas imparten sabor desagradable al agua a concentraciones mucho

menores que las tóxicas (Lozano y Lozano, 2015); sin embargo, aunque es posible determinar qué compuestos son ajenos al agua, es difícil determinar cuáles son los que la contaminan (Jimenez, 2005) y, además la contaminación puede ser también inodora e incolora a nuestros sentidos (Montoro, 2009).

Las fuentes de agua pueden provenir de aguas superficiales o de aguas subterráneas (Chulluncuy, 2011). Las aguas superficiales están expuestas a la contaminación de todo tipo, llegando los contaminantes desde diversas fuentes e intermitentemente (Glynn y Heinky, 1999), siendo más probables de ser alteradas que las aguas subterráneas que se encuentran en mayor o menor grado protegidas por el suelo, pero en general el agua en la naturaleza tiene una gran variabilidad de calidad (Lozano y Lozano, 2015), con una variedad de impurezas y una variable concentración de estas que indican todas las aguas son diferentes y que su tratamiento es un arte así como también es ciencia (Twort et al., 2000).

2.2.3.1. Tratamiento del agua

Antiguamente, en Egipto el tratamiento del agua consistía en hervirla, someterla a la radiación de sol, introducir una barra de cobre caliente siete veces en ella para después filtrarla y enfriarla en un recipiente (Lozano y Lozano, 2015); y actualmente el tratamiento del agua constituye una complejidad de procesos (Chulluncuy, 2011) que puede no realizarse sobre el agua misma sino sobre las sustancias que se encuentran en suspensión verdadera o coloidal y en solución (Gomella y Guerrée, 1997) en la que se adiciona al agua componentes químicos (Berdonces, 2008), comprendiendo varios pasos como la sedimentación, aireación, coagulación, sedimentación, filtración y la desinfección (Farhaoui y Derraz, 2016).

El tratamiento del agua puede dividirse en tres categorías principales: la purificación para uso doméstico, el tratamiento para aplicaciones industriales especializadas y el tratamiento de las aguas residuales para hacerlas aceptables

para su vertimiento o vertido o su reutilización (Manahan, 2007), pudiéndose agrupar estos tratamientos en físicos, químicos y tratamientos de intercambio iónicos, además de tratamientos para los hongos, algas, microbios, etc. (Leidinger, 1997).

Se realiza con el fin de remover o reducir sus contaminantes (Cogollo, 2011), pero por las características físicas, químicas y microbiológicas diferentes del agua según la fuente de captación no todos los reactivos aplicados funcionan con la misma eficacia (Yagual y Torres, 2013), por lo que debe establecerse el proceso de remediación a usarse para remover la contaminación del agua (Clark, 2014), que depende de las características del agua a tratar (Chulluncuy, 2011), evitándose así obtener una calidad de agua no deseada (Andía, 2000), suministrándose agua de consumo público que esté libre de contaminantes peligrosos para la salud y debe ser comestible (Twort et al., 2000).

El tipo de tratamiento del agua depende del uso que se le dará (Manahan, 2007), como ser abastecimiento de la población, uso agrario, usos industriales, acuicultura, usos recreativos y otros usos (Ojeda, 2015) y el objeto del tratamiento es reducir los contenidos indeseables presentes en el agua por debajo de lo establecido en la normativa de calidad (Gomella y Guerrée, 1997). Se debe eliminar las partículas suspendidas que le confieren turbidez y color indeseables al agua (Solís et al., 2012), lo cual involucra el uso de coagulantes para remover turbidez en la forma de material suspendido y coloidal (Šćiban et al., 2009).

2.2.3.2. Turbidez del agua

La turbidez del agua cruda puede variar ampliamente desde valores prácticamente de cero hasta miles de UNT (Twort et al., 2000); y ocurre por la presencia de partículas suspendidas y disueltas en ella. El tamaño de las partículas puede ir desde partículas coloidales hasta partículas macroscópicas (Rebollo, 2014), de dimensiones variables, desde 10 nm hasta diámetros del

orden de 0,1 mm asociados a minerales, partículas orgánicas húmicas (provenientes de la descomposición o agregación de restos vegetales y partículas filamentosas como restos de amiantos u otros filosilicatos (Marín, 2014), partículas de arcilla, cieno, fibras vegetales o microorganismos (Contreras y Molero, 2011) que ocasionan la falta de transparencia del agua (Cattaneo y Sardi, 2013).

La unidad utilizada normalmente para expresar la turbiedad es la UNT, que equivale a 0,3 mg/L de SiO₂ (Sierra, 2011), conocida como unidad nefelométrica por sus siglas en inglés y por el instrumento que se usa para medirla (Glynn y Heinky, 1999). El nefelómetro mide la luz que es dispersada con un ángulo de 90° (Delgadillo et al., 2010), causadas por partículas coloidales como de mayor tamaño teniendo su fundamento en el efecto denominado absorción y constituye una medida referencial del contenido de sólidos en el fluido (Murillo, 2009), que solo se puede medir utilizando técnicas ópticas (Velasco, 2015).

La turbidez varía con el tiempo de forma decreciente debido a la deposición de partículas por acción de la gravedad o mecanismos de coagulación y floculación natural de las partículas coloidales (Murillo, 2009), debiendo controlarse en forma estricta en cada etapa del tratamiento (Kirchner, 1979), considerándose en general que la turbidez es causada por las partículas de materias inorgánicas (Andía, 2000), aunque no constituye un análisis cuantitativo de los sólidos en suspensión sino que mide qué tanto es absorbida o dispersada la luz por la materia en suspensión (Jimenez, 2005).

La turbidez por encima de 5 UNT puede ser perceptible y en consecuencia generar reparos por parte del consumidor (OPS, 1988), además que interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar (Rigola, 1990) y que, aunque no es una propiedad inherente al agua, constituye un indicador de la calidad de las aguas públicas (Velasco, 2015). En las aguas superficiales es

normal que se manifieste; mientras que en las subterráneas no ocurre (Soriano y Pancorbo, 2012).

El contenido de turbidez de diferentes líquidos varía desde 0,02 a 2 000 UNT (tabla 3) y la medición ella en el nefelómetro utiliza un diodo de luz infrarroja que emite luz a 890 nm y que es medida en un detector (figura 1).

Tabla 3.

Valores típicos de turbidez de varios líquidos

Líquidos	Turbidez
Agua desionizada	0,02
Agua potable	0,02 a 0,5
Agua de manantial	0,05 a 10
Agua residual (no tratada)	70 a 2 000
Agua blanca (industria del papel)	60 a 800

Fuente: Velasco (2015)

2.2.3.1. Color del agua

Se debe a la presencia de los materiales de naturaleza orgánica e inorgánica que lleva disueltos (Contreras y Molero, 2011), minerales como el hierro y manganeso, organismos acuáticos o material orgánico del suelo o vegetal (AWWA, 2003) aunque no se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva (Rigola, 1990).

Debido a aspectos estéticos el uso del agua coloreada no es aceptable a nivel mundial, asociando el color del agua con compuestos aromáticos producidos por la caída natural de sustancias herbales (Malakootian y Fatehizadeh, 2010), o que es afectado por la presencia de material disuelto, suspendido o coloidal (Martínez y Osorio, 2018), siendo recomendable realizar su medición después de cada etapa de tratamiento realizado al agua (Kirchner,

1979), considerándose los valores de color de las muestras del agua antes del tratamiento y después de él como indicador de la eficiencia de la planta de tratamiento (AWWA, 2003).

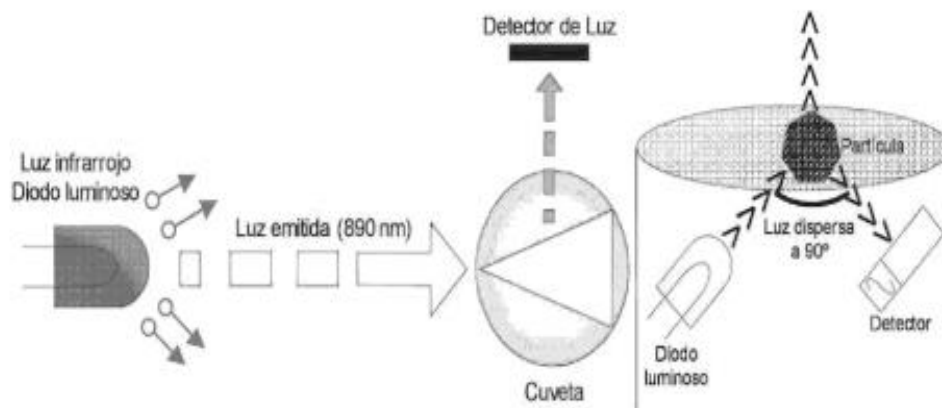


Figura 1. Medición de turbidez con nefelómetro

Fuente: Delgadillo et al. (2010)

Se debe distinguir entre color verdadero y color aparente, refiriéndose el primero a cuando se ha removido toda la turbidez por filtración o centrifugación; y el color aparente al color que se mide sin remover la turbiedad (Arboleda, 1992), expresado en unidades de color y que para su determinación se utiliza el método de platino-cobalto cuando se mide el color de materiales presentes naturalmente en el agua (AWWA, 2003), siendo el valor guía de 15 unidades de color verdadero (UCV), el que puede ser detectado en un vaso por la mayoría de las personas (OPS, 1988), considerándose muy normal la coloración de las aguas superficiales y prácticamente nula en aguas de pozo o manantial (Soriano y Pancorbo, 2012).

2.2.4. Proceso de clarificación del agua

Para la clarificación se utilizan diversos coagulantes/floculantes (Cordeiro, et al., 2008), que actúan contra las diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella (Orellana, 2005), constituyendo en un método

químico (Lorenzo, 2006), que se realiza para la potabilización del agua (Andía, 2000) fundamental, ya que de su correcta realización dependerá el lograr la meta de remover las impurezas contenidas en el agua (Cogollo, 2011).

En la clarificación del agua conceptualmente se tiene a la coagulación, floculación y sedimentación como partes del proceso (Cogollo, 2011), constituyendo la coagulación y la floculación procesos esenciales en el tratamiento de la mayoría de aguas superficiales (Twort et al., 2000), siendo muchos los factores en la calidad del agua que afectan su resultado (Pernitsky y Edzwald, 2006).

La clarificación constituye el proceso más importante en el tratamiento convencional del agua (Guzmán et al., 2013), que incluye la remoción de especies en suspensión, mediante la adición de coagulantes químicos (Choque et al., 2018), correspondiendo la dosis óptima de coagulante a la que ofrezca mejores resultados en cuanto a remoción de color y turbiedad sin causar descenso fuerte en el pH (Lozano, 2013).

2.2.4.1. Coagulación

Reacción que inicia en el momento de la adición de los coagulantes al agua (Singley, 1972), con el propósito de desestabilizar los coloides (Torra et al., 1998) o sólidos suspendidos y no los disueltos (Banchón et al., 2016) y para el transporte de las partículas dentro de ella (Arboleda, 1992), efecto que se logra al reducir las fuerzas de separación entre las partículas (Gómez, 2005).

Las partículas coloidales tienen cargas superficiales electrostáticas que originan fuerzas de repulsión entre ellas que impiden que se aglomeren (Rigola, 1990) y que con sustancias que se agregan para reducir la carga de los iones se aglutinan los sólidos en suspensión (Aguirre y Piraneque, 2018) restando la tendencia de los coloides a repelerse entre sí por la adición de productos que

aportan iones con carga positiva al agua que contiene coloides con carga negativa (Glynn y Heinky, 1999).

La selección del tipo óptimo de coagulante, así como su dosificación, deben determinarse experimentalmente para cualquier tipo de agua o agua residual (Weber, 2003) debido a que es un proceso muy complejo (Gomella y Guerrée, 1997) en el que para potabilizar el agua se hace uso de insumos químicos (Berdonces, 2008), siendo la dosis del coagulante dependiente de las características de la fuente de agua y del tipo de coagulante a utilizar (Stanley et al., 2000).

La coagulación es parte fundamental del proceso de tratamiento del agua (Duque et al., 2000) en la que el sulfato de aluminio y el sulfato férrico gozan casi de exclusividad (Ramírez y Jaramillo, 2016), no existiendo una fórmula que establezca que coagulante o que cantidad de coagulante es la necesaria (Lorenzo, 2006). Así, con poca cantidad de coagulante, la cantidad de turbidez residual es elevada; o con alta cantidad de coagulante la turbidez residual es igualmente elevada (Gómez, 2005); por otra parte Gomella y Guerrée (1997) indican que las dosis son muy pequeñas de unos pocos gramos a 100-150 g/m³.

Existen tres clases de coagulación (Arboleda, 1992): adsorción-desestabilización (neutralización de la carga o compresión de doble lecho), puente químico (unión de partículas por medio de cadenas poliméricas) e incorporación (producción de precipitado); hay implicación entre la neutralización de cargas, la interacción entre el coagulante químico y una carga contaminante (Gómez, 2005); en el caso del puente químico, se establece debido a que las moléculas del polímero son muy largas y contienen grupos químicos que absorben las partículas coloidales (Andía, 2000); mientras que la coagulación por incorporación o de barrido no es una verdadera coagulación debido a que al utilizarse altas dosis de coagulante se excede su solubilidad, formándose una masa esponjosa que atrapa a los coloides y partículas en suspensión en su precipitación (Arboleda, 1992).

Previamente se realiza la mezcla rápida que para la mayoría de las aguas se realiza entre 30 a 60 segundos (Stanley et al., 2000) y la coagulación o floculación se realiza después del mezclado con tiempos de retención que oscilan entre 15 y 45 minutos (Calvache et al., 2002), teniendo la coagulación-floculación un rol significativo en el tratamiento del agua para beber (Janna, 2016). Este proceso de coagulación se realiza en 3 etapas separadas: adición de los coagulantes, dispersión de los coagulantes (mezcla rápida) y aglutinación de partículas (mezcla lenta) (Cepis, 1973), debiendo este proceso ser controlado muy bien por ser una de las etapas más importantes del tratamiento del agua (Chulluncuy, 2011).

2.2.4.2. Floculación

Es la agregación de los coloides (Lozano y Lozano, 2015), en la que las partículas desestabilizadas se unen por enlaces de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals (Twort et al., 2000) para lo cual se utilizan compuestos puente que forman enlaces químicos entre las partículas coloidales y “enmallan” las partículas en masas relativamente mayores llamadas redes de flóculos (Manahan, 2007); propician su agrupamiento en flóculos más grandes que se ven favorecidos por una agitación baja que evite dañar la débil cohesión al considerar que una agitación lenta mayor a 15 a 20 minutos homogeniza mejor el tamaño de los flóculos y aumenta sus densidades (Gomella y Guerrée, 1997), formando básicamente de un número grande de pequeñas partículas un número más pequeño de partículas más grandes (AWWA, 2011), los cuales serán eliminados del agua mediante sedimentación, flotación o filtración (Jimenez, 2005).

Los flóculos que se forman tienen aspectos de grumos esponjosos de forma irregular que atrapan los coloides pequeños no coagulados al asentarse al fondo (Glynn y Heinky, 1999); y que al no ser una reacción química se precisa una agitación moderada que ponga en contacto las partículas con el reactivo manteniéndolos en suspensión (Sainz, 2007).

2.2.4.3. Sedimentación

Proceso de remoción de las partículas en suspensión del agua que son removidas por efecto de la gravedad reflejándose en esta el adecuado proceso de coagulación floculación (Chulluncuy, 2011), llevándose a cabo la agregación de las impurezas muy pequeñas en agregados de mayor tamaño que permiten su separación satisfactoria del agua por sedimentación (Weber, 2003), la cual se logra dejando sedimentar el agua o filtrándola o realizando estos procesos secuencialmente que es lo común (Cepis, 1973).

El proceso de eliminar materiales en suspensión se realiza empleando un tiempo de retención adecuado. Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas, limos y coloides agrupados mediante las etapas anteriores de coagulación y floculación (Cogollo, 2011), realizándose su eliminación mediante sedimentación forzada químicamente (Ojeda, 2015) en la que el agua se conduce por un periodo de tiempo a velocidades muy lentas y permitiendo la decantación de los flóculos formados (Lozano y Lozano, 2015).

Luego de agregar coagulantes al agua se mejora la remoción de los contaminantes (Gómez, 2005) mediante el incremento del tamaño del flóculo y la consecuente rapidez de la sedimentación (Lorenzo, 2006); se retira las partículas portadoras de bacterias que le dan color y turbidez al agua (Aguirre y Piraneque, 2018); sin embargo, las partículas que se forman en la coagulación podrían ser todavía pequeñas y con densidad insuficiente (Rigola, 1990).

2.2.5. Prueba de jarras

Es una prueba reconocida por la industria del agua por su utilidad para simular la coagulación, floculación y sedimentación (AWWA, 2011), constituyéndose en un simulador a escala de laboratorio del conjunto de procesos complejos de la coagulación y aglomeración de los flóculos siendo el método experimental más utilizado para determinar la naturaleza del reactivo a

usar y la dosis necesaria en el proceso de coagulación (Gomella y Guerrée, 1997).

Se considera en el proceso la mezcla rápida, mezcla lenta y la sedimentación; se debe producir en la mezcla rápida gran turbulencia para que ocurra una adecuada y homogénea distribución de los coagulantes en el tiempo utilizado (Trujillo et al., 2014) que propicie el contacto del coagulante con las partículas coloidales de agua neutralizando sus cargas, desestabilizándolas y permitiendo su aglomeración en un breve tiempo (Lorenzo, 2006); mientras que la floculación (velocidad de floculación) que sigue es la mezcla lenta que tiene por objeto permitir el contacto entre los flóculos, la turbiedad y el color, la cual debe ser la adecuada de modo que permita variaciones en la velocidad del agua en el tratamiento (Andía, 2000).

La prueba de jarras consiste de una serie de jarras de 0,5 a 2 litros que sirven como banco de clarificadores a escala (Stanley et al., 2000) que se utiliza para establecer si el tratamiento del agua puede ser realizado de manera rentable y eficiente (Jimenez, 2005) para la coagulación floculación (Torres et al., 2017) que permite determinar la dosis óptima de coagulante y recomendándose realizar este análisis previo al diseño o inicio de operación de una planta (Lorenzo, 2006), siendo importante que las condiciones a usarse en la prueba de jarras sean simuladas a las condiciones de la planta a escala normal (AWWA, 2011), no habiendo un procedimiento estándar para su ejecución y tampoco hay un estándar en cuanto al equipo a utilizar (AWWA, 2003).

2.2.6. Coagulantes

La selección del coagulante es un proceso en el que se consideran varios criterios de modo que se garantice las óptimas condiciones del tratamiento en el equipo de clarificación con la consecuente mejor calidad del agua tratada y a un menor costo (Cogollo, 2011).

Se clasifican en dos grupos: inorgánicos y orgánicos (Aguilar et al., 2002).

2.2.6.1. Coagulantes inorgánicos (químicos)

La utilización de coagulantes químicos tiene diversas desventajas como su costo alto, producción de elevados volúmenes de lodo y con su tratamiento se afecta el pH del agua (Choque et al., 2018), que puede llevar a cabo la desestabilización de los coloides como ayuda de la coagulación y otros por diferentes maneras (Aguilar et al., 2002).

Los coagulantes químicos más usados en el mundo para el tratamiento del agua, que pueden ser simples o polimerizados, son el sulfato de aluminio (Ramírez y Jaramillo, 2016) y las sales de hierro y la cal (Aguilar et al., 2002); cada coagulante tiene un valor de pH específico donde ocurre la mínima solubilidad y la máxima precipitación (Cogollo, 2011).

2.2.6.2. Coagulantes orgánicos (naturales)

Constituyen una gran alternativa por su mínimo o nulo efecto negativo en la salud (Guzmán et al., 2013) con efectividad comprobada para remover turbidez y color del agua (Aguirre y Piraneque, 2018) que se pueden obtener de sustancias animales o vegetales (Andía, 2000) y de microorganismos (Aguilar et al., 2002); existe considerable interés en su utilización (Šćiban et al., 2009) por su obtención de la naturaleza sin ningún proceso invasivo y por haberse eliminado el paradigma de los productos químicos en la clarificación del agua (Ramírez y Jaramillo, 2016).

Los coagulantes naturales tienen importancia ambiental y ecológica (Silva et al., 2013); se considera por ejemplo, la alternativa de la fitorremediación por la capacidad de las plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes del suelo, aire, agua o sedimentos (Delgadillo et al., 2008).

Entre los polímeros orgánicos naturales se tiene al almidón y los derivados de la celulosa, materiales proteicos y gomas compuestas por polisacáridos (Manahan, 2007) que generalmente no tienen un peso molecular tan alto como los polímeros sintéticos (Lorenzo, 2006). Los polímeros catiónicos funcionan como agentes desestabilizantes por formación de enlaces de puente (figura 2), neutralización de carga o ambos (Weber, 2003).

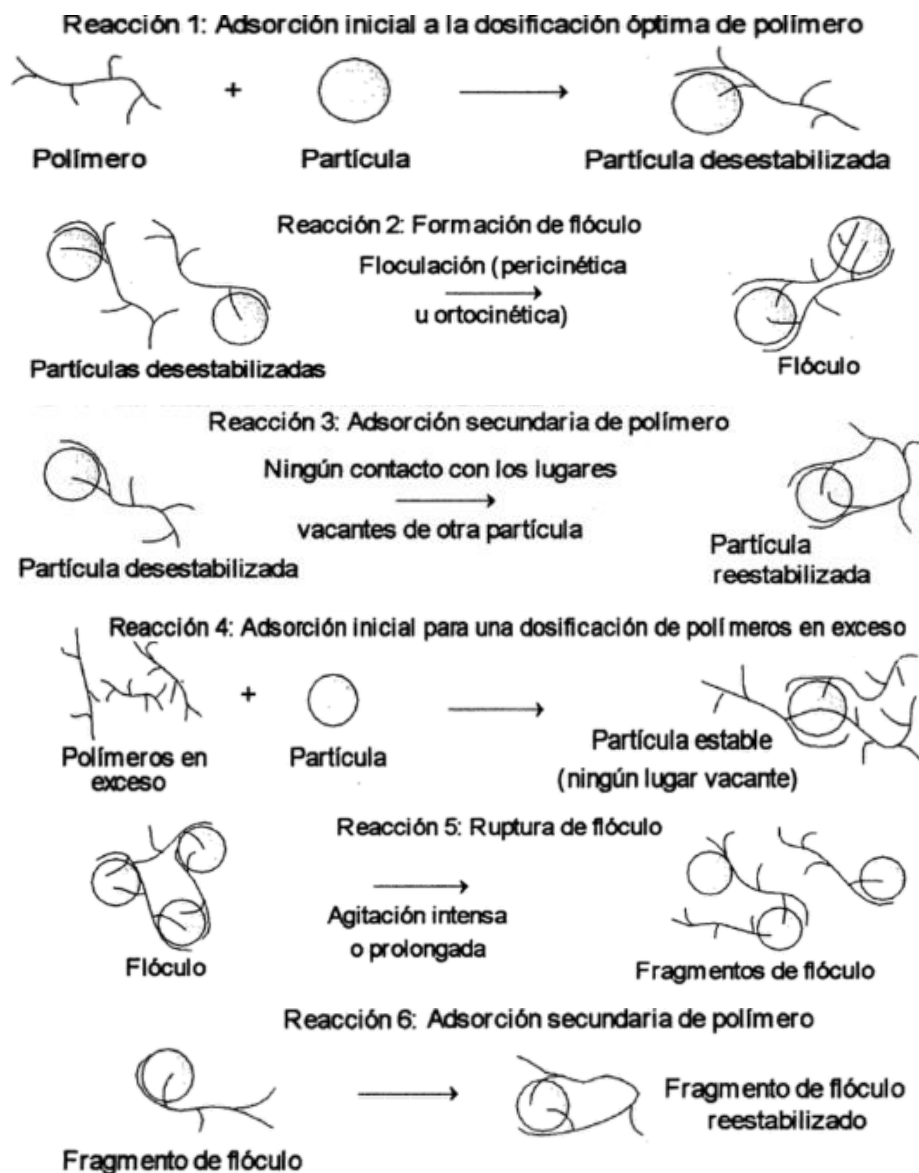


Figura 2. Esquema de un modelo de enlace de puente para la desestabilización de coloides por polímeros.

Fuente: Aguilar et al. (2002)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Clarificación del agua

Eliminación de las partículas coloidales por coagulación, floculación y sedimentación (Romero et al., 2007).

2.3.2. Agua cruda

Agua de origen natural que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento (Lozano y Lozano, 2015).

2.3.3. Agua segura

Medida de la extensión en que la luz es absorbida o dispersada por la materia suspendida en el agua (Contreras y Molero, 2011).

2.3.4. Flóculo

Grupo de partículas débilmente ligadas, es decir, unidas por fuerzas débiles (Dinger, 2010).

2.3.5. Turbidez del agua

Medida de la extensión en que la luz es absorbida o dispersada por la materia suspendida en el agua (Contreras y Molero, 2011).

2.3.6. Calidad del agua

Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas que debe tener el agua, para conferirle un uso determinado (Lozano y Lozano, 2015).

2.3.7. Color del agua

Condición debido a sustancias en disolución o a sustancias en suspensión (Soriano y Pancorbo, 2012).

2.3.8. Color verdadero

Es el que se produce por sustancias disueltas y se aplica para el agua potable (Jimenez, 2005).

2.3.9. Color aparente

Se da por los sólidos en suspensión más el color verdadero de la muestra (Jimenez, 2005).

2.3.10. Coagulación

Consiste en la formación de partículas de tamaño discreto fácilmente separables del agua por medio de sedimentación y de la filtración (Gomella y Guerrée, 1997).

2.3.11. Floculación

Proceso por el que las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables o aglomerados (Aguilar, et al., 2002)

2.3.12. Sedimentación

Remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad (Cogollo, 2011).

2.3.13. Coagulación-floculación

Es la desestabilización y posterior eliminación de partículas coloidales del agua, tanto de carácter orgánico (virus, bacterias, algas, etc.) como inorgánicos (óxidos metálicos, arcillas, etc.), que contribuyen también a la eliminación de materia orgánica disuelta (Rodríguez, 2003).

2.3.14. Coloides

Es una medida del material en suspensión en el agua, que por su tamaño alrededor de los 10^{-4} - 10^{-5} mm, se comporta como una solución verdadera (Rigola, 1990).

2.3.15. Turbidez

Propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida de diseminar en todas direcciones la luz que pasa por ella (Arboleda, 1992).

2.3.16. Índice de Willcomb

Valor cualitativo asignado para poder calificar la formación más consistente y rápida de sedimentar los flocs (Giordani et al., 2009).

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental explicativa, porque tiene la finalidad de determinar el efecto de las semillas de moringa en la clarificación del agua obtenida del río Sama, al ser sometida a tratamiento con diferentes condiciones floculación y sedimentación, lo que permitirá establecer las condiciones para su utilización en el tratamiento del agua.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación consistió en primer lugar de un diseño factorial, de cuatro factores a dos niveles cada uno, esto es, un diseño factorial 2^4 . Los factores con los que se realizaron los tratamientos son la dosis de harina de semillas de moringa, velocidad de floculación, tiempo de floculación y tiempo de sedimentación (tabla 4).

Tabla 4.

Factores y niveles del diseño de experimento factorial 2^4 para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna

Factores	Niveles	
Dosis de harina de semillas (g/L)	0,2	0,8
Velocidad de floculación (rpm)	30	50
Tiempo de floculación (minutos)	10	20
Tiempo de sedimentación (minutos)	20	60

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los tratamientos del diseño de experimento factorial 2^4 que resultan de las combinaciones de los niveles de los factores indicados en la tabla 4 resultan en 16 tratamientos (tabla 5), realizándose una réplica de los factores cruzados.

Tabla 5.

Tratamientos del diseño de experimento factorial 2^4 para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna

Tratamiento	Dosis de harina de semillas	Velocidad de floculación	Tiempo de floculación	Tiempo de sedimentación
	g/L	rpm	minutos	minutos
1	0,2	30	10	20
2	0,8	30	10	20
3	0,2	50	10	20
4	0,8	50	10	20
5	0,2	30	20	20
6	0,8	30	20	20
7	0,2	50	20	20
8	0,8	50	20	20
9	0,2	30	10	60
10	0,8	30	10	60
11	0,2	50	10	60
12	0,8	50	10	60
13	0,2	30	20	60
14	0,8	30	20	60
15	0,2	50	20	60
16	0,8	50	20	60

Fuente: Elaboración propia (2019)

Posteriormente se realizó un diseño de experimento factorial 2^3 . Los factores con los que se realizaron los tratamientos son la dosis de harina de semillas, velocidad de floculación y tiempo de floculación (tabla 6).

Tabla 6.

Factores y niveles del diseño de experimento factorial 2³ para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna

Factores	Niveles	
Dosis de harina de semillas (g/L)	0,1	0,2
Velocidad de floculación (rpm)	20	30
Tiempo de floculación (minutos)	20	30

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los tratamientos del diseño de experimento factorial 2³ que resultan de las combinaciones los niveles de los 3 factores indicados en la tabla 6 resultan en 8 tratamientos (tabla 7), realizándose una réplica de los factores cruzados.

Tabla 7.

Tratamientos del diseño de experimento factorial 2³ para la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna

Tratamiento	Dosis de harina de semillas	Velocidad de floculación	Tiempo de floculación
	(g/L)	(rpm)	(min)
1	0,1	20	20
2	0,2	20	20
3	0,1	20	30
4	0,2	20	30
5	0,1	30	20
6	0,2	30	20
7	0,1	30	30
8	0,2	30	30

Fuente: Elaboración propia (2019)

La determinación del tiempo de sedimentación se realizó utilizando el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro tratamientos (tiempo) y tres bloques (turbiedad del agua del río Sama) (tabla 8).

Tabla 8.

Tratamientos del diseño experimental de bloques completos al azar de la investigación para el tiempo de sedimentación en la clarificación del agua del río Sama por efecto de la harina de semillas de moringa de Tacna

Tratamiento	Bloques		
	Turbidez 1	Turbidez 2	Turbidez 3
1 hora	t _{1;1}	t _{2;1}	t _{3;1}
1,5 horas	t _{1;1,5}	t _{2;1,5}	t _{3;1,5}
2 horas	t _{1;2}	t _{2;2}	t _{3;2}
2,5 horas	t _{1;2,5}	t _{2;2,5}	t _{3;2,5}

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.1.3. Procedimiento de la investigación

3.1.3.1. Procedimiento para el tratamiento del agua

El procedimiento para el tratamiento del agua (figura 3), inició con la recolección de agua del río Sama, utilizándose dos baldes plásticos de 20 litros cada uno para la realización de una réplica del experimento.

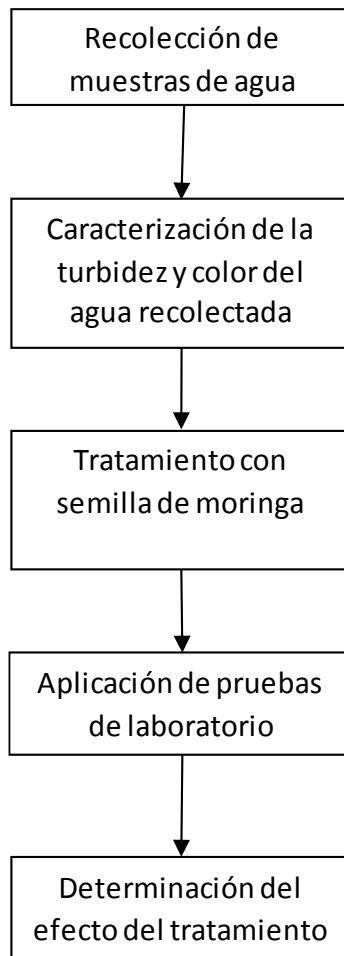


Figura 3. Procedimiento para el tratamiento del agua del río Sama con semilla de moringa

Fuente: Elaboración propia (2019)

La caracterización de la turbiedad y color del agua de río Sama se realizó en el Laboratorio de Procesos Químicos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, determinándose las unidades nefelométricas de turbidez (UNT) y el color aparente del agua (UPC).

Previo al tratamiento de las aguas crudas recolectadas del río Sama, se realizaron decantaciones de 12 y 18 horas para los diseños de experimento 2⁴ y

2³ respectivamente y para el diseño experimental de bloques completos al azar: 6 horas para el bloque 3, 20 horas para el bloque 1 y para el bloque 2 se combinó parte de las aguas de los bloques 1 y 3, obteniéndose las condiciones indicadas en las tablas 15 y 16 de los resultados. Después para su tratamiento experimental se utilizó el equipo probador de jarras (Jar Test) JLT6 marca VELP Scientifica con capacidad para 6 tratamientos con display digital con velocidad de rotación de 10 a 300 rpm, utilizando un volumen de agua del río Sama de 1 litro en cada tratamiento (figura 25 de los anexos). Con el agua del río Sama en cada vaso de vidrio, se encendió el equipo a una velocidad de agitación rápida de 200 rpm durante 1 minuto para todos los tratamientos y posteriormente se inició con los tratamientos correspondientes (dosis de harina de semillas de moringa, velocidad de floculación, tiempo de floculación y tiempo de sedimentación) con los respectivos resultados de clarificación del agua (figura 26 de los anexos).

El efecto de los tratamientos en el del agua del río Sama, se evaluó mediante la turbidez con un turbidímetro marca HACH modelo 2 100Q con rango de medida de 0 a 1 000 UNT; y para el color, con un colorímetro marca HACH modelo DR 900, con rango de medida de 0 a 500 UPC.

3.1.3.2. Procedimiento para las semillas

Consistió en cinco etapas. Se realizó la recolección de las vainas de moringa, obtención de las semillas de moringa, caracterización física de las semillas, acondicionamiento de las semillas, determinación proximal de las semillas (figura 4).

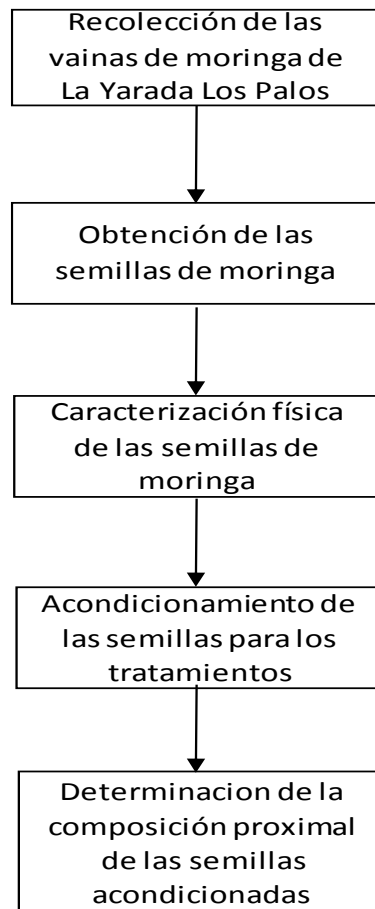


Figura 4. Procedimiento para la caracterización física y proximal de las semillas de moringa de La Yara Los Palos

Fuente: Elaboración propia (2019)

Las vainas de moringa se recolectaron secas en una jaba de plástico de 52 x 36 cm por 31 cm de altura, con capacidad de 2,80 kilogramos en promedio (figura 23 de los anexos). La recolección de las vainas de moringa se realizó cosechándolas en la parcela 13 del comité 3B, altura del kilómetro 9 de la vía al Asentamiento 5 y 6 del distrito de La Yarada Los Palos de la provincia de Tacna, se efectuó en un tiempo de 30 minutos aproximadamente.

Para la obtención de las semillas de moringa se procedió a retirar manualmente las vainas de la moringa, de una a la vez, para lo cual se tomó cada vaina de moringa con una mano y se procedió a abrirla tirando en sentido

opuesto las manos y colectando las semillas en una jaba plástica desde donde se trasladó a una bolsa plástica para su almacenamiento (figura 24 de los anexos). La cantidad total de semillas colectadas fue de 810 gramos.

La caracterización física de las semillas se realizó en el Laboratorio de Análisis y Composición de los Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNJBG, para ello se tomó al azar semillas de moringa, se retiró la cáscara que cubre al endospermo utilizando la parte del mango de madera de un cuchillo de cocina con el que se golpeó cada una de las semillas, debilitando la cubierta que fue separada fragmentada manualmente y se determinó su peso con una balanza digital Marca ADAM con 210 gramos de capacidad máxima y una sensibilidad de 0,0001 gramos.

Para el acondicionamiento de las semillas se procedió a triturar las semillas en una licuadora doméstica para granos marca National hasta reducir su tamaño a polvo, el cual, posteriormente se tamizó con un tamiz W.S. TYLER número 35 (32 Mesh) hasta obtener el producto sin partículas mayores al tamaño de malla. Finalmente se pesaron 10 gramos de harina de moringa requerida para adicionarlos a 100 mL de agua destilada donde se mezcló por un tiempo de 5 minutos; después se realizó un filtrado rápido para separar las partículas de harina de moringa de la solución. La concentración de la solución fue de 100 g de harina de moringa/L de agua destilada.

La determinación proximal de la harina de semillas de moringa, se realizó en el Laboratorio Central de la Escuela Profesional de Agronomía (humedad y proteínas hasta digestión) y en el Laboratorio de Análisis y Composición de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias (proteínas desde destilación y titulación, cenizas y grasa), utilizándose la estufa marca Memmert para la determinación de humedad por el método de secado de la American Official Methods Analytical (A.O.A.C) 18th Edition 2005; para el contenido de materia grasa se utilizó el equipo Soxhlet marca Labconco por el

método A.O.C.S. Aa4-38 1993; proteínas por el método A.O.A.C 18th Edition, 2005 utilizándose el equipo Kjeldahl marca Labconco; cenizas totales, por el método A.O.A.C 15th Edition 2005, utilizándose una mufla marca Merkel con rango de temperatura de 0 a 800 °C.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

3.2.1.1. Para la moringa

La población estuvo compuesta por las vainas producidas en la plantación de moringa, en la que se cultiva aproximadamente 300 plantas, en el fundo ubicado en el Comité 3 B, Parcela 13 de la Asociación ASPRIAGRO del distrito La Yarada Los Palos. En las vainas se encontraban alojadas las semillas de moringa que se utilizaron (figura 23 de los anexos).

3.2.1.2. Para el agua

El agua utilizada para la investigación es la proveniente del Río Sama, habiéndose determinado como punto para la recolección el canal que conduce el agua a la planta de tratamiento del distrito de Sama (figura 22 de los anexos).

3.2.2. Muestra

3.2.2.1. Para las semillas de moringa

La cantidad de semillas de moringa para la preparación de la solución coagulante para cada réplica de tratamientos fue de 10 gramos.

3.2.2.2. Para el agua

Del agua del río Sama contenida en los dos baldes plásticos, se obtuvo las respectivas muestras para cada réplica de tratamientos.

La unidad de observación o cantidad de agua del río Sama necesaria para realizar el diseño de experimento factorial 2^4 de la investigación fue de 16 litros

por réplica; para el diseño de experimento factorial 2^3 fue de 8 litros por réplica y para el diseño de bloques completos al azar fue de 12 litros por réplica, realizándose la recolección en dos baldes de 20 litros cada uno y una botella PET de 1 L para cada diseño experimental, los días 12; 18 y 19 de febrero del año 2019 (tabla 23 de los anexos).

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable independiente

“Semilla de moringa”

Definición operacional

Producto obtenido de vainas secas de moringa acondicionadas para el tratamiento del agua.

Dimensiones

Las dimensiones de la variable independiente semilla de moringa, para el diseño de experimento factorial 2^4 , fueron:

- Dosis de harina de semillas (g/L).
- Velocidad de floculación (rpm).
- Tiempo de floculación (min).
- Tiempo de sedimentación (min).

Escala

- Dosis de harina de semillas: 02 - 08.
- Velocidad de floculación: 30 - 50.
- Tiempo de floculación: 10 - 20.
- Tiempo de sedimentación: 20 - 60.

3.3.2. Variable dependiente

“Agua clarificada del río Sama”

Definición operacional

Agua obtenida del río Sama que como resultado del tratamiento de clarificación reduce su turbidez.

Dimensiones

Las dimensiones de la variable dependiente agua clarificada del río Sama, fueron:

- Turbidez (UNT). Escala: < 5.
- Índice de Willcomb (Nro. de índice). Escala: 8 – 10.
- Color aparente (Unidad de color UPC). Escala: Máx. 20 UPC.

Escala

- Turbidez: < 5.
- Índice de Willcomb: 8 – 10.
- Color aparente: Máx. 20 UPC.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Objetivo específico 1: Determinar la dosis de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.) que reduce la turbidez del agua del río Sama.

a) Frecuencia y horario de muestreo

La toma de muestra del polvo de semilla de moringa, 10 gramos, se realizó al inicio de cada réplica experimental (9:30 am), requiriéndose de 5 minutos desde el inicio del proceso hasta la adición de 100 mL de agua destilada. Después fueron necesarios 10 minutos más para la extracción de la materia

soluble de la semilla de moringa hasta su filtrado en papel de filtrado rápido; el filtrado se realizó en un tiempo de 5 minutos. De ésta solución se tomó con jeringas la cantidad de muestra necesaria para cada dos tratamientos con una frecuencia de 5 segundos por batch en el equipo probador Jar Test.

b) Descripción detallada de uso de equipos, instrumentos e insumos

Para el muestreo se utilizaron dos espátulas de acero inoxidable de laboratorio (una con forma de cucharita y otra con forma de pala plana), pesándose en una balanza analítica marca Kern AES con capacidad de 220 gramos y sensibilidad de 0,0001 g hasta obtener los 10 gramos de harina de semillas de moringa necesarios para la preparación de la solución de moringa de cada réplica experimental.

La muestra de harina de semillas de moringa se colocó en un beaker de 250 mL, adicionándole 100 mL de agua destilada, agitándola manualmente durante 5 minutos y filtrando en papel de filtrado rápido, recibiendo el filtrado en otro beaker de 250 mL.

Del filtrado se tomó con jeringas hipodérmicas de 1,0 mL marca Intraven, la cantidad de solución necesaria para la dosis del respectivo tratamiento, 2 o 8 mL para el diseño de experimentos factorial 2⁴; y 1 o 2 mL para el diseño de experimentos factorial 2³. Para el diseño de bloques completos al azar se utilizó 2 mL por tratamiento.

Para la medición de la reducción de la turbidez se utilizó un turbidímetro marca HACH modelo 2100Q con rango de medida de 0 a 1 000 UNT y utilizándose para la medición 1 000 mL de agua del río Sama para cada tratamiento.

Para la medición de la reducción del color se procedió de manera similar a lo realizado para la medición de la reducción de la turbidez, utilizándose un colorímetro marca HACH modelo DR 900.

c) Variables analizadas

El factor independiente, dosis de harina de semillas de moringa, se estableció a niveles de 0,2 o 0,8 g/litro, para el diseño de experimentos factorial 2^4 ; y 0,1 o 0,2 g/litro para los tratamientos del diseño de experimentos factorial 2^3 , para medir la clarificación del agua del río Sama y establecer la condición de la dosis necesaria.

La variable dependiente fue el agua clarificada del río Sama medida en unidades nefelométricas de turbidez y el color medido en unidades platino cobalto (UPC).

La variable en análisis es que a mayor dosis de semilla de moringa en el tratamiento del agua del río Sama mayor remoción de la turbidez (figura 5).

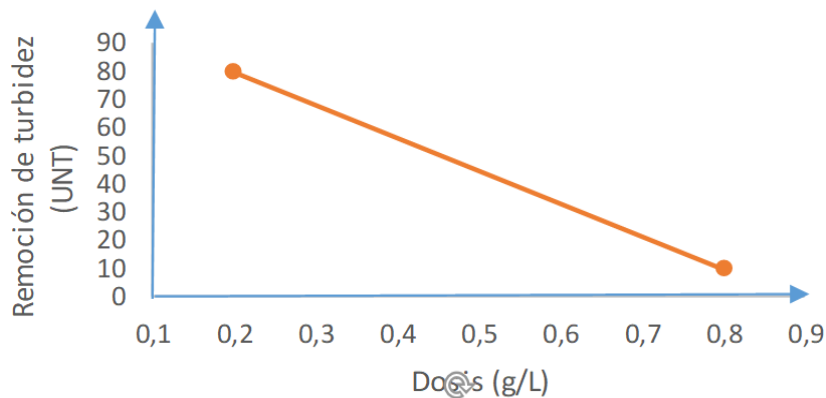


Figura 5. Relación de las variables dosis y Remoción de turbidez del agua tratada del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna

Fuente: Elaboración propia (2019)

d) Recolección de datos para dosis de harina de semillas

La dosis de harina de semillas de moringa a utilizar fue de 0,2 y 0,8 g/L con el diseño de experimento factorial 2^4 , distribuyéndose en 16 tratamientos por réplica; y 0,1 y 0,2 g/L con el diseño de experimento factorial 2^3 , distribuyéndose en 8 tratamientos por réplica, evaluándose el efecto en la turbidez del agua del río Sama medido en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) y color aparente medido en unidades de color platino /cobalto (UPC).

a) Aplicación estadística

Se aplicó la prueba inferencial de ANOVA para determinar si el efecto de la dosis de semilla de moringa en la turbidez y color del agua tratada del río Sama es significativa.

3.4.2. Objetivo específico 2: Determinar la velocidad de floculación durante la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.).

a) Frecuencia y horario:

Para cada tratamiento, posteriormente a la agitación rápida de las muestras a 200 rpm, se estableció la respectiva velocidad de floculación de 30 y 50 rpm para el diseño de experimentos factorial 2^4 , realizándose primero los tratamientos con 30 rpm en 2 horas aproximadamente y después los tratamientos con 50 rpm también en 2 horas. Para el diseño de experimento factorial 2^3 , se establecieron velocidades de floculación de 20 y 30 rpm.

b) Descripción detallada de uso de equipos, instrumentos e insumos

Para determinar la velocidad de floculación se colocaron las muestras de agua del río Sama en el equipo conocido como Jar Test de la marca VELP Scientifica modelo JLT6, con una capacidad para 6 vasos de 1 litro cada uno, con rango de regulación de 10 a 300 rpm con contador de tiempo programable desde 0 a 999 minutos. Con el equipo encendido a la velocidad de agitación rápida, se estableció la velocidad de floculación necesaria de los tratamientos y se añadió con jeringas conteniendo la solución de moringa los 2 mL o 8 mL para el diseño de experimento factorial 2^4 y 1 o 2 mL de solución de moringa requeridos para el diseño de experimento factorial 2^3 .

c) Variables analizadas

La variable independiente, velocidad de floculación fue evaluada a 30 y 50 rpm para el diseño de experimento factorial 2^4 y a 20 y 30 rpm para el diseño de experimento factorial 2^3 .

La variable dependiente, el agua clarificada del río Sama, se evaluó midiendo la remoción de turbidez y color del agua del río Sama.

La hipótesis establecida fue que a mayor velocidad de floculación en el tratamiento del agua del río Sama mayor es la clarificación por la utilización de semillas de moringa (figura 6).

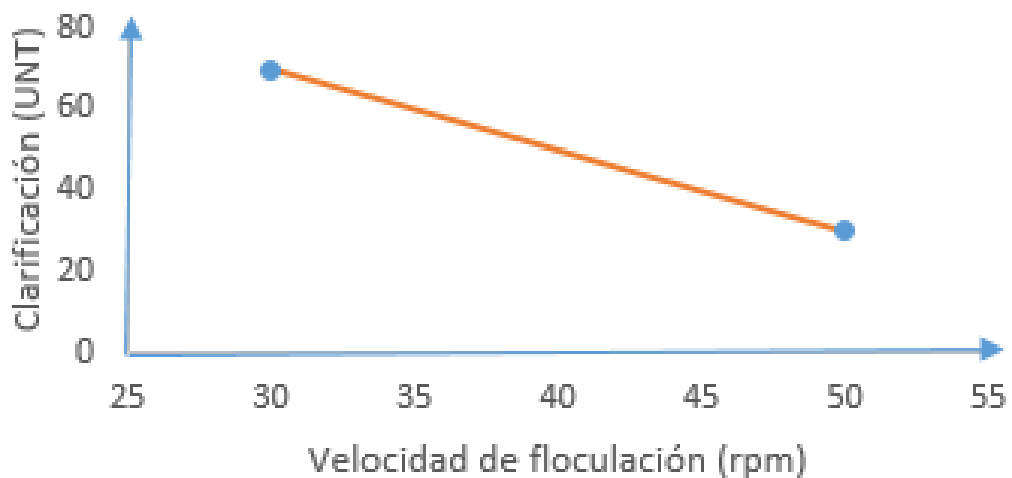


Figura 6. Velocidad de floculación vs clarificación del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna

Fuente: Elaboración propia (2019)

d) Recolección de datos para velocidad de floculación

Con el diseño de experimento factorial 2^4 , la velocidad de floculación fue de 30 y 50 rpm, distribuyéndose en 16 tratamientos por réplica y para el diseño de experimento factorial 2^3 , la velocidad de floculación fue de 20 y 30 rpm con 8 tratamientos por réplica, evaluándose su efecto en las unidades nefelométricas de turbidez (UNT) y el color en unidades de platino/cobalto (UPC).

e) Aplicación estadística

Se aplicó la prueba inferencial de ANOVA para determinar el efecto de la velocidad de floculación en la clarificación del agua tratada del río Sama, con un nivel de confianza de 95 %.

3.4.3. Objetivo específico 3: Determinar el tiempo de floculación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.).

a) Frecuencia y horario

Se consideró tiempos de floculación de 10 y 20 minutos para el diseño de experimentos factorial 2^4 , realizándose 2 batch de 4 tratamientos a 10 minutos de tiempo de floculación y 2 batch de 4 tratamientos para 20 minutos de tiempo de floculación en el equipo Jar Test. El tiempo requerido en total fue de aproximadamente 6 horas por réplica. Para el diseño de experimentos factorial 2^3 , se realizaron primero los tratamientos con tiempo de floculación de 20 minutos; y después los tratamientos con tiempo de floculación de 30 minutos requiriéndose un tiempo aproximado de 5 horas por réplica.

b) Descripción detallada de uso de equipos, instrumentos e insumos

Para determinar el tiempo de floculación se colocaron las muestras de agua del río Sama en el equipo conocido como Jar Test de la marca VELP Scientifica modelo JLT6 con una capacidad para seis vasos de un litro cada uno, con rango de regulación de 10 a 300 rpm y se programó el tiempo de floculación a 10 o 20 minutos para el diseño de experimento factorial 2^4 ; y tiempos de floculación de 20 y 30 minutos para el diseño de experimento factorial 2^3 , controlándose el tiempo de floculación en un cronómetro Samsung, una vez añadida la solución de harina de semillas de moringa con las jeringas hipodérmicas.

c) Variables analizadas

La variable independiente, tiempo de floculación fue evaluada a 10 y 20 minutos para el diseño de experimento factorial 2^4 ; y para el diseño de experimento factorial 2^3 los tiempos de floculación fueron de 20 y 30 minutos según el respectivo tratamiento.

La variable dependiente, el agua clarificada del Río Sama, se evaluó midiendo la turbidez y color del agua.

La hipótesis establecida fue que, a mayor tiempo de floculación, mayor clarificación del agua del río Sama utilizando harina de semillas de moringa de Tacna (figura 7).

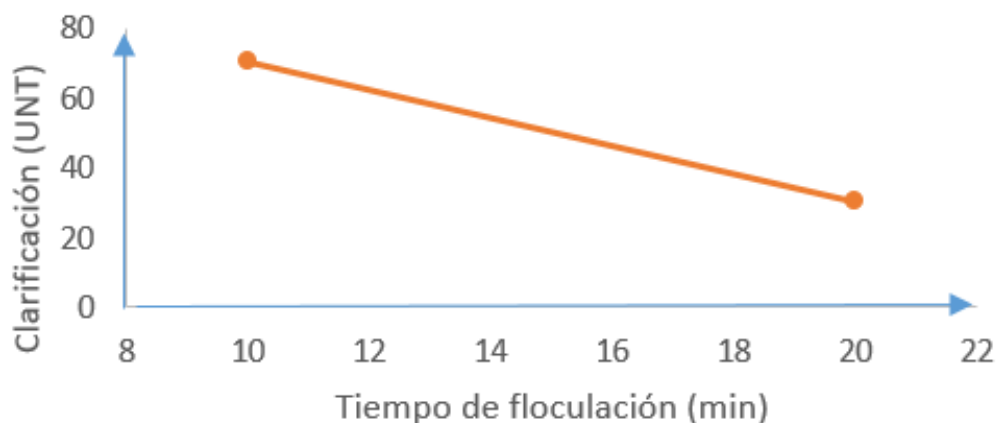


Figura 7. Relación tiempo de floculación vs agua clarificada del río Sama por tratamiento con semillas de moringa

Fuente: Elaboración propia (2019)

d) Recolección de datos para tiempo de floculación

El tiempo de floculación fue de 10 y 20 minutos, distribuyéndose en 16 tratamientos por réplica, evaluándose su efecto en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) y en unidades de color platino/cobalto (UPC).

e) Aplicación estadística

Se aplicó la prueba inferencial de ANOVA para determinar el efecto del tiempo de floculación en la clarificación del agua del río Sama.

3.4.4. Objetivo específico 4: Determinar el tiempo de sedimentación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.)

a) Frecuencia y horario

Luego de aplicar los respectivos diseños de experimentos factoriales 2^4 y 2^3 , se completaron los experimentos con el factor tiempo de sedimentación para establecer las condiciones para el tratamiento del agua del río Sama en cuanto a la dosis de harina de semillas de moringa, velocidad de floculación y tiempo de floculación.

El tiempo total requerido para el diseño de experimento factorial 2^4 fue de 6 horas; y para el diseño de experimento factorial 2^3 fue de 5 horas aproximadamente.

Con las condiciones establecidas para el tratamiento del agua del río Sama, se establecieron tiempos de sedimentación de 60; 90; 120 y 150 minutos para cada tratamiento experimental del diseño de bloques completos al azar. Realizándose la toma de muestra de cada *beaker* en los tiempos establecidos. El tiempo total requerido para el diseño de bloques completos al azar para determinar el tiempo de sedimentación fue de 3,5 horas aproximadamente.

b) Descripción detallada de uso de equipos, instrumentos e insumos

Para determinar el tiempo de sedimentación, luego de aplicar los respectivos diseños experimentales, se dejó sedimentar a los tiempos establecidos para la experimentación las muestras de agua del río Sama tratadas en el equipo Jar Test de la marca VELP Científica modelo JLT6 con una capacidad para 6 vasos de 1 litro cada uno, con rango de regulación de 10 a 300 rpm. Los tiempos de sedimentación se controlaron según el respectivo tratamiento utilizándose un cronómetro de la marca Samsung, y midiéndose la turbidez y color con un turbidímetro marca HACH. Modelo 2 100 Q y colorímetro marca HACH modelo DR 900, respectivamente.

c) Variables analizadas

La variable independiente, tiempo de sedimentación fue analizada a 20 y 60 minutos con el diseño de experimentos factorial 2^4 y con el diseño de bloques completos al azar a 60; 90; 120 y 150 minutos.

La variable dependiente, el agua clarificada del Río Sama, se evaluó midiendo la turbidez y color del agua.

La hipótesis en análisis fue que a mayor tiempo de sedimentación mayor clarificación del agua del río Sama utilizando semilla de moringa (figura 8).

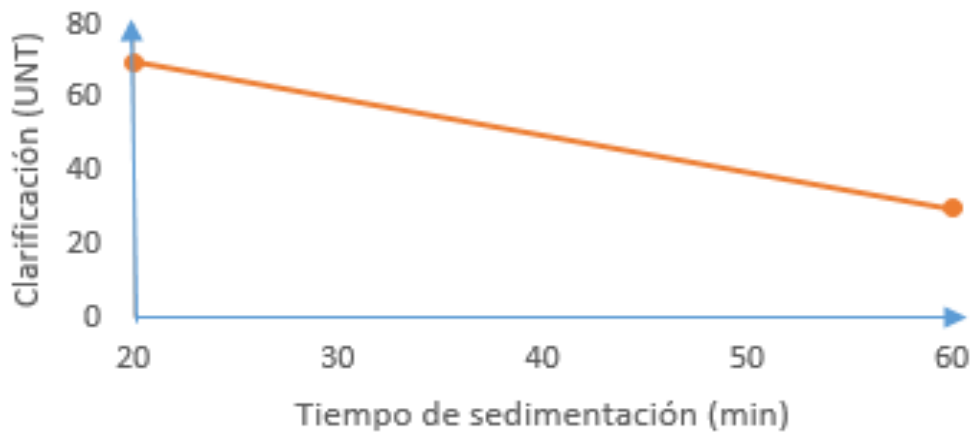


Figura 8. Relación tiempo de sedimentación vs clarificación del agua del río Sama por tratamiento con harina de semillas de moringa

Fuente: Elaboración propia (2019)

d) Recolección de datos para tiempo de sedimentación

El tiempo de sedimentación fue de 20 y 60 minutos para el diseño de experimentos factorial 2^4 , distribuyéndose en 16 tratamientos por réplica, evaluándose su efecto en la unidad nefelométrica de turbidez (UNT) y en unidades de color platino/cobalto (UPC) medidas en el agua tratada del río Sama.

Para el diseño de bloques completos al azar se recolectaron tres muestras de cada tratamiento para cada bloque (turbidez inicial del agua del río Sama).

e) Aplicación estadística

Se aplicó la prueba inferencial de ANOVA para determinar el efecto del tiempo de sedimentación en la clarificación del agua del río Sama.

3.4.5. Métodos utilizados

A. Para la Semilla de moringa

A.1 Composición estructural de la semilla

Se realizó por el método mencionado por (Belén et al., 2005), aplicado a la semilla del corozo, que consiste en seleccionar al azar una muestra de 30 semillas enteras, constituida cada una por cáscara (pericarpio) y endospermo. Se le determina la masa a cada semilla. Luego, a cada semilla se le separa el pericarpio y el endospermo y se les mide la masa por separado. Se determina la proporción de pericarpio y endospermo de cada semilla.

A.2 Determinación de humedad

Método American Official Methods Analytical (A.O.A.C) 18th Edition 2005

A.2 Determinación de proteína

Método A.O.A.C 18th Edition, 2005

A.3 Determinación de materia grasa

Método A.O.C.S Aa4-38, 1993

A.4 Determinación de cenizas totales

Método A.O.A.C 18th Edition 2005

A.5 Determinación de carbohidratos

Por diferencia

B. Para el agua

B.1 Determinación de turbidez

Método nefelométrico ASTM D 7315-17

B.2 Estándar de prueba de jarras para coagulación-floculación del agua

Método ASTM D 2035-08

B.3 Determinación del color

Método Estándar de Platino-Cobalto, método 8025

3.4.6. Instrumentos

A. Estufa marca Memmert.

B. Equipo Kjeldahl.

C. Equipo Soxhlet.

D. Mufla marca Acequilabs.

E. Turbidímetro marca HACH. Modelo 2 100 Q.

F. pH-metro marca Hanna Instruments con rango de pH de 0 a 14 y sensibilidad 0,1 unidades.

G. Simulador de procesos Jar Test marca VELP Scientifica. Modelo JLT6.

H. Colorímetro marca HACH modelo DR 900.

I. Balanza digital marca Valtox. Modelo LC30. Capacidad 30 kg. Sensibilidad 5 g.

J. Balanza analítica digital marca KERN AES. Capacidad 220 gramos. Sensibilidad 0,0001 g.

K. Balanza digital marca ADAM con 210 gramos de capacidad máxima y una sensibilidad de 0,0001 gramos.

L. Licuadora doméstica marca National con vaso para moler granos.

LL. Papel toalla reusable para filtrado rápido.

M. Tamiz ASTM N° 35 (32 MESH = 0,5 mm).

N. Jeringas hipodérmicas de 50 mL marca HI-MED.

Ñ. Jeringas hipodérmicas de 10 mL y 1mL marca Intraven.

O. Vasos de precipitados de 1 L y 250 mL.

P. Cuchillo de cocina.

Q. Embudo de vidrio de tallo corto Pirex.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos, turbidez y color del agua del río Sama, se utilizó los siguientes softwares: Excel, Statgraphics Versión XVI y Minitab Versión 18.

3.5.2. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó para los resultados de las mediciones de turbidez y color aparente del agua del río Sama. Las pruebas de hipótesis realizadas fueron mediante el análisis de varianza con 95 % de confianza comprobándose los supuestos del ANOVA y determinándose la significancia de los factores experimentales con el diseño de experimentos factorial 2^4 y de su análisis se continuó con un nuevo diseño de experimentos factorial, esto es 2^3 , en el que también se comprobaron los supuestos de ANOVA y se determinó la significancia de los tres factores con un 95 % de confianza.

El factor tiempo de sedimentación se analizó mediante un ANOVA aplicado al diseño de bloques completos al azar con 95 % de confianza. La diferencia entre los tratamientos se evaluó con la prueba de Tukey con 95 % de confianza.

CAPÍTULO IV

MARCO FILOSÓFICO

El efecto que tiene la harina de las semillas de moringa proveniente de La Yarada Los Palos, cuando se la utiliza para la clarificación del agua del río Sama fue la interrogante que se planteó en la investigación atendiendo a lo necesario que es el tratamiento del agua para consumo humano y además considerando el uso de un insumo amigable con el ambiente y la salud de los consumidores. Por ello se consideró cuatro factores en la experimentación que fueron la dosis de la harina de semillas de moringa, la velocidad de floculación, el tiempo de sedimentación y el tiempo de sedimentación y midiéndose el efecto en la turbidez y color aparente del agua sometida al tratamiento con respecto al agua turbia obtenida como muestra.

Los seres vivos necesitan del agua para vivir, pero en el caso del ser humano, debido a las diversas sustancias que la contaminan y a la normatividad que se ha establecido para hacerla apta para el consumo humano es imprescindible el tratamiento del agua que, entre uno de sus pasos necesarios, la clarificación es fundamental sobre todo cuando el agua a utilizar proviene de las escorrentías de época de lluvia.

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1. COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE MORINGA

5.1.1. Composición física

El promedio de vainas secas de moringa por jaba plástica fue de 2,86 kg, de las cuales se obtuvo 0,81 kg en promedio de semillas de moringa que representan el 28,32 % del rendimiento en semillas (tabla 9).

Las semillas de moringa se componen de 69,92 % de endospermo y 30,08 % de cáscara. (tabla 9).

Tabla 9.

Composición física de las vainas y semillas de moringa procedentes de Tacna 2018

Descripción	Cantidad (kg)	Porcentaje
Vainas enteras secas	2,86	100
Vainas secas	2,05	71,68
Contenido en semilla de las vainas	0,81	28,32
Semilla	Cantidad (g)	Porcentaje
Endospermo	0,57	69,92
Cáscara	0,24	30,08

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.2. Composición proximal

Los dos principales componentes del endospermo de las semillas de moringa son grasa, con 40,36 %; y proteínas, con 30,78 % (tabla 10).

Tabla 10.

Composición proximal de las semillas de moringa procedentes de Tacna 2018

Descripción	Cantidad (%)
Humedad	5,70
Grasa	40,36
Proteínas	30,78
Cenizas	4,42
Carbohidratos	18,74

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.3. Turbidez de la solución de semillas de moringa

Las soluciones de harina de semillas de moringa procedentes de Tacna utilizadas en los tres diseños experimentales realizados tuvieron un promedio de 139 UNT (tabla 11).

Tabla 11.

Turbidez de las soluciones de moringa procedentes de Tacna 2018 para el tratamiento del agua del río Sama

Fecha de preparación de la solución de moringa	Turbidez (UNT)
12/02/2019	139
18/02/2019	140
19/02/2019	138
Promedio	139

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.2. TURBIDEZ Y COLOR INICIAL DEL AGUA DEL RÍO SAMA

5.2.1. Para los diseños de experimentos factoriales

La turbidez del agua del río Sama decantada utilizada en los diseños de experimentos factoriales 2^4 y 2^3 estuvo entre 212 y 154 UNT y el color aparente entre 1 604 y 1 215 UPC respectivamente (tabla 12).

Tabla 12.

Condiciones iniciales del agua del río Sama para tratamiento con harina de semillas de moringa en cada diseño de experimento factorial

Medición	Diseño experimental factorial	
	2^4	2^3
Turbidez (UNT)	212	154
Color (UPC)	1 604	1 215

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.2.2. Para el diseño de bloques completos al azar

La turbidez del agua del río Sama utilizada en el experimento de diseño de Bloques completos al azar fue de 132 UNT para el primer bloque; 48,6 UNT para el segundo bloque y 424 UNT para el tercer bloque y el color aparente fue de 996; 482 y 2 780 UPC para el primer, segundo y tercer bloque respectivamente (tabla 13).

Tabla 13.

Condiciones iniciales del agua del río Sama utilizado para el diseño de bloques completos al azar al inicio del tratamiento con semillas de moringa

Medición	Bloque del DBCA		
	1	2	3
Turbidez (UNT)	132	48,6	424
Color (UPC)	996	482	2 780

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.3. TURBIDEZ CON TRATAMIENTOS

Las dosis de semillas de moringa de Tacna 2018 utilizadas para el tratamiento del agua del río Sama fueron de 0,2 a 0,8 g/L. Las velocidades de floculación (rpm) de los tratamientos fueron de 30 y 50 rpm. Los tiempos de floculación empleados en los tratamientos fueron de 10 y 20 minutos y los tiempos de sedimentación del agua tratada fueron de 20 y 60 minutos, obteniéndose valores de turbidez mínimos de 5,37 y 6,15 UNT en cada réplica (1 y 2) de los tratamientos realizados (tabla 14).

Tabla 14.

Turbidez del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2⁴

Dosis de semillas de moringa	Velocidad de floculación	Tiempo de floculación	Tiempo de sedimentación	Turbidez (UNT)	
				1	2
(g/L)	(rpm)	(min)	(min)		
0,2	30	10	20	32,8	25,1
0,8	30	10	20	53,1	37,8
0,2	30	10	60	15,9	17,9
0,8	30	10	60	16,4	24,6
0,2	30	20	20	18,3	28,2
0,8	30	20	20	44,9	45,1
0,2	30	20	60	6,75	6,15
0,8	30	20	60	10	14,5
0,2	50	10	20	28,6	31,2
0,8	50	10	20	55,8	61,2
0,2	50	10	60	11,5	18,7
0,8	50	10	60	20,2	29,8
0,2	50	20	20	29,7	38,5
0,8	50	20	20	89,9	83
0,2	50	20	60	5,37	11,4
0,8	50	20	60	19,6	29,1

Fuente: Elaboración propia (2019)

De los cuatro factores experimentales, el tiempo de sedimentación fue el de mayor significancia, mientras que el tiempo de floculación no fue significativo, más la interacción del tiempo de floculación con los demás factores registra ser significativo. La interacción tiempo de sedimentación y dosis de semillas fue la más significativa de las interacciones en el diseño 2⁴ (figura 9).

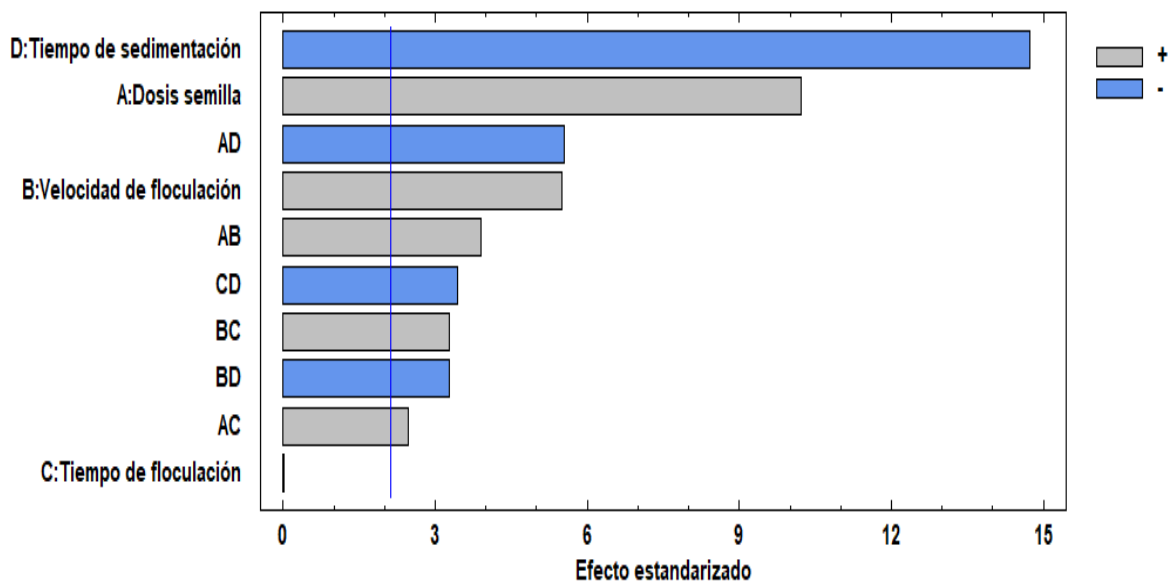


Figura 9. Significancia de los factores e interacciones en la reducción de la turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa proveniente de Tacna según diseño de experimento factorial 2^4

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

De los cuatro factores experimentales, el tiempo de floculación no fue significativo ($F_{C(0,05)} = 83,02$ para la dosis, $F_{C(0,05)} = 23,99$ para la velocidad de floculación, $F_{C(0,05)} = 0,00$ para el tiempo de floculación y $F_{C(0,05)} = 172,52$ para el tiempo de sedimentación; $F_{tab(0,05)} = 4,35$; $gl. = 1/20$; $p_{dosis} = 0,000$, $p_{velocidad\ floculación} = 0,000$, $p_{tiempo\ de\ floculación} = 0,997$, $p_{tiempo\ de\ sedimentación} = 0,000$; $n = 32$) con 95 % de confianza (tabla 24 de los anexos).

Considerando los resultados del diseño de experimento factorial 2^4 , debido a la elevada significancia del factor tiempo de sedimentación y a que este factor se aplica a los tratamientos posterior a la culminación de la aplicación de los factores dosis de harina de moringa, velocidad de floculación y tiempo de floculación y considerando que el factor tiempo de floculación no es significativo, se vio por conveniente utilizar un diseño de experimento factorial 2^3 ,

considerando los tres factores intervinientes en el proceso de mezcla: dosis de semillas de moringa, velocidad de floculación y tiempo de floculación.

En el diseño de experimento factorial 2^3 , la dosis de semillas de moringa de Tacna utilizadas para el tratamiento del agua del río Sama fue de 0,1 a 0,2 g/L; la velocidad de floculación y el tiempo de floculación de los tratamientos fue de 20 y 30 rpm y 20 y 30 minutos respectivamente. El factor tiempo de sedimentación que no fue parte del diseño y fue para todos los tratamientos de 60 minutos, obteniéndose valores de turbidez mínimos de 7,07 y 7,1 UNT en cada réplica (1 y 2) de los tratamientos realizados (tabla 15).

Tabla 15.

Turbidez del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2^3

Dosis de semillas de moringa	Velocidad de floculación	Tiempo de floculación	Turbidez (UNT)	
			1	2
(g/L)	(rpm)	(min)		
0,1	20	20	14,3	14,1
0,2	20	20	9,11	9,3
0,1	20	30	15,6	17
0,2	20	30	11,3	10,5
0,1	30	20	10,7	11,3
0,2	30	20	10,2	9,8
0,1	30	30	6,96	6,6
0,2	30	30	7,07	7,1

Fuente: Elaboración propia (2019)

Con el diseño de experimento factorial 2^3 , los tres factores (dosis de semillas de moringa, velocidad de floculación y tiempo de floculación) resultaron significativos, siendo el factor tiempo de floculación el de menor efecto en los tratamientos realizados; mientras que las interacciones entre los factores fueron significativas excepto para la interacción entre la dosis de semilla y tiempo de floculación para la turbidez del agua del río Sama (figura 10).

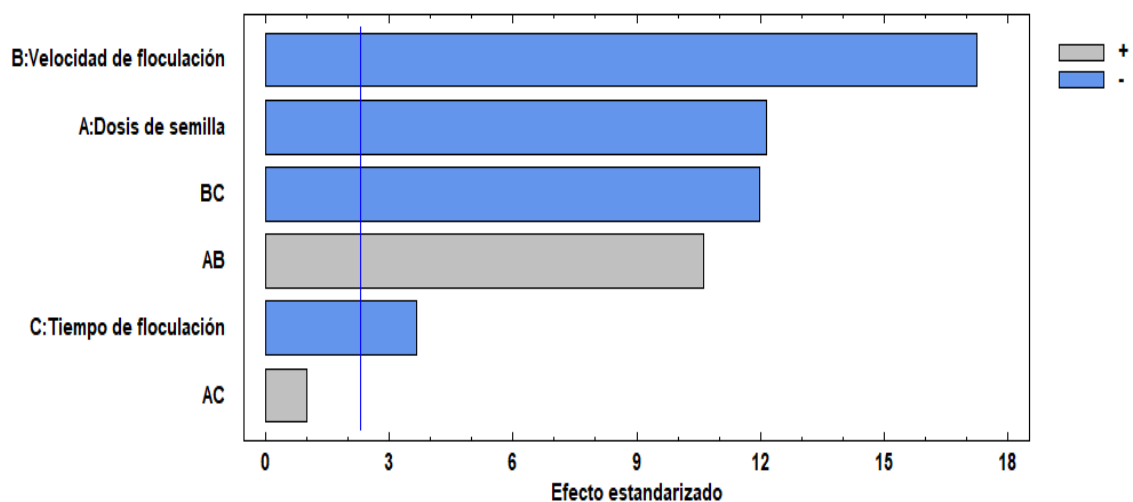


Figura 10. Significancia de los factores en la reducción de la turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa proveniente de Tacna según diseño de experimento factorial 2^3

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Los tres factores experimentales (figura 10) fueron significativos en la reducción de la turbidez del agua del río Sama por el tratamiento con semillas de moringa de Tacna ($F_{C(0,05)} = 103,30$ para la dosis, $F_{C(0,05)} = 208,10$ para la velocidad de floculación y $F_{C(0,05)} = 9,37$ para el tiempo de floculación; $F_{tab(0,05)} = 5,32$; $gl. = 1/8$; $p_{dosis} = 0,000$, $p_{velocidad\ floculación} = 0,000$ y $p_{tiempo\ de\ floculación} = 0,0166$; $n = 16$) con 95 % de confianza (tabla 25 de los anexos).

5.4. COLOR CON TRATAMIENTOS

Con el diseño de experimento factorial 2⁴, las dosis de semillas de moringa de La Yarada Los Palos utilizadas para el tratamiento del agua del río Sama fueron de 0,2 y 0,8 g/L; la velocidad de floculación (rpm) de los tratamientos, de 30 y 50 rpm; el tiempo de floculación empleados en los tratamientos fueron de 10 y 20 minutos; y los tiempos de sedimentación del agua tratada, de 20 y 60 minutos, obteniéndose valores de color aparente mínimos de 77 UPC en cada réplica (1 y 2) de los tratamientos realizados (tabla 16).

Tabla 16.

Color (UPC) del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2⁴

Dosis de semillas de moringa (g/L)	Velocidad de floculación (rpm)	Tiempo de floculación (min)	Tiempo de sedimentación (min)	Color (UPC)	
				1	2
0,2	30	10	20	326	281
0,8	30	10	20	548	392
0,2	30	10	60	194	190
0,8	30	10	60	201	254
0,2	30	20	20	204	260
0,8	30	20	20	448	460
0,2	30	20	60	93	77
0,8	30	20	60	132	170
0,2	50	10	20	322	316
0,8	50	10	20	604	630
0,2	50	10	60	149	199
0,8	50	10	60	240	309
0,2	50	20	20	304	383
0,8	50	20	20	838	820
0,2	50	20	60	77	121
0,8	50	20	60	234	301

Fuente: Elaboración propia (2019)

De los cuatro factores experimentales del diseño de experimento factorial 2^4 , para el color, el tiempo de sedimentación resultó el de mayor significancia, mientras que el tiempo de floculación fue no significativo, mas la interacción del tiempo de floculación con los demás factores registra significación con los demás factores. La interacción tiempo de sedimentación y dosis de semillas es la que presentó la mayor significancia de las interacciones de los factores (figura 11).

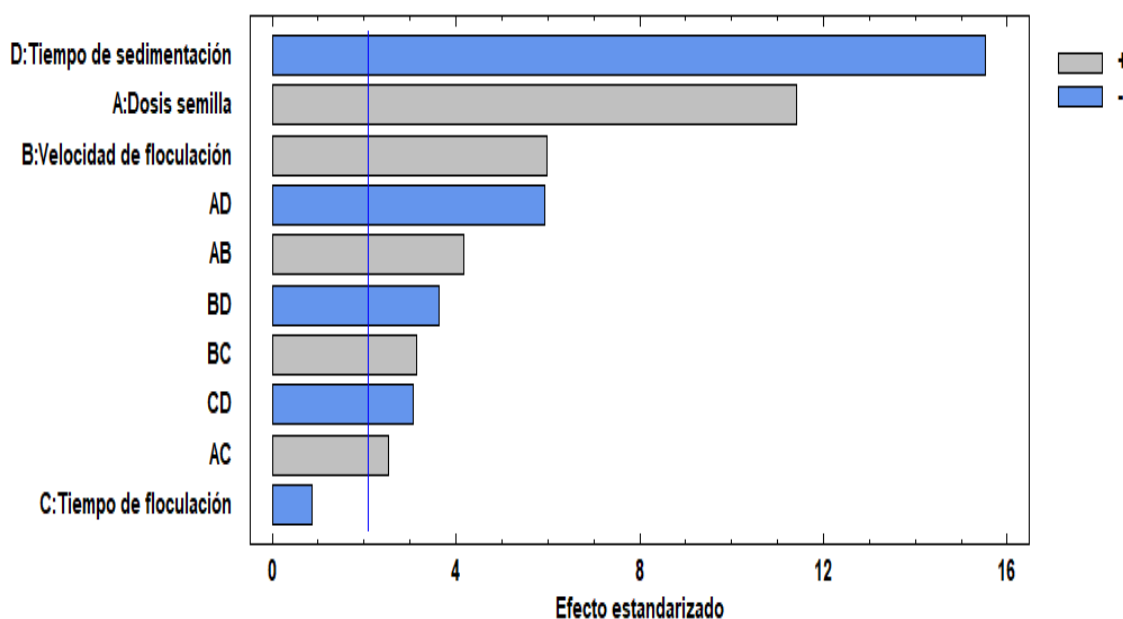


Figura 11. Significancia de los factores en la reducción del color del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa proveniente de Tacna utilizando el diseño de experimento factorial 2^4

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Solo tres factores experimentales fueron significativos para el color en el diseño de experimento factorial 2^4 (figura 11), ($F_{c(0,05)} = 130,44$ para la dosis, $F_{c(0,05)} = 35,84$ para la velocidad de floculación, $F_{c(0,05)} = 0,74$ para el tiempo de floculación y $F_{c(0,05)} = 241,19$ para el tiempo de sedimentación; $F_{tab(0,05)} = 4,35$; $gl. = 1/20$; $p_{dosis} = 0,000$, $p_{velocidad\ floculación} = 0,000$, $p_{tiempo\ de\ floculación} = 0,3996$, $p_{tiempo\ de\ sedimentación} = 0,000$; $n = 32$) con 95 % de confianza (tabla 26 de los anexos).

Considerando los resultados del diseño de experimento factorial 2⁴, para el color, debido a la elevada significancia del factor tiempo de sedimentación y a que este factor se aplica a los tratamientos posterior a la culminación de la aplicación de los factores dosis de semillas de moringa, velocidad de floculación y tiempo de floculación, y considerando que el factor tiempo de floculación no es significativo, se vio por conveniente utilizar un diseño de experimento factorial 2³, considerando los tres factores intervinientes en el proceso de mezcla: dosis de semillas de moringa, velocidad de floculación y tiempo de floculación.

En el diseño de experimento factorial 2³, para el color, la dosis de semillas de moringa de Tacna utilizadas para el tratamiento del agua del río Sama fue de 0,1 a 0,2 g/L; la velocidad de floculación (rpm) de los tratamientos fue de 20 y 30 rpm; y el tiempo de floculación fue de 20 y 30 minutos. El tiempo de sedimentación en todos los tratamientos se mantuvo constante a 60 minutos y no fue parte del nuevo diseño experimental. En los resultados se obtuvieron valores mínimos de 80 UPC en cada réplica (1 y 2) de los tratamientos realizados (tabla 17).

Tabla 17.

Color (UPC) del agua a diferentes tratamientos con semillas de moringa de Tacna, según diseño de experimento factorial 2³

Dosis de semillas de moringa (g/L)	Velocidad de floculación (rpm)	Tiempo de floculación (min)	Color (UPC)	
			1	2
0,1	20	20	151	152
0,2	20	20	89	92
0,1	20	30	164	167
0,2	20	30	120	112
0,1	30	20	118	124
0,2	30	20	104	105
0,1	30	30	78	80
0,2	30	30	80	81

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los tres factores experimentales del diseño de experimento factorial 2^3 resultaron ser significativos, siendo el de menor efecto para el color del agua del río Sama, el tiempo de floculación; y además las interacciones de los factores también resultaron significativas (figura 12).

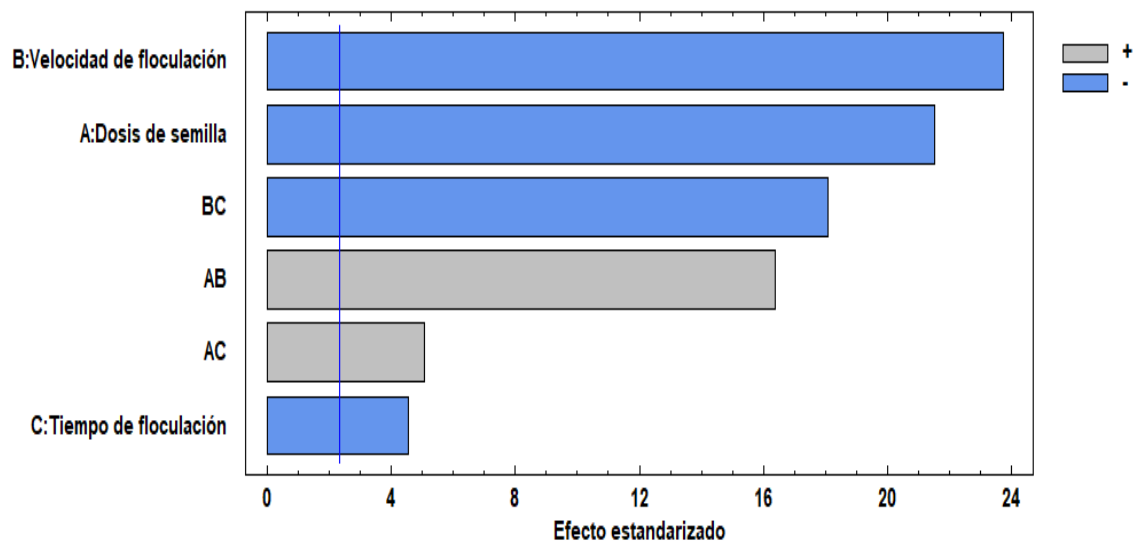


Figura 12. Significancia de los factores en la reducción del color del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa proveniente de Tacna con diseño de experimento factorial 2^3

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Los tres factores experimentales (figura 12) fueron significativos en la reducción del color del agua del río Sama por el tratamiento con semillas de moringa de Tacna ($F_{C(0,05)} = 463,24$ para la dosis de semillas, $F_{C(0,05)} = 564,18$ para la velocidad de floculación y $F_{C(0,05)} = 20,65$ para el tiempo de floculación; $F_{tab(0,05)} = 5,32$; $gl. = 1/8$; $p_{dosis} = 0,000$, $p_{velocidad\ floculación} = 0,000$ y $p_{tiempo\ de\ floculación} = 0,0019$; $n = 16$) con 95 % de confianza (Tabla 27 de los anexos).

5.5. ÍNDICE DE WILLCOMB

La característica del flóculo formado por el tratamiento con semilla de moringa del agua de río Sama corresponde a un valor de 6 del índice de Willcomb.

En todos los tratamientos realizados la formación de los flóculos visibles se inició alrededor de los 3 a 5 minutos de la adición de la harina de semillas de moringa de Tacna, mejorando la observación de los flóculos formados conforme aumentó el tiempo de coagulación (tabla 18).

Tabla 18.

Tiempo de formación de los flóculos según la turbidez del agua del río Sama tratada con semillas de moringa de Tacna

Turbidez del agua (UNT)	3- 4 minutos	5 minutos	15 minutos
132	Se observa formación de flóculos	Hay gran cantidad flóculos	Los flóculos son claros
48.6	Se observa formación de flóculos mas finitos	Menor cantidad de flóculos que en el tratamiento anterior	Los flóculos son claros
424	Se observa formación de flóculos con dificultad	Se observa formación flóculos con dificultad	Los flóculos son mejor observados

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.6. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE SEMILLAS DE MORINGA (*M. oleifera* Lam.) DE TACNA QUE REDUCE LA TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO SAMA.

5.6.1. Con el diseño de experimento factorial 2⁴

La reducción de la turbidez del agua del río Sama es menor conforme aumenta la dosis de semillas desde 0,2 a 0,8 g/L en 19,31 UNT (figura 13).

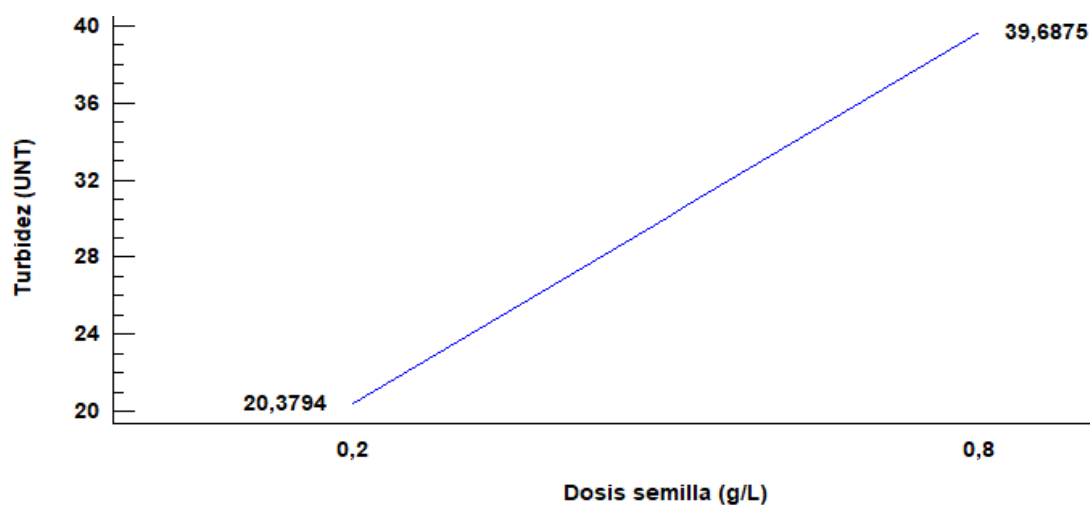


Figura 13. Efecto de la dosis de semillas de moringa proveniente de Tacna en la reducción de la turbidez del agua del río Sama con diseño de experimento factorial 2^4

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Existe diferencia significativa en la dosis de 0,2 a 0,8 g/L de semillas de moringa utilizada para la clarificación del agua del río Sama, siendo menor la turbidez residual a menor dosis de semillas de moringa en 19,31 UNT respecto a la mayor dosis de semilla de moringa ($F_{C(0,05)}= 83,02$; $F_{tab(0,05)}=4,35$; gl.= 1/20; $p=0,0000$; $n=32$) (tabla 24 de los anexos).

5.6.2. Con el diseño de experimento factorial 2^3

La reducción de la turbidez del agua del río Sama es mayor conforme aumenta la dosis de semillas desde 0,1 a 0,2 g/L en 2,78 UNT (figura 14).

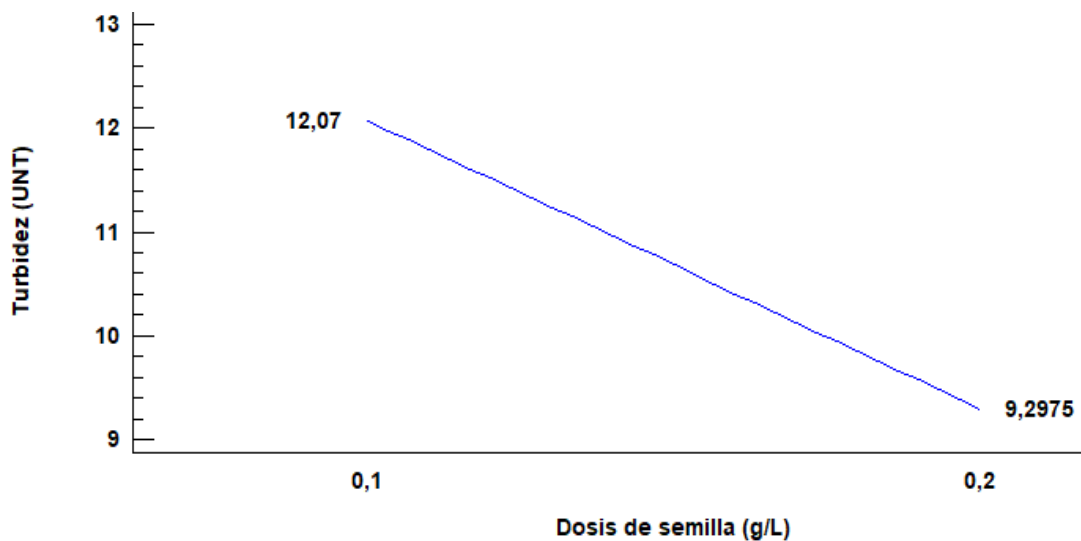


Figura 14. Efecto de la dosis de semillas de moringa proveniente de Tacna en la reducción de la turbidez del agua del río Sama con diseño de experimento factorial 2^3

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Existe diferencia significativa al aplicar una dosis de 0,1 a 0,2 g/L de semillas de moringa utilizada para la clarificación del agua del río Sama, siendo mayor la reducción de la turbidez a mayor dosis de semilla de moringa ($F_{C(0,05)}=103,3$; $F_{tab(0,05)}=5,32$; $gl.=1/8$; $p=0,0000$; $n=16$) (Tabla 25 de los anexos).

5.7. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN DURANTE LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SAMA, POR UTILIZACIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA (*M. Oleífera* Lam.).

5.7.1. Con el diseño de experimento factorial 2^4

La turbidez del agua del río Sama es menor conforme disminuye la velocidad de floculación desde 50 a 30 rpm en 10,38 UNT (Figura 15).

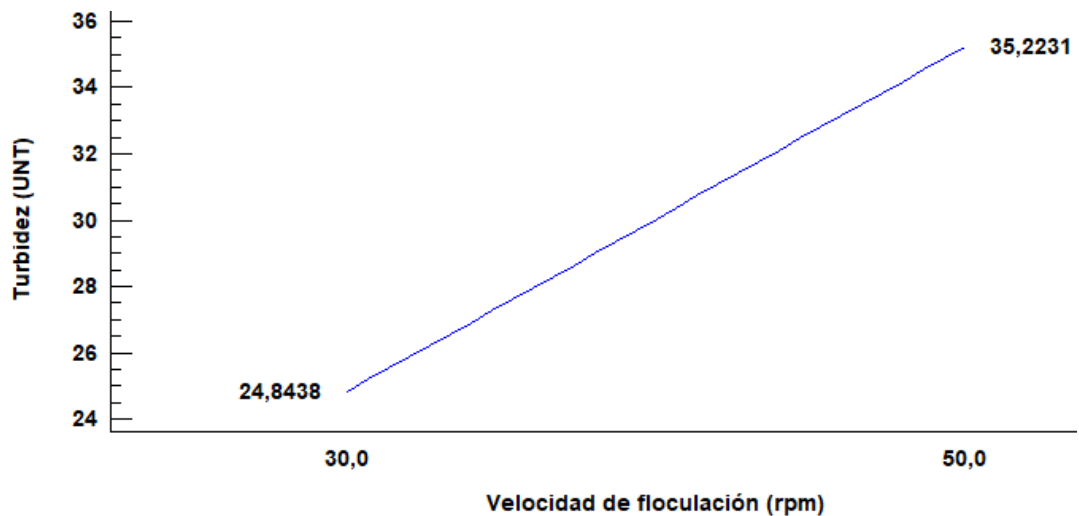


Figura 15. Efecto de la velocidad de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2^4

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Estadísticamente, existe diferencia significativa en la velocidad de floculación entre 30 y 50 rpm en la clarificación del agua del río Sama, siendo más eficiente la clarificación a menor velocidad de floculación ($F_{c(0,05)} = 23,99$; $F_{tab(0,05)} = 4.35$; $gl. = 1/20$; $p = 0,0001$; $n = 32$) (tabla 24 de los anexos).

5.7.2. Con el diseño de experimento factorial 2^3

El incremento de la velocidad de floculación de 20 a 30 rpm, permite reducir la turbidez del agua del río Sama en 3,94 UNT (figura 16).

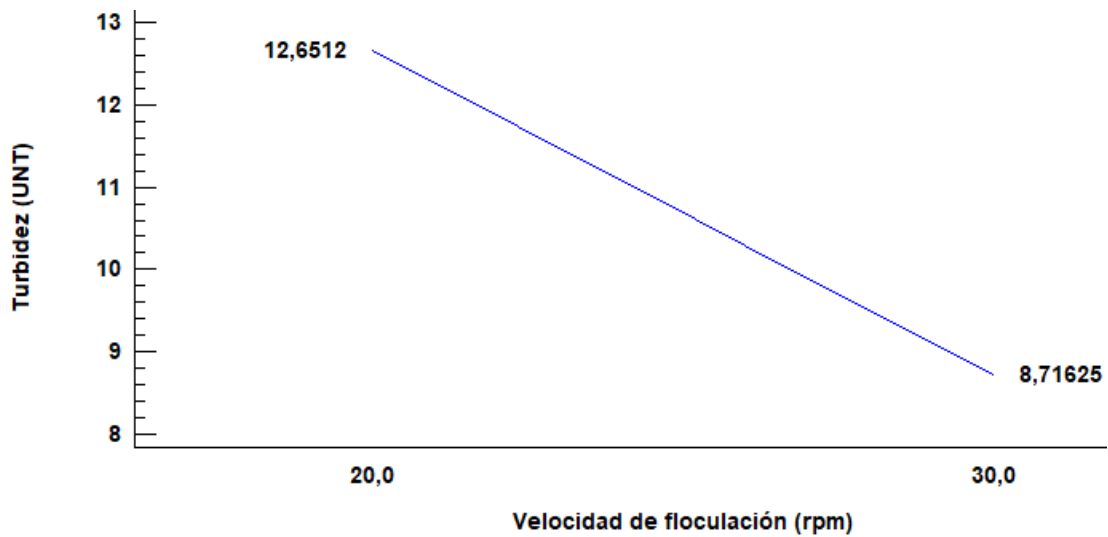


Figura 16. Efecto de la velocidad de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2^3

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Estadísticamente, existe diferencia significativa en la velocidad de floculación entre 20 y 30 rpm en la clarificación del agua del río Sama por tratamiento con semilla de moringa de Tacna, siendo más eficiente la clarificación a mayor velocidad de floculación ($F_{C(0,05)} = 208,1$; $F_{tab(0,05)} = 5,32$; $gl. = 1/8$; $p = 0,000$; $n = 16$) (Tabla 25 de los anexos).

5.8. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN NECESARIO PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SAMA, POR UTILIZACIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA (*M. Oleifera* Lam.).

5.8.1. Con el diseño de experimento factorial 2^4

La turbidez del agua del río Sama es ligeramente menor conforme aumenta el tiempo de floculación de 10 a 20 minutos variando de 30,0375 a 30,0294 UNT, siendo la diferencia $8,1 \times 10^{-3}$ UNT (figura 17).

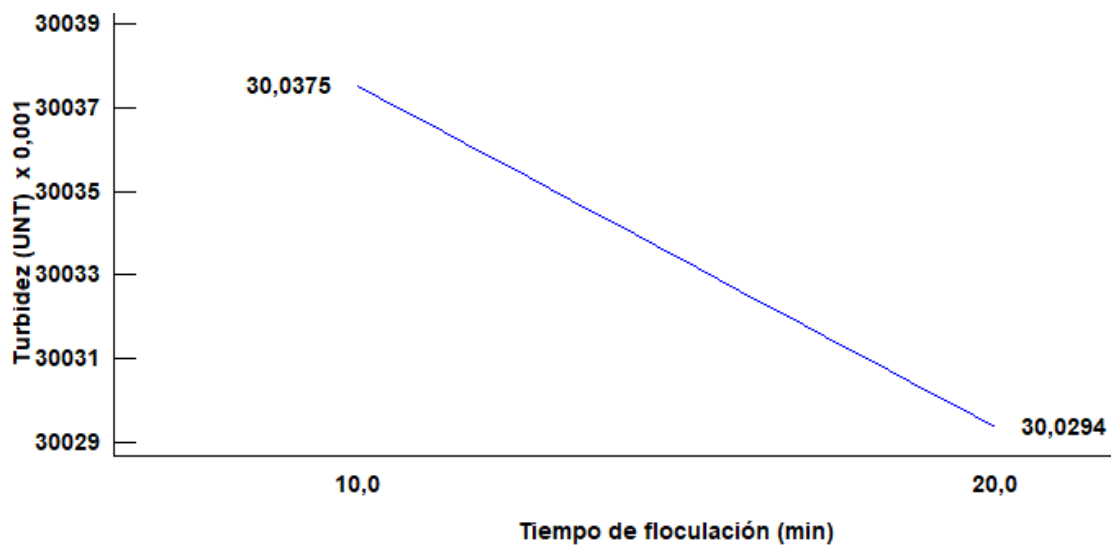


Figura 17. Efecto del tiempo de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2^4

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Estadísticamente, no existe diferencia significativa en el tiempo de floculación entre 10 y 20 minutos en la clarificación del agua del río Sama, por tratamiento con semillas de moringa de Tacna ($F_{C(0,05)} = 0,00$; $F_{tab(0,05)} = 4,35$; gl. = 1/20; $p = 0,9977$; $n = 32$) (tabla 24 de los anexos).

5.8.2. Con el diseño de experimento factorial 2^3

El incremento del tiempo de floculación de 20 a 30 minutos, permite reducir la turbidez del agua del río Sama de 11,1012 a 10,2662 UNT, siendo la diferencia 0,835 UNT (figura 18).

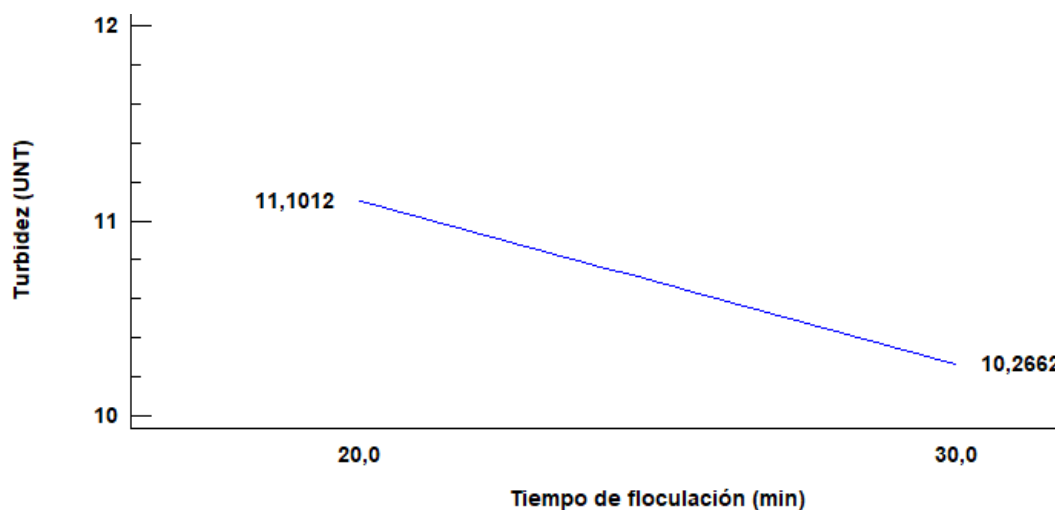


Figura 18. Efecto del tiempo de floculación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2^3

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Existe diferencia significativa en el tiempo de floculación entre 20 y 30 minutos en la clarificación del agua del río Sama, siendo ligeramente mayor la clarificación con 30 minutos de tiempo de floculación ($F_{C(0,05)} = 9,37$; $F_{tab(0,05)} = 5,32$; $gl. = 1/8$; $p = 0,0156$; $n = 16$) (tabla 25 de los anexos).

5.9. OBJETIVO ESPECÍFICO 4: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN NECESARIO PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SAMA, POR UTILIZACIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA (*M. oleifera* Lam.).

5.9.1. Con el diseño de experimento factorial 2^4

La turbidez del agua del río Sama es menor conforme aumenta el tiempo de sedimentación desde 20 a 60 minutos variando de 43,95 a 16,1196 UNT siendo la diferencia 27,83 UNT (figura 19).

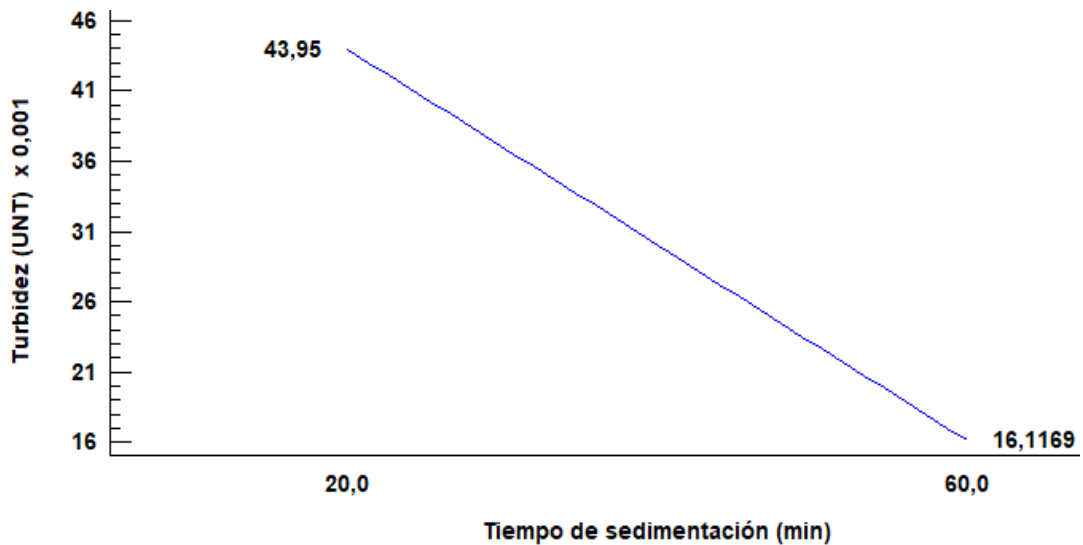


Figura 19. Efecto del tiempo de sedimentación en la reducción de turbidez del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna con diseño de experimento factorial 2⁴

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Estadísticamente, existe diferencia significativa en el tiempo de sedimentación entre 20 y 60 minutos en la clarificación del agua del río Sama, siendo mayor la clarificación a mayor tiempo de sedimentación ($F_{C(0,05)} = 172,52$; $F_{tab(0,05)} = 4,35$; $gl. = 1/20$; $p = 0,000$; $n = 32$) (tabla 24 de los anexos).

5.9.2. Con el diseño de bloques completos al azar

El incremento del tiempo de sedimentación de 1 hora a 1,5; 2 y 2,5 horas, en promedio reduce la turbidez del agua del río Sama significativamente a 5,50; 3,91; 3,39 y 3,17 UNT respectivamente para agua con turbidez inicial de 132 UNT (figura 20).

El incremento del tiempo de sedimentación de 1 hora a 1,5; 2 y 2,5 horas, en promedio reduce la turbidez del agua del río Sama significativamente a 4,04; 3,71; 3,19 y 3,22 UNT respectivamente para agua con turbidez inicial de 48,6 UNT (figura 20).

El incremento del tiempo de sedimentación de 1 hora a 1,5; 2 y 2,5 horas, en promedio reduce la turbidez del agua del río Sama significativamente a 7,0; 4,77; 3,55 y 3,26 UNT respectivamente para agua con turbidez inicial de 424 UNT (Figura 20).

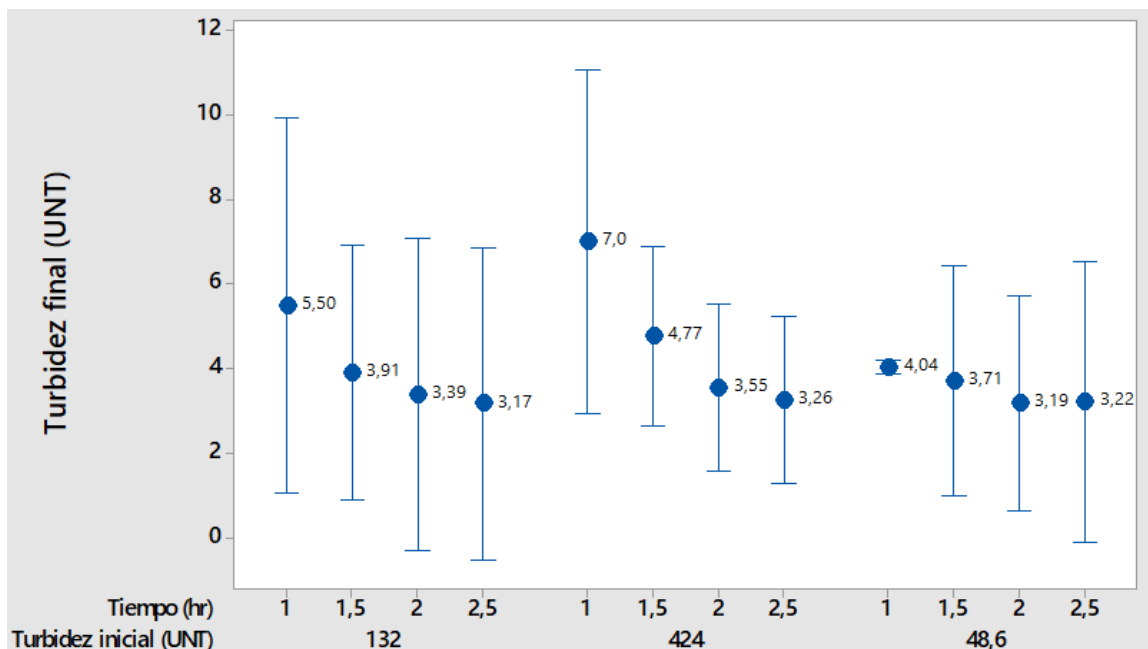


Figura 20. Turbidez del agua del río Sama tratada con semillas de moringa de Tacna en 3 diferentes muestras de agua y a 4 diferentes tiempos de sedimentación.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interpretación

Existe diferencia significativa en el tiempo de sedimentación entre 1; 1,5; 2 y 2,5 horas en la clarificación del agua del río Sama ($F_{c(0,05)} = 17,91$; $F_{tab(0,05)} = 3,16$; $gl. = 3/18$; $p = 0,000$; $n = 24$) (Tabla 28 de los anexos).

5.9.3. Determinación del tratamiento de sedimentación

De los tres grupos homogéneos de muestras de agua del río Sama tratada para la reducción de la turbidez con semillas de moringa de La Yarada Los Palos, mediante la prueba de Tukey, se determinó que con 1,5 horas de sedimentación se alcanza la mayor eliminación de la turbidez del agua del río Sama con 95 % de confianza (tabla 19), teniéndose igual resultado, esto es, 1,5 horas para la reducción del color del agua del río Sama (tabla 20).

Tabla 19.

Prueba de Tukey para la reducción de turbidez por tratamiento con semillas de moringa de Tacna durante la sedimentación del agua del río Sama

Tiempo (h)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2,5	6	3,21722	0,247361	X
2	6	3,37611	0,247361	X
1,5	6	4,12667	0,247361	X
1	6	5,51111	0,247361	X

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 20.

Prueba de Tukey para la reducción del color por tratamiento con semillas de moringa de Tacna durante la sedimentación del agua del río Sama

Tiempo (h)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2,5	6	31,0	2,13287	X
2	6	39,5	2,13287	X
1,5	6	39,5	2,13287	X
1	6	61,0556	2,13287	X

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.10. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ

Con una turbidez del agua del río Sama de 132 UNT, después de una hora de sedimentación se reduce el 95,8 % de la turbidez y a la hora y media se reduce el 97,04 % (tabla 21).

Con una turbidez del agua del río Sama de 48,6 UNT, después de una hora de sedimentación se reduce el 90,14 % de la turbidez y a la hora y media se reduce el 92,4 % (tabla 21).

Con una turbidez del agua del río Sama de 424 UNT, después de una hora de sedimentación se reduce el 98,3 % de la turbidez y a la hora y media se reduce el 98,9 % (tabla 21).

Las condiciones para la reducción de la turbidez, además de los tiempos indicados en la tabla 21, fueron dosis de semilla de moringa 0,2 g/L, velocidad de floculación de 30 rpm y tiempo de floculación de 30 minutos.

Tabla 21.

Porcentaje de reducción de turbidez de tres calidades de agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna

Tiempo (h)	% de reducción de turbidez del agua		
	132 UNT	48,6 UNT	424 UNT
1	95,83	90,14	98,35
1,5	97,04	92,37	98,88
2	97,43	93,44	99,16
2,5	97,60	93,37	99,23

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.11. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL COLOR APARENTE

Con un color aparente del agua del río Sama de 996 UPC, después de una hora la sedimentación se reduce el 94,04 % de la turbidez y a la hora y media reduce el 96,03 % (tabla 22).

Con un color aparente del agua del río Sama de 482 UPC, después de una hora de sedimentación se reduce el 94,73 % del color aparente, y a la hora y media se reduce el 96,05 % de su color aparente (tabla 22).

Con un color aparente del agua del río Sama de 2 780 UPC, después de una hora de sedimentación se reduce el 92,85 % del color aparente y a la hora y media se reduce el 95,23 % de su color aparente (tabla 22).

De la misma manera que para la turbidez, las condiciones para la reducción del color aparente del agua, además de los tiempos indicados en la

tabla 22, fueron dosis de semilla de moringa 0,2 g/L, velocidad de floculación de 30 rpm y tiempo de floculación de 30 minutos.

Tabla 22.

Reducción de tres calidades de color del agua del río Sama por tratamiento con semillas de moringa de Tacna

Tiempo (h)	% de reducción del color aparente del agua		
	996 UPC	482 UPC	2 780 UPC
1	94,04	94,73	92,85
1,5	96,03	96,05	95,23
2	96,03	96,44	96,47
2,5	96,89	96,70	96,35

Fuente: Elaboración propia (2019)

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

A. Objetivo específico 1: Determinación de la dosis de semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.) de Tacna que reduce la turbidez del agua del río Sama.

La reducción de la turbidez del agua del río Sama es mayor conforme se incrementa la dosis de semillas desde 0,1 a 0,2 g/L; así con una turbidez inicial del agua de 48,6 UNT y con 0,2 g/L de dosis de semillas de moringa, se alcanzó una reducción de 93,44 %; mientras que Meza et al. (2018) lograron reducir la turbidez del agua en un 64 % utilizando 0,013 g/L en el tratamiento del agua con 50 UNT. Por otra parte Mas y Rubi et al. (2013) lograron remover 87,4 % de turbiedad, para un valor de turbidez inicial de 40 UNT, utilizándose como dosis óptima de coagulante 0,025 g/L; y Fuentes et al. (2016) obtuvieron concentraciones finales de turbiedad más bajas, 8,62 y 18,27 UNT, aplicando tratamientos con las semillas de moringa de hasta 0,1 g/L con una solución de Ca(OH)_2 ; mientras que Sánchez et al. (2013) utilizando dosis de semillas de hasta 0,25 g/L redujeron la turbidez del agua del río Thyolo hasta en 90 %.

Por lo tanto, conforme se incrementa desde 0,1 a 0,2 g/L la dosis de las semillas de moringa proveniente de Tacna, es mayor la reducción de la turbidez del agua del río Sama; sin embargo, a mayores dosis de 0,2 g/L de semillas de moringa, el efecto de esta condición cambia, acentuándose la disminución del efecto en la disminución de la turbidez a 0,8 g/L de semillas de moringa.

B. Objetivo específico 2: Determinación de la velocidad de floculación durante la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.) de Tacna.

Con el incremento de la velocidad de floculación de 20 a 30 rpm se redujo la turbidez del agua del río Sama en 3,94 UNT, concordante con lo manifestado por Trujillo et al. (2014), quienes empleando como coagulantes sulfato de aluminio y almidón de plátano, incrementando la velocidad de floculación de 20 a 50 rpm, redujeron la turbidez en el tratamiento del agua de una fuente natural de la ciudad de Manizales (Colombia) en 9,81 UNT.

En cuanto a la remoción de la turbiedad y color, Aguirre y Piraneque (2018), utilizando semillas de moringa con una velocidad de floculación 45 rpm, obtuvieron una remoción de la turbidez del agua de 95, % y 92 % de remoción del color. Lédo et al. (2009) emplearon una velocidad de floculación de 50 rpm y encontraron una eficiencia ligeramente inferior a cuando se utiliza sulfato de aluminio, siendo de hasta 88 % la remoción de la turbidez. Hoyos et al. (2017), en aguas residuales de una central de sacrificio con velocidad de floculación de 30 rpm, removieron hasta 86,7 % de turbidez del agua; y finalmente, Feria et al. (2014) obtuvieron eficiencias en la remoción de la turbidez superiores a 90 % con velocidad de floculación de 30 rpm; y Gómez y Salazar (2016), con 40 rpm de velocidad de floculación, lograron remover más de 95 % de turbiedad.

En los resultados de esta investigación con el incremento de la velocidad de floculación se obtuvo una turbidez de 8,72 UNT en el agua del río Sama, con turbidez inicial de 154 UNT, que representa el 94,3 % de reducción de la turbidez.

Por lo tanto, conforme se incrementa la velocidad de floculación del tratamiento de clarificación del agua del río Sama en los rangos de 20 a 30 rpm la reducción de la turbidez es mayor.

C. Objetivo específico 3: Determinación del tiempo de floculación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleifera* Lam.) de Tacna.

En las condiciones experimentales, el mejor tiempo de floculación para la semilla de moringa proveniente de Tacna fue de 30 minutos; mientras que diversos investigadores lograron la remoción de turbidez empleando 25 minutos de tiempo de floculación utilizando diversos coagulantes, así, Solís et al. (2012), utilizando sulfato de aluminio y una mezcla de sulfato de aluminio y almidón de yuca para remover la formación de flóculos en agua superficial con 70 UNT, obtuvieron 98,7 % de remoción de turbiedad para el sulfato de aluminio, y 97,9 % para la mezcla de sulfato de aluminio y almidón de yuca. Mientras que Hoyos et al. (2017), en aguas residuales de una central de beneficio animal con una turbidez inicial de 1 144 UNT y 34 500 UC, removieron en 86,7 % y 93 % la turbiedad y el color respectivamente. Fuentes et al. (2016), para la clarificación de aguas para consumo humano con una turbidez inicial de 40,8 UNT, utilizando coagulantes naturales entre los cuales la moringa, removieron 86,15 % de turbiedad. Guzmán et al. (2015) investigaron con polvo de semilla de *Cassia fistula*, utilizando 40 rpm de velocidad de floculación y 30 minutos de tiempo de floculación, y obtuvieron 95 % de remoción de la turbidez respecto la inicial de 120 UNT.

Por lo tanto, los tiempos de floculación de 20 y 30 minutos empleados en el tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa permiten reducir la turbidez conforme lo reportan los autores antes mencionados, siendo mejor el tratamiento con el mayor tiempo de floculación de 30 minutos.

D. Objetivo específico 4: Determinación del tiempo de sedimentación necesario para la clarificación del agua del río Sama, por utilización de semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.) de Tacna.

El tiempo de sedimentación utilizado en diferentes investigaciones es variado, así, Guzmán et al. (2015) emplearon 60 minutos para una remoción de la turbidez de 95 % empleando polvo de semilla *Cassia fistula*; González et al. (2015), utilizando *Opuntia ficus indica* y 30 minutos de tiempo de sedimentación para aguas con turbiedad inicial de 100 a 160 UNT removieron entre 93,78% y 96,02% de la turbidez; Meza et al. (2018) obtuvieron 64 % de remoción de turbidez del agua, pero aplicaron solo 15 minutos de tiempo para la sedimentación de los flóculos utilizando semillas de moringa, Hoyos et al. (2017) eliminaron el 86,7 % de la turbidez de aguas residuales utilizando semillas de moringa, pero con tan solo 20 minutos de tiempo de sedimentación; y Olivero et al. (2017) emplearon una mezcla de moringa y alumbre con 15 minutos de sedimentación, alcanzaron una remoción de turbidez de 99,5 %.

Por lo tanto, la reducción de la turbidez del agua del río Sama de 212 UNT a 43,95 y 16,1189 UNT pone de manifiesto que los tiempos de sedimentación de 20 y 60 minutos respectivamente han permitido reducir el 79,27 % y 92,4 % de su turbidez que, aunque es menor a los reportados por los autores mencionados, confirman las condiciones de las semillas de moringa para el tratamiento de clarificación del agua.

Además, cuando el tiempo de sedimentación aumenta a 90 minutos se logra mayor reducción de la turbidez del agua alcanzándose hasta 98,88 %, con turbidez inicial del agua del río Sama de 424 UNT.

E. Discusión sobre la composición física y proximal de las semillas de moringa (*M. oleífera* Lam.) utilizadas para la clarificación del agua del río Sama.

Martín et al. (2013) mencionan que las vainas de la moringa representan el 64 % del peso del fruto, mientras que en la investigación realizada se encontró que las vainas de moringa representan el 71,68 % del peso del fruto, lo que denota una mayor estructura en la vaina producida en La Yarada Los Palos.

La composición proximal de las semillas de moringa con 5,7 % de humedad utilizada en la investigación es similar a lo mencionado por Paniagua y Chora (2016) en semillas de moringa procedentes del noroeste de la frontera de Pakistán, e inferior a lo determinado en la región de Sindh; el contenido de grasa de 40,36 % se encuentra entre los promedios de las dos regiones de Pakistán, el contenido de proteínas de 30,78 % también se encuentra entre los promedios de las dos regiones; y el contenido de cenizas de 4,42 % de la investigación es menor a lo determinado por los investigadores mencionados, estimándose que esta diferencia se debería a la utilización integral de las semillas de moringa de parte de los investigadores mencionados, que conllevó al incremento de las cenizas en el resultado del análisis.

Por lo tanto, la composición física de las vainas de moringa de La Yarada Los Palos, aunque presentan mayor estructura que las de los investigadores mencionados, sin embargo, las semillas de moringa tienen composición proximal similar a las obtenidas por estos investigadores, con la excepción del contenido de cenizas, que en el de Tacna es menor.

CONCLUSIONES

1. Con dosis de harina de semillas de moringa entre 0,1 y 0,2 g/L se obtuvieron los mejores resultados en el proceso de clarificación (remoción de turbiedad); y al variar la dosis de 0,2 a 0,8 g/L produjo menos eficiente la remoción de la turbidez del agua del río Sama.
2. La reducción de la velocidad de floculación de 50 a 30 rpm mejoró la eficiencia del proceso de clarificación del agua del río Sama; redujo los valores de turbiedad de 212 a 35,22 y 24,84 UNT respectivamente, durante el tratamiento con harina de semillas de moringa procedente de Tacna; mientras que el incremento de la velocidad de floculación de 20 a 30 rpm mejoró el proceso de clarificación reduciendo la turbiedad de 154 a 12,65 y 8,72 UNT respectivamente.
3. El incremento del tiempo de floculación de 10 a 20 minutos en el tratamiento del agua del río Sama, con turbiedad inicial de 212 UNT, no tuvo efecto diferente en el proceso de clarificación; mientras que el incremento del tiempo de floculación de 20 a 30 minutos mejoró el proceso de clarificación del agua del río Sama reduciendo los valores de turbiedad de 154 a 11,1 y 10,3 UNT respectivamente.
4. El incremento del tiempo de sedimentación de 20 a 60 minutos mejoró el proceso de clarificación del agua del río Sama; redujo los valores de turbiedad desde 212 UNT hasta 43,95 y 16,12 UNT respectivamente durante el tratamiento con harina de semillas de moringa.
5. Con niveles de turbidez del agua del río Sama de 48,6 a 424 UNT se alcanzó valores de eliminación de la turbidez de 90,14 % a 98,35 % en la primera hora de sedimentación y de 93,37 % a 99,23 % a las 2,5 horas de tiempo de

sedimentación, estableciéndose en 1,5 h el tiempo de sedimentación necesario para alcanzar la máxima eliminación de la turbidez.

6. Conforme se incrementa la turbidez inicial del agua del río Sama se alcanzan valores de eliminación de la turbidez mayores; así, con turbideces iniciales de 48,6; 132 y 424 UNT con condiciones de dosis de harina de semillas de moringa de 0,2 g/L, velocidad de floculación de 30 rpm, tiempo de floculación de 30 minutos y tiempo de sedimentación de una 1,5 h, se alcanzan valores de eliminación de turbidez de 92,37 %; 97,04 % y 98,88 % respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar los resultados utilizando aguas de los demás ríos de la región Tacna en épocas de lluvias.
2. Se recomienda la aplicación de los resultados a una escala mayor para el tratamiento del agua del río Sama.
3. Se recomienda evaluar el proceso de preparación de la solución harina de semillas de moringa para el tratamiento del agua y su efecto en el tratamiento del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M., Sáez, J., Llorens, M., Soler, A., y Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales. Coagulación floculación*. Murcia.España. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=8vIQBXPvhAUCypg=PA35ydq=coagulantes+quimicosyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjVmvWXkL3hAhUFwlkKHfOSDeIQ6AEILDAB#v=onepageyq=coagulantes+quimicosyf=false>.
- Aguirre, S. E. y Piraneque, N. V. (2018). Sustancias Naturales : Alternativa para el Tratamiento de Agua Natural Substances : Alternative for the Treatment of Magdalena River ´ s Water in Palermo Colombia, *29*(3), 59–70.
- Aho, I. M., y Lagasi, J. E. (2012). A new water treatment system using Moringa oleifera seed. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, *3*(6), 487–492. <https://doi.org/10.5251/ajsir.2012.3.6.487.492>
- Ali, E., Muyibi, S., Salleh, H., Alam, Z., y Salleh, M. (2010). Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Water Resource and Protection*, *2010*(March), 259–266. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.23030>
- Amado, J., Rubiños, E., Gavi, R., Alarcón, J., Hernández, E., Ramírez, C., ... Salazar, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y predicción. *Phyton*, *75*, 71–83. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(93\)90131-E](https://doi.org/10.1016/0025-3227(93)90131-E)
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Sedapal. Lima. Perú.
- Anwar, F. y Rashid, U. (2007). Physico-Chemical Characteristics of Moringa oleifera seeds and seed oil from a wild provenance of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, *39*(5), 1443–1
- Arantes, C. C., Ribeiro, T. A. P., y Paterniani, J. E. S. (2012). Processamento de sementes de Moringa oleifera utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*

- 8(3), 1–11. <https://doi.org/10.3895/rebrapa.v8n3.3986>
- Bonal, R., Rivera, R., y Bolivar, M. (2012). Moringa oleifera: una opción saludable para el bienestar. *Medisan*, 16(10), 1596–1598. <https://doi.org/10.1111/j.1753-0407.2011.00173.x/full>
- Calvache, W., Chavez, M., Duran, C., Guaña, E., Imba, A., y Nazate, W. (2002). Tratamiento de aguas: Tratamiento primario y parámetros hidráulicos. *Revisiones de La Ciencia*, 2(1), 67. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=Pg3WMofAdG4Cypg=PR1ydq=tratamiento+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjTtcun5P_dAhXQqZAKHSIkB8M4WhDoAQhTMAk#v=onepageyq=tratamiento+del+aguayf=false
- Campos, José, de Souza, M. y Olmo, L. (1984). Comparação da eficiencia de amido de diversas fontes naturais, quando empregado como auxiliar de floculação de aguas para abastecimiento. *Revista DAE*, 44(137), 144–149.
- Campos, Jubisay, Colina, G., Fernández, N., Torres, G., Sulbarán, B. y Ojeda, G. (2003). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de Moringa oleifera mediante HPLC. *ResearchGate*, 37(1), 35–43.
- Canett, R., Arvayo, K. y Ruvalcaba, N. (2014). Apectos tóxicos más relevantes de Moringa oleífera y sus posibles daños. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, XVII(2), 36–43.
- Cardoso, C., Bergamasco, R., Sala, E. y Konradt, L. (2008). Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação / floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam, 30(2), 193–198. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>.
- Carmona, L. N. A. (2015). Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la Planta "La Diana". *Publicaciones e Investigación*, 6(0), 115–121. Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/pi/article/view/1115>.
- Carvalho, M., Konradt, L., Bergamasco, R., Sakaniva, B. y Granhen, C. (2010). Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. *Acta Scientiarum - Technology*, 32(2), 167–170. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i2.8238>.
- Cattaneo, M. P. y Sardi, E. M. L. (2013). Evolución de la calidad del agua de la

- cuenca Matanza-Riachuelo. *Ciencia y Tecnología*, 1(13), 251–278.
- Cepis, C. P. de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. O. P. de la Salud. (1973). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima. Perú.
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., y Ramos, B. (2018). Capacidad flocculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua Capacity flocculant of natural coagulants in water treatment. *Revista Tecnología Química*, 38(2), 298–309.
- Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, (29), 153–170.
- Clark, J. H. (2014). Book Review of Green Materials for Sustainable Water Remediation and Treatment. *Green and Sustainable Chemistry*, (4), 175–176. <https://doi.org/10.4236/gsc.2014.43022>.
- Cogollo, J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de aluminio. *DYNA*, 78(165), 18–27. <https://doi.org/ISSN:0012-7353>.
- Contreras, A., y Molero, M. (2011). *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Madrid. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=xtvNPP8X6KACypg=PA176ydq=turbidez+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwi7uaz4wfjdAhXLjpAKHqeqDi44ChDoAQhEMAY#v=onepageyq=turbidez del aguayf=false](https://books.google.com.pe/books?id=xtvNPP8X6KACypg=PA176ydq=turbidez+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwi7uaz4wfjdAhXLjpAKHqeqDi44ChDoAQhEMAY#v=onepageyq=turbidez+del+aguayf=false).
- Contreras, K. P., Aguas, Y., Salcedo, G., Olivero, R., y Mendoza, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40–50. <https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a3>.
- Cordeiro, K., Bergamasco, R., Sala, E. y Konradt, L. (2008). otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da moringa oleífera lam. *Acta Scientiarum - Technology*, 30(2), 193–198. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>.
- De Anda, P. (2005). *Química 2*. Jalisco. México: Umbral. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=PZmiJMkCig4Cypg=PA68ydq=quim>

- ica+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwinyOCI2_DdAhUff5AKHSU_Cx
EQ6AEIVzAl#v=onepageyq=quimica del aguayf=false.
- Delgadillo, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Villagómez, J., y Acevedo, O. (2008). “Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación.” *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2011), 597–612. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (N. Antequera, Ed.). Cochabamba. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=1kO2J5aDljQCypg=PA55ydyq=turbidez+del+agua+:+nefelometroyl=esysa=Xyved=0ahUKEwjB76z4mYbeAhVEiZAKHXyxBYUQ6AEIJAA#v=onepageyq=turbidez del agua %3Anefelometroyl=false>.
- Dinger, D. (2010). *Reología para ceramistas*. C. B. Dinger. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=pNhlAgAAQBAJypg=PA208ydyq=flóculoyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjm9qjiurfWAhVCJiYKHZZJArkQ6AEILzAC#v=onepageyq=flóculoyf=false>.
- Duque, M., Giraldo, E., Martínez, C., Gauthier, A. y Villa, J. (2000). El uso de la lógica difusa para la potabilización del agua. *Revista de Ingeniería*, (12), 31–35. <https://doi.org/10.16924%2Fria.v0i12.559>.
- Falasca, S. y Bernabé, M. (2009). Zonificación agroclimática de la moringa (moringa oleífera) en Argentina para producir biodiesel y bietanol. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 65–70.
- Farhaoui, M. y Derraz, M. (2016). Review on Optimization of Drinking Water Treatment Process. *Journal of Water Resource and Protection*, (8), 777–786. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.88063>.
- Feria, J., Bermúdez, S., y Estrada, A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción Más Limpia*, 9(1), 9–22. <https://doi.org/10.22507/pml.v9n1a1>.
- Feria, J., Polo, L. y Hernández, E. (2016). Evaluación de lodos de coagulación de agua cruda tratada con Moringa oleífera para uso agrícola. *Ingeniería e*

- Investigacion*, 36(2), 14–20. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v36n2.56986>.
- Feria, J., Rodiño, J. y Gutiérrez, G. (2016). Behavior of turbidity, pH, alkalinity and color in Sinú River raw water treated by natural coagulants. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (78), 119–128. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n78a16>.
- Foidl, N., Mayorga, L. y Vásquez, W. (1996). Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para ganado. In *Conferencia Electrónica de la FAO sobre “Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica”* (Vol. 1, p. 5). Managua. Nicaragua.
- Folkard, G. y Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. *Agroforestry Today*, 8(3), 5–8.
- Fuentes, N., Molina, E. y Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41–54. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>
- Giordani, S., Gonzáles, L. y Morales, A. (2009). Factibilidad del uso de polímeros para la clarificación del agua potable en la ciudad de Mérida. *Revista Científica Juvenil*, VII, 97–108.
- Glynn, J. y Heinky, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Prentice Hall Hispanoamericana. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=ToQmAKnPpzlCypg=PA146ydq=La+unidad+estándar+de+medición+de+turbidez,+adoptada+por+la+industria+del+agua,+es+la+unidad+nepelométrica+de+turbidez+\(NTU,+por+sus+siglas+en+inglés\),+llamada+así+por+el+instrumento+que+se+emp](https://books.google.com.pe/books?id=ToQmAKnPpzlCypg=PA146ydq=La+unidad+estándar+de+medición+de+turbidez,+adoptada+por+la+industria+del+agua,+es+la+unidad+nepelométrica+de+turbidez+(NTU,+por+sus+siglas+en+inglés),+llamada+así+por+el+instrumento+que+se+emp).
- Gomella, C. y Guerrée, H. (1997). *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Barcelona. España: Editores Técnicos Asociados. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=W9sMqDlwMTMCypg=PR6yIpg=PR6ydq=Gomella+y+Guerrée,+1977y+source=blyots=liv-8llCreysig=u4jh8XK4YpEu2RM6V6fMeIDhABkyhl=esysa=Xyved=2ahUKEwj4m7_d4PXdAhXCfpAKHaHoA20Q6AEwDHoECAMQAQ#v=onepageyq=Gomella+y+Guerrée%2C+1977yf=fal.
- Gómez, F. y Salazar, L. (2016). Evaluación de la eficiencia de semilla de

- (Moringa oleifera Lam.) como coagulante natural en la ciudad de Pasto-Colombia. *Vitae*, 23, 708–712.
- Gómez Fabio, S. L. (2016). Memorias del Congreso Internacional de Conservación para la Industria Agroalimentaria - Ciencia - Parte 3. *Vitae*, 52(1), S708–S712. Recuperado de <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/vitae/article/view/26121/20779427>.
- Gómez, N. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación*. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Colombia.
- González, Y., Fuentes, L., Mendoza, I., y Caldera, Y. (2015). Opuntia ficus-indica y Opuntia wentiana: estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua. *Revista Tecnocientífica URU*, (9), 81–90. Recuperado de http://200.35.84.134/ojs-2.4.2/index.php/rtcu/article/view/300/pdf_23.
- Guardián, R. y Coto, J. (2010). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus indica) en la coagulación floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 24, 18–26.
- Guerrero, M. (1991). *El agua*. México: FCE-Fondo de cultura económica.
- Guzmán, L., Taron, A. y Nuñez, A. (2015). Polvo de a semilla Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 123. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)123-129](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)123-129).
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C. y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Actualidad y Divulgación Científica*, 16(1), 253–262.
- Hoyos, A. A., Medina, J. L. H., Valencia, A. F. C. y Sánchez, N. E. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *Bioteología en El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 15(1), 29–39. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(edición especial\)29-39](https://doi.org/10.18684/bsaa(edición especial)29-39).
- Janna, H. (2016). Effectiveness of Using Natural Materials as a Coagulant for Reduction of Water Turbidity in Water Treatment. *World Journal of Engineering and Technology*, 04(04), 505–516. <https://doi.org/>

10.4236/wjet.2016.44050.

- Jiménez, A., Vargas, M. y Quirós, N. (2012). Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. *Revista Tecnología en Marcha*, 25(4), pág. 55-62. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i4.619>.
- Jimenez, B. E. (2005). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. (L. G. Noriega, Ed.). México. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=8MVxlyJGokICypg=PA208ydq=prueba+de+jarrasyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjX4qSd-8vhAhVss1kKHdZsC5cQ6AEIJzAA#v=onepageyq=prueba+de+jarrasyf=false>.
- Kabore, A., Savadogo, B., Rosillon, F., Traore, A. S., y Dianou, D. (2013). Effectiveness of Moringa oleifera Defatted Cake versus Seed in the Treatment of Unsafe Drinking Water: Case Study of Surface and Well Waters in Burkina Faso. *Journal of Water Resource and Protection*, (5), 1076–1086. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.511113>
- Kirchner, C. (1979). Control de los procesos de tratamiento del agua: Equipo básico para un laboratorio de aguas. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Lima. Perú.
- Lédo, P., Lima, R., Paulo, J. y Duarte, M. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleifera para la depuración de aguas con baja turbiedad. *Informacion Tecnologica*, 20(5), 3–12. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4096it.08>.
- Leidinger, O. (1997). *Procesos industriales*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=rpdvyucaUmoCypg=PA89ydq=tratamiento+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjhz3y4P_dAhVDgZAKHaluDsU4UBDoAQhJMAg#v=onepageyq=tratamiento+del+aguayf=false.
- Liñan, F. (2010). Moringa oleifera el árbol de la nutrición. *Ciencia y Salud Virtual*, 2(1), 130–138. <https://doi.org/10.22519/21455333.70>.
- Lo Monaco, P., Texeira, A., Andrade, I., da Silva, F. y Panazzolo, A. (2014). Utilización de extracto de semillas de moringa como agente coagulante en

- el tratamiento de agua para abastecimiento y aguas residuales. *Arquivos Brasileiros de Psicologia*, 66(2), 17–35. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*, XL(2), 10–17. <https://doi.org/094305r10.1063/1.2764074>.
- Lozano, W. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua: Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Bogotá. Colombia. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=-Ok0DwAAQBAJypg=PT154ydyq=indice+de+willcomb+que+esyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwii2-3K_PfdAhXGfZAKHSvICilQ6AEIKjAB#v=onepageyq=indice de willcomb que esyf=false](https://books.google.com.pe/books?id=-Ok0DwAAQBAJypg=PT154ydyq=indice+de+willcomb+que+esyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwii2-3K_PfdAhXGfZAKHSvICilQ6AEIKjAB#v=onepageyq=indice+de+willcomb+que+esyf=false).
- Lozano, W. y Lozano, G. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá. Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=3uk0DwAAQBAJyprintsec=frontcoverydq=tratamiento+del+agua+:+sedimentaciónyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwiCreD7nZvhAhUNk1kKHVIVANs4FBD0AQgrMAE#v=onepageyq=tratamiento del agua %3A sedimentaciónyf=false](https://books.google.com.pe/books?id=3uk0DwAAQBAJyprintsec=frontcoverydq=tratamiento+del+agua+:+sedimentaciónyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwiCreD7nZvhAhUNk1kKHVIVANs4FBD0AQgrMAE#v=onepageyq=tratamiento+del+agua+%3A+sedimentaciónyf=false).
- Malakootian, M. y Fatehizadeh, A. (2010). Color Removal From Water By Coagulation / Caustic. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 7(3), 267–272.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Reverté. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=5NR8DIk1n68Cypg=PA205ydyq=tratamiento+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwi5iaiX5_DdAhUBGZAKHVYRCHkQ6AEILDAB#v=onepageyq=tratamiento del aguayf=false](https://books.google.com.pe/books?id=5NR8DIk1n68Cypg=PA205ydyq=tratamiento+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwi5iaiX5_DdAhUBGZAKHVYRCHkQ6AEILDAB#v=onepageyq=tratamiento+del+aguayf=false).
- Mangrich, A. S., Doumer, M. E., Mallmann, A. S. y Wolf, C. R. (2014). Artículo Química verde no tratamiento de águas : Uso de coagulante derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. *Revista Virtual de Química*, 6(1), 2–15. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140002>.
- Marín, R. (2014). *Dinámica fisicoquímica de aguas*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos.
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E. y Jürgen, P. (2013). Potential applications of *Moringa oleifera* . A critical review. *Pastos y*

- Forrajes*, 36(2), 137–149.
- Martínez, M. y Osorio, A. (2018). Validation of a method for real color analysis in water. *Facultad de Ciencias*, 7(1), 143–155. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68086>
- Mas y Rubi, M., Carrasquero, S., Martínez, D., Mejías, D., y Vargas, L. (2013). Eficiencia de las semillas Moringa oleifera como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de baja turbiedad Efficiency of the moringa oleifera seeds as organic coagulant for metal removal in low turbidity wastewaters. *Revista Tecnocientífica URU*, (5), 27–37.
- Melo, G., y Turriago, F. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias*. Uninversidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Recuperado de <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/1428>.
- Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G. y Díaz, A. (2000). Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas Use of Moringa oleifera as coagulant in the water treatment. *Ciencia*, 8(2), 235–242.
- Menkiti, M. C., Nwoye, C. I., Onyechi, C. A. y Onukwuli, O. D. (2011). Factorial Optimization and Kinetics of Coal Washery Effluent Coag-Flocculation by Moringa Oleifera Seed Biomass. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 1(3), 125–132. <https://doi.org/10.4236/aces.2011.13019>.
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Oliverol, R. y Jurado, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and Moringa oleífera seeds in the c, 17(2), 95–103.
- Montoro, M. (2009). *El agua: Estudios interdisciplinarios*. Barcelona. España: Editorial Atelier. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=QrVpl5P94xMCyPg=PA215ydq=El+agua+:+Montoroyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwiFkZqIzN3hAhWGV1kKHya7CYcQ6AEITzAI#v=onepageyq=El+agua+%3AMontoroyf=false>.

- Murillo, J. M. (2009). Turbidez y sólidos en suspensión de las aguas de escorrentía susceptibles de ser utilizadas en la recarga artificial del acuífero granular profundo subyacente a la ciudad de San Luis de Potosí (México). *Boletín Geológico y Minero*, 120(2), 169–184.
- Narayasamy, S. y Mohd, H. (2014). Water Phytoremediation by Sedimentation Using Moringa oleifera Seed Powder to Remove Water Turbidity in Malaysia. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, (3), 74–79. <https://doi.org/10.4236/jacen.2014.32009>.
- Ojeda, M. (2015). *Tratamiento de agua potable*. (E. Elearning, Ed.) (5.0). España. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=s8ZWDwAAQBAJyprintsec=frontcoverydq=Tratamiento+de+agua+potable:+Ojedayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjTvY-nxt3hAhUFj1kKHdOOD44Q6AEIJzAA#v=onepageyq=Tratamiento de agua potable%3A Ojedayf=false](https://books.google.com.pe/books?id=s8ZWDwAAQBAJyprintsec=frontcoverydq=Tratamiento+de+agua+potable:+Ojedayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjTvY-nxt3hAhUFj1kKHdOOD44Q6AEIJzAA#v=onepageyq=Tratamiento+de+agua+potable%3A+Ojedayf=false).
- Oliveira, N. T., Nascimento, K. P., Gonçalves, B. de O., De Lima, F. C. y André, N. (2018). Tratamento de água com Moringa oleifera como coagulante/floculante natural, 9(1), 373–382. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>.
- Olivero R., Flores A., Vega L., V. G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 12(2), 71–79. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n1a6>.
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D. y Montes, L. (2014). Utilización de la Tuna (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 11(1), 70–75. Recuperado de <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>.
- OPS, O. P. de la S. (1988). Guías para la calidad del agua potable. 508, 127. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=X9QgncMbnsYCypg=PA60ydq=turbidez+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjAjK3LufjdAhXCIJAKHRXNB-IQ6AEIMTAC#v=onepageyq=turbidez del aguayf=false](https://books.google.com.pe/books?id=X9QgncMbnsYCypg=PA60ydq=turbidez+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjAjK3LufjdAhXCIJAKHRXNB-IQ6AEIMTAC#v=onepageyq=turbidez+del+aguayf=false).
- Orellana, J. (2005). Características del agua potable. *Ingeniería Sanitaria*. Recuperado de <https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/>

civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_de
l_Agua_Potable.pdf.

- Paniagua, A. y Chora, J. (2016). Elaboración de aceite de semillas de Moringa oleifera para diferentes usos. *Revistas de Ciencias de La Salud*, 3(9), 36–46.
- Paredes, P. (2013). El uso de Moringa oleifera como material natural para el tratamiento del agua potable en países en vía de desarrollo. *Revista Científica YACHANA*, 2(2), 243–246.
- Paterniani, J., Mantovani, M. y Sant'Anna, M. (2009). The use of Moringa oleifera seeds for treatment of surface water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(6), 765–771. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000600015>.
- Pereira, F., Silva, M., Ruiz, L., Alves, A., Arakawa, F., Shimabuku, Q., ... Bergamasco, R. (2014). Uso de coagulante natural Moringa oleifera Lam no tratamento de água com florações de cianobactérias. *Revista Tecnológica, Especial*, 305–313. <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v0i0.26092>.
- Perez, A., Sánchez, T., Armengol, N. y Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*, 33(4), 1–10. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000400001#t4.
- Perez, W. y López, J. (2017). Aplicación de un diseño factorial 2⁴ en la remoción de turbiedad del Río Rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(1), 18–28.
- Pernitsky, D. J. y Edzwald, J. K. (2006). Selection of alum and polyaluminum coagulants: Principles and applications. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 55(2), 121–141. <https://doi.org/10.2166/aqua.2006.062>.
- Peruço, J., Pereira, E., Veit, M., Bergamasco, R., y Andreo, O. (2014). Estudo de extração salina da semente de Moringa oleifera Lam aplicado na remoção do parâmetro cor para o tratamento de água potável. *Revista Tecnológica, Edição Esp*, 275–283. <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v0i0.26090.g14829>.

- Ramachandran, C., Peter, K. y Gopalakrishnan, P. (1980). Drumstick (Moringa oleifera): A multipurpose Indian Vegetable. *Economic Botany*, 34(3), 276–283.
- Ramamurthy, C., Uma, M. y Selvaganabathy, N. (2012). Evaluation of eco-friendly coagulant from Trigonella foenum-graecum seed. *Advances in Biological Chemistry*, 02(01), 58–63. <https://doi.org/10.4236/abc.2012.21007>.
- Ramírez, H. y Jaramillo, J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>.
- Rebollo, J. (2014). *Puesta en servicio y operación de redes de distribución de agua y saneamiento*. Antequera. Málaga. España: IC Editorial. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=BZgkDwAAQBAJyprintsec=frontcoverydq=Puesta+en+servicio+y+operación+de+redes+de+distribución+de+agua+y+saneamiento&hl=es&sysa=Xyved=0ahUKEwi_7YLIoPvUAhWDMSYKHWIPBP8Q6AEIJDA#v=onepage&q=Puesta+en+servicio+y+operación+de+r.
- Reyes, A., Godoy, M. y Pineda, D. (2016). Valoración de parámetros químicos del agua en pozos de la UNAH durante 2016, *Revista Ciencia y Tecnología*, (22), 135-145. <https://doi.org/10.5377/rct.v0i22.6449>.
- Rigola, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. (Marcombo, Ed.). Barcelona, España. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=fQcXUq9WFC8Cypg=PA11ydq=quimica+del+aguayhl=es&sysa=Xyved=0ahUKEwinyOCI2_DdAhUff5AKHSU_CxEQ6AEIUDAH#v=onepage&q=quimica+del+aguayf=false
- Roberto, R. (2009). *La problemática global del agua*. México: El Cid editor.
- Rodríguez, F. (2003). *Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización*. Madrid. España: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=xAvNbixfFpcCypg=PA244ydq=turbidez+del+aguayhl=es&sysa=Xyved=0ahUKEwj-h6StkvfdAhUCi5AKHQLjC9cQ6AEITjAl#v=onepage&q=turbidez+del+aguayf=false>.
- Rodríguez, S., Muñoz, R., García, O., y Fernández, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *Revista CENIC Ciencias*

Quimicas, 36, 8.

- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col.* (U. de Antioquia, Ed.). Medellín-Colombia. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=ZEjgIKZTF2UCyprintsec=frontcoverydq=aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwikyeqWxvDdAhUBhJAKHYBsBukQ6AEIUDAI#v=onepageyq=aguayf=false>.
- Romero, V., Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L. y Pérez, Z. (2007). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. *Ingeniería Uc*, 14(3), 16–23. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70711260003>.
- Sainz, J. (2007). *Tecnologías para la sostenibilidad: Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales.* (F. EOI, Ed.). Madrid. España. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=r9aK7UttDU8Cyprintsec=frontcoveryh=es>.
- Samia, J. (1986). *Uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento de agua en el medio rural.* Lima, Perú: CEPIS/OPS/OMS. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/003550/003550-00.pdf>.
- Sánchez, J., Beltrán, J. y Peres, J. (2012). Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(3), 495–501. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322012000300006>.
- Sánchez, Y., Martínez, G., Sinagwa, S., y Vásquez, J. (2013). *Moringa oleifera: Importancia, funcionalidad y estudios involucrados.* *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 25–30.
- Sardiñas, O., Chiroles, S., Fernández, M., Hernández, Y. y Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Sanid. Ambient. Higiene y Sanidad Ambiental*, 6(6), 202–206. Recuperado de [http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015aa031684_Hig.Sanid.Ambient.6.202-206\(2006\).pdf](http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015aa031684_Hig.Sanid.Ambient.6.202-206(2006).pdf).
- Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., y Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource*

- Technology*, 100(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Medellín. Colombia: Ediciones de la U.
- Silva, M. J. M., Paterniani, J. E. S., y Francisco, A. R. (2013). Application of Moringa Oleifera natural coagulant for clarification and disinfection of treated wastewater in wetlands and multistage filtration. *African Journal of Agricultural Research*, 8(24), 3102–3106. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1730>.
- Singley, J. (1972). *Revisión de la teoría de la coagulación del agua*. Universidad de Florida, EE.UU.
- Solís, R., Laines, J. y Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 229–236.
- Soriano, A. y Pancorbo, F. (2012). *Suministro, distribución y evacuación interior de agua sanitaria*. España: Marcombo. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=yohmlAo6Z-8Cypg=PT74ydq=color%20%3A%20aguayhl=es-419y%20sa=Xyved=0ahUKEwj1hpTrtbXXAhXHwVQKHViJA2cQ6AEIUdAI#v=onepageyq=color%3Aaguayf=false>.
- Stanley, S., Baxter, C. y Zhang, Q. (2000). *Process Modeling and Control of Enhanced Coagulation*. Edmonton. Canadá: AWWA Research foundation and american water works association. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=p4NzfISubMYCyprintsec=frontcoverhl=es>.
- Sutherland, J. y Folkard, G. (1994). Moringa Oleifera as a natural coagulant. In *20th WEDC Conference* (pp. 297–299). Colombo. Sri Lanka. <https://doi.org/10.1089/bfm.2014.0002>.
- Tapia, N., Mamani, S., Rojas, N. y Yarango, A. (2010). Estudio de la coagulación del sistema coloidal de Fe(OH)₃ por acción de la goma de Tara. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*, 13(2), 104–108.
- Tarón, A., Guzmán, L. y Barros, I. (2017). Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *ORINOQUIA*, 21(1), 73–78.

- Teutli, M. y Pérez, M. (2013). Sludge Density Prediction in a Wastewater Chemical Coagulation Process. *Journal of Water Resource and Protection*, 2013(July), 1–4. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.57A001>
- Torra, A., Valero, F., Bisbal, J. y Tous, J. (1998). Policloruro de aluminio en el proceso de potabilización de aguas superficiales, 2(2).
- Torres, L., De la Peña, L., Gallegos, J., Rodríguez, M. D. y Hernández, F. (2017). *Evaluación experimental del poder coagulante de extractos naturales empleados en la clarificación de aguas. Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ*. Recuperado de <http://productividad.cimav.edu.mx/productividad/adjuntos/expediente/500/ARTICULO CONGRESO.pdf>.
- Trejo, R. y Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, (25).
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S. y Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17–34. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0120-100X2014000100003.
- Twort, A., Ratnayaka, D., y Brandt, M. (2000). *Water supply* (5th ed.). London: Arnold y IWA. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=mabDwYWAhUsCyprintsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&qyf=false.
- Velasco, F. (2015). *Analizadores de proceso en línea: Introducción a sus técnicas analíticas*. España: Dias de Santos. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=skluDwAAQBAJypg=PA630ydq=equivalencia+NTU+:+turbidez&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnq_mJklbeAhVKjZAKHb7zAt4Q6AEIJAA#v=onepage&q=equivalencia NTU %3A turbidez&yf=false.
- Villabona, A., Paz, I. y Martínez, J. (2013). Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, XV(1), 137–144.
- Weber, W. (2003a). *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos*. Barcelona, España: Reverté, Editorial. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=TLpzh5HQYvgCypg=PA104ydq=tra>

tamiento+el+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwjKtpuxv63hAhXJmVkkKHa8p
CqQ4ChDoAQg4MAQ#v=onepageyq=tratamiento el aguayf=false.

Weber, W. (2003b). *Control de la calidad del agua: Procesos fisicoquímicos*.
Sevilla, España: Reverté, Editorial. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=TLpzh5HQYvgCypg=PA300ydq=turbidez+del+aguayhl=esysa=Xyved=0ahUKEwj-h6StkvfdAhUCi5AKHQLjC9cQ6AEIPjAF#v=onepageyq=turbidez del aguayf=false>.

Yagual, M. y Torres, F. (2013). *Análisis comparativo del proceso de floculación-coagulación en la potabilización de agua de río , usando como fuente de captación el Río Daule y el Río Babahoyo en la Provincia del Guayas*. Ecuador. DSpace.

ANEXOS

Tabla 23.

Turbiedad y color aparente del agua cruda del río Sama recolectada el 12, 18* y 19* de febrero del 2019*

Medición	Según diseño experimental		
	2 ⁴	2 ³	DBCA
Turbidez (UNT)	857	2 650	3 300
Color (UPC)	6 300	1 4400	15 600

* 12 febrero 2019 para el diseño factorial 2⁴

* 18 febrero 2019 para el diseño factorial 2³

* 19 febrero 2019 para el diseño DBCA

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 24.

ANOVA para la turbidez con diseño de experimento factorial 2⁴ del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis de semillas	1	2 982,43	2 982,43	83,02	0,0000
B:Velocidad de floculación	1	861,851	861,851	23,99	0,0001
C:Tiempo de floculación	1	0,000528	0,000528	0,00	0,9970
D:Tiempo de sedimentación	1	6 197,46	6 197,46	172,52	0,0000
AB	1	437,562	437,562	12,18	0,0023
AC	1	173,585	173,585	4,83	0,0399
AD	1	880,636	880,636	24,51	0,0001
BC	1	307,954	307,954	8,57	0,0083
BD	1	307,086	307,086	8,55	0,0084
CD	1	338,846	338,846	9,43	0,0060
bloques	1	58,9427	58,9427	1,64	0,2149
Error total	20	718,451	35,9225		
Total (corr.)	31	13 264,8			

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 25.

ANOVA para la turbidez con diseño de experimento factorial 2³ del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis de semillas	1	30,747	30,747	103,30	0,0000
B:Velocidad de floculación	1	61,9369	61,9369	208,10	0,0000
C:Tiempo de floculación	1	2,7889	2,7889	9,37	0,0156
AB	1	23,5225	23,5225	79,03	0,0000
AC	1	0,2025	0,2025	0,68	0,4334
BC	1	29,8662	29,8662	100,34	0,0000
Bloques	1	0,013225	0,013225	0,04	0,8383
Error total	8	2,3811	0,297638		
Total (corr.)	15	151,458			

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 26.

ANOVA para el color con diseño de experimento factorial 2⁴ del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis de semillas	1	297 413	297 413	130,44	0,0000
B:Velocidad de floculación	1	81 709,0	81 709,0	35,84	0,0000
C:Tiempo de floculación	1	1 696,53	1 696,53	0,74	0,3986
D:Tiempo de sedimentación	1	549 938	549 938	241,19	0,0000
AB	1	39 550,8	39 550,8	17,35	0,0005
AC	1	14 577,8	14 577,8	6,39	0,0200
AD	1	80 300,3	80 300,3	35,22	0,0000
BC	1	22 631,3	22 631,3	9,93	0,0050
BD	1	29 951,3	29 951,3	13,14	0,0017
CD	1	21 476,3	21 476,3	9,42	0,0061
bloques	1	1 937,53	1 937,53	0,85	0,3676
Error total	20	45 602,4	2 280,12		
Total (corr.)	31	1.18678E6			

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 27.

ANOVA para el color con diseño de experimento factorial 2³ del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis de semillas	1	3 937,56	3 937,56	463,24	0,0000
B:Velocidad de floculación	1	4 795,56	4 795,56	564,18	0,0000
C:Tiempo de floculación	1	175,563	175,563	20,65	0,0019
AB	1	2 280,06	2 280,06	268,24	0,0000
AC	1	217,563	217,563	25,60	0,0010
BC	1	2 782,56	2 782,56	327,36	0,0000
bloques	1	5,0625	5,0625	0,60	0,4625
Error total	8	68,0	8,5		
Total (corr.)	15	14 261,9			

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 28.

ANOVA para el diseño experimental de bloques completos al azar del tratamiento del agua del río Sama con semillas de moringa de Tacna 2018

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Tiempo	3	19,7288	6,57625	17,91	0,0000
B:BLOQUE	2	4,94359	2,47179	6,73	0,0066
RESIDUOS	18	6,60827	0,36713		
TOTAL (CORREGIDO)	23	31,2806			

Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 21. Plantación de moringa en Tacna

Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 22. Punto de recolección del agua del río Sama

Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 23. Vainas de moringa de Tacna 2018

Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 24. Semillas de moringa de Tacna 2018

Fuente: Elaboración propia (2019)

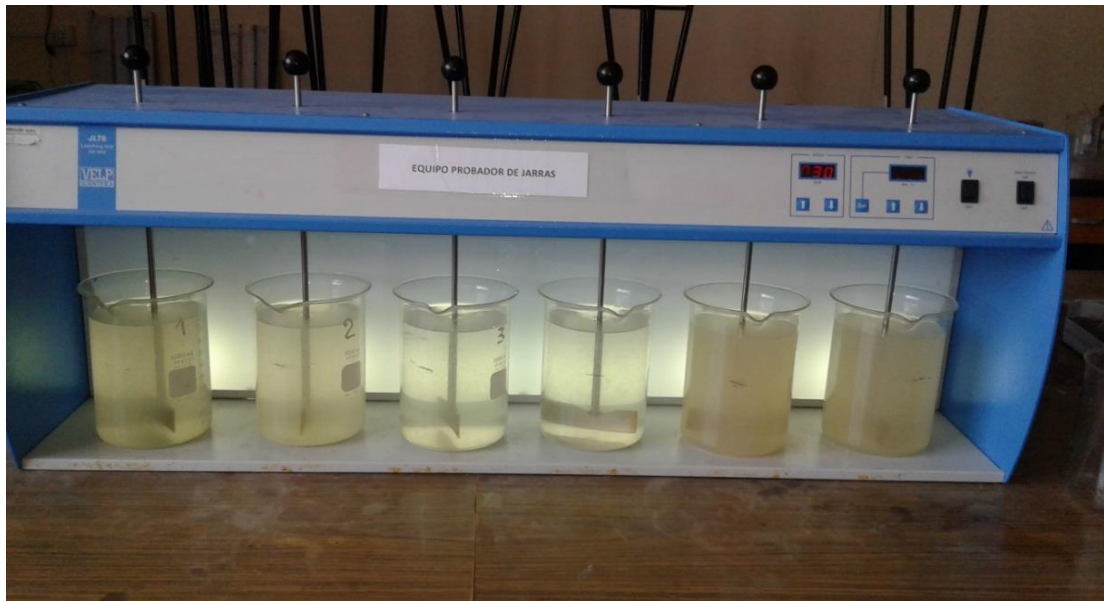


Figura 25. Equipo probador Jar Test con muestras de agua iniciando el tratamiento

Fuente: Elaboración propia (2019)

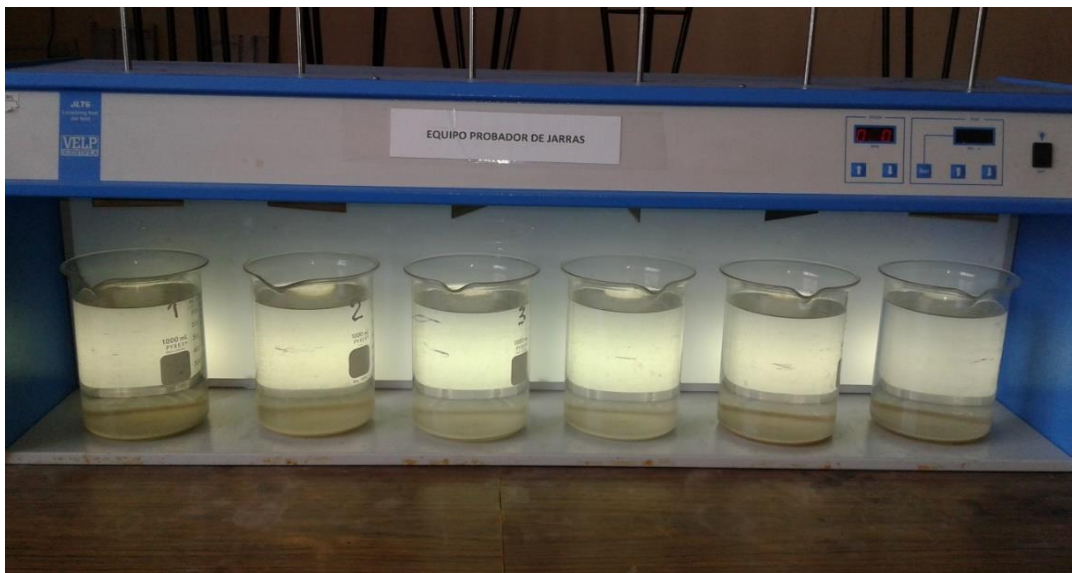


Figura 26. Equipo probador Jar Test con muestras después del tratamiento

Fuente: Elaboración propia (2019)