

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



*Una Institución Adventista*

**OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS EN LA PURIFICACIÓN DEL AGUA  
A BASE DE BIOPOLÍMEROS ORGÁNICOS DE GOMA DE TARA  
(*Caesalpinia Spinosa*) Y MORINGA (*Moringa Oleífera*)**

**Tesis presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Ambiental**

**Autores:**

Wilber Pérez Huachaca

Wilder Romario Torres Quispe

**Asesor:**

Ph.D. Noé Benjamín Pampa Quispe

Lima, mayo de 2019

DECLARACIÓN JURADA  
DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

*Ph.D Noe Benjamín Pampa Quispe* de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS EN LA PURIFICACIÓN DEL AGUA A BASE DE BIOPOLÍMEROS ORGÁNICOS DE GOMA DE TARA (CAESALPINIA SPINOSA) Y MORINGA (MORINGA OLEÍFERA)" constituye la memoria que presenta a los Bachilleres Pérez Huachaca Wilber y Torres Quispe Wilder Romario aspirar al Título Profesional de Ingeniero Ambiental, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones de este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, 18 de junio de 2019.



---

Ph.D. Noe Benjamín Pampa Quispe

Optimización de parámetros en la purificación del agua a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y moringa (*Moringa Oleifera*)

# TESIS

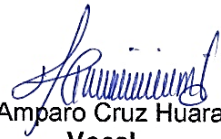
Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

## JURADO CALIFICADOR

  
Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez  
**Presidenta**

  
Mg. Joel Hugo Fernández Rojas  
**Secretario**

  
Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio  
**Vocal**

  
Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga  
**Vocal**

  
Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe  
**Asesor**

Lima, 07 de junio de 2019

## **Dedicatoria**

A Dios por seguir nuestros pasos y darnos las fuerzas en cada proceso del desarrollo y culminar esta investigación.

A nuestros padres, hermanos y familiares por ser la motivación para terminar este trabajo.

## **Agradecimiento**

A Dios en primer lugar por permitir que llegásemos hasta aquí y terminar este trabajo satisfactoriamente.

A nuestros padres, hermanos y familiares por confiar en nosotros y darnos el apoyo incondicional para lograr con este trabajo de investigación.

A PRONABEC por brindarnos la oportunidad de estudiar y darnos el apoyo necesario para culminar nuestra carrera con éxito dentro de la Universidad Peruana Unión.

Al Ph.D. Noe Benjamin Pampa Quispe, nuestro asesor, por estar siempre disponible en el asesoramiento desde el inicio hasta el fin del desarrollo de la tesis.

A nuestros docentes dictaminadores por ayudarnos a pulir el trabajo.

A la escuela de Ingeniería Ambiental, a los encargados del laboratorio de saneamiento y monitoreo por permitirnos el espacio y facilitarnos los equipos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

## Índice general

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Resumen .....	xv
Abstrac.....	xvii
CAPITULO I .....	19
EL PROBLEMA.....	19
1.1    Objetivos .....	22
1.1.1.    Objetivo general .....	22
1.1.2.    Objetivos específicos.....	22
CAPITULO II .....	24
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	24
2.1    Antecedentes .....	24
2.2    Base legal .....	27
2.2.1    Constitución política del Perú .....	27
2.2.2    Ley General del Medio Ambiente, Ley 28611 .....	28
2.2.3    Decreto supremo N° 004-2017-MINAM.....	29
2.2.4    Ley N° 26842, Ley General de Salud .....	29
2.2.5    Resolución Jefatural N° 010 -2016-ANA.....	30
2.3    Marco teórico .....	30
2.3.1    El agua .....	30
2.3.1.1    Calidad de agua.....	31
2.3.1.2    Características físicas del agua. ....	31
2.3.1.3    Características químicas del agua. ....	33
2.3.1.4    Características microbiológicas del agua.....	34
2.3.1.5    Contaminación del agua. ....	36
2.3.1.6    Disponibilidad de agua en el Mundo y el Perú. ....	37
2.3.2    Coagulación.....	39
2.3.2.1    Material coloidal. ....	40
2.3.2.2    Propiedades cinéticas del coloide.....	41
2.3.2.3    Estabilización e inestabilización de los coloides. ....	41
2.3.2.4    Mecanismo de coagulación.....	43
2.3.2.5    Factores que influyen en una coagulación.....	46
2.3.2.6    Tipos de coagulación. ....	49

2.3.3	Floculación .....	51
2.3.3.1	Tipo de floculación. ....	51
2.3.3.2	Factores que influyen en la floculación. ....	52
2.3.4	Sedimentación.....	53
2.3.4.1	Tipos de sedimentación .....	54
2.3.5	Polímeros .....	55
2.3.5.1	Polímeros naturales. ....	56
2.3.5.2	Polímeros sintéticos. ....	57
2.3.5.3	Modo de acciones de los polímeros.....	57
2.3.6	Tara (Caesalpinia Spinosa) .....	58
2.3.6.1	Descripción botánica.....	59
2.3.6.2	Taxonomía. ....	61
2.3.6.3	Aprovechamiento de la tara. ....	62
2.3.6.4	La goma de tara.....	62
2.3.6.5	Proceso de obtención de goma de tara. ....	63
2.3.6.6	Característica físico-química de la goma. ....	64
2.3.6.7	Usos en el tratamiento de agua. ....	66
2.3.7	Moringa oleífera.....	66
2.3.7.1	Característica botánica. ....	67
2.3.7.2	Taxonomía. ....	69
2.3.7.3	Característica química. ....	70
2.3.7.4	Obtención del polvo de moringa oleífera.....	71
2.3.7.5	Uso de la moringa oleífera en el tratamiento de agua.....	71
2.3.8	Prueba de jarras .....	72
2.3.8.1	Descripción de uso del equipo prueba de jarras. ....	73
2.3.8.2	Sistema de dosificación. ....	74
2.3.8.3	Descripción del sistema de agitación. ....	74
2.3.8.4	Toma de muestras. ....	75
2.3.8.5	Equipos auxiliares al momento de simulación. ....	76
2.3.9	Optimización de procesos .....	77
2.3.9.1	Screening - Plackett-Burman. ....	78
2.3.9.2	Box – Behnken.....	79
2.3.9.3	Diseño compuesto central rotacional (DCCR). ....	80
CAPITULO III .....		81

MATERIALES Y MÉTODOS .....	81
3.1 Lugar de estudio .....	81
3.2 Tipo de investigación .....	82
3.3 Diseño de la investigación.....	83
3.4 Materiales y equipos .....	83
3.4.1 Materia prima e insumos .....	83
3.4.2 Materiales.....	84
3.4.3 Equipos.....	84
3.5 Metodología .....	85
3.5.1 Recolección de la muestra, y análisis físico-químico y microbiológico .....	85
3.5.2 Preparación de la muestra de agua experimental .....	86
3.5.3 Preparación de la goma de moringa oleífera como coagulante.....	89
3.5.4 Preparación de la goma de tara como coagulante .....	95
3.5.5 Ejecución de la prueba de jarra .....	99
3.5.6. Diseño de experimentos y optimización de procesos .....	104
3.5.6.1. Diseño experimental Screening - Plackett-Burman.....	105
3.5.6.2. Diseño de superficie de respuesta de Box-Behnken.....	108
3.5.6.3. Diseño central compuesto rotacional (DCCR) .....	110
3.5.6.4. Análisis estadístico.....	112
CAPITULO IV .....	114
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	114
4.1.1. Diseño Screening .....	114
4.1.2. Diseño Box Behnken .....	133
4.1.3. Diseño compuesto central rotacional.....	145
CAPITULO V.....	163
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	163
5.1 Conclusión .....	163
5.2 Recomendaciones .....	165
Referencias bibliográficas .....	167
Anexos.....	174



## Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Diseño de Plackett-Burman, con 8 ensayos</i> .....	79
Tabla 2. <i>Niveles de diseño estadístico Box-Behnken</i> .....	79
Tabla 3. <i>Lista de materiales que se utilizaron en el laboratorio</i> .....	84
Tabla 4. <i>Datos antes de someterse a la prueba de jarras, etapa 1</i> .....	86
Tabla 5. <i>Datos antes de someterse a la prueba de jarras, etapa 2- remoción de turbiedad</i> .....	88
Tabla 6. <i>Datos antes de someterse a la prueba de jarras, etapa 2-remoción de coliformes</i> .....	89
Tabla 7. <i>Volumen de dosis de moringa en ml para cada vaso</i> .....	93
Tabla 8. <i>Volumen de dosificación en ml para cada vaso. Segunda etapa</i> .....	94
Tabla 9. <i>Volumen de dosificación en ml para cada vaso. segunda etapa</i> .....	95
Tabla 10. <i>Volumen de dosis de tara en ml para cada vaso, tara primera etapa</i> .....	97
Tabla 11. <i>Volumen de dosificación en ml para cada vaso.,tara segunda etapa</i> .....	98
Tabla 12 <i>Variables del diseño experimental</i> .....	105
Tabla 13 <i>Niveles de variables independientes para el diseño Screening - Plackett-Burman</i> .....	106
Tabla 14. <i>Mezcla de niveles para de las variables independientes de Screening - Plackett-Burman</i> .....	107
Tabla 15 <i>Niveles para el diseño Box Behnken en la remoción de coliformes Totales</i> .....	109
Tabla 16. <i>Mezcla de niveles para Niveles de diseño Box- Behnken para E coli</i> .....	109
Tabla 17. <i>Niveles para el diseño de superficie de respuesta (DCCR) para turbiedad</i> .....	111
Tabla 18. <i>Mezcla de niveles para superficie de respuesta (DCCR) para turbiedad</i> .....	111
Tabla 19 <i>Combinación de niveles para la etapa 1 o diseño Screening (Plackett –Burman) con dos replicas</i> .....	114
Tabla 20 <i>ANOVA de las interacciones de los factores en relación a la turbiedad</i> .....	117
Tabla 21. <i>Resultados ANOVA de las interacciones de los factores en relación a remoción de Coliformes Totales</i> .....	126
Tabla 22 <i>Resultados del diseño de Box Behnken para E-Coli Totales</i> .....	133
Tabla 23. <i>ANOVA, en el cual se detallan las varianzas de los datos de remoción de coliformes totales</i> .....	135

Tabla 24 <i>Prueba de Fisher para la regresión del modelo</i> .....	136
Tabla 25 <i>Datos de coeficientes de regresión para la construcción del modelo matemático</i> .....	139
Tabla 26 <i>Resultados de Superficie de respuesta DCCR para la turbiedad</i> .....	145
Tabla 27 <i>ANOVA de los factores en la remoción de turbiedad</i> .....	147
Tabla 28 <i>Coefficiente de regresión de los datos de turbiedad para la construcción de modelo matemático</i> .....	149
Tabla 29 <i>Calculo del modelo predictivo para la remociones turbiedad</i> .....	156
Tabla 30 <i>Tabla valores optimizados de turbidez</i> .....	157
Tabla 31 <i>Tabla Parámetros experimentales y optimizados</i> .....	158
Tabla 32 <i>Tabla de comparación de cuantificación y remoción de turbidez entre datos experimentales y predictivos</i> .....	159
Tabla 33 <i>Tabla valores del modelo predictivo para remoción de coliformes totales</i> .....	159
Tabla 34 <i>Tabla valores optimizados de E-Coli</i> .....	160
Tabla 35 <i>Tabla Parámetros experimentales y optimizados para E-Coli T</i> .....	161
Tabla 36 <i>Tabla de comparación de cuantificación y remoción de turbidez entre datos experimentales y predictivos para E-coli T</i> .....	161

## Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Información de cantidad de agua en el Mundo .....	38
<i>Figura 2.</i> Cantidad de agua en el Perú, distribuidas en sus respectivas fuentes .....	39
<i>Figura 3.</i> Vista esquemática de la doble capa. Barrenechea (2009) .....	43
<i>Figura 4.</i> Esquema de la fuerza de atracción y repulsión. Barrenechea (2009) .....	44
<i>Figura 5.</i> Reestabilización de partículas. Barrenechea (2009) .....	45
<i>Figura 6.</i> Atrapamiento de partículas en un floc. Barrenechea (2009) .....	46
<i>Figura 7.</i> Forma esquemática de la coagulación por adsorción .....	50
<i>Figura 8.</i> Coagulación por barrido .....	51
<i>Figura 9.</i> Índice de Willcomb para clasificar los tamaños del floc que va de A–G .....	55
<i>Figura 10.</i> Representación gráfica de la desestabilización de coloides con acción de los polímeros por puente .....	58
<i>Figura 11.</i> Árbol de Caesalpinia Spinosa. (Fundo Incahuasi. Recuperado de <a href="https://fundoincahuasi.com/">https://fundoincahuasi.com/</a> ) .....	61
<i>Figura 12.</i> Proceso industrial de Goma de Tara. (ALNICOLSA PERÚ S.A.C, 2019) ....	64
<i>Figura 13.</i> Composición galactomanano de la goma de tara. (Goycochea, 2010) .....	65
<i>Figura 14.</i> Árbol de la moringa oleífera. (SeeD Galery. Com, 2019) .....	67
<i>Figura 15.</i> Hoja, flor, vaina madura, semilla de la moringa oleífera (SeeD Galery. Com, 2019) .....	69
<i>Figura 16.</i> Proceso casero de obtención del polvo de la semilla de Moringa O. ....	71
<i>Figura 17.</i> Equipo de prueba de jarras. (AbaTec. Com.) .....	73
<i>Figura 18.</i> Latón o deflectores dentro del vaso. Canepa, (2009) .....	75
<i>Figura 19.</i> Sifón para la toma de muestra. Canepa, (2009) .....	76
<i>Figura 20.</i> Ubicación del área de trabajo experimental (laboratorio) y punto de muestreo de agua. ....	82
<i>Figura 21.</i> Muestreo agua cruda para análisis microbiológico. ....	86
<i>Figura 22.</i> Toma de Pre-dato para tener en consideración .....	87
<i>Figura 23.</i> Descascarado de la semilla de moringa oleífera .....	89
<i>Figura 24.</i> Secado de la semilla de moringa oleífera sobre una calamina. ....	90
<i>Figura 25.</i> Triturado y tamizado de semilla hasta obtener el polvo a 6mm de diámetro. ....	90

<i>Figura 26.</i> Peso de 20 y 40g de moringa y soluciones al 20 y 40% .....	92
<i>Figura 27.</i> Peso del polvo de tara en una balanza analítica.....	96
<i>Figura 28.</i> Vasos en el equipo 1, listo para iniciar la mezcla. Los mismo en el 2.....	99
<i>Figura 29.</i> Preparación de la jeringas con sus respectivas dosis y concentraciones para cada vaso.....	100
<i>Figura 30.</i> Formación del floculo, siendo la clasificación C del Índice de Willcomb. ...	101
<i>Figura 31.</i> Colocando las jarras para el proceso sedimentación.....	102
<i>Figura 32.</i> Extracción de muestra para los análisis.....	103
<i>Figura 33.</i> Muestras analizadas de las 2 repeticiones.....	103
<i>Figura 34.</i> Prueba de valor normal del residual del ajuste del modelo .....	116
<i>Figura 35.</i> Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta turbiedad (NTU.....	117
<i>Figura 36.</i> Interacción de factores en la remoción de la turbiedad (velocidad baja, dosis de tara, concentración de tara). .....	118
<i>Figura 37.</i> Interacción de factores en la remoción de la turbiedad (pH, velocidad baja, volumen de dosis de moringa) .....	120
<i>Figura 38.</i> Interacción entre los factores independientes .....	121
<i>Figura 39.</i> Superficie de respuesta de factores independientes (concentración de tara, velocidad baja) .....	122
<i>Figura 40.</i> Superficie de respuesta de factores independientes (dosis de tara, pH) ...	123
<i>Figura 41.</i> Prueba del valor normal en funcion del residual .....	125
<i>Figura 42.</i> Diagrama de Pareto, para variable de respuesta coliformes totales .....	127
<i>Figura 43.</i> Interacción de factores (Velocidad alta, concentración de moringa, dosis de moringa) en la remoción de E-Coli totales .....	128
<i>Figura 44.</i> Superficie de respuesta de factores independientes (concentración de moringa, dosis de moringa con respecto a la remoción de coliforme totales .....	129
<i>Figura 45.</i> Superficie de respuesta de factores independientes, velocidad alta, volumen de dosis de moringa con respecto a la remoción de coliformes totales. ....	130
<i>Figura 46.</i> Prueba de normal en función a residual - Box Behnken de los datos de remoción de coliformes totales.....	134
<i>Figura 47.</i> Diagrama de Pareto de Box Behnken remoción de coliformes totales .....	137

<i>Figura 48.</i> Interacción de variables independientes en la remoción de coliformes totales – Box Behnken.....	138
<i>Figura 49.</i> Superficie de contorno de la interacción de concentración de moringa y dosis de moringa .....	140
<i>Figura 50.</i> Superficie de respuesta de variables de dosis de moringa y concentración de moringa en la remoción de E- Coli totales,.....	141
<i>Figura 51.</i> Superficie de respuesta de dosis de moringa y concentración de moringa	142
<i>Figura 52.</i> Superficie de respuesta de variables de dosis de moringa y velocidad alta en la remoción de E- Coli totales.....	143
<i>Figura 53.</i> Prueba de normal en función a residual – Superficie de respuesta de los datos de remoción de turbiedad .....	147
<i>Figura 54.</i> Diagrama de Pareto, estandarización de efectos en la remoción de turbiedad .....	151
<i>Figura 55.</i> Gráfica de contorno de turbiedad a concentración de tara y pH .....	151
<i>Figura 56.</i> Superficie de respuesta de las interacciones concentración de tara y dosis de moringa .....	152
<i>Figura 57.</i> Gráfica de contorno de turbiedad a concentración de tara y dosis de moringa .....	153
<i>Figura 58.</i> Superficie de respuesta de turbiedad, dosis de tara y pH. ....	154

## Índice de ecuaciones

<i>Ecuación 1.</i> Modelo matemático cuadrático del diseño estadístico .....	77
<i>Ecuación 2.</i> Fórmula para hallar la eficiencia de turbiedad final. ....	78
<i>Ecuación 3.</i> Fórmula para hallar la concentración de la solución.....	91
<i>Ecuación 4.</i> Fórmula para hallar el volumen de dosificación.....	92
<i>Ecuación 5.</i> Modelo matemático de la interacción de concentración de tara y velocidad baja .....	122
<i>Ecuación 6.</i> Modelo matemático de la interacción de pH y Dosis de tara .....	124
<i>Ecuación 7.</i> Modelo matemático de la concentración de moringa y dosis de moringa	129
<i>Ecuación 8.</i> Modelo matemático de la interacción de Velocidad alta y dosis de moringa. .....	131
<i>Ecuación 9.</i> Modelo matemático de la interacción de dosis de moringa y concentración de moringa .....	142
<i>Ecuación 10.</i> Modelo matemático de la interacción de dosis de moringa y velocidad baja .....	144
<i>Ecuación 11.</i> Modelo matemático de la interacción de pH y concentración de tara – superficie de respuesta .....	152
<i>Ecuación 12.</i> Modelo matemático de la interacción de dosis de tara y concentración de tara .....	153
<i>Ecuación 13.</i> Modelo matemático de la interacción de velocidad baja y concentración de tara .....	154

## Índice de anexos

<i>Anexo 1.</i> Toma de muestra de agua. Y Lugar de recojo de agua cruda. ....	174
<i>Anexo 2.</i> Preparación de insumos para el ensayo de laboratorio .....	175
<i>Anexo 3.</i> Ensayo en la prueba de jarras .....	176
<i>Anexo 4.</i> Ensayos en el laboratorio, recolección de muestras .....	177
<i>Anexo 5.</i> Frascos para la muestra de parámetros microbiológicos .....	177
<i>Anexo 6.</i> Informe del ensayo de laboratorio para coliformes totales- primera prueba	181
<i>Anexo 7.</i> Cadena de custodia- primer ensayo .....	184
<i>Anexo 8.</i> Informe del ensayo de laboratorio para coliformes totales- segunda prueba	186
<i>Anexo 9.</i> Cadena de custodia –segundo ensayo .....	188
<i>Anexo 10.</i> Certificado de calibración de los equipos utilizados. ....	189
<i>Anexo 11.</i> Especificación técnica de la goma de tara dado por el proveedor. ....	192
<i>Anexo 12.</i> Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos, D.S. 031-2010-SA .....	193
<i>Anexo 13.</i> Límites máximos permisibles de parámetros organolépticos, D.S. 031-2010- SA .....	194

## Símbolos

OMS: Organismo Mundial de Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

UNICEF: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

ECA: Estándares de calidad ambiental

UTM: Sistema de coordenadas transversal de Mercator

NTU: Nephelometric Turbidity Unit - Unidad Nefelometrica de Turbidez

L: litro

rpm: revolución por minuto

s<sup>-1</sup>: por segundo

pH: potencial de hidrogeno

mg: miligramos

mg/L: milígramos por litro

vol: volumen

vel: velocidad



## Resumen

La calidad de agua posee un efecto directo sobre la salud, se debe considerar las características físicas, químicas y microbiológicas inócuas para su consumo humano, esto se logra gracias al proceso de tratamiento de agua potable que son clarificación, desinfección y acondicionamiento, de tal forma que la coagulación y floculación (clarificación), procesos en el cual la turbiedad (un medio protector que alberga microorganismos patógenos, sustancias, compuestos orgánicos) son intervenidas por insumos químicos, siendo los más comunes sales de hierro y aluminio. No obstante, muchas fuentes mencionan que la utilización de estas sales de aluminio deja mucho lodo y que su consumo remanente constante en las aguas tratadas ponen en grave riesgo la salud de las personas, ya que favorece el desarrollo del mal del Alzheimer. Es así que muchos investigadores proponen la necesidad de experimentar el uso de otros insumos coagulantes disponibles en toda la región del país que reemplacen a las sales (hierro y aluminio) usadas comúnmente. Es por ello, en este trabajo se evaluó la eficiencia de remoción de la turbiedad y patógenos mediante la optimización de parámetros, a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara y moringa oleífera. Para ello se recolectaron muestras de agua cruda del río Rímac en las coordenadas UTM: E 299620.09 N 8673136.07 a una altitud de 518 m.s.n.m. posteriormente se efectuaron ensayos a escala laboratorio mediante la prueba de jarras, con la ayuda del método estadístico de optimización de proceso con sus tres niveles (diseño de P-Burman; diseño Box-Behnken y diseño Compuesto Central Rotacional; y la estimación del modelo predictivo) se determinó las variables independientes (concentración de tara, de moringa, pH, velocidad alta y baja, volumen de dosificación de los coagulantes) más significativos para

lograr una buena remoción de turbiedad y coliformes totales. Los resultados demostraron que los variables más significativos y su efecto en la variable respuesta, fueron cinco variables significativos pH 5, volumen de dosis de tara 10 ml, concentración de tara 0.3 % volumen de dosis de moringa 22ml, y velocidad de mezcla lenta 20 rpm en la remoción de turbiedad y tres variables significativos volumen de tara 12ml, concentración 0.35%, volumen de dosis moringa 26ml a una concentración de 40% en la remoción de coliformes totales. Lográndose bajar en total de 500 a 4 UNT de turbiedad y de 62000 a 800 UFC/100ml, con una eficiencia de remoción de turbiedad 99.20% y remoción de coliformes totales de 98.57%, además según las estimaciones desarrolladas a partir de los puntos óptimos se podría optimizar más el tratamiento.

## Abstract

The quality of water has a direct effect on health, it must take into account the physical, chemical and microbiological characteristics for human consumption, this is due to the process of drinking water treatment that is clarification, disinfection and conditioning, in such a way That coagulation and flocculation (clarification), processes in which turbidity (a protective medium that harbors pathogenic microorganisms, substances, organic compounds) are intervened by chemical inputs, being the most common sales of iron and alumunium. There are no obstacles, many sources mention the use of these sales of aluminum leaves a lot of time and its consumption remains constant in the treated waters in serious risk to the health of people, and that favor the development of Alzheimer's disease. Thus, many researchers propose the need to use the use of other coagulant supplies available throughout the region of the country that replaces sales (iron and aluminum). The base of the organic biopolymers of tara gum and moringa oleifera. To do this, samples of raw water from the river are collected under UTM conditions: E 299620.09 N 8673136.07 at an altitude of 518 m.s.n.m. The design of P-Burman; Box-Behnken design and Rotational Central Composite design; and the estimation of the predictive model) determined the independent variables concentration of tare, moringa, pH, high and low speed, volume of dosage of the coagulants) to achieve a good removal of turbidity and total coliforms. The results showed that the most significant variables and their effect on the response variable were five significant variables pH 5, tara dose volume 10 ml, tara concentration 0.3% volume of moringa dose 22 ml, and speed of slow mix 20 rpm in the removal of turbidity and three significant variables tara volume 12 ml, concentration 0.35%, volume of moringa dose 26 ml at a

concentration of 40% in the removal of total coliforms. 500 to 4 NTU of turbidity and 62000 to 800 CFU / 100ml, with an efficiency of removal of turbidity of 99.20% and removal of total coliforms of 98.57%, in addition to the same activities developed.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

El agua, elemento vital para la supervivencia humana, es cada vez más escasa y la calidad va empeorando día a día, generalmente por la contaminación causada producto de las actividades de desarrollo industrial, agrícola, doméstica, y el mal uso de las mismas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en su informe menciona que a nivel mundial cerca de 2,1 millones de personas no tienen acceso a agua potable segura, es decir no cuenta con una pila cerca o dentro de su vivienda (agua no tratada), consecuentemente 340 000 niños mueren por enfermedades diarreicas producto de los patógenos en el agua (OMS/UNICEF, 2017). Dentro de América Latina la calidad de agua que se consume es muy crucial, cerca de 38 millones de personas siguen sin tener acceso a agua potable y la diarrea en menores de 4 años sigue siendo unos de los mayores problemas a causa del mismo (OPS/OMS, 2013).

En el Perú, el 86,1% de la población total acceden al agua por red pública, de los cuales el 67,1% consume agua potable y el 19,0% consume agua no potable; el 13,9% consumen agua de otras fuentes no potable. Es decir, el 32% de la población total consume agua no potable, siendo que 5 millones 982 mil 800 habitantes (19%) tiene red conectadas a sus viviendas y 4 millones 376 mil 900 habitantes (13.9%) consumen agua proveniente de otras fuentes (río, manantial, lluvia, camión cisterna o pilón de uso público) (INEI, 2016).

Teniendo en cuenta que la calidad de agua posee un efecto directo sobre la salud, se debe considerar las características físicas, químicas y microbiológicas inocuas para su consumo directo, esto se logra gracias al proceso de tratamiento de agua potable que son clarificación, desinfección y acondicionamiento (Rodríguez, Muñoz, García, & Fernández, 2005), de tal forma, la clarificación conforma la coagulación y floculación, procesos en el cual las partículas coloidales son intervenidas por insumos químicos, coagulantes inorgánicos, siendo los más comunes el sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) y el cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) debido a su fácil manejo y obtención (Fuentes, Contreras, Perozo, Mendoza, & Villegas, 2008); Es en este proceso en donde se estabiliza las cargas negativas de los coloides, de esta forma la densidad de las mismas aumentan formando flóculos más grandes, acelerando la sedimentación.

No obstante, muchas fuentes mencionan que la utilización de sales de aluminio deja mucho lodo al final del tratamiento y que su consumo remanente constante en las aguas tratadas ponen en grave riesgo la salud de las personas, ya que parecen favorecer el desarrollo del mal de Alzheimer (Amagloh & Benang, 2009; Stauber, 1999, citado por Fuentes et al. 2008). Pero no existe una afirmación concluyente sobre el problema.

Por lo tanto, existe la necesidad de investigar el uso de otros insumos coagulantes disponibles en toda la región del país que reemplacen a las sales (de hierro y de aluminio) usadas comúnmente. Siendo amigables con la naturaleza, los vegetales han sido probados con éxito (Amagloh & Benang, 2009; Field, Bergman y Persson, 2007).

El agua destinada al consumo humano debe estar libre de organismos y de concentraciones de sustancias químicas que pueden ser un peligro para salud, además,

los suministros de agua potable deberían ser agradables al beber según lo permitan las circunstancias, ausencia de turbidez, de color, y de cualquier sabor u olor desagradable (OMS, 2017).

Para lograr un agua potable necesariamente debe pasar por procesos de tratamiento, es entonces que Aguilar (2010) indica la necesidad de disminuir el uso de lo químico y probar polímeros naturales ya que estos tienen nula toxicidad aparte de la excelente capacidad coagulante, entre ellos se tienen almidón de la papa, de maíz, cactus, aloe vera, penca de tuna, moringa oleífera, goma de tara, etc. Según Aguilar, Noratto, Chambi, Debaste, & Campos, (2014); Amagloh & Benang, (2009); Field et al., 2007; Rodríguez et al., (2005) de todos los materiales naturales como coagulante el más efectivo en cuanto a remoción de turbiedad comparado con el alumbre ha sido el polvo procesado de la Moringa Oleifera y la Goma de Tara, además resaltan que estas semillas, más la moringa que la tara, posee propiedades antimicrobianas.

Es así, que con esta investigación, se determinó la eficiencia de remoción de turbiedad y patógenos presentes en el agua con el uso de biopolímeros orgánicos de goma de tara y moringa oleífera juntos. Para ello, se contó con la ayuda del diseño estadístico optimización de procesos que permitió determinar los variables más significativos que tienen mayor influencia en la variable de respuesta, es así que con el análisis matemático se identificó cual es el insumo o conjunto de insumos que afectó más en la eficiencia de remoción. Permitiendo reducir el número total de experimentos, ahorrando esfuerzo y tiempo, así como gasto de insumos y componentes químicos en futuras investigaciones. El estudio se realizó en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión, sede central. Las muestras de agua fueron tomadas del río Rímac, en las

siguientes coordenadas WGS84, proyección UTM E 299620.09 N 8673136.07 en temporada de avenidas.

Siendo el agua un recurso vital para los seres humanos y todas formas de vida dentro de este mundo, es primordial su cuidado y responsable su uso en todos los ámbitos del desarrollo de una comunidad. Como menciona la santa escritura, fue Dios mismo quien puso al hombre en la tierra para que sea administrador de todos los bienes de su creación. Entonces con mayor razón tenemos la inmensa responsabilidad de preservar y conservar los recursos naturales que se nos concedió, y así asegurar el bienestar futuro de nuestras generaciones.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar la eficiencia de remoción de la turbiedad y patógenos mediante la optimización de parámetros, a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara y moringa oleífera.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Analizar las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas del agua del Río Rímac.
- Describir el proceso de acción química y física de la goma de tara y la moringa oleífera en la coagulación.
- Determinar los efectos y niveles de parámetros empleando el diseño de Screening en la cuantificación de turbiedad y carga microbiana del agua.



- Optimizar los parámetros y niveles empleando la metodología de superficie de respuesta de Box-Behnken y Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR) en la carga microbiana y turbidez respectivamente.
- Determinar los puntos óptimos en la remoción de carga microbiana y turbidez de acuerdo al modelo de segundo orden generado.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1 Antecedentes

Estudios realizados en diversos países de Asia, África y América han presentado alternativas ecológicas (polímeros orgánicos) dentro del proceso de tratamiento de agua potable con la finalidad de garantizar la inocuidad del agua.

Amagloh & Benang (2009) en su artículo "*Effectiveness of Moringa oleifera seed as coagulant for water purification*" realizado en África y Ghana, describe a la Moringa Oleifera como la mejor opción coagulante orgánico para el tratamiento de agua potable. Utilizaron concentraciones de 4, 6, 8, 10 y 12 g/ L del polvo procesado de semillas madura como coagulante. Como pre dato se determinaron la NTU, el pH, la conductividad y los coliformes totales para todas las muestras. La turbidez de las muestras varió de log100.30 a log101.36 NTU, mientras que la conductividad varió de log102.29 a log102.72  $\mu\text{S} / \text{cm}$ . Es así como resultados dieron que el tratamiento con una concentración de 12 g/L de Moringa tuvieron valores aceptables (5 UNT) dentro los índices de la OMS para agua potable. Los valores de pH (7.29 a 7.89) obtenidos también estaban dentro en el rango recomendado por la OMS y el número más probable por 100 mL para el recuento total de coliformes tenía valores de 2 a 17 UFC con un valor de confianza del 95 %. Es así que concluye que a concentraciones de 10g/L del polvo de la semilla tienen mejores resultados que el coagulante convencional (alumbre), además de poseer una ventaja de propiedades antimicrobianas. Pero resalta que a concentraciones mayores son inaceptables.

Beltran & Sanchez (2008) en su artículo titulado “*Azo dye removal by Moringa oleifera seed extract coagulation*” realizado en España, Badajoz, dentro del enfoque de la eliminación del tinte azo, menciona que entre varios productos naturales la Moringa Oleífera es altamente efectivo para eliminar el colorante mediante un proceso de coagulación. Con una dosis de extracto de *M. oleifera* de 150, 200 y 250 mg/l por 100, 160 y 200 mg/ l de la concentración inicial de colorante (CSB), respectivamente, se ha logrado hasta un 99% de eliminación de CSB. Se ha establecido una relación óptima entre la cantidad de tinte eliminada y la cantidad de extracto de *M. oleifera* que está entre 0.7 y 0.9. A mayor concentración de tinte, menor será la eliminación. La temperatura no afecta el proceso de coagulante y  $\text{pH} > 8$  tiene una influencia negativa, ya que la proteína catiónica de la *M. oleifera*, a niveles de pH ácido, mejoran los enlaces hidrófobos disminuyendo su eficiencia. En conclusión la moringa oleífera fue completamente efectiva con el CSB y otros tipos de colorantes, como los antraquinónicos.

Mera, Gutiérrez, Montes, y Paz (2016) en su artículo titulado “Efecto de la Moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el cauca, Colombia” mencionan que la moringa oleífera es efectivo como biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de beneficio de café y del proceso de pelado químico de vegetales. En el estudio de usaron aguas residuales del beneficio con una turbidez de 2000 UNT y 91,5 UNT de aguas provenientes del pelado. Emplearon la prueba de jarras a condiciones: intensidad de mezcla 130 rpm, temperatura de 21,5 °C, tiempo de agitación 30 min agua de 2 mil UNT y 15 min para agua de 91,5 UNT. Como resultado, empleando 4g de polvo de moringa oleífera en 600 mL de agua residual de beneficio de café se obtuvieron una eficiencia del 80,9 % y empleando 0,15 g del polvo de moringa

en 600 mL de agua del pelado químico de vegetales obtuvieron una eficiencia de 63,5 %, siendo este, en ambos casos eficientes en la remoción.

Davila, Carranza, Flores, Polo y Araujo (2018) en su artículo “Efectividad de especies naturales como ayudantes de Coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas” indican que de entre los coagulantes naturales utilizados en el estudio (tara, papa, penca, mashua y trigo), con una turbiedad inicial de 52,3 UNT, la tara fue el que mayor significancia tuvo, llegando a una eficiencia de remoción de turbiedad del 97 % con las siguientes condiciones: dosis de 35 mg/L, concentración de 3,2 % y 7,5 de pH; seguido por la papa con una eficiencia de 94% a una dosis de 37 mg/L, a una concentración de 3.6 % y 8,0 de pH; luego la mashua con 93 % a una dosis 28 mg/L, a una concentración de 3,5 % y un pH de 8,0; el trigo con 90% a una dosis de 45,0 mg/L, a una concentración de 5,3% y un pH de 8,0 y finalmente la penca de tuna con 89.9 % de eficiencia a una dosis optima de 36 mg/L, a una concentración de 4,5 % y un pH de 7,5. Llegando todos a valores de turbiedad residual <5 UNT.

Feria, Bermúdez y Estrada (2014) en su investigación “Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú” mencionan que el biopolímero de Moringa Oleífera tiene la misma capacidad de acción que el sulfato de aluminio, con la misma concentración al 1 % y dosis mayores a los 10 mg/L. Trabajaron con una turbiedad inicial de 200 y 360 UNT del río Sinú, logrando así una remoción de turbidez >90 % de eficiencia con una dosis entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L del coagulante natural. Mencionan también que para “turbiedades iniciales menores a 66

UNT, las eficiencias fueron también menores (entre 70 % y 85 %). No se evidenciaron alteraciones significativas en el pH y la alcalinidad luego de los tratamientos.

Aguilar (2010) en su proyecto “Utilización de las semillas de tara (Caesalpinia Spinosa) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas”, tomando de base la utilización de solo el polímero convencional determinó la posibilidad de utilizar la moringa oleífera en lugar de sulfato de aluminio como económicamente viable. Trabajó con dos tipos de muestra, tipo I a una turbiedad de 390 UNT y tipo II a una turbiedad de 25 UNT llegando a obtener con la goma de tara como ayudante a 1.9 y 1.7 UNT respectivamente. En conclusión, la goma de tara no solo ayuda a formar flocs más grandes, si no también permiten ahorrar cantidad de sulfatos de aluminio minimizando costos de operación.

## **2.2 Base legal**

En el Perú, existen una serie de normativas dirigidas a lograr la adecuación ambiental, empezando por la Carta Magna, Leyes, Decretos, Reglamentos, etc.

### **2.2.1 Constitución política del Perú**

En la Constitución Política del Perú de 1993, menciona en el artículo 2 derechos fundamentales de la persona, en la cual detalla que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”, además en el artículo 66, menciona que “Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la nación. El estado es soberano en su aprovechamiento”.

Asimismo en el Artículo 7.A. hace saber que Estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable. El Estado garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos. También el Estado promueve el manejo sostenible del agua, el cual se reconoce como un recurso natural esencial y como tal, constituye un bien público y patrimonio de la Nación. Su dominio es inalienable e imprescriptible.

### **2.2.2 Ley General del Medio Ambiente, Ley 28611**

Dentro de la Ley 28611, en el Artículo 3. El Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la presente Ley.

Es así que en el Artículo 32, detalla sobre los Límites Máximos Permisibles las cuales son la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

En el Artículo 53, las entidades que ejercen funciones en materia de salud ambiental, protección de recursos naturales renovables, calidad de las aguas, aire o suelos y otros aspectos de carácter transitoria ejercen funciones de vigilancia,

establecimiento de criterios y de ser necesario, expedición de opinión técnica previa, para evitar los riesgos y daños de carácter ambiental que comprometan la protección de los bienes bajo su responsabilidad.

Además, dentro del Artículo 113, toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes, tales como el aire, agua, suelo, y demás. Identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten, por estar dentro del Artículo 114, que resalta el acceso al agua para consumo humano es un derecho de la población.

Así también, en el Artículo 122, responsabiliza a las entidades que causan un vertido de residuos líquidos en un cuerpo receptor alterando su calidad, se encarguen del tratamiento.

### **2.2.3 Decreto supremo N° 004-2017-MINAM**

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, como se mencionó en lo anterior complementando con el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

### **2.2.4 Ley N° 26842, Ley General de Salud**

En sus artículos 107°, establece que el abastecimiento del agua para consumo humano queda sujeto a las disposiciones de dicte la autoridad de salud competente, la

que vigilara su cumplimiento. Por ello en el 2010 se aprueba el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano mediante el D.S N° 031-2010 SA en el cual dicta los requisitos que debe cumplir el agua para que ser apto para consumo humano.

### **2.2.5 Resolución Jefatural N° 010 -2016-ANA**

En el marco de sus competencias establecidas en el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobados por D.S.N° 006-2010-AG y el cumplimiento del artículo 126 del D.S. N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, la Dirección de línea de la Autoridad Nacional de Agua, elabora el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. El presente protocolo es de uso obligatorio a nivel nacional para el monitoreo de la calidad ambiental del agua de los cuerpos de agua tanto continentales, marino-costero, en cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, Su Reglamento y demás normas de calidad del agua.

Durante la ejecución del proyecto, los trabajos de muestreo, conservación, traslado, serán desarrollados de acuerdo a los criterios que se detallan en el protocolo.

## **2.3 Marco teórico**

### **2.3.1 El agua**

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrogeno y uno oxígeno. Su fórmula molecular es H<sub>2</sub>O, y es muy estable. El agua es un recurso natural vital, esencial, elemental para la supervivencia de seres vivos en el planeta. Es incoloro, insípido e inodoro. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) el agua es un elemento



natural, un recurso hídrico que discurren de las lagunas, ríos, nevados, glaciares, ensenadas, manantiales, etc. Se encuentra disponible en sus tres estados: líquido, sólido y gaseoso (Orellana, 2005)

### **2.3.1.1 *Calidad de agua***

Calidad de agua es un concepto relativo, pero comúnmente entendemos por calidad de agua al líquido inocuo para ser bebido, en otras palabras, agua en condiciones aceptables dentro de sus características físicas, químicas y microbiológicas. Está directamente relacionado con la salud y el bienestar humano, muchas veces de esto depende el desarrollo de una comunidad o país (Orellana, 2005)

### **2.3.1.2 *Características físicas del agua.***

Se define como características físicas del agua a aquellas que pueden ser detectadas por los sentidos, así para efecto de evaluación, el color y olor de son detectadas por la vista y olfato, más la turbiedad, el pH y la temperatura de estiman por medios analíticos con la ayuda de equipos externos (Barrenechea, 2009)

Siendo así entre los más importantes:

- Turbiedad

La turbiedad se define como la cantidad de material particulado en suspensión que imposibilita la transmisión de luz a través del agua. Estos son contaminantes naturales y la mayoría de las veces partículas minerales como arcilla y limo o flóculos orgánicos que albergan algunos microorganismos. La turbidez se mide con una turbidímetro, en

Unidad Nefelométrica de Turbiedad (UNT). “El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 UNT), se aprecia a simple vista” (Andía, 2000).

- Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes ya que tiene influencia directa sobre las cinéticas que ocurren dentro del agua. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases, en general, a todas sus propiedades, tanto químicas, absorción de oxígeno, precipitación de compuestos, floculación-coagulación y biológicos la retardo o aceleración de la actividad microbiana (Marín, 2011).

- pH

El pH es un parámetro que está estrechamente relacionados con la corrosión y las incrustaciones dentro de las tuberías. Se define como el logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno en el agua y, por lo tanto, indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en ella. Estudios afirman que el pH del agua no tiene un efecto en la salud pero si repercute en los procesos de tratamiento del agua. Generalmente un agua natural contiene entre 5 a 9 de pH, si es ácida es necesario la alcalinidad, que es la capacidad del agua para neutralizar los iones de hidrógeno agregados o amortiguarlos (Martin, 2011).

- Sólidos totales

Los sólidos totales son una miscelánea de todas sustancias contenidos en el agua, ya sean orgánicas, inorgánicas en forma ionizada, molécula, etc. Los sólidos totales son el resto de una agua evaporada, suma de sólidos disueltos (sólidos filtrables

no retenidas proceso de filtración con un diámetro menor a 1u) y suspendidos (solidos retenidas en el proceso de filtración con un diámetro mayor a 1u) (Barrenechea, 2009)

- Color

El color esta ligados a la turbiedad que el agua contiene, pero es claro, muy independiente. Se le atribuye comúnmente a la presencia de taninos, ligninas, ácidos húmicos y fúlvicos. El color aparente del agua después de un tratamiento debe ser transparente con un valor menor a 15 UCV (Barrenechea, 2009)

- Olor y sabor

Según Barrenechea (2009) estos parámetros están ligados, como huele sabe el agua, generando la aceptación o rechazo de inmediato por parte del usuario consumidor. El olor y sabor son mayormente producto del desarrollo microbiano y algas. Además de algunos fenoles o químicos producto de desecho industrial. Para el agua potable debe estar en condiciones aceptables para consumidor.

### **2.3.1.3 Características químicas del agua.**

Si bien es cierto, dentro de los componentes del agua podemos encontrar gran cantidad de elementos químicos, pero solo algunos tienen importancia para ser estudiado, los que tienen influencia en el proceso de tratamiento de agua y los que son nocivas para la salud. Por ello, abordaremos los parámetros químicos alcalinidad y dureza (Barrenechea, 2009)

- Dureza

La dureza del agua son determinados por presencia del calcio (Ca) y magnesio (Mg) en mayor cantidad y otros elementos en menor proporción, así como el estroncio (Sr) y el bario (Ba) a menudo insignificantes. No se comprobaron efecto adversos de la dureza del agua pero está relacionado con la alcalinidad y pH, van a depender de ambos y la cantidad de Ca y Mg para causar efectos corrosivos en depósitos o tuberías. Esta situación ocurre cuando el carbonato de calcio y el dióxido de carbono en el agua no están en equilibrio, es así que una baja cantidad de dióxido de carbono libre conducirá a depósitos y corrosión (Aguilar, 2010)

“La remoción de la dureza en el tratamiento de agua se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o combinado cal-carbonato conocido como ablandamiento” (Aguilar, 2010).

- **Alcalinidad**

La alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar o amortiguar los iones de hidrogeno agregados. Las principales especies amortiguadoras incluyen carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) e hidrogenocarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). “La alcalinidad está relacionado con el pH, la composición del agua, la temperatura y fuerza iónica, y este parámetros es muy importante tener su control ya que reacciona con coagulantes hidrolizables (sales de hierro y aluminio)”(Aguilar, 2010).

#### **2.3.1.4 Características microbiológicas del agua.**

Palestina (2013) menciona que las aguas en su condición natural poseen una gran variedad de elementos biológicos simples hasta complejos desde los microorganismos (MO) microscópicos hasta los peces. Los microorganismos pueden tener un origen

natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero muchas veces provienen de contaminación por vertimientos de desagües cloacales o industriales, también por arrastre pluvial. Las características físicas y químicas del agua son de gran importancia para la vivencia de microorganismos, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y alta materia orgánica la población crece y se diversifica, pero decrece y muere cuando las condiciones son contrarias ( Heredia y Peres, 2012).

Rajan (2011) menciona que “uno de los indicadores de que un cuerpo de agua esta moderadamente contaminada es la presencia de la biodiversidad. Por ello, si está contaminada necesita un tratamiento para eliminarlo”. Dentro del reino vegetal, las algas, mohos y levaduras son los más influyentes y los primeros indicadores de la existencia de materia orgánica en descomposición (Orellana, 2005). Los microorganismos más comunes que causan algún daño son: La bacteria “bacilo salmonella typhy”, que causa la enfermedad infecciosa de la fiebre tifoidea. La bacteria “el vibrio cholerae”, que causa la enfermedad infecciosa de la cólera. La bacteria “Shigella” que causa la disentería bacilar. Y el parásito “entamoeba histolytica” causante de la disentería amebiana.

- Bacterias

Según Mehta y Agrawal (2008) los microorganismos unicelulares y diminutas llamadas bacterias componen micrómetros de largo (0,5-5  $\mu\text{m}$ , por lo general) y muchas formas (como esferas, barras y hélices). “Las bacterias que pueden estar presentes en el agua son de géneros muy numerosos, pero lo que son patógenas para el hombre están las bacterias coliformes y los estreptococos que se utilizan como índice de contaminación fecal” (Bravo y Gutiérrez, 2015).

- Levaduras, mohos y levadura

Según Bravo y Gutiérrez (2015) estos microorganismos pertenecen al grupo de bacterias que no contienen clorofila y por lo general son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en efecto dependen de la materia orgánica para su supervivencia.

- Helmintos

Según Coldebella, Nishi y Madrona (2014) los helmintos reflejan a los gusanos, para referirse a especies animales de cuerpo largo o blando que infestan el organismo de otras especies. Los traquelmintos comprenden los rotíferos y los nematelmintos entre los cuales hay varias especies patógenas para el hombre. Según Bravo y Gutiérrez (2015) un gran número de animales o vegetales microscópicos que flotan libremente en el agua y reciben el nombre genérico de plancton, el cual tiene importancia para reclamar la calidad potable del agua.

### **2.3.1.5 Contaminación del agua.**

El agua dulce que usamos proviene de dos fuentes: agua superficial y agua subterránea (mantos freáticos). El primero se le conoce como el agua de la precipitación que no regresa a la atmósfera o que no se infiltra en el suelo, básicamente esta es el agua que se encuentra sobre la superficie de la tierra en ríos, lagos, pantanos y rebalses o depósitos artificiales (Briñez, Guarnizo y Arias, 2012).

Las principales causas que provocan la contaminación del agua son básicamente los desechos industriales, malas prácticas de la agricultura y el crecimiento demográfico.

Al incrementarse las concentraciones de las causas, el agua que se encuentra en la naturaleza va adquiriendo, a lo largo de su ciclo hidrológico diversas sustancias que definen sus características químicas, físicas y biológicas. Se dice que una agua esta contamianda cuando estas características repercuten negativamente en la salud humana y en bienestar del ecosistema, la magnitud del efecto va depender de la cantidad y tipo contaminante (Briñez et al., 2012)

#### **2.3.1.6 Disponibilidad de agua en el Mundo y el Perú.**

La escases de este recurso vital para los seres vivos va pasando a tener graves consecuencias. Sin embargo es uno de los elementos más abundantes del planeta. El 70 % de su superficie está cubierta por agua y sólo 30 % es tierra firme. Existe aproximadamente 1,386 millones de km<sup>3</sup> de agua en el mundo, de estos el 97.5 % es agua salada (inservible), solo el 2.5 % es agua dulce, es decir 35 millones de km<sup>3</sup> y de ésta, cerca del 70 % no está disponible consumo humano directo (inaccesible) debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. Casi el 30 % se encuentran en condiciones de difícil acceso (agua subterránea) y menos del 1 % se encuentra accesible para el consumo humano, esas que están en ríos, lagos, arroyos, etc. Del 1 % accesible, el 69 % usan el sector agropecuario, el 19 % el sector industrial y solo el 12 % el sector municipal (UNESCO, 2017)

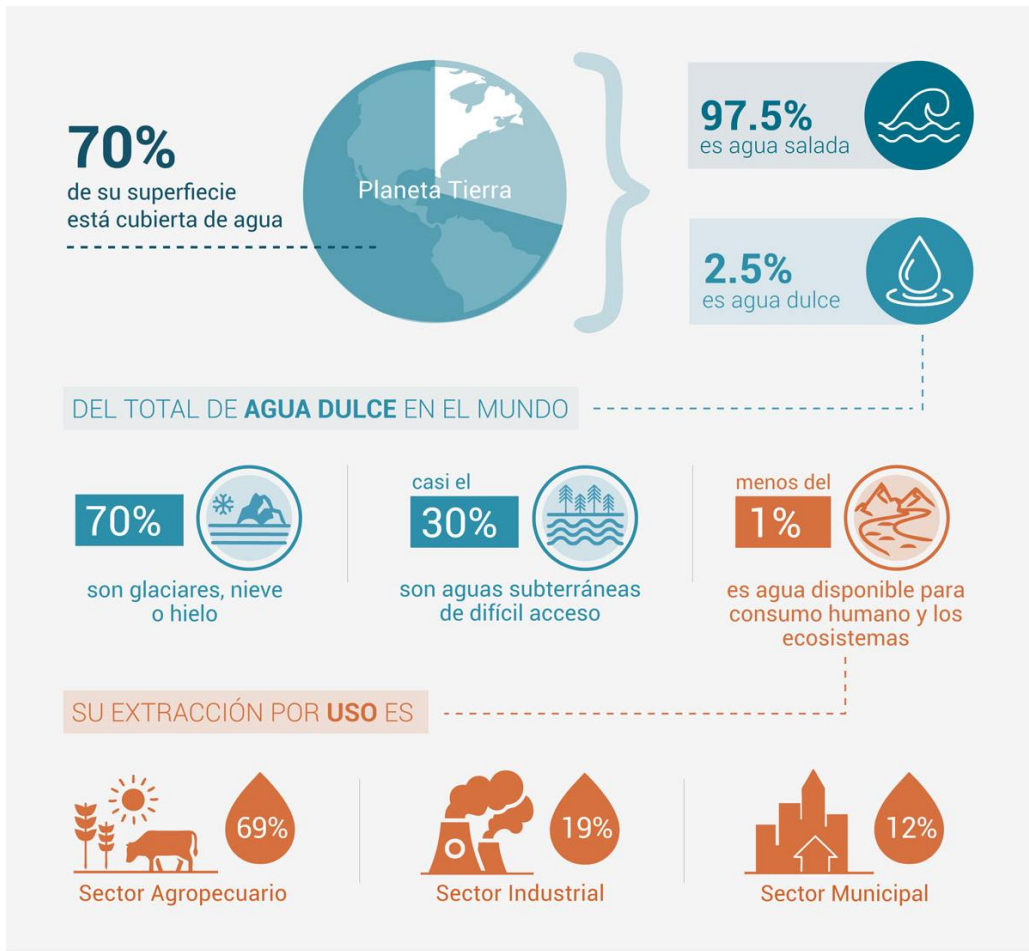


Figura 1. Información de cantidad de agua en el Mundo

Fuente: AQUA.org.max (2017).

El Perú es el país con que ocupa el octavo lugar del rankin con mayor cantidad de agua. Cuenta con aproximadamente el 1.89 % del agua dulce mundial que alberga en sus 1007 ríos, la más grande del Mundo el Amazonas, en sus 12201 lagunas, el más grande mundo Titicaca, en sus 3044 glaciares, y centenares de acuíferos.



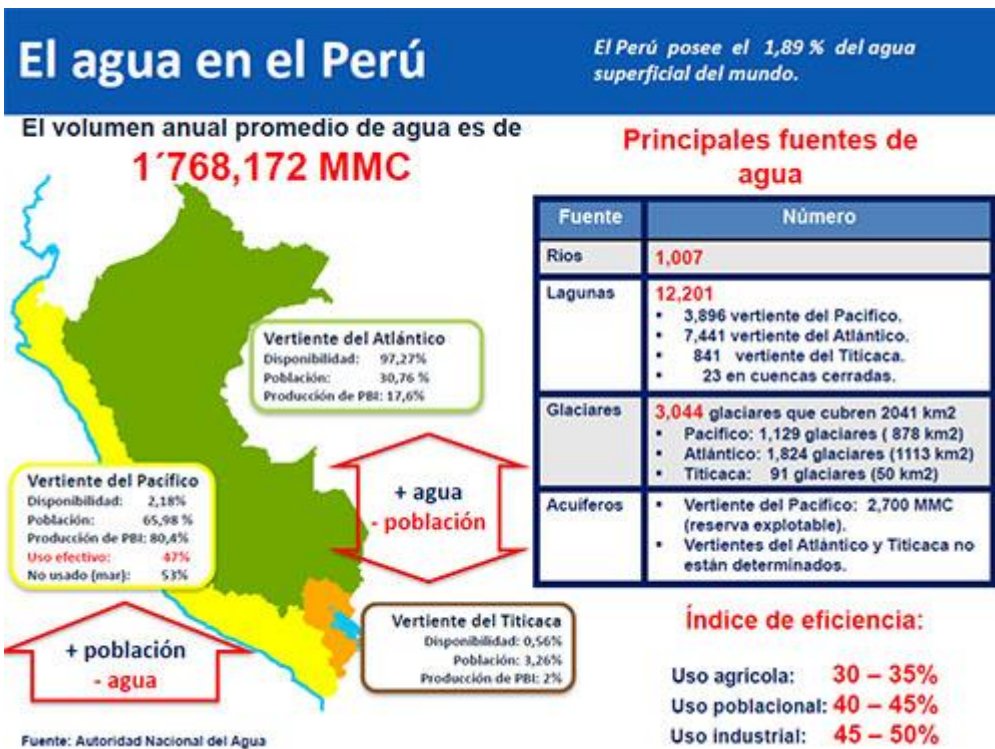


Figura 2. Cantidad de agua en el Perú, distribuidas en sus respectivas fuentes

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2017)

Según Antillón, Camareno y Bustos (2012) aparte del medio escaso del agua dulce existen infinidad de factores que limitan la disponibilidad de agua potable para el uso y/o consumo humano. Mayor es el problema de calidad que cantidad en nuestro planeta, manipulada por el hombre, alterando así su ciclo natural.

### 2.3.2 Coagulación

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas coloidales suspendidas en el agua (arcillas, limo, sílice, etc.), de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas gracias a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico coagulante (generalmente sales de hierro y aluminio) al agua,

originando la aglomeración de partículas desestabilizadas para que puedan ser fácilmente eliminadas en los siguientes procesos de sedimentación y filtración. “El reactivo químico agregado al agua debe de ser capaz de, en fracciones de segundo, neutralizar la carga de los coloides generalmente electronegativos, presentes en el agua, y formar un precipitado” (Andía, 2000, p.20).

Un mal cálculo en el proceso de coagulación puede repercutir en todos los demás procesos, generando gastos injustificados y mala calidad de agua resultante, por lo tanto existe la necesidad de calcular la dosis y concentración óptima de los coagulantes sean inorgánicos u orgánicos.

#### **2.3.2.1 Material coloidal.**

Los coloides son partículas muy pequeñas de diámetro que van de 1 a 1000 milimicrómetro por lo que es muy difícil de sedimentar de forma natural, estos son los responsables de la turbiedad y color del agua superficial (Barrenechea, 2009)

Los coloides por su naturaleza se dividen en dos tipos:

- Los hidrofóbicos, son los que son repelidos por el agua, que tiene como origen lo orgánico, y conforman grupos funcionales de carbono (R-NH<sub>2</sub> o R-OH), estas partes electronegativas crean enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua. Y es esta capa que se opone a la unión de los coloides, factor de la estabilización.
- Los hidrofílicos, son los que son atraídas por el agua, compuestos de origen mineral. En su superficie están las cargas negativas concentradas que imposibilitan la aglomeración.

Ninguno de los dos es 100% hidrofóbico, ni 100% hidrofílico, va depender de la composición molecular.

### **2.3.2.2 *Propiedades cinéticas del coloide.***

#### **a. Movimiento browniano**

Se le conoce por movimiento browniano a los movimientos irregulares que los coloides realizan dentro del agua. Este movimiento explica solo a dispersión coloidal pequeña (Barrenechea, 2009)

#### **b. Difusión**

Se denomina a dispersión de las partículas por todo el material líquido. De echo la velocidad de difusión será menor que la del browniano.

#### **c. Presión osmótica**

“La ósmosis es el flujo directo que se produce cuando el agua atraviesa una membrana que la separa de un sistema coloidal. Esta membrana es permeable al solvente pero no a los coloides; por tanto, la dilución puede ocurrir únicamente con el movimiento del solvente hacia el sistema coloidal a través de la membrana. Al transporte del solvente hacia la solución se le denomina flujo osmótico” (Barrenechea, 2009, p.43)

Se denomina presión osmótica a la presión hidrostática necesaria para detener el flujo osmótico, alcanzando un estado de equilibrio.

### **2.3.2.3 *Estabilización e inestabilización de los coloides.***

Las partículas coloidales en el cuerpo líquido están sujetos a cambios de estabilización/repulsión (podemos hablar de carga de las partículas, la hidratación) y desestabilización/atracción (gravedad, movimiento browniano y fuerza de Van der Waals) (Barrenechea, 2009)

- La carga eléctrica. Fuerza de estabilización

“En el agua la mayor parte de las partículas coloidales poseen una superficie con cargada eléctrica negativa y dependientes de tres procesos” (Barrenechea, 2009): Grupos que están en la superficie que puedan donar o recibir protones al reaccionar con el agua. Grupos superficiales que pueden reaccionar en el agua con otros solutos protónicos y Grupos con cargas que puedan ser producto de las imperfecciones en la estructura molecular.

- Doble capa

En este caso los coloides no suelen tener una carga eléctrica fija en su superficie, ya que en contacto con el agua (presentes cargas positivas) van ser amortiguados. Es esa capa que abre otra interfaz (sólidos-líquido) con iones positivos presentes en el agua en atracción con los iones negativos de la partícula coloidal que ocurre la doble capa (Figura 3), dando lugar por fuera, a la capa difusa (Barrenechea, 2009)

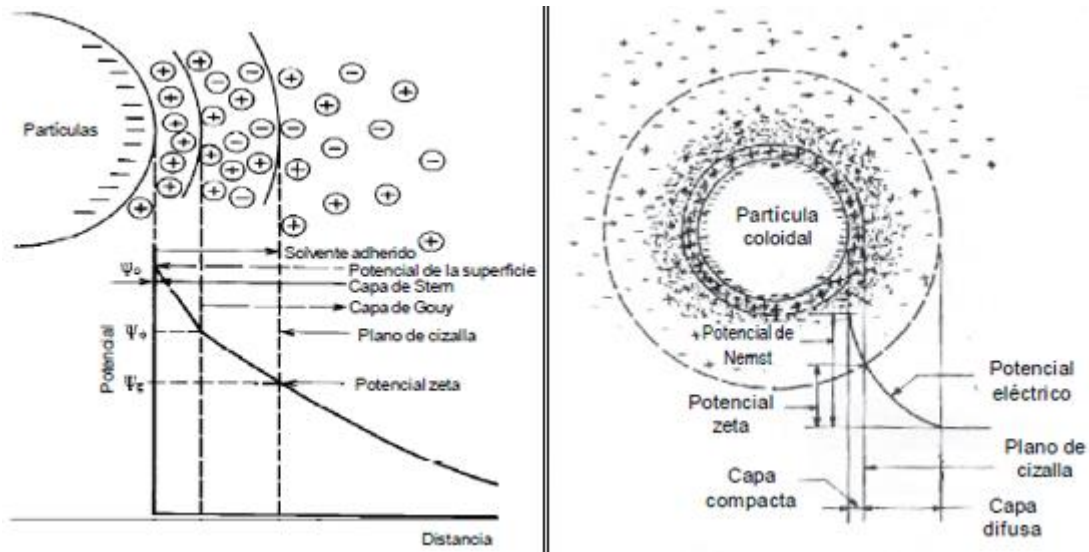


Figura 3. Vista esquemática de la doble capa. Barrenechea (2009)

- Energía potencia de interacción entre los coloides

Cuando dos coloides se acercan el al otro ocurre un choque entre capas difusas, lo que hace que se repelen entre ambas por la fuerza electrostática que existe impidiendo la aglomeración de estas. Pero hay otra fuerza atractiva entre las partículas, la fuerza de Van der Waals. Es así que esta fuerza, más la fuerza de repulsión de origen eléctrico y el movimiento browniano del sistema lleva a la estabilidad de la partícula, dificultando la sedimentación por si sola.

- Efecto del aumento de la concentración iónica

Cuando se aumenta la concentración iónica se reduce la distancia efectiva de las cargas, facilitando a la aglomeración entre partículas.

#### 2.3.2.4 Mecanismo de coagulación.

Como se ha mencionado anteriormente las partículas y microorganismos poseen cargas negativas que hace que se repelen entre sí impidiendo su aglomeración. Es así que, en el tratamiento de agua se necesita romper la fuerza aniónicas añadiendo iones, convencionalmente sales de aluminio y hierro (Aldama, 2012)

- Compresión de doble capa

La compresión de la doble explica la desestabilización del coloide con ayuda de un coagulante. Se añade iones de carga contraria a la de las partículas en la capa difusa rompiendo la fuerza repulsiva y el potencial Z entre ellas. Estos para mantenerse neutra en carga, tiende a reducir su volumen, de tal modo que las fuerzas de Van der Waals sean dominantes, y se elimine la estabilización electrostática. En la Figura 4 podemos ver si la distancia entre partículas es mayor L, entonces son se atraen. Y E es la fuerza que los mantiene separados (Aguilar, 2010)

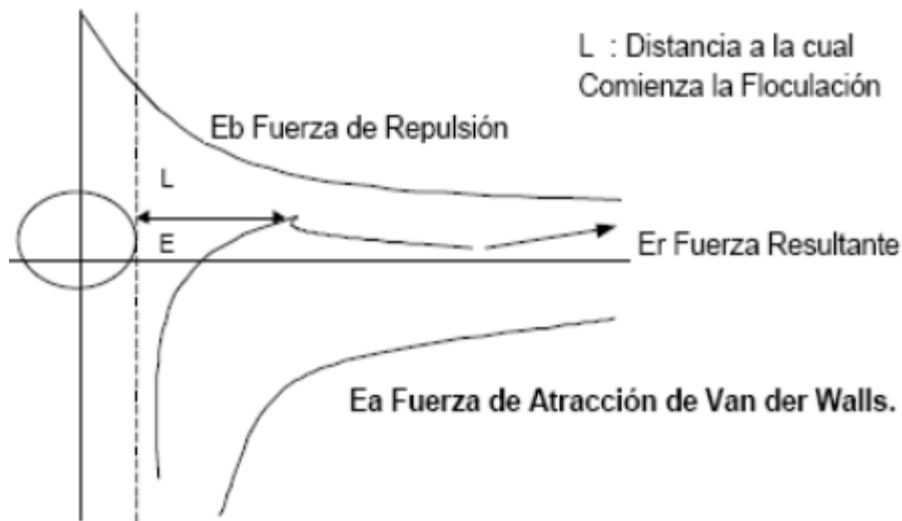


Figura 4. Esquema de la fuerza de atracción y repulsión. Barrenechea (2009)

- Adsorción y neutralización de carga

Si bien las partículas poseen una carga negativa en su superficie, este en contacto con el medio, atraen a cargas positivas presentes en el agua, creando la primera capa pegada al coloide (Figura 4).

En pocas palabras este fenómeno explica que la adición exceso de coagulante más la agitación intensa produce la reestabilización de carga de la partícula produciendo una carga invertida a la original (Figura 5).

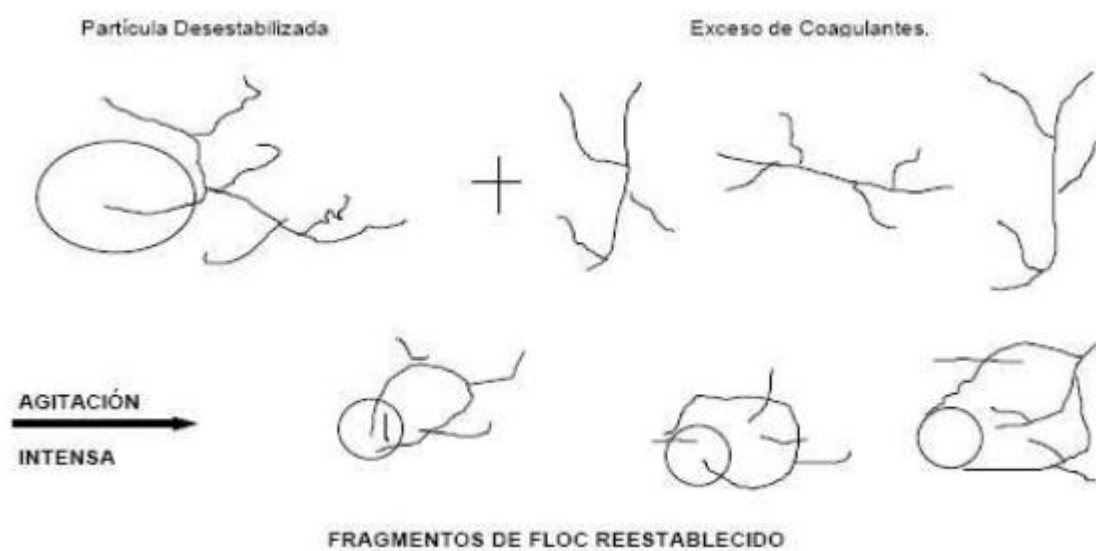


Figura 5. Reestabilización de partículas. Barrenechea (2009)

- Atrapamiento de partículas

Este fenómeno explica que cuando se usa suficiente cantidad de coagulantes ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y  $\text{FeCl}_3$ ) excede la solubilidad de sus hidroxilos formando precipitados, en este caso los coloides son envueltos por los precipitados y ya no necesitarían neutralización de cargas, en este caso un aumento de la concentración de partículas podrían favorecer la precipitación (Figura 6).

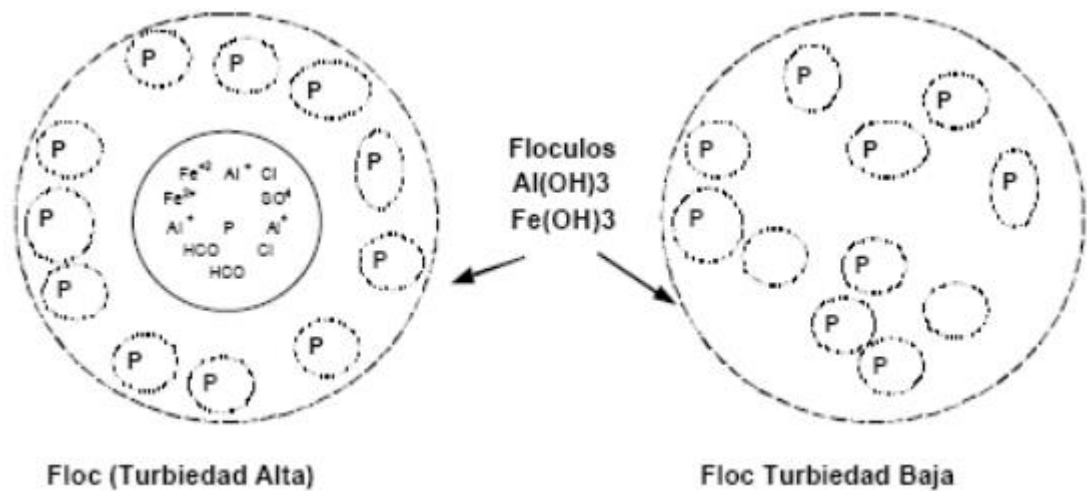


Figura 6. Atrapamiento de partículas en un floc. Barrenechea (2009)

- Adsorción y puente

Ocurre cuando usas como agente coagulante compuestos orgánicos, sintéticos y naturales con cadenas moleculares, que tengan de la propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de su cadena que puedan absorber partículas coloidales en una de sus esquinas y en la otra, otra partícula (Barrenechea, 2009). Estos polímeros pueden ser catiónicos (polidialil-dimetil amonio), anionicos (ácido poliacrílico) y no anionicos (poliacrilamida).

### 2.3.2.5 Factores que influyen en una coagulación.

Es muy importante a tener en cuenta los siguientes factores, ya que depende de este proceso el éxito de un tratamiento de agua potable segura.

- Influencia del pH



Según Olson y Fahey (2011) el pH es una de las variables importante a tener en cuenta al momento del proceso de coagulación, el rango de pH óptimo está calculado y fijado para cada tipo de coagulante, por lo que la coagulación tiene lugar rápidamente. También va depender de la naturaleza de los iones y alcalinidad del agua. Es así que cuando, el pH se encuentra fuera de rango nos dice (Aguilar, 2010) que se debe agregar la cantidad de coagulante.

“Los rangos óptimos de pH para la coagulación con sales de aluminio son de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro es de 5.5 a 8.5.” (Anizi et al, 2014, p.9)

- Influencia de sales disueltas

Las sales contenidas en el agua puede repercutir en el proceso de coagulación y floculación, por ello es necesario realizar ciertas modificaciones, como variar el rango de pH óptimo, el tiempo requerido para la floculación, la cantidad de coagulante calculado y la cantidad residual del coagulante dentro del agua (Aguilar, 2010)

- Influencia de la temperatura

La temperatura alta desfavorece la coagulación, y una disminución del promedio dificulta los demás procesos, como la sedimentación del floc. Es decir “la variación de 1 grado centígrado en temperatura del agua lleva a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua), esto afecta a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que el proceso de coagulación se hace más lenta” (Trujillo et al., 2014).

- Influencia de mezcla

La agitación del agua en este proceso es de suma importancia, de ello depende que toda la masa de agua que conforma tenga una mezcla homogénea sin espacios muertos, es decir que la concentración del coagulante lleguen a todas partes por iguales. No es bueno la turbulencia que hace desigual la proporción del coagulante.

“En el paso de la coagulación-floculación, se producen dos etapas. Una llamada mezcla rápida, que tiene como objetivo dispersar el total del coagulante dentro del volumen del agua, y la segunda etapa es la mezcla lenta, que cumple la función de formar los microfloculos” (Barrenechea, 2009, p.33).

- Influencia de turbiedad

La cantidad de partículas presentes en el agua (turbidez) antes del proceso se deben hacer las siguientes predicciones, estando dentro del pH óptimo, cuando la turbiedad es alta se debe adicionar la cantidad de coagulante requerida debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se dará más rápida y fácil. En caso contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación es muy lenta, y la cantidad del coagulante a usar es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta (Cham, 2013).

“Si la turbiedad es alta, conviene realizar una pre-sedimentación, o el empleo de un polímero aniónico” (Andía, 2000).

- Influencia de dosis del coagulante

El tipo y dosis del coagulante juegan un rol muy importante en la buena o mala calidad del agua tratada.

Poca cantidad de coagulante puede no neutralizar todas las partículas presentes en el agua, generando una alta turbiedad residual. Alta cantidad de coagulante puede provocar la inversión de cargas de las partículas, conllevando a la formación de microfloculos pequeños dificultando la sedimentación, por lo tanto igual la turbiedad residual seria alta. Por ello la necesidad de calcular la dosis y el tipo de coagulante ideal en una prueba de jarras.

#### **2.3.2.6 Tipos de coagulación.**

Existen básicamente dos mecanismos predominantes por donde se dan la coagulación (Barrenechea, 2009)

- Por adsorción

Ocurre cuando existe una alta cantidad de partículas coloidales en el agua. Las especies hidrolítica del coagulante son adsorbidas por el coloide formando complejos superficiales, y casi de forma instantánea lo desestabilizan desarrollando el floculo.

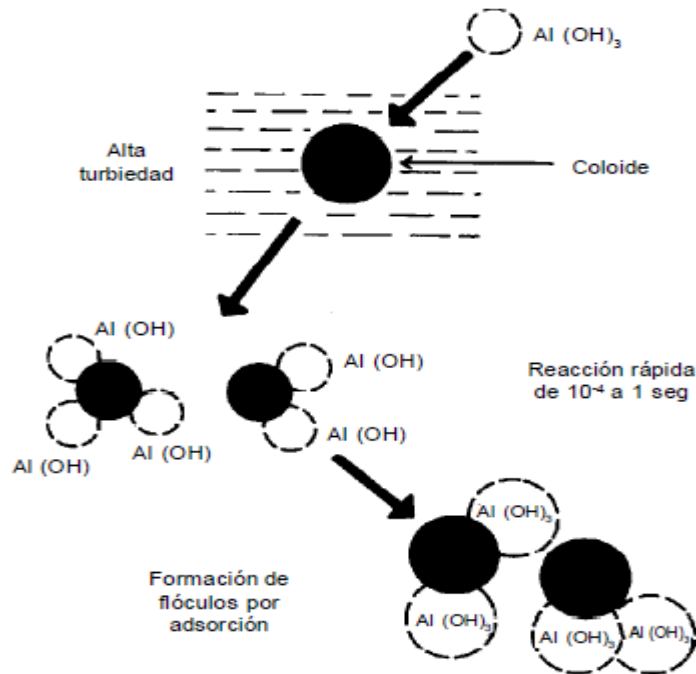


Figura 7. Forma esquemática de la coagulación por adsorción

Fuente: Barrenechea (2009)

- Por barrido

Ocurre en un medio de baja turbiedad. Aquí la poca cantidad de partículas coloidales son atrapadas por las especies hidrolítica precursoras del hidróxido de aluminio, físicamente arrastra las partículas desde la superficie.

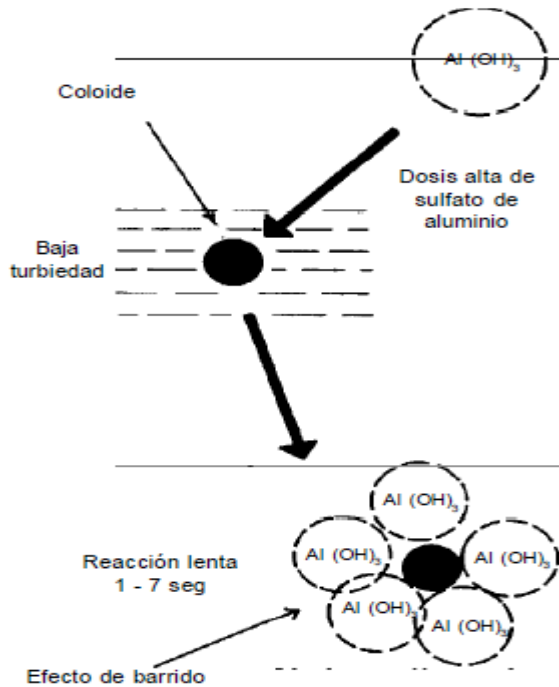


Figura 8. Coagulación por barrido.

Fuente: Barrenechea (2009)

### 2.3.3 Floculación

Inmediatamente después de la coagulación sigue la floculación. Este proceso consiste en la agitación lenta de la masa coagulada que permite el crecimiento y aglomeración de las partículas desestabilizadas para lograr un floculo con el peso necesario para una sedimentación exitosa. Un mezclado intenso rompe la cadena y raramente se vuelven a formar en tamaño y fuerza como la inicial (Bhawana y Fulekar, 2012).

#### 2.3.3.1 Tipo de floculación.

- Pericinética o browniana

Se explica al movimiento producido por la energía potencial de las moléculas del agua. “Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizar las partículas, se ve floculación pericinética para que las partículas coloidales de menor tamaño empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de 1 micrómetro tamaño y forma el microflóculo inicial” (Andía, 2000)

- Ortocinética o gradiente de velocidad

Se explica al movimiento producido por una energía externa, sea mecánica o hidráulica para lograr un choque entre las partículas desestabilizadas. Este tipo de floculación promueve un desarrollo mayor del microflóculo (Andía, 2000).

### **2.3.3.2 Factores que influyen en la floculación.**

- Influencia de naturaleza de agua

Este proceso es muy sensible a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad.

Por ejemplo, la presencia de iones en el agua puede generar una alteración en las cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman. Asimismo, la cantidad de partículas presentes en el agua también influyen en la coagulación, el más sencillo flocular cuerpos con elevada turbiedad. Pero la presencia de partículas grandes, como la arena fina, puede estorbar el proceso (Aguilar, 2010).

Si la turbiedad es mayor a 1000 UNT, es preferible hacer un pre sedimentación.

- Influencia de variación de caudal

Las variaciones del caudal en el floculador hidráulico son manejables. Al disminuir el caudal, eleva el tiempo de retención y baja la gradiente de velocidad. Y al aumentar el caudal, decrece el tiempo de retención e incrementa el gradiente de velocidad.

Las variaciones de caudal en el floculador mecánico es poco probable, ya que la velocidad permanece constante y el tiempo de retención aumenta o disminuye de acuerdo con la variación del caudal (Andía, 2000)

- Influencia del tiempo de floculación

Se calcula el tiempo óptimo de floculación en la prueba de jarras (según estudios estos van de 20 a 40 min). La variación superior o inferior al óptimo produce resultados inaceptables (Aguilar, 2010).

- Influencia de intensidad de agitación

Cuanto mayor sea la intensidad de agitación, más rápido es la aglutinación de partículas. Y a medida que se aumenta el tamaño de las microfloculos, también se eleva la probabilidad de cizallamiento, hasta llegar a un punto de quebrarse en pequeñas partes reinvirtiendo la turbiedad (Aguilar, 2010).

#### **2.3.4 Sedimentación**

Es el proceso mediante el cual las partículas con mayor peso específico que el agua son sedimentadas por acción de la gravedad. Se considera un proceso netamente físico con la función literal de clarificar el agua.

“Las partículas en suspensión sedimentan de diferentes formas, dependiendo de sus características y su concentración. Es así que se puede referir a tres tipos, discretas, interferida y floculenta” (Barrenechea, 2009, p.75).

#### **2.3.4.1 Tipos de sedimentación**

- De partículas discretas

Se le conoce como partículas discretas a aquellas que no sufren un cambio en sus características (forma, tamaño, densidad) durante el descenso.

“Este tipo de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta” (Aguilar, 2010).

- De partículas interferidas

Este tipo de sedimentación ocurre cuando hay alta concentración de partículas en el agua. Es ahí donde se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual (Aguilar, 2010). Se presenta en unidad de decantación de manto de lodo.

- De partículas floculentas

Estas partículas floculentas son aquellos productos de la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. “A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo si cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de



aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida” (Barrenechea, 2009, p.78)

El tamaño de los flocúlos van de 0.001 mm a 0.005 mm. Esta depende de la gradiente de la velocidad con que se agita y el tiempo de retención para la formación del floc. Willcomb clasifica los tamaños como se ve en la Figura 9.

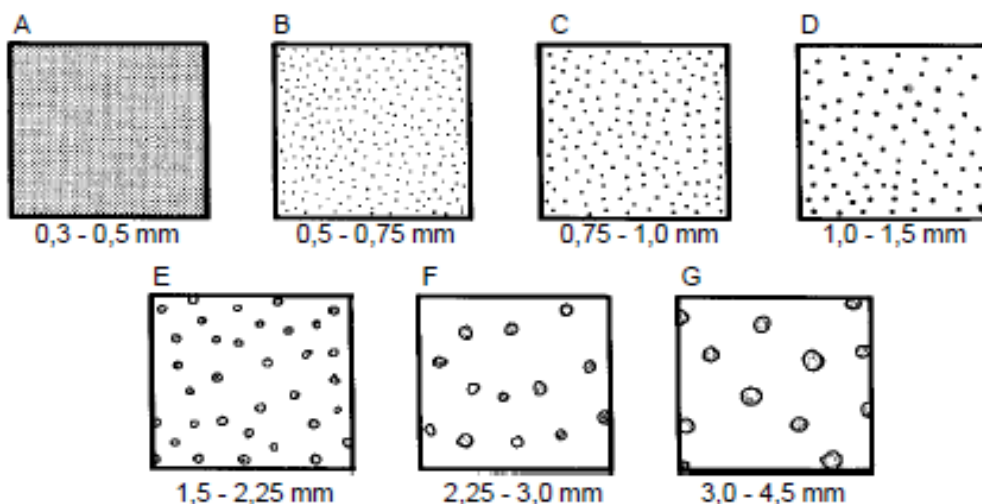


Figura 9. Índice de Willcomb para clasificar los tamaños del floc que va de A–G.

Fuente: Barrenechea (2009).

### 2.3.5 Polímeros

Se conoce como polímero al conjunto de macromoléculas, compuestos de pequeños monómeros con enlaces de carbono-carbono, generalmente de origen orgánico. Estos tienden a tener un grado de peso molecular alta. Existen dos tipos de polímeros que podemos rescatar según su origen: los naturales, que son producidos por la propia acción de los seres vivos sin intervención humana (polisacáridos, cauchos,

seda, tela de araña, etc.) y las sintéticas, que son de invención humana por la polimerización controlada (nailon, polietileno, baquelita, etc.) (Hermida, 2011).

### **2.3.5.1 Polímeros naturales.**

Como se mencionó anteriormente, los polímeros naturales son producidos de forma natural por los animales (marina y terrestre) y plantas. Muchos estudios han demostrado que los polímeros naturales polisacáridos o biopolímeros como el almidón, goma de tara, de algarrobo, de guar, de mezquite, mucilago de nopal, entre otros, poseen propiedades coagulantes y floculantes altamente competitivos que los polímeros sintéticos, por lo que es una buena opción para el uso en el proceso de tratamiento de agua residual doméstico o industrial. (Carpinteyro, 2011).

Según algunos estudios consideran a los polímeros naturales, siendo los más sobresalientes, moringa oleifera y caesalpinia spinosa como una alternativa a futuro de tratamiento de aguas amigable con la naturaleza por su alta efectividad comprobada en remoción de turbiedad y patógenos presentes, así como la ventaja de costes bajas que mantienen en el mercado. (Aguilar et al., 2014; Nkurunziza, Nduwayezu, Banadda, & Nhapi, 2009; Pritchard, Craven, Mkandawire, Edmondson, & Neill, 2010). Cabe mencionar que también se encuentran biopolímeros naturales marinas, entre animales y algas se encuentran compuestos polisacáridos como el alginato, quitosano, que también poseen buenas propiedades coagulantes y floculantes. (Guillermo & Esquivel, 2006). Aunque existen algunos mínimos problemas como el aporte o aparición de otras sustancias post tratamiento

### **2.3.5.2 Polímeros sintéticos.**

Los polímeros sintéticos son compuestos derivados mayormente del petróleo, creados o manipulados por el hombre con un fin específico. Su uso es muy frecuente y algunos de estos se encuentran en polvos, formados por poliacriinas (no iónicos) y poliacriidas (anionicos) que poseen un peso molecular alto favoreciendo así la aglomeración de partículas (Lorenzo, 2006), y otros en líquidos con una proporción de acción química activa del 10 a 60%.

### **2.3.5.3 Modo de acciones de los polímeros**

Los polímeros son usados de tres formas, como coagulantes directos, como ayudantes de coagulación al coagulante metálico y ayudantes de floculación del mismo. Estos poseen la capacidad de desestabilizar las cargas eléctricas de las partículas, para así formar flocs, grupo más grandes, con mayor peso, facilitando su sedimentación (Lorenzo, 2006).

Dentro del mecanismo de coagulación, existe uno que es el más común que es el de la teoría de puente. Conformado por 6 reacciones (Figura 10) que ocurre entre la carga del coagulante y la carga de las partículas.

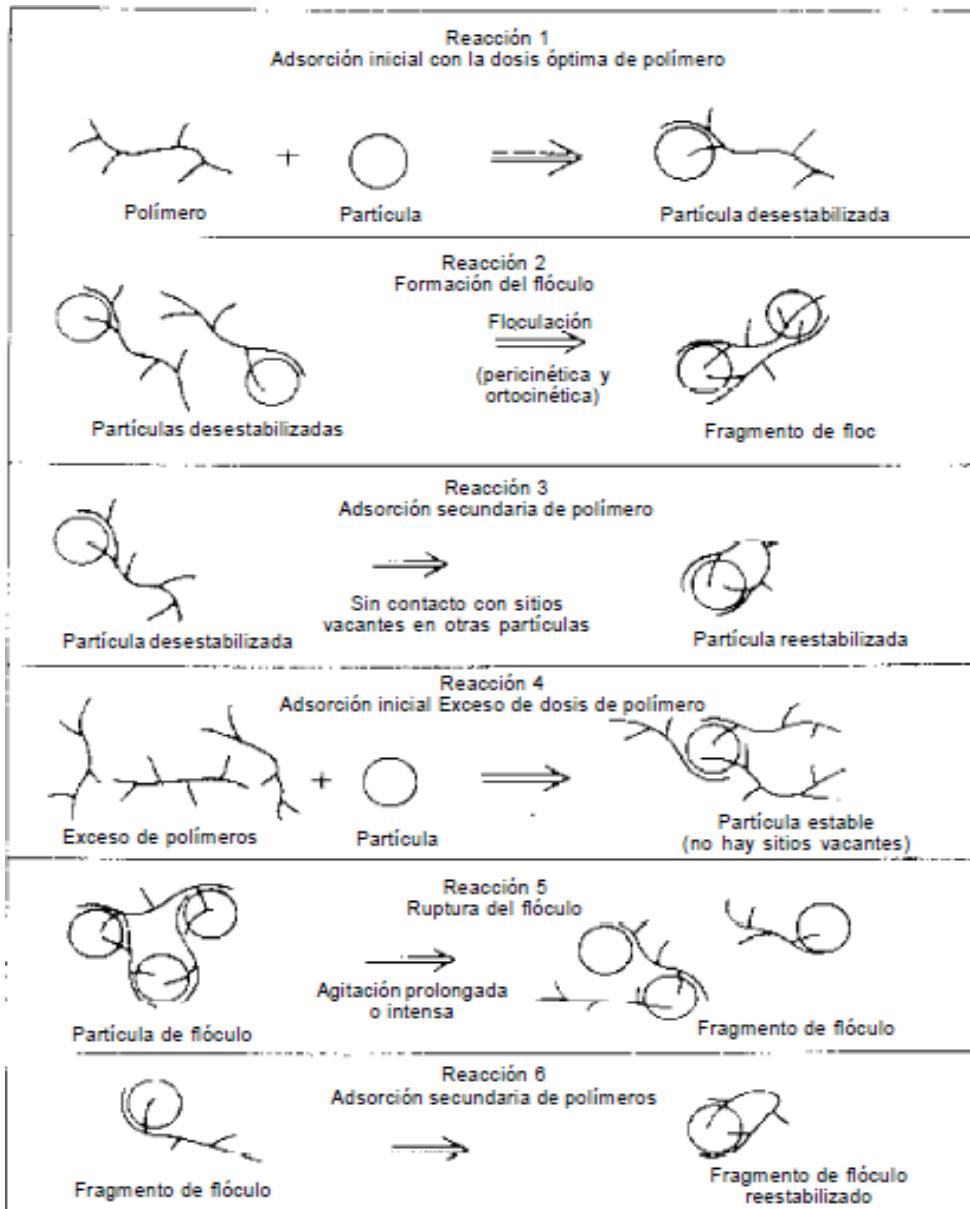


Figura 10. Representación gráfica de la desestabilización de coloides con acción de los polímeros por puente

Fuente: Barrenechea (2009)

### 2.3.6 Tara (Caesalpinia Spinosa)

La tara o taya es un árbol nativo del Perú, crece de forma silvestre en los bosques naturales y tecnificadas en grandes extensiones. También están distribuidas a nivel de

Latinoamérica y también en adaptados en países de China, Marruecos e India quienes por su valor económico empezaron a producir en grandes cantidades.

Su hazienda abarca de Venezuela hasta el valle de Bolivia. Siendo el Perú uno de los mayores productores del mundo, con más del 80 por ciento de producción bruta a nivel de exportación a diferencia de países como Chile, Bolivia, Ecuador, Colombia. (Vargas, 2016). Su reproducción natural se presenta en lugares con poca precipitación de 230 a 500 mm anual y zonas laderas, valles, riberas de los ríos, y lomas que vayan de 800 y 2800 m.s.n.m.; llegando en algunos casos hasta los 3150 m.s.n.m. (Flores, et al., 2005 citado por Goycochea, 2010).

Dentro del país los departamentos que producen a nivel de exportación de este producto son Cajamarca, Ayacucho, Apurímac, La Libertad, Ancash, Junin, Huánuco, Huancavelica, siendo estos dos primeros que mayor que mayor producen. La cosecha por árbol de forma silvestre es de 20 a 25 kilogramos, de forma técnica o cultivado se logra obtener de hasta 20 a 40 toneladas por hectárea, con 2 campañas al año (Chicoma & Vigo, 2018).

Su uso tradicional viene desde las épocas antiguas, en donde los humanos lo usaban como material tintónico, así también para el curtido de cueros. Actualmente su uso es más alimenticio, medicinal y estético.

### **2.3.6.1 Descripción botánica.**

La tara es un árbol de 2 o 3 metros de altura, en algunas ocasiones pueden alcanzar hasta los 11 metros de altura dependiendo las condiciones. El color del tronco

es marrón negruzco y posee corteza leñosa. Su copa tiene forma irregular y sus ramas son deformadas, retorcidas con pequeñas espinas acompañadas de sus verde-oscuros hojas espiralados, ovoides de entre 9 a 15 centímetros de largo (Aguilar, 2010) (Figura 11)

Florea en forma de racimos 8 a 20 centímetros de largo, estas poseen un color rojizo-amarillo pálido. Los frutos se desarrollan en vainas de entre 10 centímetros de largo y cuando están maduros poseen color rojizo pálido. Estas vainas contienen de 7 a 10 granos ovoides de color pardo oscuro con 0.7 centímetros de diámetro (Goycochea, 2010)



*Figura 11.* Árbol de *Caesalpinia Spinosa*. (Fundo Incahuasi. Recuperado de <https://fundoincahuasi.com/>)

#### **2.3.6.2 Taxonomía.**

Posee nombres comunes tales como, taya, tara spinosa, divi divi, cuica, etc. Su nombre científico es *Caesalpinia Spinosa* (Goycochea, 2010).

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Clase: Dicotilenodeas

Sub clases: Arquidomideas

Orden: Rosales

Familia: Fabaceae

Género: Caesalpinia

Nombre científica: Caesalpinia Spinosa

### **2.3.6.3 *Aprovechamiento de la tara.***

Desde las antigüedades la tara ha servido como madera, por ejemplo para cercar sus corrales, como leña para la cocina, como utensilios, magos para sus herramientas, etc. En el campo de la medicina, sus hojas y vainas verdes en infusión han sido buenos para las amigdalitis, la tos y otras infecciones bucales (Carrillo, 1995 citado por (Chicoma & Vigo, 2018)

Con el tiempo se han descubierto las mejores bondades de tara como la obtención de taninos, proteínas, grasas, gomas, ácido tánico, ácido gálico, que son usados en la industria manufacturera, alimenticia, cosmética, etc.

### **2.3.6.4 *La goma de tara.***

La goma de tara simplemente es el endospermo molido de la tara, considerado como un hidrocoloide vegetal con alto peso molecular, en especial compone el galactomanano, un tipo de polisacárido formados por ramas de manosa y unidades de galactosa ramificada. La goma tiene utilidades en la industria alimenticia, en la preparación de salsas, jugos, helados, gracias a su poder gelificante o de suspensión viscosa por gran cantidad de proteínas y polisacáridos que contiene (Chambi et al.,



2013). “La goma en polvo adopta coloraciones claras o cremas, es de fácil conservación una vez secada y pulverizada, es inodora, insípida y muy estable a temperatura ambiente y de fácil obtención”(Vargas, 2015 citado por Moreno, 2016).

Muchos estudio probaron el alto poder molecular de la goma de tara para utilizarlo como coagulante, resultando ser eficiente (Cordero, Jiménez, Delgado, Villegas, & Balaguer, 2016; Wu, Ding, Jia, & He, 2015)

#### **2.3.6.5 *Proceso de obtención de goma de tara.***

Industrialmente para la obtención del endospermo molido (goma) se utilizan ciertos métodos que puede ser mecánico, químico, término, siendo el mecánico el más usual, que ayuden separar la cascara y el germen de endospermo. Posterior pasa por el proceso de selección, por un selector óptico, saliendo 98% limpio, puro endosperma que contiene 80% galactomano. Luego pasa por un molino que deja finalmente molido y se vende como goma de tara (Goycochea, 2010).

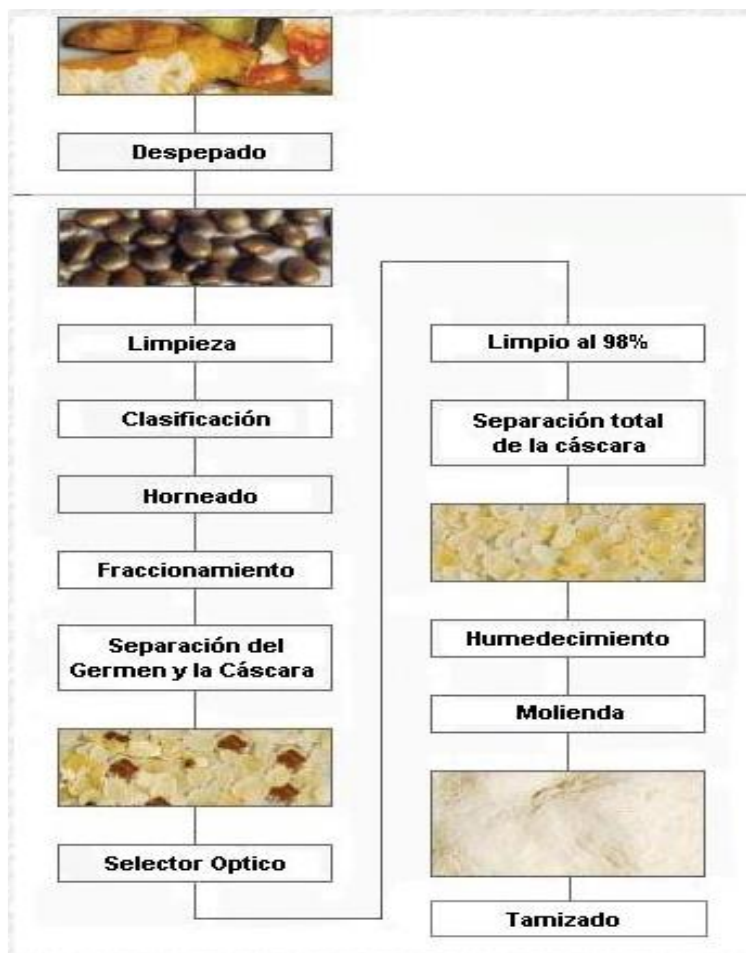


Figura 12. Proceso industrial de Goma de Tara. (ALNICOLSA PERÚ S.A.C, 2019)

### 2.3.6.6 Característica físico-química de la goma.

La goma de tara pose un color blanco amarillento, inodoro e insaboro. Constituye cierta cantidad de: (Chambi et al., 2013)

Humedad: 13.76%

Proteínas: 2.50%

Cenizas: 0.53%

Fibra bruta: 0.86%

Carbohidratos: 81%

Azúcares totales: 83.2%

La goma de tara además de contar con proteínas, carbohidratos, dentro compone polisacáridos aniónicos con un alto peso molecular. Su propiedad coagulante se da por los galactomananos, que está conformado de 20 a 40% de galactosa y 60 a 80% de manosa (Goycochea, 2010). Estos galactomananos son muy solubles en el agua, su viscosidad es 5 veces mayor que el almidón. Vemos la representación en la Figura 13.

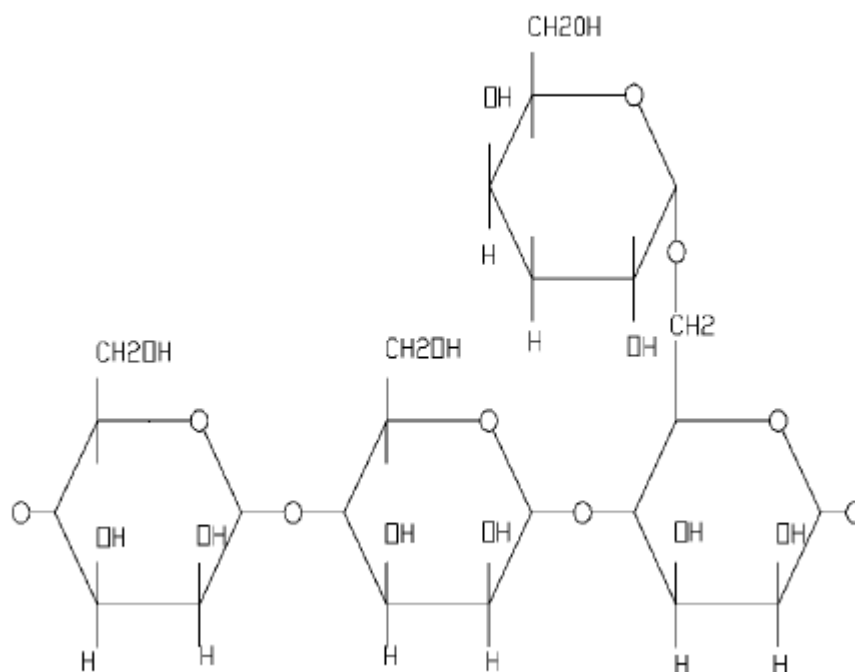


Figura 13. Composición galactomanano de la goma de tara. (Goycochea, 2010)

Su pH varía de 5 a 7, y puede actuar como buffer. Es compatible con otros hidrocoloides ya que es un polímero aniónico. Posee un alto índice de viscosidad, 5

veces mayor que el almidón, en agua fría demora unas 4 horas en diluirse. Es soluble en agua, alcanza el 50 % de solubilidad a 25°C y el 100% a 98°C.

#### **2.3.6.7 Usos en el tratamiento de agua.**

Dentro de tratamiento de agua los biopolímeros generalmente son usado como coadyuvante de los coagulantes inorgánicos (sales de aluminio, de hierro y otros). Posee el potencial de aumentar el tamaño del flóculos formados inicialmente (Rodríguez et al., 2005). Se necesitan más estudios para ser usado como coagulante directo.

#### **2.3.7 Moringa oleífera**

La Moringa Oleífera (Figura 14), es una planta nativa del sur de Himalaya al noreste de India. La moringa prefiere tierras bajas, trópicas, semiáridas y están diseminadas en casi todo el mundo, mayormente en África, Arabia y Asia. También introducidas en Latinoamérica y Centro América. Dentro de Perú hay plantas en Ica. Su reproducción natural se presenta en precipitaciones de 250 a 1500 mm anual, y adaptable hasta 3000 mm anuales de precipitación. Crece muy bien en altitudes menores a 600 m.s.n.m pero también se encontrar en elevaciones de hasta 2000 m.s.n.m. (Field, Bergman y Persson, 2017).

El árbol tiene muchos propósitos de uso. Sus troncos como material para la cocina, sus hojas como te o machacado medicinal y nutritivo, el aceite extraído de las semillas como lubricante para maquinaria, usos en cosméticos, jabón, etc. Por ser un árbol milagrosa es cultivado gran escala en la India. Velázquez et al. (2016) detalla ciertas características curativas como la capacidad de combatir el cáncer, además son buenos

anti-inflamatorios, contiene antitoxinas, vitaminas, minerales, aminoácidos importantes para nuestro organismo, fortalece el sistema inmunológico.

También el árbol posee las semillas con propiedades para el tratamiento del agua. El coagulante natural encontrado en *Moringa Oleifera* varía de acuerdo a las especies cultivadas, encontrándose en más de 6 especies de los 14 que existen (Villaseñor, Astudilo, Del real y Bandala, 2018).



*Figura 14.* Árbol de la moringa oleífera. (SeeD Galery. Com, 2019).

#### **2.3.7.1 Característica botánica.**

La moringa es una planta perenne, de crecimiento muy rápido. En pocos meses pueden llegar a medir entre 3 a 4 metros y hasta un máximo de 6 a 12 metros siendo maduro (Aldama, 2012). Mantiene una copa poco densa, abierta, su forma es muy

atractiva, soportan muy bien las podas. Se pueden utilizar como árboles de sombra, cortavientos e incluso como adornos (Figura 14)

Sus flores son bisexuales, pétalos blancos y estambres amarillos, son comestibles parte de una ensalada. Las vainas que producen pueden medir de 30 a 120 cm de largo, de 2 a 2.5 cm de ancho, siendo verdes pueden ser consumidos cocido. Su producción en la India es dos veces por año, en algunas regiones florece una vez al año (Olson et al, 2011 citado por Chepote, 2018). Poseen hojas de sabor agradable, pueden consumirse frescas en ensaladas y secas en mate o machacado (Figura 15).

Las semillas madura (Figura 15) contiene cerca de 40 % de aceite, parecida al del olivo. Aparte de la cocina este aceite se emplean en la perfumería, ingredientes de jabones, lubricantes, etc. son de mucha utilidad. Por si fuera poco, también “son uno de los mejores floculantes naturales conocidos y se emplean ampliamente en la depuración y purificación de aguas fluviales y aguas turbias” (Özcan, 2018).



*Figura 15.* Hoja, flor, vaina madura, semilla de la moringa oleífera (SeeD Galery. Com, 2019).

### **2.3.7.2 Taxonomía.**

En seguida se muestra la taxonomía (Velázquez et al., 2016).

Reino: Plantae

División: Embryophyta

Sub-división: Dicotyledonia

Clase: Dicotyledonae

Sub-clase: Archichlamydeae

Orden: Rhoeadales

Familia: Moringaceae

Género: Moringa

Especie: Moringa Oleifera

### **2.3.7.3 Característica química.**

La semilla de moringa como coagulante por primera vez se confirmó por un científico alemán. Según Field et al. (2007) cree que el agente activo es una proteína, ya que poseen muchas proteínas que pueden actuar como coagulantes. Estas proteínas polielectrolíticas catiónicas se adhieren a las partículas creando enlaces para posteriormente sedimentar por gravedad.

Asimismo Villaseñor et al. (2018) confirma que los agentes activos responsables de la coagulación son las proteínas catiónicas diméricas con una masa molecular entre 12 a 14 kDa, y un punto isoeléctrico de pH de 10-11, lo que significa que tienen una naturaleza altamente catiónica. También menciona que con altas fracciones de proteína catiónica (12–19 kDa) (94.9 % p/p) y tamaños de partículas en el rango de 1.2 nm a 1.5 nm tienen mayores afinidades de adsorción para sólidos suspendidos.

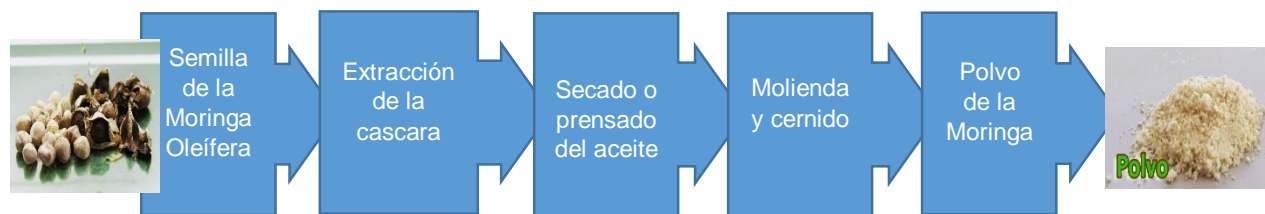
Por otro lado, su capacidad desinfectante de la semilla de moringa oleífera es gracias a uno de los aceites presentes, específicamente el isotiocionato de bencilo (4-O-acetil- $\alpha$ -L-ramnopiranosilox) la cual tiene acción bacteriana sobre varias especies patógenos (Mahamadou, 2014). Villaseñor et al. (2018) no descarta que puede ser un a



causa de una proteína termorresistente con una masa molecular de 6,5 kDa y un punto isoeléctrico de pH entre 9,6 y 10, tiene propiedades de coagulación y antimicrobianas juntas. Por otro lado (*Moringa ssp*) ha encontrado un factor antimicrobiano llamado glucomoringin y estima que eliminan tres log (99,99%) de coliformes en agua.

#### **2.3.7.4 Obtención del polvo de moringa oleífera.**

La extracción del coagulante se puede hacer de varias maneras. La mejor forma, se muelen las semillas secas, con o sin cáscaras (concentración), el polvo se mezcla con una pequeña cantidad de agua destilada, la solución resultante se agita y se filtra. La solución filtrada es el crudo, lista para usarse en el agua sin preparación adicional (Field et al., 2007). Seguimos el proceso en la Figura 16.



*Figura 16.* Proceso casero de obtención del polvo de la semilla de Moringa O.

#### **2.3.7.5 Uso de la moringa oleífera en el tratamiento de agua**

La capacidad coagulante de la moringa fue descubierta por mujeres en la China, al buscar una solución para la limpiar la suciedad del agua que consumían. Envolvieron la semilla en una tela, machacaron dentro del recipiente y comprobaron que con el tiempo la turbiedad iba sedimentando. Desde ese entonces las bondades de esta planta se fueron esparciendo por todo el mundo.

La capacidad de coagulación y floculación de las semillas de moringa se ha investigado en varios proyectos en todo el mundo. Algunos dicen que el pH desciende por el de ácido oleico que posee y otros estudios han demostrado que ni el pH ni la alcalinidad o la conductividad se vieron afectados durante el tratamiento (Villaseñor, 2018).

La eficiencia del tratamiento depende de la turbidez del agua cruda, se demostró que la Moringa es más eficiente si el agua tiene una alta turbidez inicial. También se ha demostrado que la moringa produce significativamente menos lodo que el sulfato de aluminio, lo cual es una ventaja, especialmente si el lodo se trata de alguna manera antes de eliminarlo (Field et al., 2007).

Este coagulante de Moringa también se puede usar como coadyuvante de las sales de hierro y aluminio sin provocar reacciones (Field et al., 2007). Dato importante, el uso de Moringa Oleifera a gran escala se ha probado en una planta de tratamiento de agua potable en Malawi con buenos resultados.

### **2.3.8 Prueba de jarras**

La prueba de jarras es el equipo que mejor simula los procesos de mezcla, coagulación y floculación, sedimentación a escala laboratorio (Barrenechea, 2009). Es en este equipo en donde se determina la dosis y concentración óptima del coagulante, se determina la intensidad de agitación y tiempo de mezcla, teniendo en cuenta varios factores como el control del pH, temperatura, etc. para luego llevar a la realidad y ser aplicada en una planta de tratamiento de agua potable. Un equipo debe contar con las mínimas partes necesarias para su función (Figura 17)

“De acuerdo con la información obtenida, probablemente el primer ensayo de prueba de jarras fue realizado por W. L. Langelier en la Universidad de California en 1918. Las primeras aplicaciones y el desarrollo inicial corresponden a John Baylis, Bartow y Petterson, Fleming, Nolte y Kromer” (Canepa, 2009).

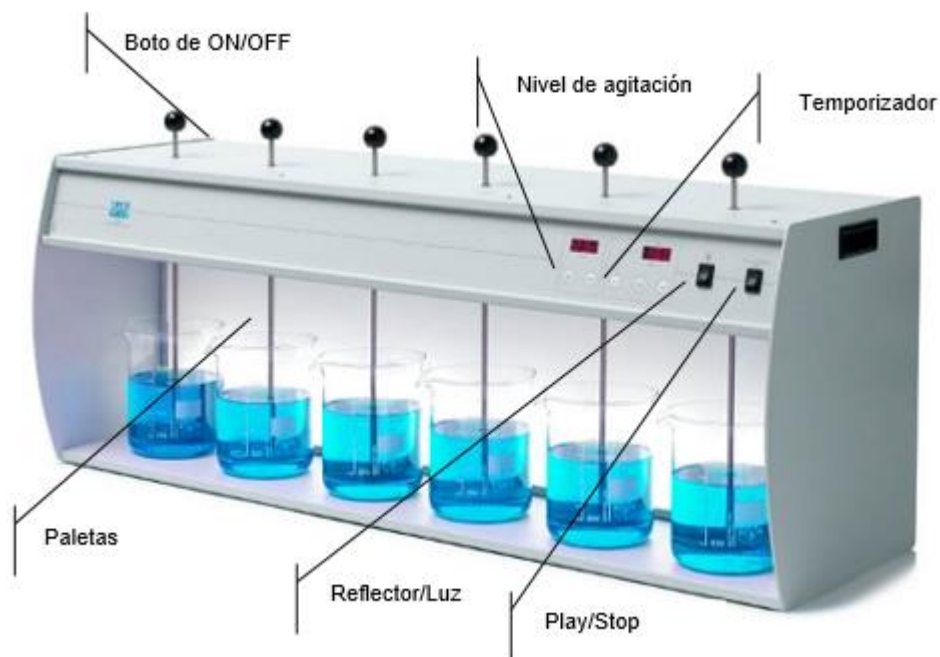


Figura 17. Equipo de prueba de jarras. (AbaTec. Com. Recuperado de <https://www.abatec.com.mx/floculador-series-jlt/>)

### **2.3.8.1 Descripción de uso del equipo prueba de jarras.**

Normalmente el equipo consta de 6 paletas que pueden operar de 0 a 300 rpm (revoluciones por minuto), pero también las hay en 4 o 1 paleta. Cuentan con iluminación en cada uno de los vasos, que permite la visualización de la formación de los flóculos.

Generalmente se usan vasos de 2 litros de capacidad (Figura 17.), estos deben ser cuidadosamente lavados sin detergente, ya que los compuestos aniónicos suelen pegarse en la pared del vaso afectando significativamente los resultados. Para el funcionamiento de la prueba de jarras se requiere de una energía externa.

### **2.3.8.2 Sistema de dosificación.**

Este paso es un poco complejo para una sola persona pueda operar, ya que se necesita una dosificación simultánea y rápida en cada uno de los vasos. En su gran mayoría, los resultados erróneos son producto de este paso por las diferencias de tiempo al momento de dosificación.

Canepa (2009) recomienda, tener preparado y listo los coagulantes con sus respectivas dosis en unas jeringas hipodérmicas desechables, y el por lo menos tres personas disponibles (considerando 1 por 2 vasos) para efectuar una aplicación correcta. La aplicación del floculante debe ser muy cerca al agitador o paletas de agitación.

### **2.3.8.3 Descripción del sistema de agitación.**

La intensidad de agitación, que está expresada en gradientes de velocidad quizá es la variable más importante en la prueba de jarras. De esto va depender la formación de los flóculos dentro del vaso. El quipo compone de paletas (Figura 17) (plana, hélice o doblada) que funcionan con energía.

Es recomendable usar deflectores o latón en cada jarra (Figura 18), ya que permiten una mejor mezcla rápida en el corto tiempo (5 segundos) impidiendo la

turbulencia o helicoidal. Si no se usan los deflectores se recomienda elevar la velocidad de agitación superior a lo normal.

Se mide con una Tabla los valores de gradiente de velocidad en relación a revoluciones por minuto en ciertas temperaturas, en un vaso de 2 litros con o sin deflectores determinados por Ruey, Hudson, Singley y Camp (Canepa, 2009). Estos valores pueden ser modificados siempre en cuando se mantenga la relación geométrica por medio de ciertas formulas.

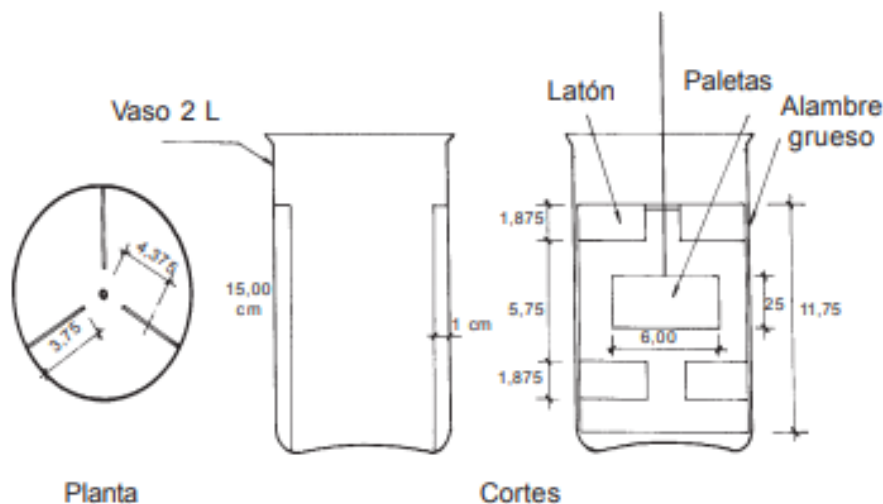


Figura 18. Latón o deflectores dentro del vaso. Canepa, (2009)

#### 2.3.8.4 Toma de muestras.

Después del tiempo transcurrido en la mezcla, la coagulación y floculación se retiran los vasos del equipo a un lado (estático), y con mucho cuidado se coloca el sifón,

aparato sostenido por un flotador de tecnopor y dotado de una cañita por donde fluye la muestra después del tratamiento (Figura 19).

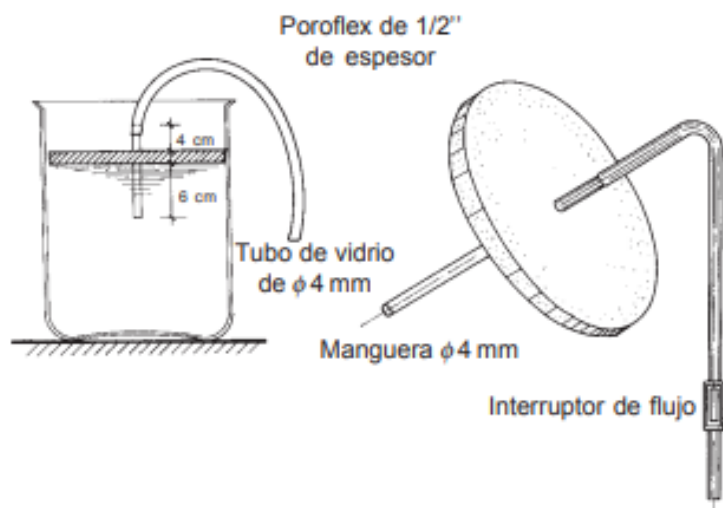


Figura 19. Sifón para la toma de muestra. Canepa, (2009)

Se deben tomar aproximadamente 30 ml de muestra para los respectivos estudios de turbiedad, pH, conductividad, etc. Pero antes de ello es recomendable descartar sacar cerca de 10 mL de agua.

#### **2.3.8.5 Equipos auxiliares al momento de simulación.**

Si el equipo de prueba de jarras no cuenta con un control de automático, es muy importante tener a la mano un cronómetro para llevar en cuenta los tiempos de cada proceso.

Luego un turbidímetro para medir la muestra, el nivel de turbiedad resultante. También un pH-metro, para tener en cuenta variación de pH resultante y el un termómetro

para medir la temperatura del agua resultante, también se puede contar con un medidor de color, conductividad, etc. (Canepa, 2009)

### 2.3.9 Optimización de procesos

Según Ding et al., (2015) “El diseños experimental y optimización de procesos es una estructura de investigación donde existe la concatenación de dos o más diseños simples; es decir, el diseño factorial requiere la manipulación simultánea de dos o más variables independientes (llamados factores) en un mismo experimento” (p. 7). En la presente investigación, se utilizó un diseño de optimización, metodología aplicada que permitió determinar los factores que tienen mayor influencia en las variables de respuesta, el cual ayuda a identificar el insumo o conjunto de insumos que afecta más a la variable respuesta para optimizar así los recursos, además permite reducir el número total de experimentos, ahorrando esfuerzos y tiempo, así como gasto en insumos y componentes químicos.

Modelo matemático cuadrático es:

*Ecuación 1.* Modelo matemático cuadrático del diseño estadístico

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 B_i X_i + \sum_{i=1}^3 B_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \sum B_{ij} X_i + \varepsilon$$

Dónde: (Y) es el valor de la respuesta esperada,  $\beta_0$ ,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ij}$  parámetros del modelo,  $X_i$  y  $X_j$  son los códigos de los factores estudiados y  $k$  es el n° de factores analizados y  $\varepsilon$  es el error estimado en el análisis estadístico.

Según Kondo et al., (2006) Para el análisis de la eficiencia de remoción de la turbiedad se usa la siguiente ecuación 2:

*Ecuación 2.* Fórmula para hallar la eficiencia de turbiedad final.

$$Eficiencia = \frac{Turbidez Inicial (NTU) - Turbidez Final (NTU)}{Turbidez Inicial (NTU)} \times 100$$

### **2.3.9.1 Screening - Plackett-Burman.**

El diseño de Plackett-Burman, es un diseño de barrido (screening) que permite establecer relación entre variable de estudio y variable de respuesta (Tinoco, Rojas, Tripaldi, Criollo, & Huayasaca, 2011). Este diseño es muy bueno para la selección de factores, ayuda a reducir el número de experimentos cuando se trabajan con muchas variables, ampliamente utilizada para seleccionar componentes más efectivos con altos niveles de significación para una mayor optimización, ignorando las interacciones entre variables, por ello normalmente es usado como un primer paso para el diseño de optimización de procesos ya que trabaja con varios ensayos (El-Sheekh, Khairy, Gheda, & El-Shenody, 2016). Tanto así que este diseño ha sido aplicado por muchos investigadores.

“Aquí cada factor se coloca a 2 niveles y el número de experimentos N es múltiplo de 4. Las variables pueden ser de tipo cualitativa o cuantitativa. Los niveles se denotan como -1 y +1; o como (-) y (+). Es muy simple de construir una matriz para este tipo de diseño” (Tinoco et al, 2011, p. 8).



Por ejemplo, definimos la Tabla para 8 ensayos o experimentos.

Tabla 1.

*Diseño de Plackett-Burman, con 8 ensayos.*

Tratamientos	Factores						
	A	B	C	D	E	F	G
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	-	+	-	-	-
5	-	-	+	+	-	-	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+

### 2.3.9.2 *Box – Behnken*

“Este es un diseño de superficie de respuesta esférica y giratoria, que incluye un punto central y puntos medios entre las esquinas, circunscritos sobre una esfera” (Jaramillo, Echavarría, & Hormaza, 2013, p. 11). Son diseños factoriales incompletos por lo que los puntos experimentales son escogidos para lograr una estimación eficiente. Este diseño es ampliamente usado para la optimización de varios procesos químicos y físicos, donde el número de experimentos es determinado de acuerdo a los requerimientos de cada proceso. Por ejemplo cuando se usa a 3 factores:

Tabla 2.

*Niveles de diseño estadístico Box-Behnken*

Ensayos	Variables independientes codificadas
---------	---

	X1	X2	X3
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Este es el diseño que permite optimizar los variables más representativos del el análisis anterior.

### **2.3.9.3 *Diseño compuesto central rotacional (DCCR).***

Este diseño consisten en un factorial fracciondo  $2^k$ , donde los factores son condicionados, de tal manera que el centro sea  $(0,0,\dots,0)$ , aumentado por  $2^k$  puntos acxiales  $(+&0,0,0\dots,0)$ ,  $(0+- \&,0,..0)$ ,... $(0,0,0,..+-\&)$  y los puntos centrales son de forma  $(0,0,0,\dots,0)$  (Mongomery, 1991; Myers, Montgomerly, y Anderson, 2016).

Este diseño puede crear a partir de un diseño  $2^k$  de primer orden, agragando puntos acxiales y algunos puntos centrales (Mongomery, 1991).

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Lugar de estudio**

La presente investigación se realizó en el laboratorio de saneamiento ambiental dentro del Campus de la Universidad Peruana Unión - Lima, perteneciente al distrito de Lurigancho-Chosica (Figura 20).

Las muestras fueron recolectadas del río Rímac, en las coordenadas UTM: E 299620.09 N 8673136.07 a una altitud de 518 msnm, como se muestra la Figura 20. Se hizo el muestreo de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, R.J. N° 010-2016-ANA. Las muestras fueron recogidas en temporada de avenida específicamente en el mes de marzo



Figura 20. Ubicación del área de trabajo experimental (laboratorio) y punto de muestreo de agua.

### 3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es cuantitativa, puesto que se requieren hacer experimentos con los biopolímeros y el manejo de datos numéricos en estadística para lograr obtener explicaciones verídicas, y posterior hacer comparaciones con los parámetros de tratamiento de agua potable. Como también cabe mencionar (Hernández Sampieri, 2014) que en este tipo de investigación las pruebas estadísticas son valiosas para determinar si existen diferencias significativas entre mediciones o grupos, además de que permiten obtener resultados más objetivos y precisos.

### **3.3 Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es experimental ya que se requiere la manipulación de variables dependientes (remoción de coliformes totales y turbiedad) e independientes (pH, concentración de tara, V. dosis tara, concentración de moringa, V. dosis moringa, velocidad baja, velocidad alta) (Tabla 2) para generar resultados de manera concluyente.

Se trabajó en 3 etapas y en cada etapa se recolectaron datos del experimento para después ver que causas produjeron los acontecimientos. Los datos recogidos fueron insertados y examinados mediante el software Statistic versión 13.4 para seguir con los diseños estadísticos.

Para lograr una adecuada remoción de turbiedad y patógenos, se utilizó biopolímeros (moringa oleífera y caesalpinia spinosa) en cantidades variables dentro de condiciones estables. Para ello usamos un equipo de prueba de jarras, en donde se simula el proceso de mezcla, coagulación, floculación y sedimentación a escala real.

### **3.4 Materiales y equipos**

#### **3.4.1 Materia prima e insumos**

Goma de tara (Caesalpinia spinosa) 100% natural

Goma de semillas de moringa (Moringa Oleifera) 100% natural

Ácido clorhídrico (HCl) al 1%

Hidróxido de sodio al 10%

### 3.4.2 Materiales

Tabla 3.

*Lista de materiales que se utilizaron en el laboratorio.*

<b>Materiales</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Cantidad</b>
Vasos precipitados	2000 ml	6
Vasos precipitados	250ml	6
Vasos precipitados	100	12
Fiola	100ml	2
Pipeta graduada	1 ml	2
Pipeta graduada	10 ml	2
Jeringas hipodérmicas c/aguja	25 ml	12
Bagueta	--	2
Deflectores	--	6
Sifón/ tomador de muestra	--	6
Pisetas	500 ml	2
Balde de agua	20 Lt	2
Guantes quirúrgico	--	6p
Materiales de toma de muestra p/ análisis microbiológico*		

\*Los materiales para el análisis microbiológico, fueron alcanzadas por el laboratorio Servicios Analíticos SAC.

### 3.4.3 Equipos

Equipo de prueba de jarras – marca LIVOBOND- modelo ET750

Multiparámetro – marca HANNA INSTRUMENTS- modelo C214

Medidor de turbidez – marca HANNA INSTRUMENTS- modelo HI93703

Balanza Analítica de gran exactitud

Cronómetro

Cámara fotográfica

### **3.5 Metodología**

#### **3.5.1 Recolección de la muestra, y análisis físico-químico y microbiológico**

##### *3.5.1.1 Primera etapa*

Se tomó las muestras del agua superficial del Rio Rímac, aproximadamente 50 Lt en 7 botellas de 7 Lt cada uno e inmediatamente fueron encaminadas para el laboratorio, donde fueron analizados los parámetros físicos-químicos del agua. También se tomó 250 ml de agua cruda in-situ (Figura 21) para ser llevado al laboratorio Servicios Analíticos SAC (acreditado por el INACAL), Para su respectivo análisis microbiológico que nos sirvió como dato base.



Figura 21. Muestreo agua cruda para análisis microbiológico.

#### 3.5.1.1.2 Segunda etapa

Para esta segunda etapa también se tomaron agua del mismo punto del río Rímac, con la diferencia de la cantidad de agua, en la 2da etapa se requirió más de 95 L en total.

### 3.5.2 Preparación de la muestra de agua experimental

#### 1.1.1.1.1. Primera etapa

Una vez recogida el agua para el experimento, en el laboratorio vertemos el agua en dos contenedores, 25 lt en uno y el resto en el otro. La cantidad de agua es básicamente porque en la primera etapa se hicieron 2 repeticiones.

Luego pasamos aforar el pH a 5 añadiéndola HCL al 1% progresivamente en un contenedor y pH a 7 en el otro contenedor.

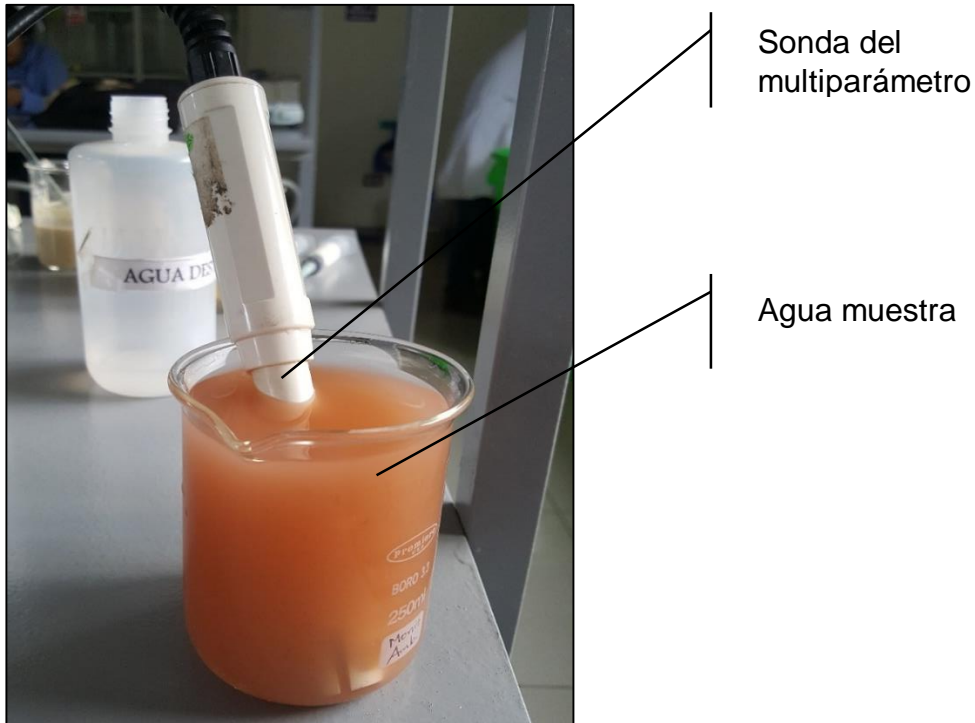
En ambos contenedores se fijó la turbiedad a 500 UNT, añadiendo arcilla y mezclándola por completo. Inmediatamente pasamos a medir los datos pre como: turbiedad, pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto (Tabla 8 y figura 22) siendo (microbiológico después de una semana):

Tabla 4.

*Datos antes de someterse a la prueba de jarras, etapa 1.*

	Turbiedad (UNT)	pH	Conductividad (us/cm)	Temperatura	Oxígeno disuelto (mg/l)	UFC/ 100 ml
Conten. 1	500	5	730	26.3	360	62000
Conten. 2	500	7	730	26	360	62000





*Figura 22. Toma de Pre-dato para tener en consideración*

#### *3.5.2.1.1 Segunda etapa*

De acuerdo al análisis estadístico de la primera etapa se tuvo dos variables de respuesta (remoción de turbiedad y remoción de coliformes totales), en el cual se identificaron diferentes factores significativos que alteraban la variable. Por lo cual se trabajó con dos diseños diferentes (Superficie de Respuesta y Box – Behnken).

Preparación de muestra para el diseño estadístico DCCR/ remoción de turbiedad

De la misma forma que la primera etapa, una vez recogida el agua cruda aproximadamente 60 L, ya en el laboratorio vertemos el agua en 5 contenedores diferentes para alterar el pH.

Se trabajó con 29 vasos a pH de 4, 5, 6, 7 y 8, todas a una turbiedad de 500 UNT. Inmediatamente pasamos a medir los datos pre como: turbiedad, pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto y dato microbiológico.

Tabla 5.

*Datos antes de someterse a la prueba de jarras, etapa 2- remoción de turbiedad.*

	Turbieda d(UNT)	pH	Conductividad (us/cm)	Temperatura	Oxígeno disuelto (mg/l)	UFC/ 100 ml
Conten. 1	500	4	800	26.4	400	56000
Conten. 2	500	5	790	26	390	56000
Conten. 3	500	6	800	26.4	420	56000
Conten. 4	500	7	800	26.3	420	56000
Conten. 5	500	8	795	26	400	56000

Preparación de la muestra para el diseño estadístico Box – Behnken/ remoción de coliformes totales

Una vez recogida el agua cruda aproximadamente 35 L, ya en el laboratorio vertemos el agua en 1 contenedor.

Se trabajó con 17 vasos, pH 7 siendo alterado con hidróxido de sodio hasta llegar a la neutralidad. La turbiedad fue 500 UNT. Inmediatamente pasamos a medir los datos pre como: turbiedad, pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto y dato microbiológico.

Tabla 6.

*Datos antes de someterse a la prueba de jarras, etapa 2-remoción de coliformes.*

	Turbiedad (UNT)	pH	Conductividad (us/cm)	Temperatura	Oxígeno disuelto (mg/l)	UFC/ 100 ml
Conten. 1	500	7	800	26.4	400	56000

### 3.5.3 Preparación de la goma de moringa oleífera como coagulante

El concentrado de moringa oleífera, para usar como coagulante natural se hizo de la siguiente forma:

Se compró 2 kg de semilla de moringa oleífera desvainada. Luego se extrajo la cascara de la semilla, usamos mortero para quitarlo unos por uno (Figura 23).



*Figura 23. Descascarado de la semilla de moringa oleífera.*

Se dejó expuesto al sol (33 °c) por 5 días. No prensamos el aceite (Figura 24), ya que en el aceite se encuentra una de las proteínas antimicrobianas.



Figura 24. Secado de la semilla de moringa oleífera sobre una calamina.

Se trituro en una licuadora, luego fue tamizado en un tamiz de 0.06 mm. Saliendo un polvo de color crema y olor agradable (Figura 25)

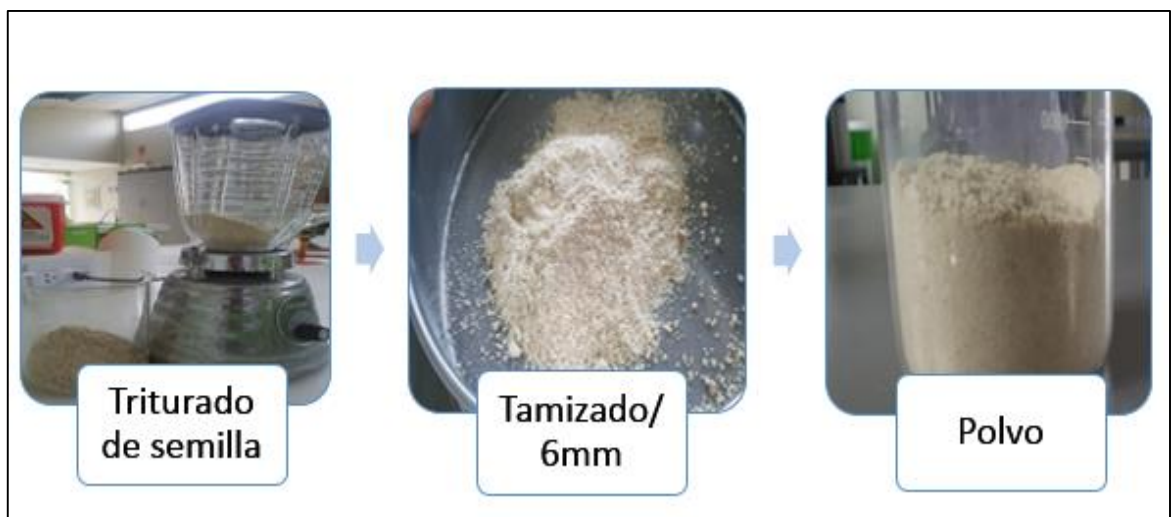


Figura 25. Triturado y tamizado de semilla hasta obtener el polvo a 6mm de diámetro.

### 3.5.3.1.1 Primera etapa

En esta primera etapa trabajamos con dos concentraciones básicas de moringa oleífera de 20 y 40%. Para obtener dicha concentración se aplicó la siguiente fórmula, usado por (Aldana Rivera, 2012).

*Ecuación 3.* Fórmula para hallar la concentración de la solución.

$$\%C = \frac{W}{V} \times 100\%$$

Donde:

*W = peso del polvo de la moringa (mg)*

*V = volumen de agua destilada usado para diluir (L)*

*C = concentración del coagulante (%) (100 000 mg/L = 10%)*

1. Pesamos el polvo de la moringa 20 y 40 g en la balanza analítica necesaria para lograr la concentración de 20 y 40% respectivamente (Figura 26). La cantidad pesada, vertemos en un vaso precipitado y rellenamos con 100 ml de agua destilada previamente aforada en una fiola (la fiola es más exacta en cálculos volumétricos que el vaso precipitado) mezclando paulatinamente con una bagueta de vidrio



Figura 26. Peso de 20 y 40g de moringa y soluciones al 20 y 40%

2. Ejemplo, logrando una concentración del 20%.

$$\%C = \frac{W}{V} \times 100\% = \frac{20g \times \frac{1000mg}{g}}{0.1L} \times 100\%$$

$$\%C = 200\,000 \frac{mg}{L} \rightarrow 20\%$$

Para hallar el volumen de dosificación aplicamos la siguiente fórmula:

*Ecuación 4.* Fórmula para hallar el volumen de dosificación.

$$Q \times D = q \times C$$

Donde:

*Q = Volumen del agua en la jarra de floculación (ml)*

$D = \text{Dosis de coagulante (mg/L)}$ .

$C = \text{Concentración (mg/L)}$ .

$q = \text{Volumen de la solución (ml)}$

1. Ya teniendo la concentración del coagulante al 20 y 40%, despejamos la fórmula para cada vaso, ejemplo:

$$q = \frac{Q \times D}{C} = \frac{2000ml \times \frac{2000mg}{L}}{200000 \frac{mg}{L}}$$

$$q = 20ml$$

2. En este caso trabajamos con volúmenes de dosificación.
3. Se trabajó con 8 vasos, con dos volúmenes de dosificación de 10 y 20 ml, distribuidos en cada vaso estadísticamente (Tabla 7), la misma concentración y volumen de dosis por 2 repeticiones.

Tabla 7.

*Dosis de moringa en ml para cada vaso.*

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Vol. Dos (ml)	20	10	10	20	20	10	10	20

### 3.5.3.1.2 Segunda etapa

En esta segunda etapa estadísticamente dividimos los variables de respuesta haciendo por separado la remoción de turbiedad y coliformes totales.

Para la remoción de turbiedad aplicando diseños estadístico Box-Behnken

1. Con el biopolímero moringa trabajamos con tres niveles (+, o, -), haciendo concentraciones básicas de 40, 45 y 50%. Para hallar esto se aplicó la misma ecuación 1 usada en la primera etapa para hallar las concentraciones.
  2. Pesamos 40, 45 y 50g del polvo de la moringa en la balanza analítica, la cantidad pesada, vertemos en una vaso precipitado y rellenamos con 100 ml de agua destilada previamente aforada en una fiola (la fiola es más exacta en cálculos volumétricos que el vaso precipitado) mezclando paulatinamente con una bagueta de vidrio.
1. En este caso trabajamos con 17 vasos estadísticamente definidos, con volumen de dosificación 20, 23 y 26 ml (Tabla 8), sin replicas.

Tabla 8.

*Volumen de dosificación en ml para cada vaso.*

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17
Vol. (ml)	23	23	23	23	20	20	26	26	20	20	26	26	23	23	23	23	23

Para la remoción de turbiedad aplicando diseño estadístico Superficie de respuesta, para este diseño se trabajó con una concentración de 40% únicamente.

1. Aquí trabajamos con cinco niveles (-2, -1, o, 1, 2).
2. Para hallar la concentración de 40% se aplicó la misma ecuación 1 usada en la primera etapa para hallar las concentraciones.



3. Pesamos 40g del polvo de la moringa en la balanza analítica, la cantidad pesada, vertemos en una vaso precipitado y rellenamos con 100 ml de agua destilada previamente aforada en una fiola (la fiola es más exacta en cálculos volumétricos que el vaso precipitado) mezclando paulatinamente con una bagueta de vidrio.
4. En este caso trabajamos con 29 vasos estadísticamente definidos, con volumen de dosificación 20, 22, 24, 26 y 28 ml (Tabla 9), sin replicas.

Tabla 9.

*Volumen de dosificación en ml para cada vaso.*

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	
Vol. (ml)	22	26	22	26	22	26	22	26	22	26	22	26	22	26	
	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29
Vol (ml)	22	26	24	24	24	24	24	24	20	28	24	24	24	24	24

### 3.5.4 Preparación de la goma de tara como coagulante

Para la preparación de la goma de tara como coagulante, el polvo de la semilla se adquirió de la empresa Peruvian Tara SAC, la cual nos vendió en bolsa hermética con la ficha técnica.

#### 3.5.4.1.1 Primera etapa

En esta la primera etapa trabajamos con dos concentraciones de goma de tara al 1 y 0.1%. Para obtener dicha concentración se aplicó la misma ecuación (ecuación 2) que la primera etapa de moringa oleífera, solo que ahora fue con tara.

1. Pesamos el polvo de tara 1g en la balanza analítica necesaria para lograr la concentración de 1% (Figura 27). La cantidad pesada, vertemos en un vaso precipitado y rellenamos con 100 ml de agua destilada previamente aforada en una fiola (la fiola es más exacta en cálculos volumétricos que el vaso precipitado) mezclando paulatinamente con una bagueta de vidrio



Figura 27. Peso del polvo de tara en una balanza analítica.

2. Con una pipeta volumétrica cogemos 10 ml del 1% y vertemos en un vaso precipitado, rellenando con 100 ml agua destilada logrando tener una concentración del 0.1% (también se puede hallar con la fórmula). Si falta coagulante es preciso calcular otra vez en ese momento, ya que según

investigaciones, la pequeña y exacta proporción corre el riesgo de hidrolizarse y perder buena parte de su capacidad de coagulante.

Para hallar el volumen de dosificación, se aplica la ecuación número 3. Igual que la primera etapa con moringa oleífera.

Se trabajó con 8 vasos, con volúmenes de dosificación de 2 y 6 ml, distribuidos en cada vaso estadísticamente (Tabla 10), la misma concentración y volumen de dosis por 2 repeticiones.

Tabla 10.

*Volumen de dosis de tara en ml para cada vaso*

	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>V8</b>
VOL. (ml)	2	2	6	6	2	2	6	6
Dosis (mg/L) al 1%	10	10	30	30	10	10	30	30
Dosis (mg/L) al 0.1%	1	1	3	3	1	1	3	3

#### 3.5.4.1.2 Segunda etapa

En esta segunda etapa estadísticamente se determinó que las variables independientes (goma y concentración de tara), no son significativamente buenos en la remoción de coliformes. Por ello no se hizo el cálculo para el diseño de Box-Behnken.

Para la remoción de turbiedad aplicamos diseño estadístico Superficie de respuesta, para este diseño se trabajó con una concentración de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5%

1. Aquí trabajamos con cinco niveles (-2, -1, 0, 1, 2). Y para hallar la concentración de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5% se aplicó la misma distribución de mezcla usada en la primera etapa con la goma de tara.

Ejemplo: para lograr una concentración de 0.1% cogemos 10 ml de la concentración de 1% y vertemos en un vaso precipitado, rellenando con 100 ml agua destilada previamente aforada en una fiola.

2. Asimismo para una concentración de 0.2% cogemos 20 ml de la concentración de 1% y aforamos con 100 ml de agua destilada. Así sucesivamente hasta 0.5%.
3. En este caso trabajamos con 29 vasos estadísticamente definidos, con volumen de dosificación 5, 6, 8, 10 y 12 ml (Tabla 11), sin replicas. El volumen de dosificación se halló con la ecuación 3, usada en la primera etapa de moringa.

Tabla 11.

*Volumen de dosificación en ml para cada vaso.*

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	
Vol. (ml)	6	6	6	6	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	
	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29
Vol (ml)	10	10	8	8	5	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8

### 3.5.5 Ejecución de la prueba de jarra

La ejecución de la prueba de jarras es general con diferencias en cada etapa por los datos manejados, pero aquí se describe en la primera etapa.

1. En esta primera etapa esperamos obtener qué vaso o vasos son los que tienen el pH, concentración y volumen de dosis adecuados para una obtener el menor número posible de turbiedad y coliformes totales. Por ello, estar al tanto de observar las incidencias que ocurre en cada vaso.
2. Se trabajó con 8 vasos en dos equipos (4 vasos en cada equipo), las jarras fueron de 2 litros con sus respectivos deflectores dentro. (Figura 28)

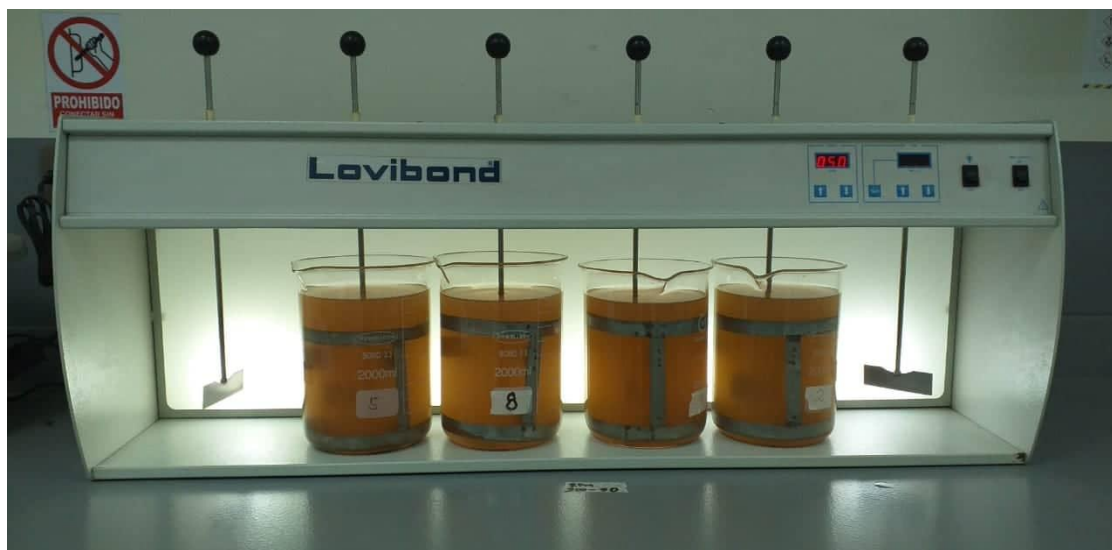


Figura 28. Vasos en el equipo 1, listo para iniciar la mezcla. Los mismo en el 2.

3. Se preparó 8 sifones para sacar la muestra, 1 multiparámetro, turbidímetro, se preparó 24 vasos precipitados de 100 ml (por las 2 repeticiones) y 8 de 200 ml.

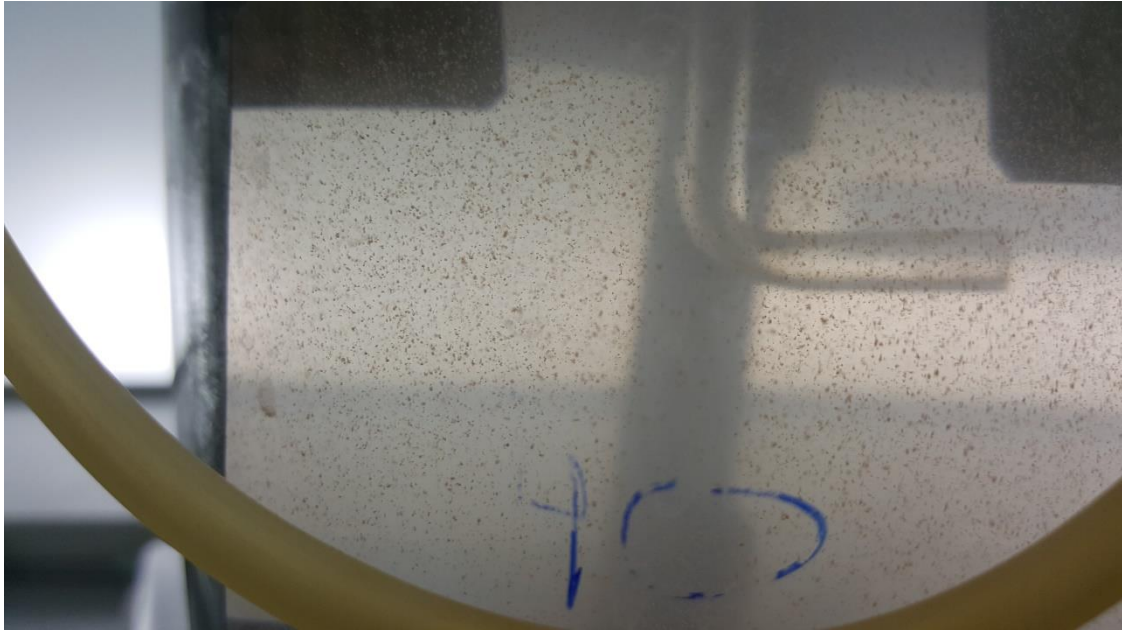
4. Preparado las soluciones de tara a 0.1 y 1% y moringa a una concentración de 20 y 40%. Se alistó el volumen del coagulante (moringa y tara) en cada jeringa hipodérmica (Figura 29) que se va aplicar a cada jarra.



*Figura 29.* Preparación de la jeringas con sus respectivas dosis y concentraciones para cada vaso.

5. Se programó el tiempo de la siguiente forma: Tiempo 1= 5 segundo, velocidad alta de 200 rpm en uno y 160 rpm en el otro equipo; Tiempo 2, 15 minutos, velocidad baja de 40 rpm en un equipo y 30 rpm en el otro.
6. Una vez lista todos los cálculos, materiales e insumos destinados a cada jarra arrancamos con el funcionamiento del equipo, aplicando de forma correcta los coagulantes, al centro de la jarra. En el transcurso nos fijamos la primera formación del floc, comprobando el Índice de Willcomb (Figura 30)

4. Se programó el tiempo de la siguiente forma: Tiempo 1= 5 segundo, velocidad alta de 200 rpm en uno y 160 rpm en el otro equipo; Tiempo 2, 15 minutos, velocidad baja de 40 rpm en un equipo y 30 rpm en el otro.



*Figura 30.* Formación del floculo, siendo la clasificación C del Índice de Willcomb.

7. Una vez que el tiempo concluyó con los procesos simulados de mezcla, coagulación y floculación. Se retiran las jarras con cuidado a un costado o delante del equipo y colocamos los sifones sujetos con una liga al rededor en cada una de ellas (Figura 31).



*Figura 31. Colocando las jarras para el proceso sedimentación.*

8. Controlamos 25 minutos para el proceso simulado de sedimentación, pero 5 minutos antes de que termine el tiempo, con mucho cuidado descartamos 10 ml del agua atrapada en el sifón.
9. Pasamos a tomar extraer muestras en cada vaso precipitados de 100 ml que alistamos inicialmente, en este caso son 24 vasos de 100 ml para el análisis de turbiedad, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y pH. Y 8 de 200 ml (para el análisis microbiológico) (Figura 32).





*Figura 32.* Extracción de muestra para los análisis.



*Figura 33.* Muestras analizadas de las 2 repeticiones

### **3.5.6. Diseño de experimentos y optimización de procesos**

El diseño experimental esta dividió en 3 etapas, cada etapa estructurado por un diseño estadístico. Primera etapa por el diseño de experimento Screening - Plackett-Burman, segunda etapa el diseño de superficie de respuesta de Box – Behnken y Diseño central compuesto rotacional (DCCR) y la tercera etapa predicción del modelo.

El uso del diseño estadístico de optimización de procesos para esta investigación se da al identificar factores independientes múltiples que podrían tener algún efecto en la variable respuesta , en la investigación de Luo, Lin, Cai, y Li, (2012) se identificaron 7 factores independientes para una variable de respuesta por ello se empleó el diseño estadístico de optimización, y se pudo identificar la combinación de factores que mayor influencia tiene en la variable respuesta.

El diseño estadístico de optimización de procesos consta de tres pasos importantes, donde en los dos primeros pasos es descubrir que factores o la combinación de estas pueden alterar significativamente la variable respuesta, durante estas dos primeras etapas de experimentación que se detallan en capítulo cuatro de resultados de estudio, donde se generaron modelos matemáticos predictivos, el último paso de este diseño es validar el modelo matemático generado previamente, este mismo método de estudio fue ejecutado por Gómez, Gretel y Batista, (2006) donde identificaron los factores que mayor incidencia tenían en la producción de microorganismo que degradan la materia orgánica.

Los variables independientes y dependientes del diseño experimental es mostrada en la Tabla 12.

Tabla 12

*Variables del diseño experimental.*

Tipo de variable	Variables	Unidad
Dependiente	Turbidez	NTU
	Coliformes Totales	UFC/100mL
Independiente	pH	pH
	V. Dosis de Tara	mL
	Concentración de Tara	%
	V. Dosis de Moringa	mL
	Concentración de Moringa	%
	Velocidad Baja	rpm
	Velocidad Alta	rpm

En la tabla 12 se detallan los variables independientes y dependientes que se evalúan en el diseño estadístico.

### **3.5.6.1. Diseño experimental Screening - Plackett-Burman**

Para analizar los efectos de los parámetros, fueron evaluadas mediante el diseño experimental Screening  $2^{k-p}$  con replica, totalizando 18 tratamientos (Rodrigues y Lemma, 2014), teniendo como variables independientes con sus niveles menores y mayores mostrados en la Tabla 13.

La función de la respuesta (Y) será generada en los componentes lineales e interactivos y los datos experimentales serán ajustados al modelo de primer orden como se muestra a continuación (Rodrigues & lemma, 2014):

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Donde

Y es la respuesta predicha medida;

$\beta_0$  es el intercepto;

$\beta_i$  y  $\beta_{ij}$  son los coeficientes del modelo (lineal e interacción, respectivamente) y

$X_i$  y  $X_j$  son los valores codificados de las variables independientes

Tabla 13

*Niveles de variables independientes para el diseño Screening - Plackett-Burman*

Factores Independientes	NIVELES	
	+1	-1
A: pH	7	5
B: Dosis de Tara (mL)	2.0	6.0
C: Concentración de Tara (%)	1.0	0.1
D: Dosis de Moringa (mL)	20 mL	10 ml
E: Concentración de Moringa (%)	40.0	20.0
F: Velocidad Alta (rpm)	200	40
G: Velocidad Baja (rpm)	160	30

Tabla 14.

*Mezcla de niveles para de las variables independientes de Screening - Plackett-Burman.*

Variables independientes codificados							
Tratamientos	A	B	C	D	E	F	G
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

*\* En este caso, A= pH, B= Dosis de tara (Ml, C= Concentración de Tara (%), D= Dosis de Moringa (mL), E= Concentración de moringa (%), F=velocidad alta (rpm) y G= Velocidad Baja (rpm).m*

Para ejecutar el primer nivel del diseño de optimización de procesos se definió los niveles de concentración o condición de los diferentes factores que se muestran en el Tabla 14, este mismo diseño usó Moreno et al., (2011) donde se identificó factores independientes que podrían tener efecto en la variable respuesta permitiendo maximizar diferentes combinaciones entre las variables independientes.

Según Tinoco, Rojas, Tripaldi, Criollo, y Huayasaca, (2011) el diseño de Screening o Plackett-Burman se diseñó con la finalidad de reducir significativamente la cantidad final de experimentos, de igual modo los estudios realizados por Moreno, Rojas y Bonilla, (2011) menciona que este diseño estadístico tiene la ventaja de hacer interactuar todos los variables con menos experimentos para que en futuras pruebas se reduzca la cantidad del uso de insumos. Es por ello que en el primer nivel se identificaron cinco

variables significativos en la remoción de turbiedad y tres variables significativos en la remoción de coliformes totales.

### **3.5.6.2. Diseño de superficie de respuesta de Box-Behnken**

Para optimizar los parametros mediante superficie de respuesta de segundo orden para E. coli, se empleó el diseño experimental de Box-Behnken, que consta de 17 tratamientos con 5 repeticiones en el punto central (Rodrigues & Lemma, 2014). Los rangos y niveles de las variables independientes utilizados en la forma codificada y no codificada se muestran en la Tabla 15 y 16

Los experimentos fueron ejecutados en orden aleatorio y el tratamiento de datos para comparar el efecto de los tratamientos en la optimización. La variable dependiente (Y) fue generada en modelos de segundo como se muestra en la siguiente ecuación (Rodrigues & lemma, 2014):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^2 \beta_{ij} X_i X_j$$

donde

Y es la variable dependiente predicha

$\beta_0$ : Coeficiente intercepto

$\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  y  $\beta_{ij}$ : Coeficientes del modelo lineal, cuadrático e interacción, respectivamente

$X_i$  y  $X_j$ : Valores codificados de las variables independientes.

Este diseño nos permite optimizar los variables más representativos del análisis anterior para lograr una optimización de resultado más eficiente en cuanto a la remoción de turbiedad y E. coli.

Tabla 15

*Niveles para el diseño Box Behnken en la remoción de coliformes Totales*

Factores Independientes	NIVELES		
	-1	0	+ 1
A: Dosis de Moringa	20 ml	23 ml	26 ml
B: Concentración de Moringa	40%	45 %	50 %
C: Velocidad Alta	160 (rpm)	200 (rpm)	250 (rpm)

En la tabla 15 se detalla los niveles para el diseño Box Behnken en la remoción de coliformes totales.

Tabla 16.

*Mezcla de niveles para Niveles de diseño Box- Behnken para E coli*

Tratamientos	Variables independientes codificadas		
	A	B	C
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1

13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

\* En este caso, A= Dosis de moringa (mL) (%), B=V. Concentración de moringa (%) y C=velocidad alta (rpm).

### 3.5.6.3. Diseño central compuesto rotacional (DCCR)

Para optimizar los parámetros por superficie de respuesta de segundo orden para la tubidez se empleó el diseño central compuesto (DCCR)  $2^k$  con 5 repeticiones en los puntos centrales, dado un total de 29 tratamientos (Rodrigues & Lemma, 2014). Los rangos y niveles de las variables independientes utilizados en la forma codificada y no codificada se muestran en la Tabla 15 y 16

Los experimentos fueron ejecutados en orden aleatorio y el tratamiento de datos para comparar el efecto de los tratamientos. La variable dependiente (Y) fue generada en modelos de función lineal, cuadrática e interacción y los datos experimentales fueron ajustados al modelo polinomial de segundo orden como se muestra en la siguiente ecuación (Rodrigues & Lemma, 2014):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^2 \beta_{ij} X_i X_j$$

Donde:

Y es la variable dependiente predicha

$\beta_0$ : Coeficiente intercepto



$\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  y  $\beta_{ij}$ : Coeficientes del modelo lineal, cuadrático e interacción, respectivamente

$X_i$  y  $X_j$ : Valores codificados de las variables independientes.

Tabla 17.

*Niveles para el diseño de superficie de respuesta (DCCR) para turbiedad*

NIVELES					
Factores Independientes	-2	-1	0	+1	+2
A: Concentración de tara	0.1 %	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%
B: Velocidad Baja	15 rpm	20 rpm	25 rpm	30 rpm	35 rpm
C: Dosis de tara	5 ml	6 ml	8 ml	10 ml	12 ml
D: pH	4	5	6	7	8
E: Dosis de moringa	20 ml	22 ml	24 ml	26 ml	28 ml

En la tabla 17 se detalla los cinco niveles con las que se trabajó en el diseño central compuesto rotacional.

Tabla 18.

*Mezcla de niveles para superficie de respuesta (DCCR) para turbiedad*

Tratamientos	(A) Concentración de tara (%)	(B) Dosis de tara (ml)	(C) pH	(D) Dosis de moringa	(E) Turbiedad (NTU)
1	-1	-1	-1	-1	1
2	-1	-1	-1	1	-1
3	-1	-1	1	-1	-1
4	-1	-1	1	1	1
5	-1	1	-1	-1	-1
6	-1	1	-1	1	1

Tratamientos	(A) Concentración de tara (%)	(B) Dosis de tara (ml)	(C) pH	(D) Dosis de moringa	(E) Turbiedad (NTU)
7	-1	1	1	-1	1
8	-1	1	1	1	-1
9	1	-1	-1	-1	-1
10	1	-1	-1	1	1
11	1	-1	1	-1	1
12	1	-1	1	1	-1
13	1	1	-1	-1	1
14	1	1	-1	1	-1
15	1	1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	1
17	-2	0	0	0	0
18	2	0	0	0	0
19	0	-2	0	0	0
20	0	2	0	0	0
21	0	0	-2	0	0
22	0	0	2	0	0
23	0	0	0	-2	0
24	0	0	0	2	0
25	0	0	0	0	-2
26	0	0	0	0	2
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0

#### **3.5.6.4. Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos de parámetros de las purificación de agua para el diseño screening, box-behnken y diseño central compuesto rotacional, fueron realizados utilizando el programa Statistica 13.1 con un intervalo de confianza del 95 % ( $p \leq 0.05$ ). A través de este programa fue posible analizar los efectos de las variables independientes sobre las variables de respuesta:

Para el diseño screening fueron analizados la significancia de los parámetros mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), donde se generó el modelo de primer orden con coeficiente significantes.

Para el diseño de box-benhken y central compuesto rotacional, fue utilizada la metodología de superficie de respuesta para generar un modelo cuadrático, se analizó por ANOVA el coeficiente de determinación del modelo ( $R^2$  y  $R^2_{adj}$ ), tabla de efectos, regresiones en error puro para generar el ajuste del modelo.

Segun Barros, Scarmino y Bruns (2001) y Khru y Cornell (1996) mencionan que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mide la proporción de variación total de la respuesta que es explicada por el modelo, de modo cuanto mayor  $R^2$ , esto es cuando más cercano a 1, menor será el error y mejor será el ajuste del modelo a las respuestas observadas (Barros et al., 2003).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 Resultados del diseño de experimento

A continuación detalla la combinación de niveles las cuales fueron ejecutadas con el programa Statistica versión 13.4.

##### 4.1.1. Diseño Screening

Tabla 19

*Combinación de niveles para la etapa 1 o diseño Screening (Plackett –Burman) con dos replicas.*

Código de Muestra	Replica	pH	Variables independientes (factores)						Variables de respuesta	
			Dosis de Tara (ml)	Concentración de Tara (%)	Dosis de Moringa (ml)	Concentración de Moringa (%)	Velocidad Alta (RPM)	Velocidad Baja (RPM)	Turbiedad (NTU)	E-Coli Totales (UFC)
Rrim 1	1	5	2.0	0.1	20.0	40	200	30	29	13000
Rrim 2	1	7	2.0	0.1	10.0	20.0	200	40	44	30000
Rrim 3	1	5	6.0	0.1	10.0	40	160	40	33	29000
Rrim 4	1	7	6.0	0.1	20.0	20.0	160	30	25	25000
Rrim 5	1	5	2.0	1	20.0	20.0	160	40	38	29000
Rrim 6	1	7	2.0	1	10.0	40	160	30	34	25000
Rrim 7	1	5	6.0	1	10.0	20.0	200	30	31	29000
Rrim 8	1	7	6.0	1	20.0	40	200	40	36	11000
Rrim 1.2	2	5	2.0	0.1	20.0	40	200	30	30	12000

Código de Muestra	Variables independientes (factores)								Variables de respuesta	
	Replic a	p H	Dosis de Tara (ml)	Concentración de Tara (%)	Dosis de Moringa (ml)	Concentración de Moringa (%)	Velocidad Alta (RPM)	Velocidad Baja (RPM)	Turbiedad (NTU)	E-Coli Totales (UFC)
Rrim 2.2	2	7	2.0	0.1	10.0	20.0	200	40	41	30000
Rrim 3.2	2	5	6.0	0.1	10.0	40	160	40	32	25000
Rrim 4.2	2	7	6.0	0.1	20.0	20.0	160	30	24	27000
Rrim 5.2	2	5	2.0	1	20.0	20.0	160	40	37	28000
Rrim 6.2	2	7	2.0	1	10.0	40	160	30	39	26000
Rrim 7.2	2	5	6.0	1	10.0	20.0	200	30	29	29000
Rrim 8.2	2	7	6.0	1	20.0	40	200	40	33	10000
Rrim 1.3	3	5	2.0	0.1	20.0	40	200	30	28	11000
Rrim 2.3	3	7	2.0	0.1	10.0	20.0	200	40	38	29000
Rrim 3.3	3	5	6.0	0.1	10.0	40	160	40	29	24000
Rrim 4.3	3	7	6.0	0.1	20.0	20.0	160	30	23	27000
Rrim 5.3	3	5	2.0	1	20.0	20.0	160	40	39	30000
Rrim 6.1	3	7	2.0	1	10.0	40	160	30	41	26000
Rrim 7.3	3	5	6.0	1	10.0	20.0	200	30	26	28000
Rrim 8.3	3	7	6.0	1	20.0	40	200	40	39	10000

En esta Tabla 19 se detalla las combinaciones de los niveles para la primera etapa de optimización de procesos, donde cada factor interactúa a diferentes niveles o condiciones además esta muestra las dos replicas a las mismas condiciones.

A continuación se detalla los resultados de las interacciones de variables detalladas en la Tabla 19. Para la confiabilidad del análisis de los datos se hizo una prueba de normalidad que se detallan en la Figura 34.

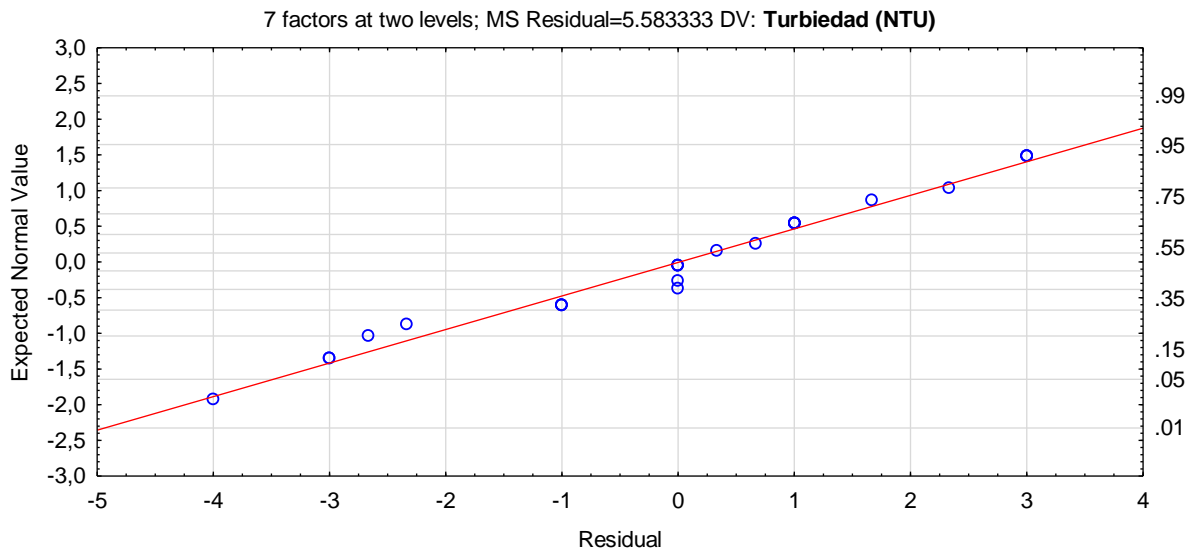


Figura 34. Prueba de valor normal del residual del ajuste del modelo

Según Montgomery (2009) el análisis de los datos para saber si siguen una distribución normal se puede hacer graficando un histograma de los residuales además detalla que esta grafica tiene una característica particular ya que los puntos deben estar cerca a la normal o pegado a la recta lo cual significaría que los datos siguen una distribución normal. Según Briefs (2013) una forma de comprobar cuando una serie de datos son paramétricas (siguen un distribución normal) se utilizan graficos Q-Q plots.

Según lo evaluado los datos de remoción de turbiedad si son paramétricas por lo cual se puede aplicar un diseño experimental.

Tabla 20

ANOVA de las interacciones de los factores en relación a la turbiedad

Factores	SS	df	MS	F	p	Efecto
(1)pH	54.0000	1	54.0000	9.67164*	0.006738*	3.00000
(2)Dosis de Tara (ml)	253.5000	1	253.5000	45.40299*	0.000005*	-6.50000
(3)Concentración de Tara (%)	88.1667	1	88.1667	15.79104*	0.001090*	3.83333
(4)Dosis de Moringa (ml)	54.0000	1	54.0000	9.67164*	0.006738*	-3.00000
(5)Concentración de Moringa (%)	2.6667	1	2.6667	0.47761	0.499411	-1.37831
(6) Velocidad Alta (RPM)	4.1667	1	4.1667	0.74627	0.400426	-1.21164
(7) Velocidad Baja (RPM)	266.6667	1	266.6667	47.76119*	0.000004*	6.66667
Error puro	89.3333	16	5.5833			
Total, SS	812.5000	23				
R <sup>2</sup>	0.84					
R-adj	0.89					

(\*) significativo p< 0.05 y efecto significativo

En la tabla 20 se presenta el análisis de varianza de los datos de remoción de turbiedad donde se optuvo un coeficiente de determinacion ( $R^2$ )=0.84 y coeficiente de determinacion ajustado (R-adj)= 0.89 a 95% de nivel de confianza los variables más significativos identificados son pH, dosis de tara (mL),concentración de tara (%), dosis de moringa (ml), velocidad baja (rpm), estos variables tubieron efectos mas significativos en la remocion de turbiedad.

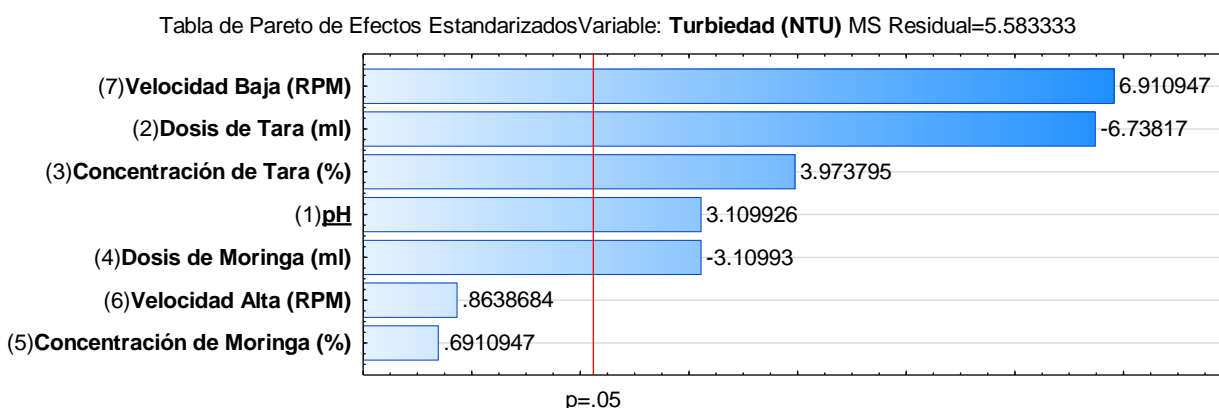


Figura 35. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta turbiedad (NTU).

En la figura 35 se presenta el diagrama de Pareto, el cual muestra gráficamente los factores más importantes en la variable respuesta que es la remoción de turbiedad.

A continuación se detalla gráficamente diferentes interacciones entre las variables independientes y su efecto en la variable respuesta.

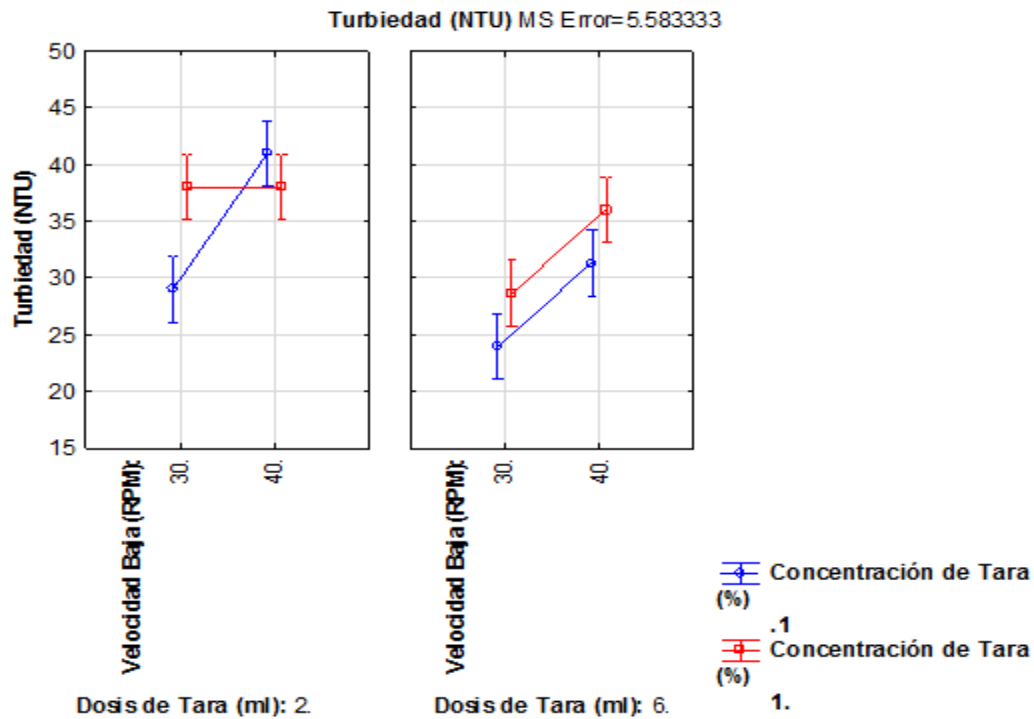


Figura 36. Interacción de factores en la remoción de la turbiedad (velocidad baja, dosis de tara, concentración de tara).

En la Figura 36 se detalla las interacciones entre tres factores independientes (Velocidad Baja, Dosis de tara, concentración de tara) sobre los efectos que tiene en la remoción de turbiedad, mostrando que el resultado óptima en la remoción de turbiedad



es a una condición donde la velocidad es baja (30 rpm), dosis de tara 6 mL, concentración de tara 0.1%.

Según Acosta, (2006) la velocidad de agitación también llamado gradiente de mezclado es definido como medida de la frecuencia de los cambios de dirección de un proceso de mezclado, además detalla que los polímeros orgánicos se desplazan más lento que los iones metálicos.

En los estudios desarrollados por Acosta, (2006) sobre el estado del arte del tratamiento de agua menciona que es importante considerar el tiempo que se realiza a la prueba de jarra, su recomendación es de quince minutos y un tiempo de reposo de treinta minutos, se menciona también que a tiempos prolongados de agitación la muestra tiende a elevar la temperatura y los floculos formados se rompen y el tiempo de sedimentación se incrementa.

La goma de tara es espesante natural que posee características de aglomerar y estabilizar coloides Revelo y Proaño, (2015), su estructura presenta moléculas polisacáridas frecuentemente asociadas con metálicos como Ca, K, Mg, y Fe producen a bajas concentraciones (menores a 1%) (Lapa, 2004)

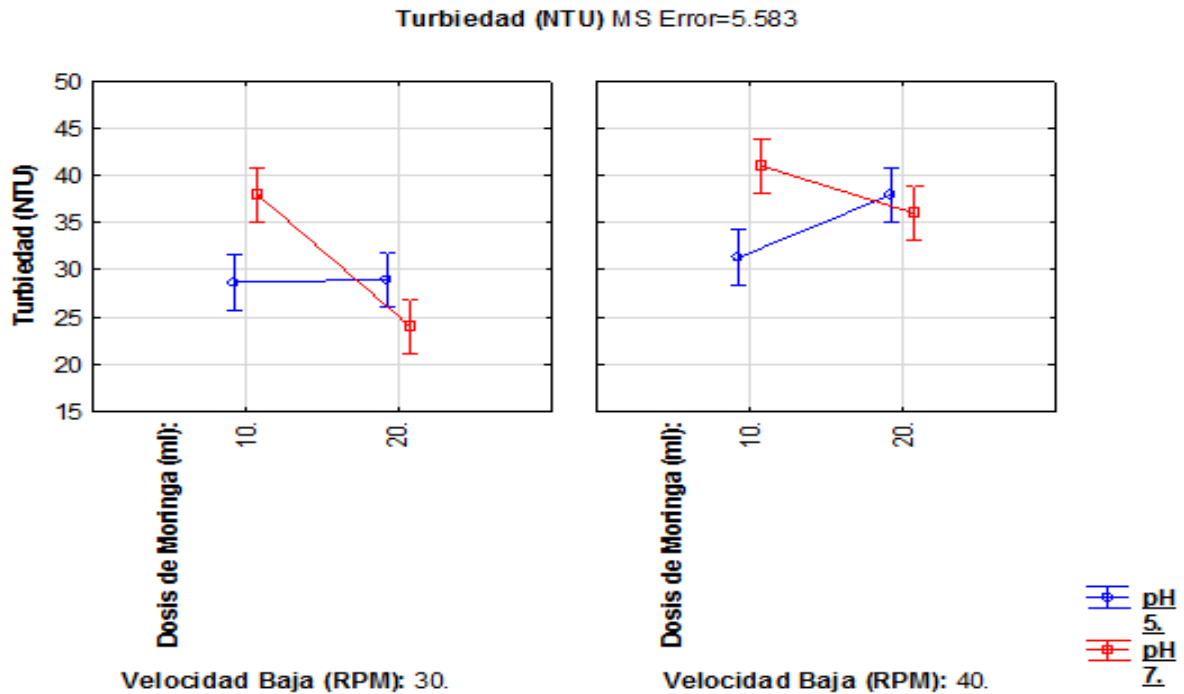


Figura 37. Interacción de factores en la remoción de la turbiedad (pH, velocidad baja, volumen de dosis de moringa)

En la figura 37 se detalla las interacciones entre tres factores independientes (Velocidad Baja, Dosis de moringa y pH) sobre los efectos que tiene en la remoción de turbiedad, mostrando que el resultado óptima en la remoción de turbiedad es a una condición donde la velocidad es baja es a 30 rpm, la dosis de moringa 20 mL y el pH 7

Según la figura 38 la interacción de estos tres factores mencionados a las condiciones que detallan, la remoción de turbiedad es o óptimo.

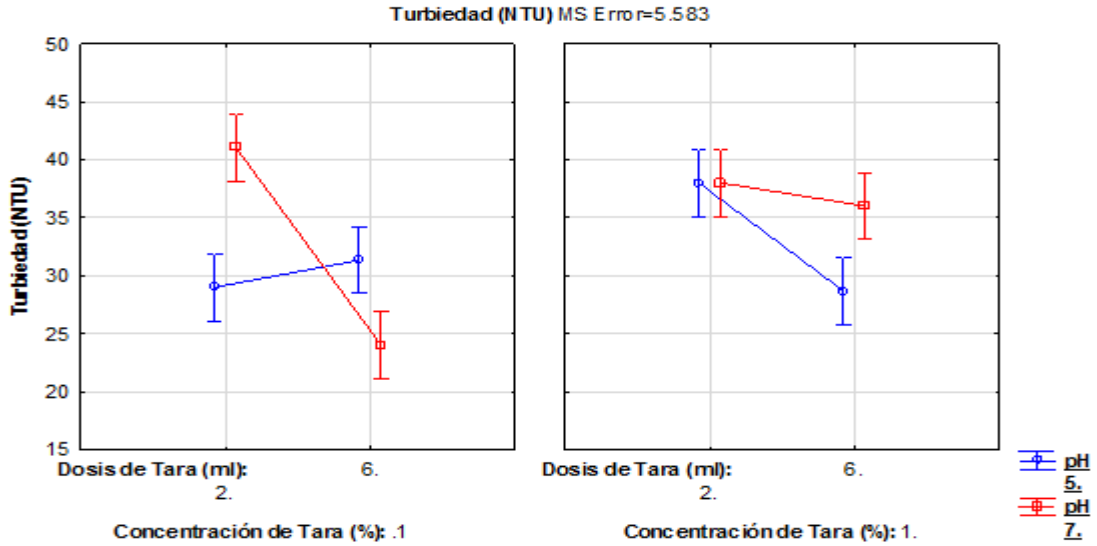


Figura 38. Interacción entre los factores independientes

En la figura 38 se detalla las interacciones de tres factores independientes (pH, concentración de tara, volumen dosis de tara) sobre los efectos que tiene en la remoción de turbiedad, mostrando que el resultado óptima en la remoción de turbiedad es a una condición donde el pH es 7, Concentración de tara 0.1% Dosis de moringa de 6 mL

Según Acosta, (2006) el pH tiene un papel muy importante en el estudio de los fenomenos de cuagulación y floculación, así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones  $\text{OH}^-$ , queda destruida por un aumento de la concentración de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal, además se menciona que el pH está estrechamente relacionado con la solubilidad del cuagulante.

Según Tapia, Mamani, Rojas, y Yarango, (2010) la solubilidad de la goma de tara es óptima en pH ácidos (4.5, 5).

Superficie Ajustada; Variable: **Turbiedad (NTU)** MS Residual=5.583333

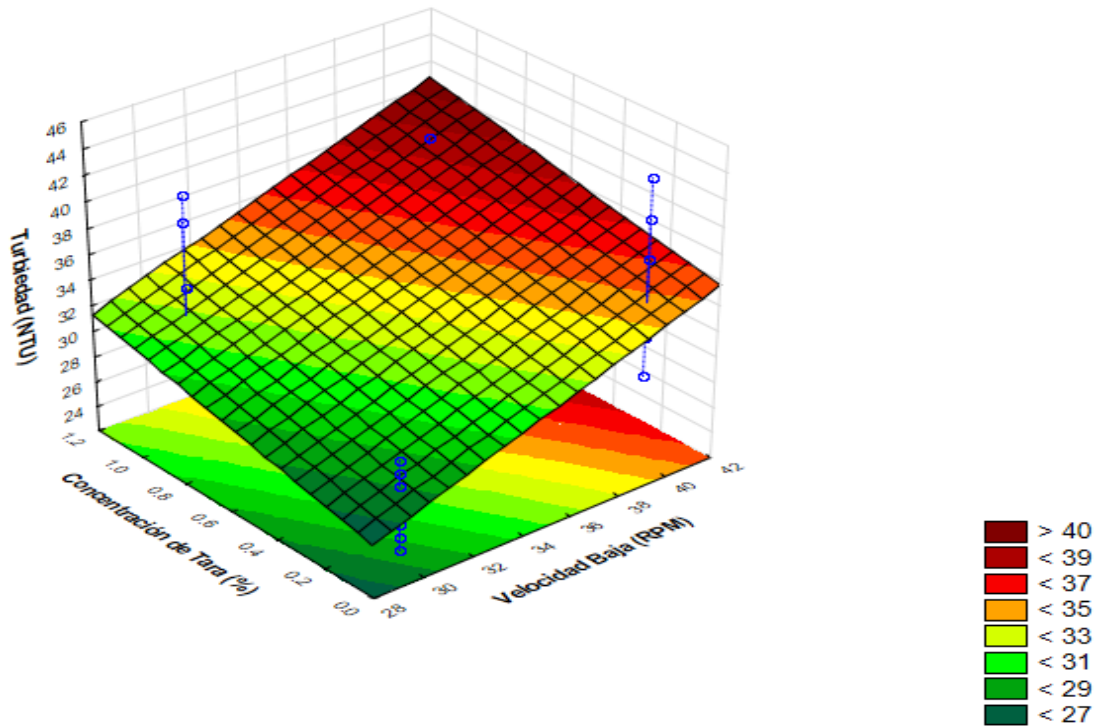


Figura 39. Superficie de respuesta de factores independientes (concentración de tara, velocidad baja)

Ecuación 5. Modelo matemático de la interacción de concentración de tara y velocidad baja

$$NTU = 4.82 + 4.25 * y + .66 * x + 2.75$$

Donde

X = velocidad baja

Y= concentración de tara

En la Figura 40 se detalla la interacción de concentración de tara con velocidad baja da como resultado el modelo matemático que se presenta en la ecuación 5.

Superficie Ajustada ; Variable: **Turbiedad (NTU)** MS Residual=5.583333

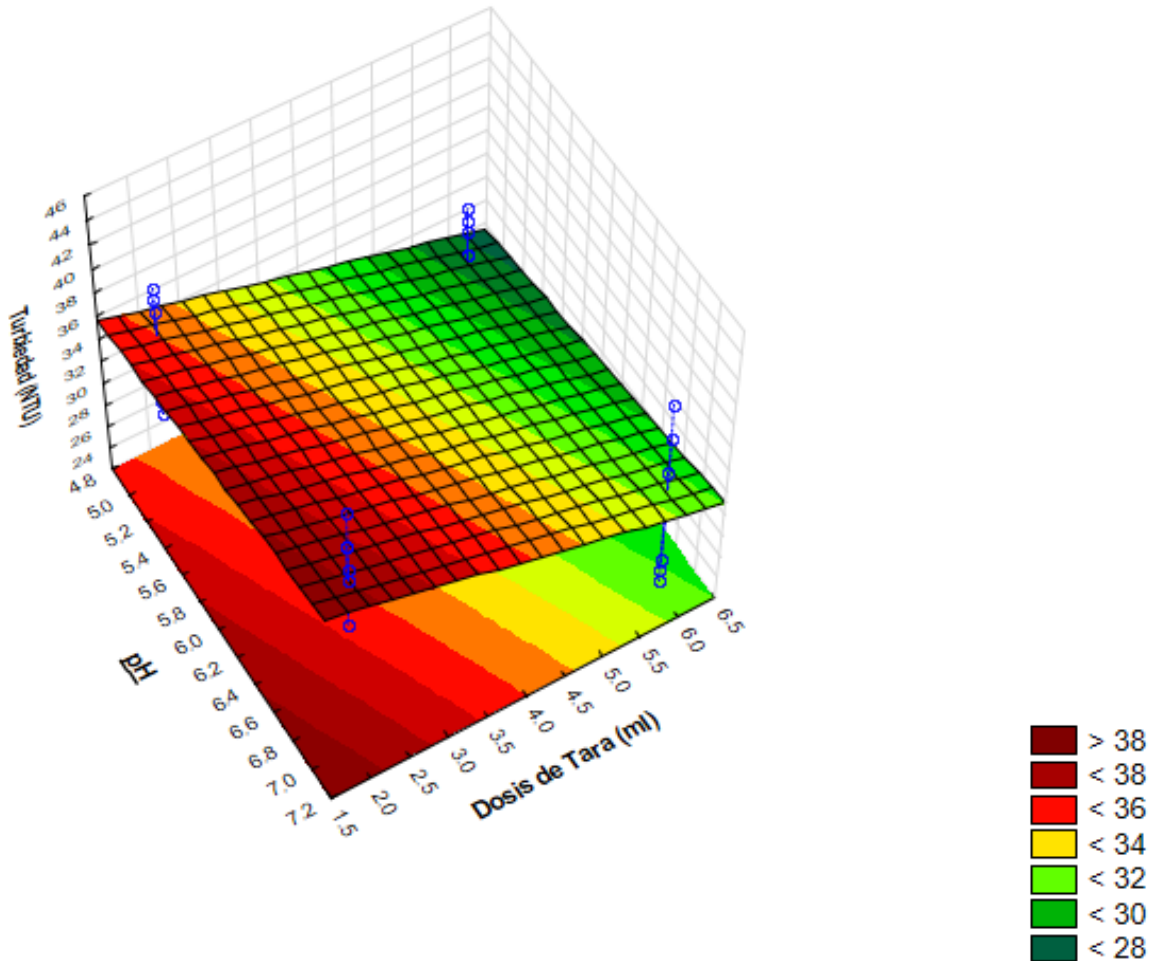


Figura 40. Superficie de respuesta de factores independientes (dosis de tara, pH)

De acuerdo a la figura 40 hay mejor remoción de turbiedad cuando el pH tiende a disminuir gradualmente, esto se debe a que las los polisacáridos o las proteínas tienden a solubilizarse mejor en este tipo de medio acido (Tapia et al., 2010a)

Ecuación 6. Modelo matemático de la interacción de pH y Dosis de tara

$$NTU = 4.82 + 1.5 * x - 1.625 * y + 25.92$$

Donde

X = Dosis de tara

Y = pH

Calculo de eficiencia remoción de turbiedad para la primera etapa.

$$Eficiencia = \frac{Turbidez Inicial (NTU) - Turbidez Final (NTU)}{Turbidez Inicial (NTU)} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{500 - 23}{500} \times 100$$

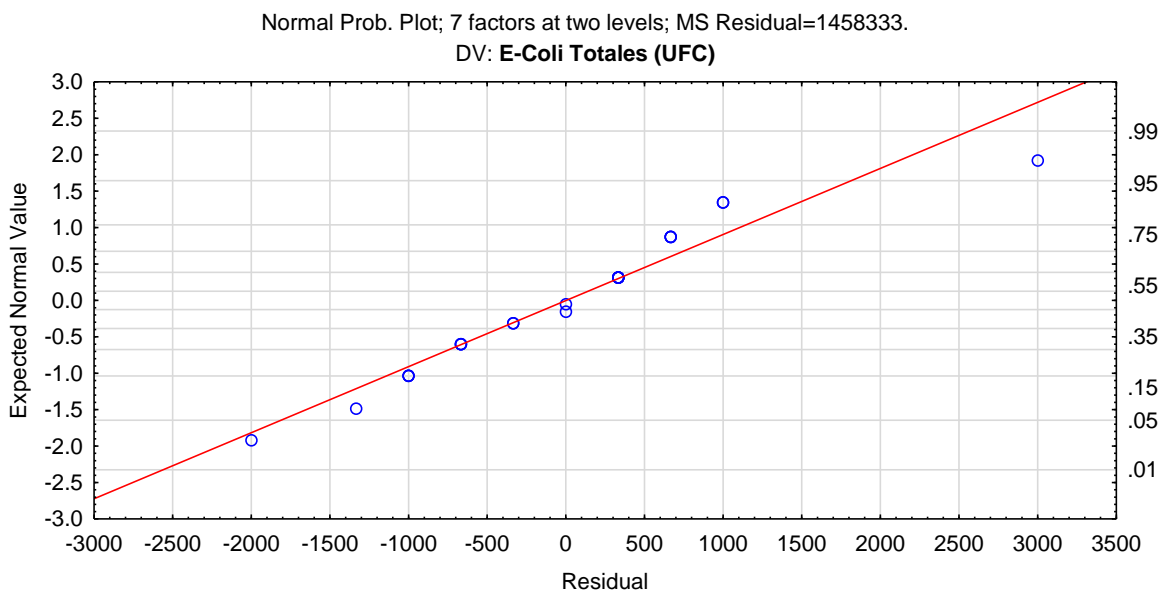
$$\%Eficiencia = 95.4$$

Según Tapia et al., (2010) la goma de tara esta compuesto por macromoleculas y en medios de pH netros o basicos tienden a estar enrolladas entre si y por ello la solubilidad es minima.

Según Macías (2017) la moringa oleifera tiene proteinas cationicas por ello se sugiere que el mecanismo predominate de cuagulacion es por adsorcion y neutralizacion de las cargas de los coloides, por otro lado Camacho, Sousa, Bergamasco, y Teixeira, (2016) mencionan que su principio activo de la Moringa se encuentra en las proteinas

que contiene (aminoácidos, compuestos nitrogenados que contiene carbono, hidrogeno, oxígeno, azufre, fosforo, hierro, cobre). Por ello la combinación de los polimeros ayudan a combatir la remoción de la turbiedad ya que los compuestos que tienen son similares.

En esta primera etapa hubo una efectividad de 95.4% en la remoción de turbiedad, de cuando a la predicción vistas en la figura 39 y 40 al disminuye la velocidad de agitación y la pH va ver mejor remoción, esta predicción es apoyado por (Tapia et al., 2010) ya remoienda trabajar con pH de 4.5 y 5.



*Figura 41.* Prueba del valor normal en función del residual

Los datos de remoción de coliformes totales se sometieron a una prueba de normalidad para saber si estos datos siguen una distribución normal y de acuerdo a Montgomery, (2009) se puede hacer esta prueba graficando un histograma de los

residuales, además detalla que esta grafica tiene una característica particular ya que los puntos deben estar cerca a la normal, como se muestra en la figura 41

Tabla 21.

*Resultados ANOVA de las interacciones de los factores en relación a remoción de Coliformes Totales*

Factores	SS	df	MS	F	p
(1) pH	5.041667E+06	1	5041667	3.4571	0.081468
(2)V. Dosis de Tara (ml)	9.375000E+06	1	9375000	6.4286	0.02204*
(3) Concentración de Tara (%)	4.166667E+04	1	41667	0.0286	0.867891
(4) V. Dosis de Moringa (ml)	3.920417E+08	1	39204167	268.8286	0.00000*
(5) Concentración de Moringa (%)	5.900417E+08	1	59004167	404.6000	0.00000*
(6) Velocidad Alta (rpm)	2.600417E+08	1	26004167	178.3143	0.00000*
(7) Velocidad Baja (rpm)	2.041667E+06	1	2041667	1.4000	0.254007
Error	2.333333E+07	16	1458333		
Total SS	1.281958E+09	23			
R <sup>2</sup>	0.98				
R-Adj	0.973				

(\*) Significativo  $p < 0.05$  y efecto significativo

En la tabla 21 se muestra el análisis de varianza de los datos de remoción de coliformes donde se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ )=0.98 y coeficiente de determinación ajustado (R-adj)= 0.97 a 95% de nivel de confianza, se identifican los factores más significativos en la variable respuesta (Remoción de coliformes Totales) . Para identificar estos factores más influyentes ubicamos que el p – valor sea menor que el nivel de significancia que es de 0.5%, y las que cumplen esta condición predeterminada son los factores de mayor importancia que inciden en la variable



respuesta en este caso se identificaron tres factores que tienen p – valor menor el nivel de significancia las cuales son dosis de moringa (mL) concentración de moringa (%), dosis de tara (MI) y la velocidad Alta (rpm).

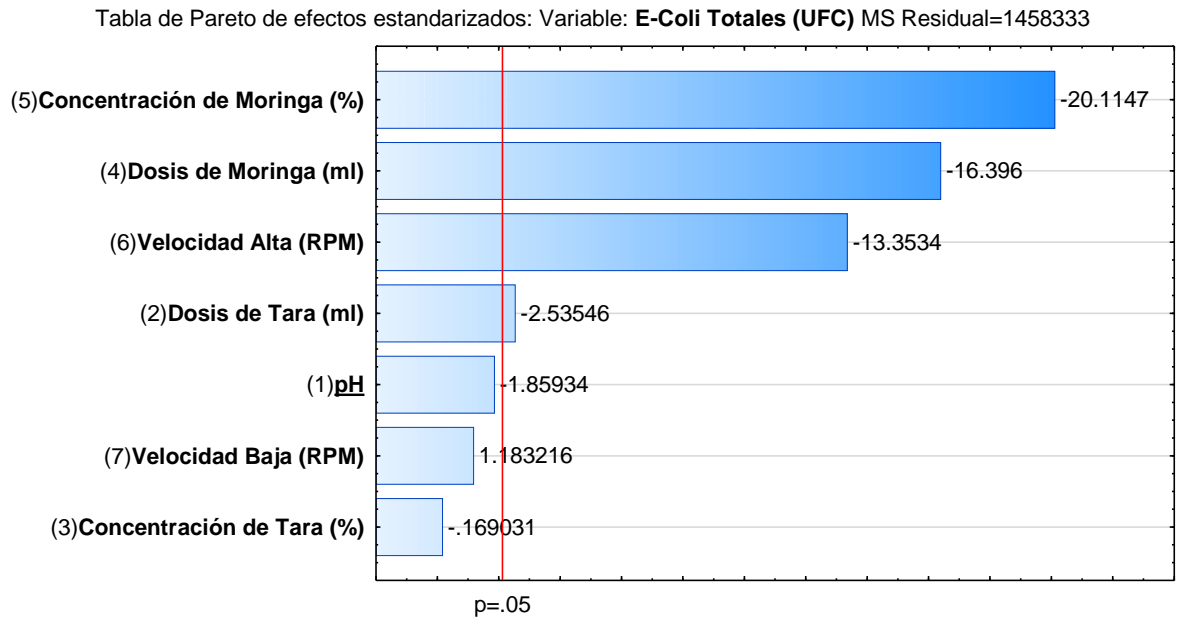
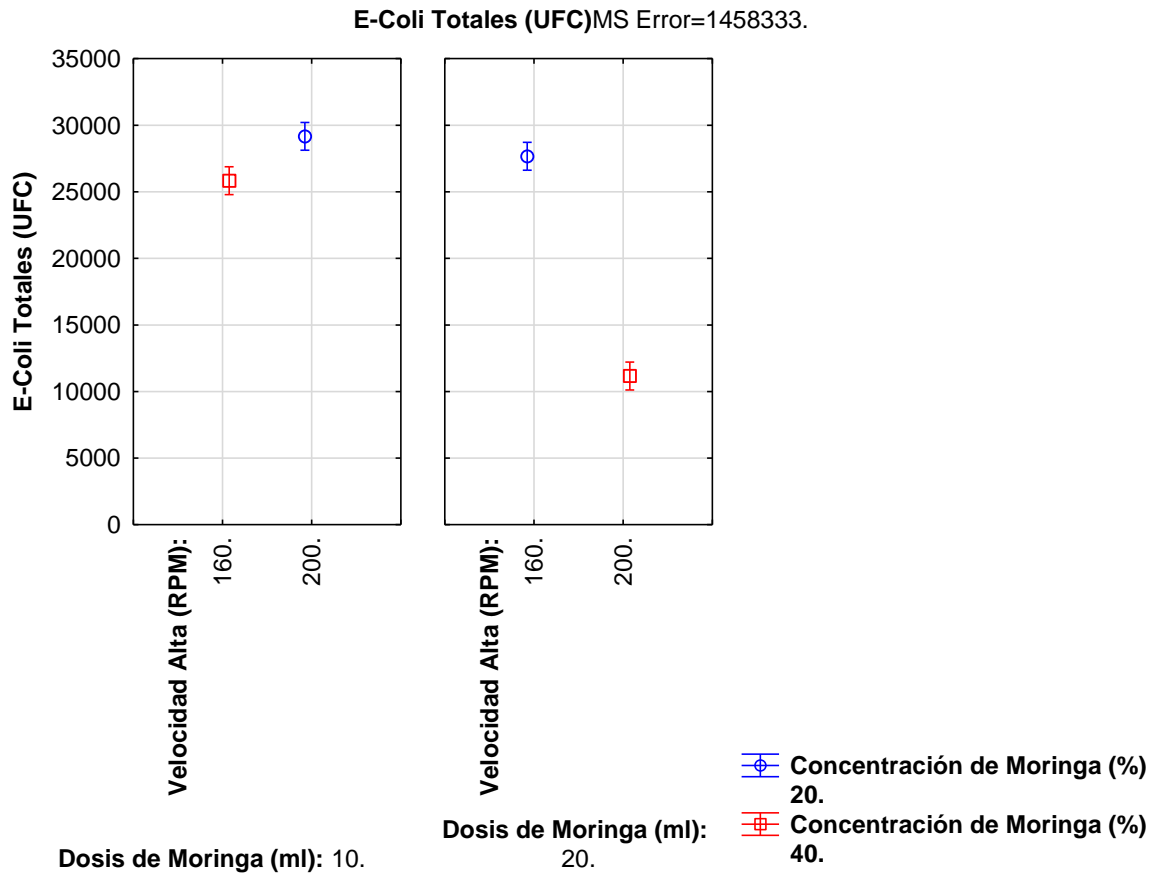


Figura 42. Diagrama de Pareto, para variable de respuesta coliformes totales

En la figura 42 se presenta el diagrama de Pareto, la cual muestra gráficamente los factores más importantes en la variable respuesta que en este caso la remoción de coliformes totales.



*Figura 43.* Interacción de factores (Velocidad alta, concentración de moringa, dosis de moringa) en la remoción de E-Coli totales

En la figura 43 se detalla las interacciones entre tres factores independientes (Velocidad alta, concentración de moringa, dosis de moringa) sobre los efectos que tiene en la remoción de coliformes totales mostrando que el resultado es a una condición donde la velocidad alta es a 200 rpm, la dosis de moringa es 20n mL , y la concentración de moringa es de 40%.

Según el figura 44 la interacción de estos tres factores mencionados a las condiciones que detallan, la remoción de variable respuesta es óptimo.

Superficie Ajustada; Variable: **E-Coli Totales (UFC)**  
7 Factor Screening Design; MS Residual=1458333.

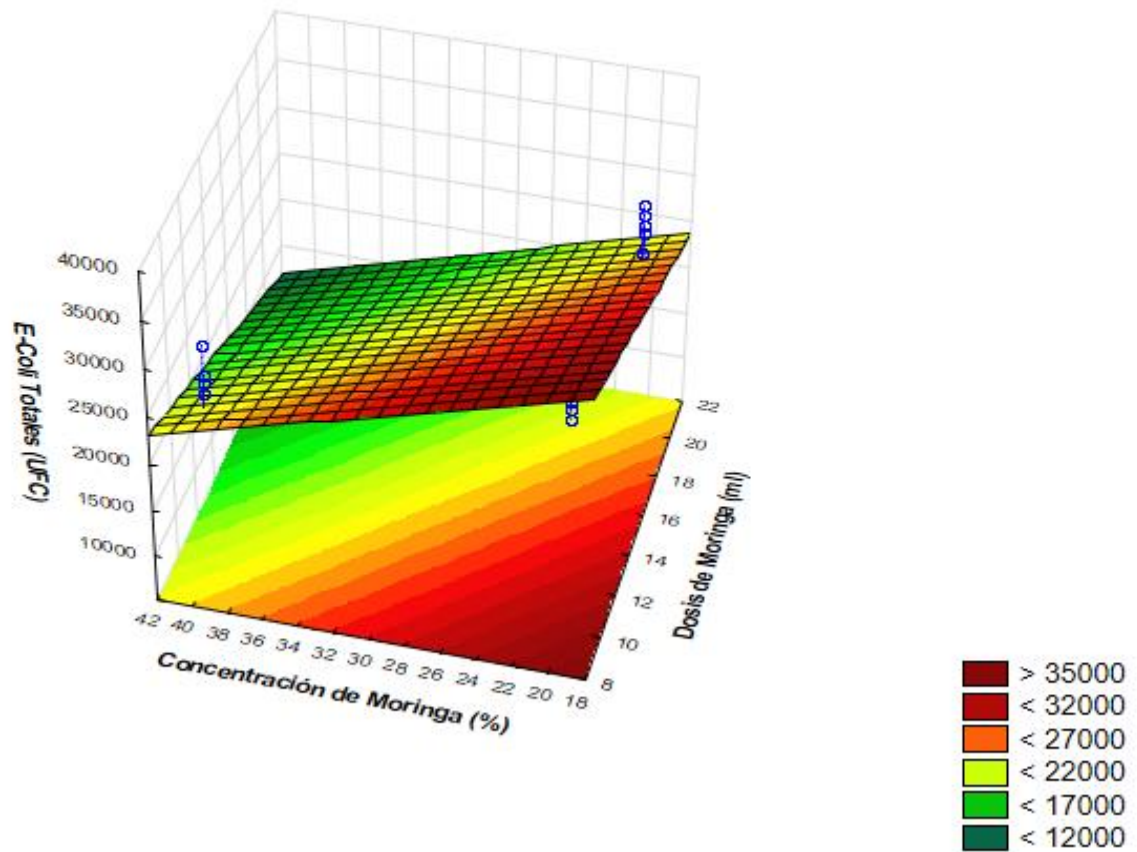


Figura 44. Superficie de respuesta de factores independientes (concentración de moringa, dosis de moringa con respecto a la remoción de coliforme totales

Ecuación 7. Modelo matemático de la concentración de moringa y dosis de moringa

$$UFC = 82092.59 - 808.33 * x - 495.833 * y - 31634.259$$

Donde

X= Concentración de moringa (%)

Y= Dosis de moringa (mL)

En la figura 44 se presenta la superficie de respuesta en tres dimensiones, esta Figura presenta un pictograma de tipo semáforo donde el color verde representa mejor remoción de coliformes totales y el color rojo poca remoción de este patógeno, de igual forma este método tiene la ventaja de predecir resultados dando un modelo matemático con el cual se podría predecir la variables independientes a partir de ciertos valores que se presentan el modelo matemático.

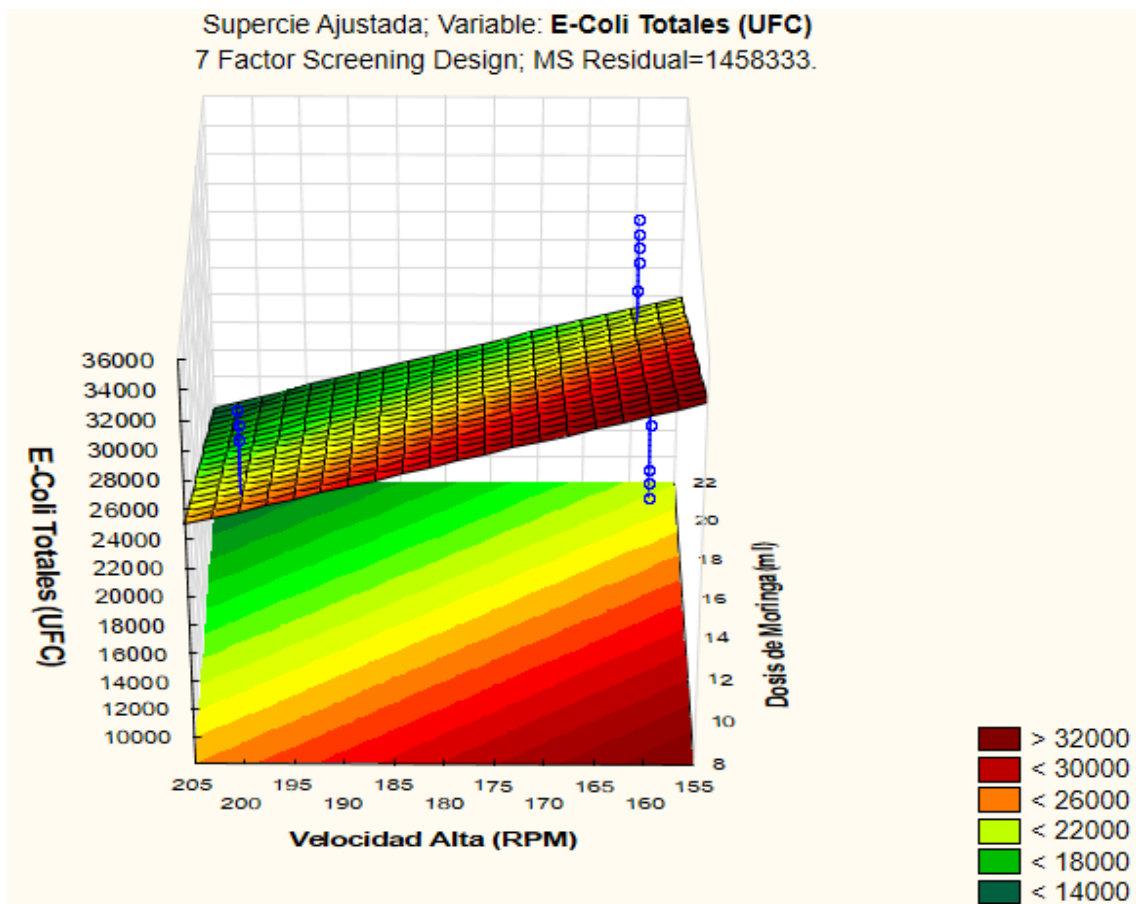


Figura 45. Superficie de respuesta de factores independientes, velocidad alta, volumen de dosis de moringa con respecto a la remoción de coliformes totales.

*Ecuación 8.* Modelo matemático de la interacción de Velocidad alta y dosis de moringa.

$$UFC = 82092.59 - 808.33 * x - 164.58 * y - 16884.259$$

Donde

X= velocidad alta

Y = Dosis de Moringa

$$Efi. \text{ remoción } E.coli = \frac{E.coli \text{ Inicial (UFC/100ml)} - E.coli \text{ Final (UFC/100ml)}}{E.coli \text{ inicial (UFC/100ml)}} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{62000 - 1000}{1000} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 98.39$$

En diagrama de pareto (figura 42) y ANOVA (tabla 21) se identificaron 4 variables significativos además los gráficos de predicción señalan que la óptima remoción de coliformes totales se da en altas concentraciones de moringa y altos dosis de moringa a una velocidad de mezcla rápida.

En los estudios desarrollados por Galvez, Noratto, Chambi, Debaste, y Campos, (2014) sobre potencial de la tara como compuesto antimicrobiano descubrieron que el compuesto químico que tiene efecto en la disminución de microorganismos Gram negativo es el galotanino que es un polifenol; en esta investigación se usó goma de tara libre (ver

anexo 11) de esta sustancia por ello su efecto en la remoción de coliformes totales es lineal.

En los estudios desarrollados por Anizi, Hellyer y Zhang (2014) menciona que velocidad de agitación incrementa la dilución de los polímeros en el agua, en la pruebas desarrolladas por With y Powder, (2011) la velocidad de agitación fue de 100 a 200 rpm durante 15 minutos para la remoción de microorganismos con una eficiencia de remoción de 78%.

Martin et al (2013) menciona que la capacidad antimicrobiana de la moringa oleífera se debe gracias a una proteína, el 4-(4'-O-acetil $\alpha$ -L-ramnopiranosiloxi)-isotiocionato de bencilo, el cual tiene una acción bactericida sobre varias especies patógenas, básicamente la acción consiste en la depuración de la membrana celular por inhibición enzimática

En su estudio de Landázuri et al., (2018) logro disminuir en promedio  $89.7 \pm 2.4\%$  de microorganismos. Asimismo afirma que la concentración de E. coli disminuye a medida que se aumenta la dosis y cantidad de moringa oleífera. Por otro lado, (Vunain, Masoamphambe, Mpeketula, Monjerezi, & Etale, 2019) identifica la dosis óptima de moringa oleífera siendo 15 g/L. También menciona que a 5 g/L, el número de microorganismo disminuye, más tarde (240 min) revertiéndose, aumentando la presencia de microorganismos, y a una dosis de 50 g/L el número de microorganismo sube, más tarde (60min) disminuye con el asentamiento.

#### 4.1.2. Diseño Box Behnken

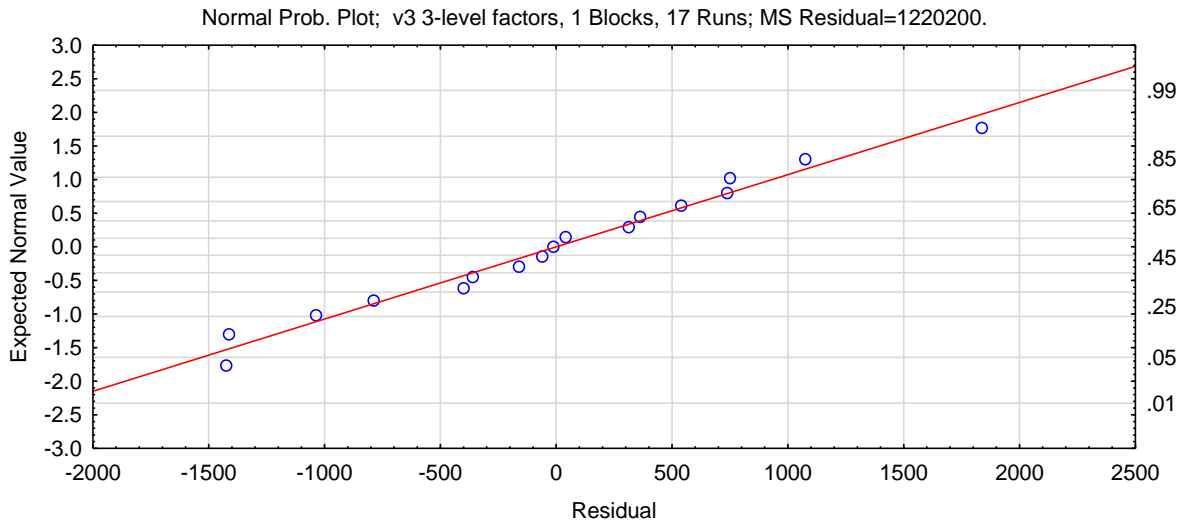
Para segunda etapa de la experimentación se usó dos diseños (Box Behnken y superficie de respuesta)

Tabla 22

*Resultados del diseño de Box Behnken para E-Coli Totales*

Código de muestra	Concentración de moringa (%)	V. Dosis de Moringa (ml)	Velocidad alta (RPM)	E - Coli Totales (UFC)
Rrim 1	40	23	160	8500
Rrim 2	50	23	160	2500
Rrim 3	40	23	250	6500
Rrim 4	50	23	250	1200
Rrim 5	40	20	200	10000
Rrim 6	50	20	200	4600
Rrim 7	40	26	200	4000
Rrim 8	50	26	200	800
Rrim 9	45	20	160	9000
Rrim 10	45	20	250	4500
Rrim 11	45	26	160	7000
Rrim 12	45	26	250	900
Rrim 13	45	23	200	1800
Rrim 14	45	23	200	2200
Rrim 15	45	23	200	2000
Rrim 16	45	23	200	2100
Rrim 17	45	23	200	2700

En la tabla 22 se detalla las combinaciones de los niveles para la segunda etapa de optimización de procesos, donde cada factor interactúa a diferentes niveles y condiciones.



*Figura 46.* Prueba de normal en función a residual - Box Behnken de los datos de remoción de coliformes totales.

Los datos de remoción coliformes totales de la segunda etapa del diseño de experimentos se sometieron a una prueba de normalidad para saber si estos datos siguen una distribución normal y de acuerdo a Montgomery, (2009) se puede hacer esta prueba graficando un histograma de los residuales, además detalla que esta grafica tiene una característica particular ya que los puntos deben estar cerca a la normal, como se muestra en la figura 46.



Tabla 23.

*ANOVA, en el cual se detallan las varianzas de los datos de remoción de coliformes totales.*

(\*) Significativo  $p < 0.05$  y efecto significativo, L= lineal, Q= cuadrático

FACTORES	SS	df	MS	F	p
(1) Concentración de moringa (%) (L)	49501250	1	49501250	6187.656	0.000000*
Concentración de moringa (%) (Q)	5739184	1	5739184	717.398	0.000012*
(2) Velocidad alta (RPM) (L)	24151250	1	24151250	3018.906	0.000001*
Velocidad alta (RPM) (Q)	11707605	1	11707605	1463.451	0.000003*
(3) Dosis de Moringa (ml) (L)	29645000	1	29645000	3705.625	0.000000*
Dosis de Moringa (ml) (Q)	14293921	1	14293921	1786.740	0.000002*
1L by 2L	122500	1	122500	15.313	0.017348*
1L by 3L	1210000	1	1210000	151.250	0.000251*
2L by 3L	640000	1	640000	80.000	0.000864*
Falta de ajuste (Lack of Fit)	9777500	3	3259167	407.396	0.000020*
Pure Error	32000	4	8000		
Total SS	150381176	16			
R <sup>2</sup>	0.93				
R <sup>2</sup> Adj	0.85				

En la tabla 23 se muestra el análisis de varianza de los datos de remoción de coliformes donde se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ )=0.93 y coeficiente de determinación ajustado (R-adj)= 0.85 a 95% de nivel de confianza, se identifican los factores más significativos en la variable respuesta (Remoción de coliformes Totales). En este caso todos los factores lineales y cuadráticos y sus interacciones son significativos.

En este caso particular la falta de ajuste es significativo por ello el modelo no es predictivo es por ello que se determinó la regresión del modelo.

Para que el ajuste del modelo sea considerado predictivo en la regresión, el F calculado debe ser mayor que el F tabulado. Según Bruns et al. (2003) indica que un modelo predictivo es cuando el F calculado de la regresión en relación a los residuos sea al menos 3 veces mayor que el F tabulado , indicando que la variación es explicada por la regresión del modelo y no por los residuos.

Tabla 24

*Prueba de Fisher para la regresión del modelo*

	SS	GL	SQ	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabulado}}$	$F^*$
Regresión	137,0107	9,0	15,22341228	10,8633351	3,29	3,30192557
Error residual	9,8095	7,0	1,401357143			

La tabla 24 muestra la prueba de Fisher, donde  $F_{\text{calculado}}$  es 3 veces mayor que el  $f_{\text{tabulado}}$ , indicando que el ajuste de la regresión del modelo es predictivo

Pareto Chart of Standardized Effects; Variable: **E - Coli Totales (UFC)** 3 3-level factors, 1 Blocks, 17 Runs; MS Residual=1220200.

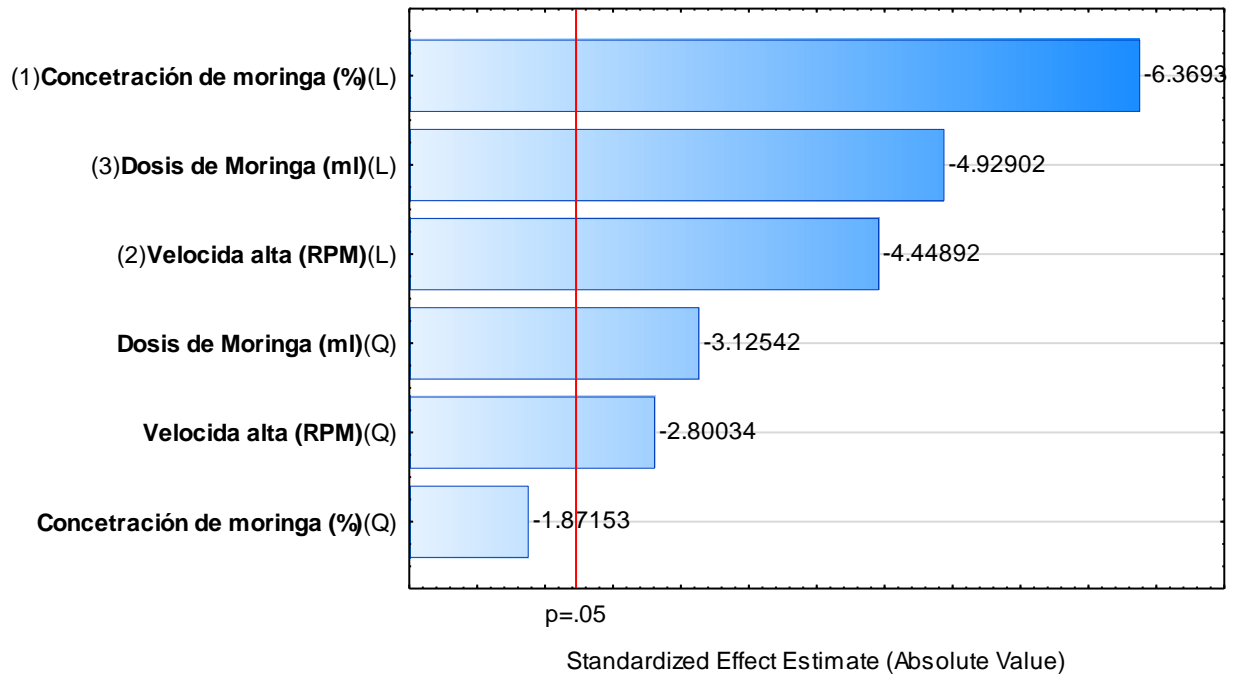
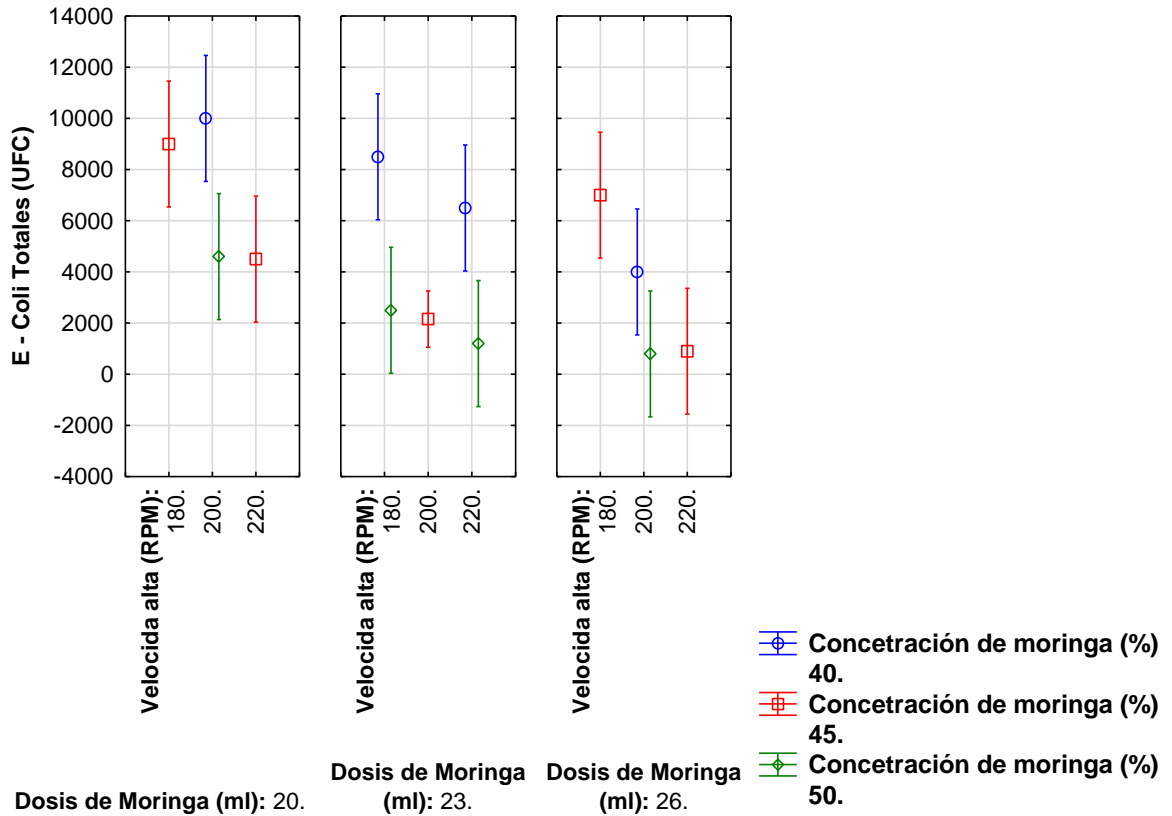


Figura 47. Diagrama de Pareto de Box Behnken remoción de coliformes totales

En la figura 47 se presenta el diagrama de Pareto, la cual muestra gráficamente los factores más importantes en la variable respuesta que en este caso de remoción de coliformes totales donde se detalla que el variable más significativo en la recocían de patógenos es la concentración de moringa linial , Dosis de Moringa linial , Velocidad alta linial dosis de moringa cuadratico, velocidad alta cuadratico.

La efectividad de la moringa oleifera a altas dosis en la remocion de coliformes totales se ratifica una vez mas en el diseño Box Behnken. Según Ali, Muyibi, Salleh, Alam, y Salleh, (2010) el incremento de la dosis esta directamente relacionado con la cantidad de concentracion de isotiocionato de bencilo el cual tiene una acción bactericida.

**E - Coli Totales (UFC)** Design: 3 3-level factors, 1 Blocks, 17 Runs  
 NOTE: Std.Errs. for means computed from MS Error=1220200.



*Figura 48.* Interacción de variables independientes en la remoción de coliformes totales – Box Behnken

En la figura 48 se detalla la interacción de tres variables independientes que se identificaron en la etapa uno del experimento. Esta interacción muestra gráficamente el comportamiento de cada uno de estos al someterse y combinarse, donde la interacción de dosis de moringa a 26 mL y velocidad de mezcla a 200 rpm y una concentración de moringa al 50 % hay una remoción óptima.

De igual forma sucede en la interacción de concentración de moringa al 45%, velocidad de mezcla de 220 rpm y dosis de moringa 26 ml hay una mejor remoción de patógenos en comparación de otras interacciones de variables independientes.

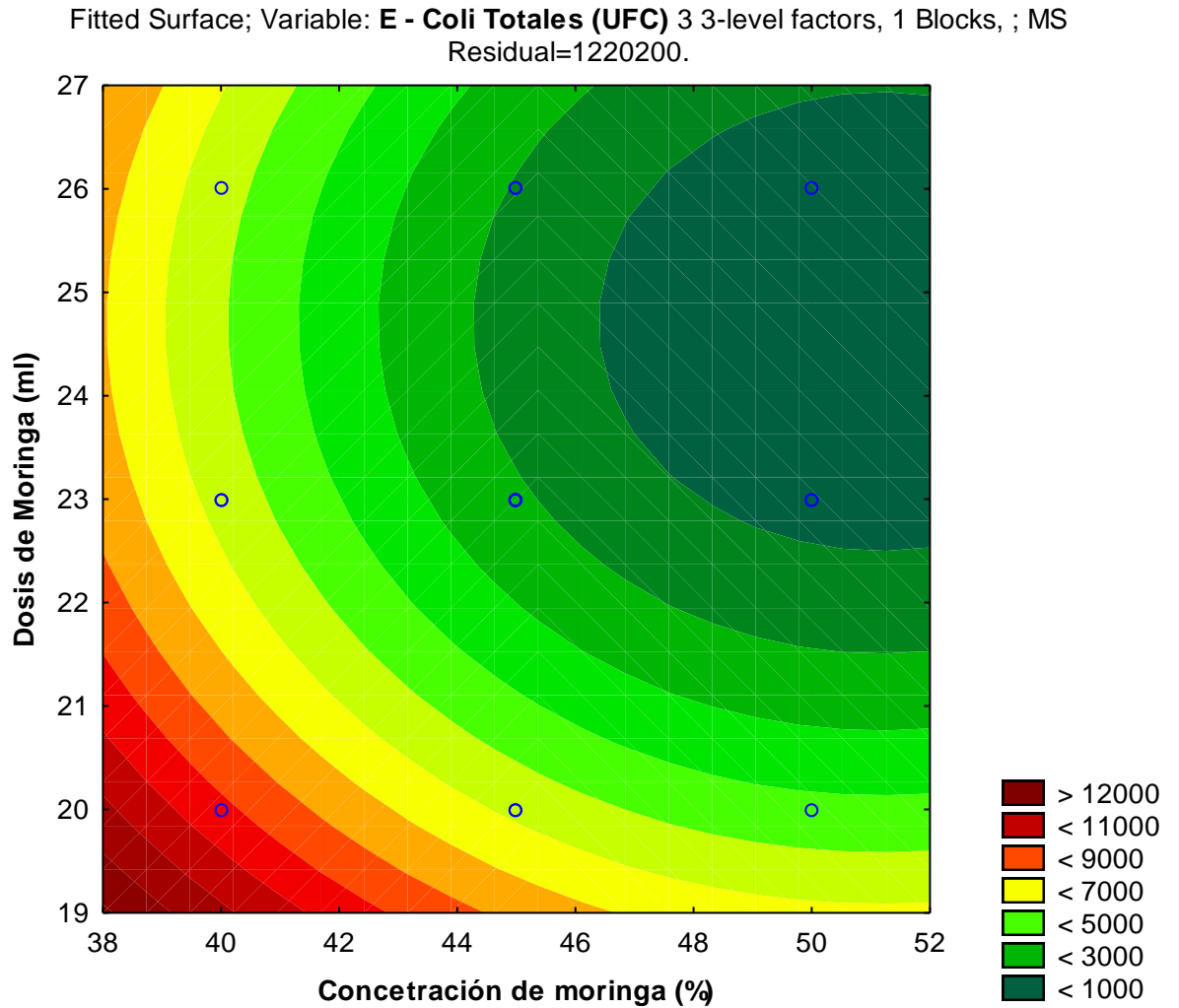
Tabla 25

*Datos de coeficientes de regresión para la construcción del modelo matemático*

Factor	Coefficiente de regresión	Std.Err. Pure Err	t (4)	p
Mean/ Interc	449.0097	8.462719	53.0574	0.000001*
(1) Concentración de moringa (%) (L)	-5.8938	0.193303	-30.4901	0.000007*
Concentración de moringa (%) (Q)	0.0467	0.001744	26.7843	0.000012*
(2) Velocidad alta (RPM) (L)	-1.6798	0.051004	-32.9346	0.000005*
Velocidad alta (RPM) (Q)	0.0042	0.000109	38.2551	0.000003*
(3) Dosis de Moringa (ml) (L)	-10.3756	0.299946	-34.5914	0.000004*
Dosis de Moringa (ml) (Q)	0.2047	0.004843	42.2698	0.000002*
1L by 2L	0.0017	0.000447	3.9131	0.017348*
1L by 3L	0.0367	0.002981	12.2984	0.000251*
2L by 3L	-0.0067	0.000745	-8.9443	0.000864*

(\*) Significativo  $p < 0.05$  y efecto significativo, L= lineal, Q= cuadrático

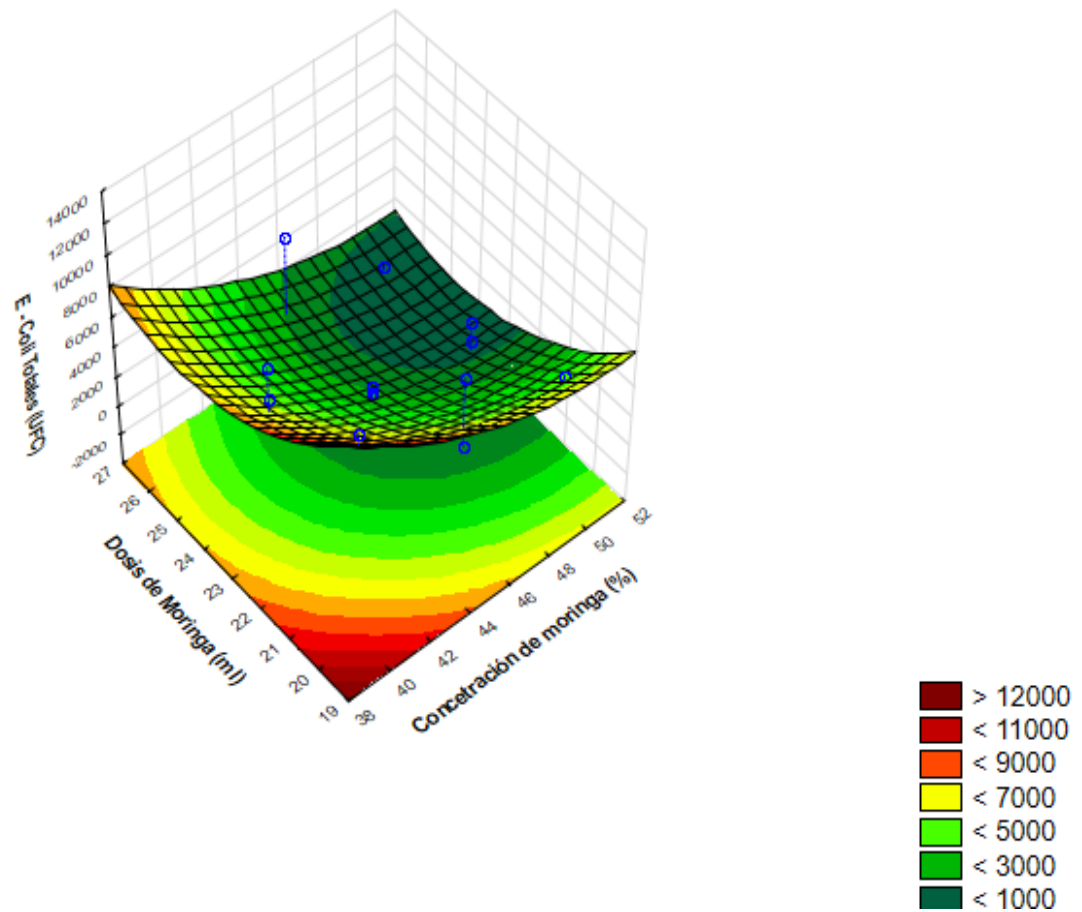
En la tabla 25 se detalla los valores de coeficiente de regresión para la construcción de los modelos matemáticos que son predictivos.



*Figura 49.* Superficie de contorno de la interacción de concentración de moringa y dosis de moringa

De acuerdo a la figura 49 hay mayor remoción de coliformes totales cuando las condiciones de dosis de moringa y concentración de moringa son las más elevadas. Esta superficie de contorno evalúa más valores donde se puede ver como se altera la variable respuesta al someterse a diferentes interacciones de las dos variables independientes que al interactuar dan resultados predictivos.

Fitted Surface; Variable: **E - Coli Totales (UFC)** 3 3-level factors, 1 Blocks, 17 Runs; MS Residual=1220200.



*Figura 50.* Superficie de respuesta de variables de dosis de moringa y concentración de moringa en la remoción de E. Coli totales,

En la figura 50 se presenta la superficie de respuesta en tres dimensiones, cada una de estas Figuras presenta un pictograma de tipo semáforo donde el color verde representa mejor remoción de patógenos y el color rojo poca remoción, de igual forma este método tiene la ventaja de predecir resultados dando un modelo matemático con el cual se podría pronosticar o modelar la variables de interés, a continuación se detalla el

modelo matemático a partir de los variables más significativas que interactúan, las cuales se identificaron en análisis de varianza (ANOVA), ver tabla 25.

*Ecuación 9.* Modelo matemático de la interacción de dosis de moringa y concentración de moringa

$$E - Coli = 387931.94 - 4124.50 * x + 40.30 * x^2 + 9241.11 * y + 186.94 * y^2 - 168125.$$

Donde

X= Dosis de moringa (L), X<sup>2</sup>= dosis de moringa (Q)

Y= concentración de moringa (L), Y<sup>2</sup> = concentración de moringa (Q)

En la ecuación 9 se detalla el modelo matemático de la superficie de respuesta

Fitted Surface; Variable: **E - Coli Totales (UFC)** 3 3-level factors, 1 Blocks, 17 Runs; MS Residual=1220200.

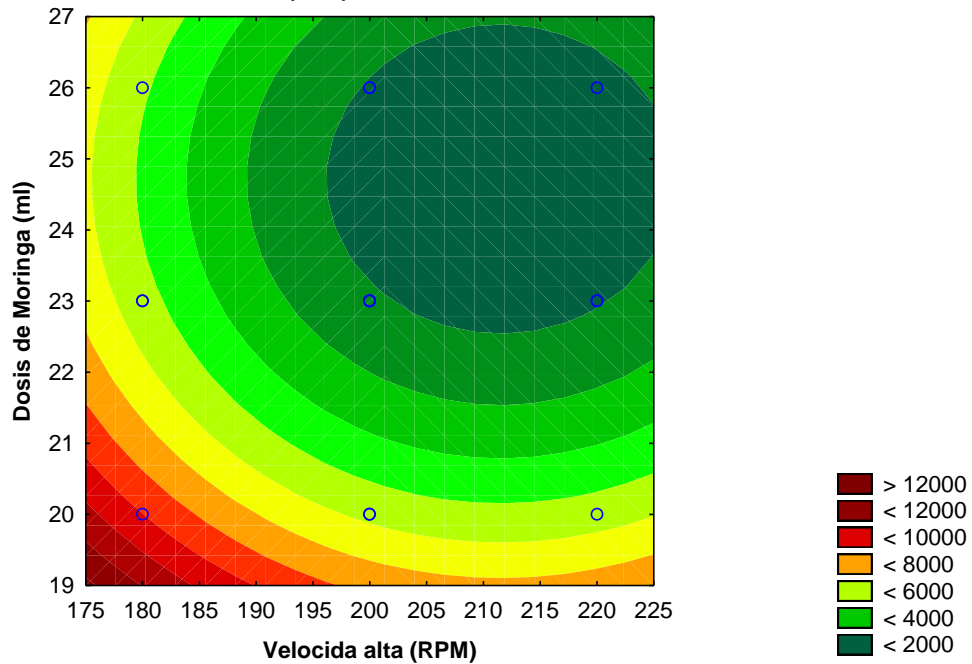


Figura 51. Superficie de respuesta de dosis de moringa y concentración de moringa



De acuerdo a la figura 51 una óptima remoción de patógenos se da en condiciones donde volumen de dosis de moringa es 26 mL y una mezcla rápida de 220 rpm.

Fitted Surface; Variable: **E - Coli Totales (UFC)** 3 3-level factors, 1 Blocks, 17 Runs; MS Residual=1220200.

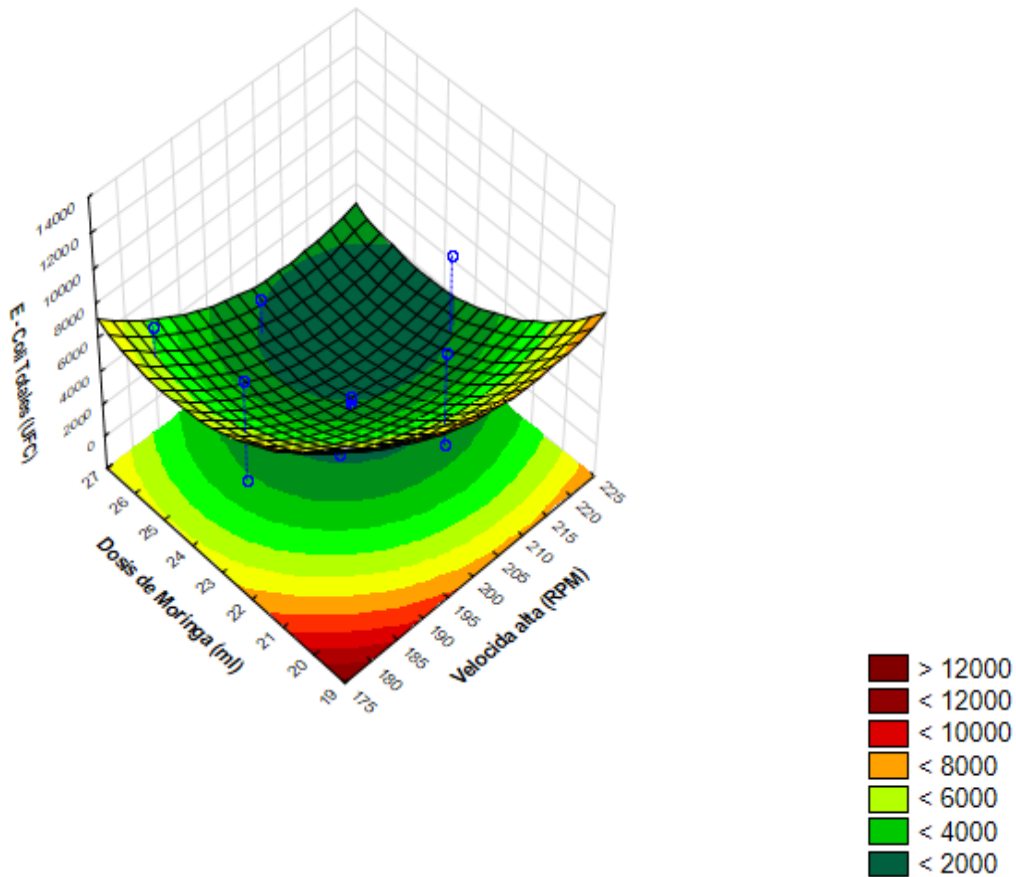


Figura 52. Superficie de respuesta de variables de dosis de moringa y velocidad alta en la remoción de E. Coli totales.

En la figura 52 se detalla la interacción de dosis de moringa con velocidad alta dando como resultado el modelo matemático que se presenta en la ecuación 10.

*Ecuación 10.* Modelo matemático de la interacción de dosis de moringa y velocidad baja

$$E - coli = 387931.94 - 1594.37 * x + 3.76 * x^2 - 9241.11 * y + 186.94 * y^2$$

Donde

X= Dosis de moringa (L), X<sup>2</sup>= dosis de moringa (Q)

Y= Velocidad alta (L), Y<sup>2</sup> = Velocidad alta (Q)

$$Efi. \text{ remoción } E. coli = \frac{E. coli \text{ Inicial (UFC/100ml)} - E. coli \text{ Final (UFC/100ml)}}{E. coli \text{ inicial (UFC/100ml)}} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{5600 - 800}{5600} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 98.57$$

En la segunda etapa del diseño experimental se obtuvo una eficiencia de remoción de 98.57 % incrementado en un 0.18. La efectividad de la remoción de coliformes según Camacho, Sousa, Bergamasco, y Teixeira, (2016), se da por que la moringa en su estructura presenta aceites, específicamente el isotiocionato de bencilo (4-O-acetil- $\alpha$ -L-ramnopiranosilox) por otro lado Kaur et al., (2019) menciona que inhibe grana cantidad de microorganismos en especial E. coli, S. aureus, S. typhi, MRSA.

Según Petersen et al., (2016) La efectividad de la moringa para inhibición microorganismo se da en un pH básico (8-10), por otro lado Villaseñor-basulto et al., (2018) afirma que hay factor significativo llamado glucomoringin (GMG) donde se detalla es efectivo para la eliminación de microorganismos.

En su estudio Landazuri, et al (2018) logro disminuir en promedio  $89.7 \pm 2.4\%$  de microorganismos. Asimismo afirma que la concentración de E. coli disminuye a medida que se aumenta la dosis y cantidad de moringa oleífera. Por otro lado, Vunanin (2018) identifica la dosis óptima de moringa oleífera siendo 15 g/L. También menciona que a 5 g/L, el número de microorganismo disminuye, más tarde (240 min) revertiéndose, aumentando la presencia de microorganismos, y a una dosis de 50 g/L el número de microorganismo sube, más tarde (60min) disminuye con el asentamiento.

Por lo tanto de acuerdo a nuestro estudio, aplicado una dosis alta de 20 a 40 g/L se logró una buena remoción de E. coli, siendo apoyado por los autores mencionados.

#### 4.1.3. Diseño compuesto central rotacional

Tabla 26

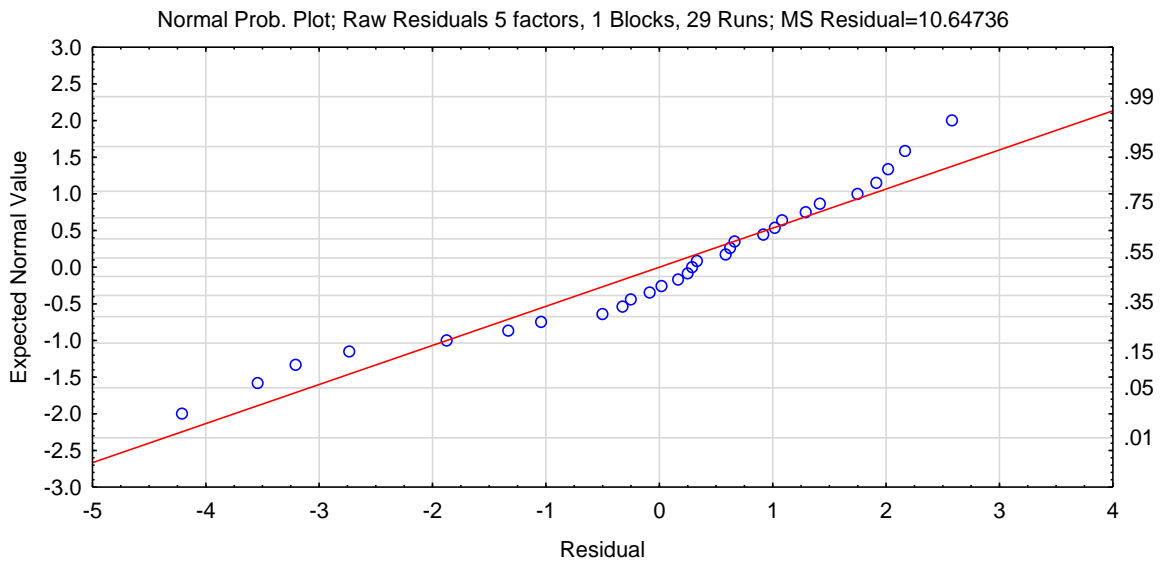
*Resultados de Superficie de respuesta DCCR para la turbiedad*

Código de muestra	Replica	Concentración de tara (%)	Dosis de tara (ml)	pH	Dosis de moringa (ml)	Velocidad baja (RPM)	Turbiedad (NTU)
Rim 1	1	0.2	6	5	22	30	22
Rim 2	1	0.2	6	5	26	20	20
Rim 3	1	0.2	6	7	22	20	20
Rim 4	1	0.2	6	7	26	30	18

Código de muestra	Replica	Concentración de tara (%)	Dosis de tara (ml)	pH	Dosis de moringa (ml)	Velocidad baja (RPM)	Turbiedad (NTU)
Rrim 5	1	0.2	10	5	22	20	22
Rrim 6	1	0.2	10	5	26	30	9
Rrim 7	1	0.2	10	7	22	30	17
Rrim 8	1	0.2	10	7	26	20	18
Rrim 9	1	0.4	6	5	22	20	14
Rrim 10	1	0.4	6	5	26	30	19
Rrim 11	1	0.4	6	7	22	30	22
Rrim 12	1	0.4	6	7	26	20	17
Rrim 13	1	0.4	10	5	22	30	19
Rrim 14	1	0.4	10	5	26	20	8
Rrim 15	1	0.4	10	7	22	20	15
Rrim 16	1	0.4	10	7	26	30	22
Rrim 17	1	0.1	8	6	24	25	23
Rrim 18	1	0.5	8	6	24	25	12
Rrim 19	1	0.3	5	6	24	25	16
Rrim 20	1	0.3	12	6	24	25	9
Rrim 21	1	0.3	8	4	24	25	11
Rrim 22	1	0.3	8	8	24	25	15
Rrim 23	1	0.3	8	6	20	25	13
Rrim 24	1	0.3	8	6	28	25	14
Rrim 25	1	0.3	8	6	24	15	10
Rrim 26	1	0.3	8	6	24	35	15
Rrim 27	1	0.3	8	6	24	25	12
Rrim 28	1	0.3	8	6	24	25	13
Rrim 29	1	0.3	8	6	24	25	11

En la tabla 26 se detalla las combinaciones de los niveles para la segunda etapa de optimización de procesos, donde cada factor interactúa a diferentes niveles o condiciones.

Para la confiabilidad del análisis de los datos se hizo una prueba de normalidad que se detallan en la figura 53.



*Figura 53.* Prueba de normal en función a residual – Superficie de respuesta de los datos de remoción de turbiedad. Los datos analizados cumplen con el supuesto de normalidad ya que la nube de datos está pegado a la diagonal.

Tabla 27

*ANOVA de los factores en la remoción de turbiedad*

Factores	SS	df	MS	F	p
(1) Concentración de tara (%) (L)	42.6667	1	42.6667	42.6667	0.022644*
Concentración de tara (%) (Q)	104.0995	1	104.0995	104.0995	0.009470*
(2) Dosis de tara (ml)(L)	64.8612	1	64.8612	64.8612	0.015070*
Dosis de tara (ml)(Q)	23.6666	1	23.6666	23.6666	0.039751*
(3) pH (L)	24.0000	1	24.0000	24.0000	0.039231*
pH (Q)	20.7558	1	20.7558	20.7558	0.044955*
(4) Dosis de moringa (ml) (L)	13.5000	1	13.5000	13.5000	0.066743
Dosis de moringa (ml) (Q)	26.8666	1	26.8666	26.8666	0.035264*
(5) Velocidad baja (RPM) (L)	24.0000	1	24.0000	24.0000	0.039231*
Velocidad baja (RPM) (Q)	15.4323	1	15.4323	15.4323	0.059112
1L by 2L	2.2500	1	2.2500	2.2500	0.272393
1L by 3L	16.0000	1	16.0000	16.0000	0.057191
1L by 4L	9.0000	1	9.0000	9.0000	0.095466
1L by 5L	110.2500	1	110.2500	110.2500	0.008949*
2L by 3L	9.0000	1	9.0000	9.0000	0.095466
2L by 4L	9.0000	1	9.0000	9.0000	0.095466
2L by 5L	2.2500	1	2.2500	2.2500	0.272393
3L by 4L	30.2500	1	30.2500	30.2500	0.031504
3L by 5L	1.0000	1	1.0000	1.0000	0.422650
4L by 5L	1.0000	1	1.0000	1.0000	1.000000
Falta de ajuste (Lack of Fit)	81.1713	6	13.5285	13.5285	0.070419
Pure Error	2.0000	2	1.0000		
Total SS	559.7931	28			

R <sup>2</sup>	0.85
R <sup>2</sup> Adj	0.84

(\*) Significativo  $p < 0.05$  y efecto significativo, L= lineal, Q= cuadrático

En la tabla 27 se muestra el análisis de varianza de los datos de remoción de turbiedad donde se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ )=0.85 y coeficiente de determinación ajustado (R-adj)= 0.84 a 95% de nivel de confianza, se identifican los factores más significativos en la variable respuesta (remoción de turbiedad). Concentración de tara (%) (L), Concentración de tara (%) (Q), Dosis de tara (mL) (L), Dosis de tara (mL) (Q), pH (L) y (Q), Dosis de moringa (ml) (Q), Velocidad baja (rpm) (L) y por último la iteración de concentración de tara y velocidad baja.

En este caso particular la falta de ajuste no es significativo por ello el modelo si es predictivo.

Tabla 28.

*Coeficiente de regresión de los datos de turbiedad para la construcción de modelo matemático*

Factor	Coeficiente de regresión	Std.Err. Pure Err	t (4)	p
Mean/ Interc	310.9176	45.65009	6.81089	0.020884*
(1) Concentración de tara (%) (L)	-23.6191	39.09339	-0.60417	0.607136
Concentración de tara (%) (Q)	-25.5654	19.92185	-1.28329	0.328005
(2) Dosis de tara (ml)(L)	-16.5008	2.07160	-7.96523	0.015399*
Dosis de tara (ml)(Q)	0.2813	0.05915	4.75612	0.041476*
(3) pH (L)	-13.8071	4.22868	-3.26512	0.082376
pH (Q)	0.8693	0.19922	4.36378	0.048709*

Factor	Coefficiente de regresión	Std.Err. Pure Err	t (4)	p
(4) Dosis de moringa (ml) (L)	-18.1821	2.65880	-6.83847	0.020721*
Dosis de moringa (ml) (Q)	0.2486	0.04980	4.99123	0.037875*
(5) Velocidad baja (RPM) (L)	1.4905	0.82032	1.81695	0.210864
Velocidad baja (RPM) (Q)	0.0448	0.00797	5.61868	0.030246*
1L by 2L	2.8125	1.25000	2.25000	0.153351
1L by 3L	-10.6250	2.50000	-4.25000	0.051153
1L by 4L	2.8125	1.25000	2.25000	0.153351
1L by 5L	1.1250	0.50000	2.25000	0.153351
2L by 3L	0.4687	0.12500	3.75000	0.064326
2L by 4L	0.3281	0.06250	5.25000	0.034419*
2L by 5L	-0.0188	0.02500	-0.75000	0.531479
3L by 4L	0.5938	0.12500	4.75000	0.041577*
3L by 5L	-0.3625	0.05000	-7.25000	0.018499*
4L by 5L	-0.0437	0.02500	-1.75000	0.222222

(\*) Significativo  $p < 0.05$  y efecto significativo, L= lineal, Q= cuadrático

En la tabla 28 se detalla los valores de coeficiente de regresión para la construcción de los modelos matemáticos que son predictivos.



Tabla de Pareto de Efectos Estandarizados; Variable: **Turbiedad (NTU)** 5 factors, 1 Blocks, 29 Runs; MS Pure Error=1.

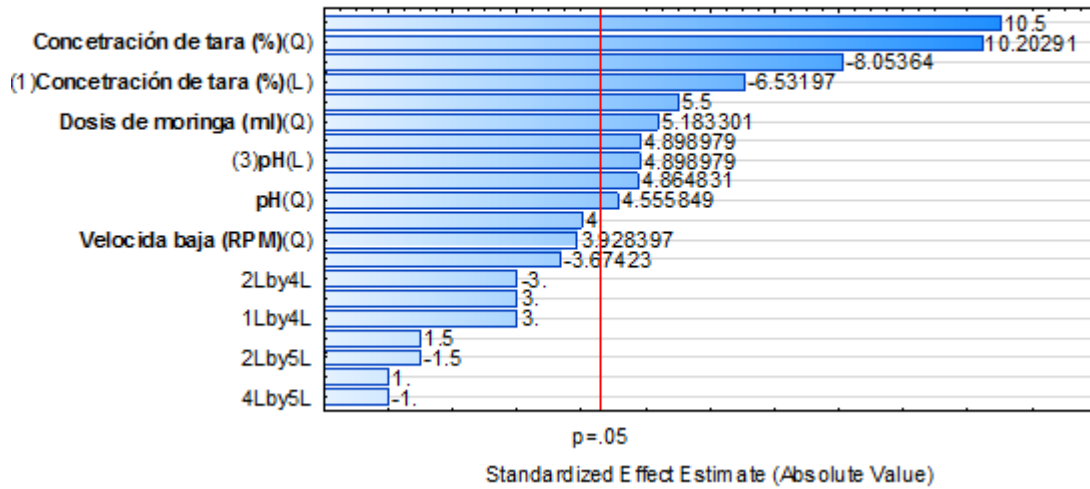


Figura 54. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos en la remoción de turbiedad.

En el diagrama de Pareto se detalla gráficamente los variables más significativos.

Fitted Surface; Variable: **Turbiedad (NTU)** 5 factors, 1 Blocks, 29 Runs; MS Pure Error=1.

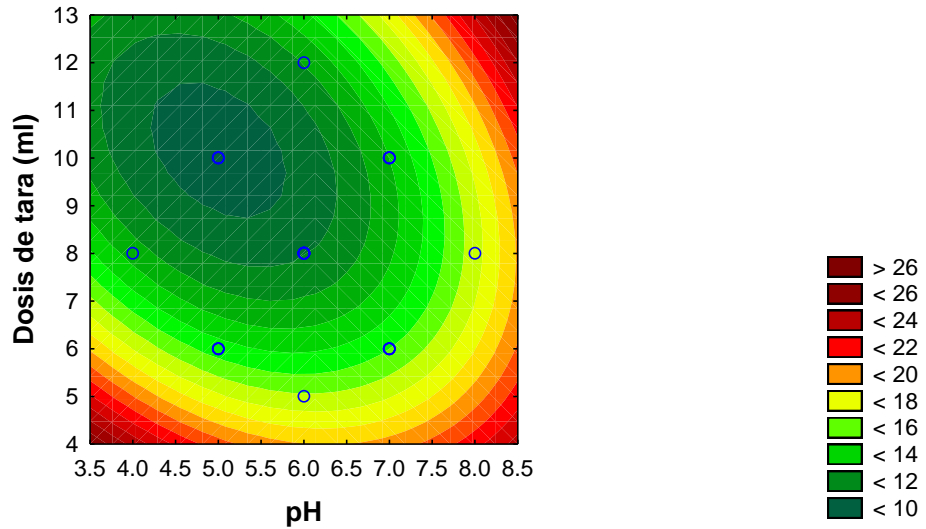


Figura 55. Gráfica de contorno de turbiedad a concentración de tara y pH

En la figura 55 se detalla las interacciones entre dos variables independientes con respecto a la remoción de turbiedad donde detalla que a menor pH y concentraciones

mínimas de tara hay una mejor efectividad en la remoción de turbiedad. A continuación se presenta el modelo matemático.

*Ecuación 11.* Modelo matemático de la interacción de pH y concentración de tara – superficie de respuesta

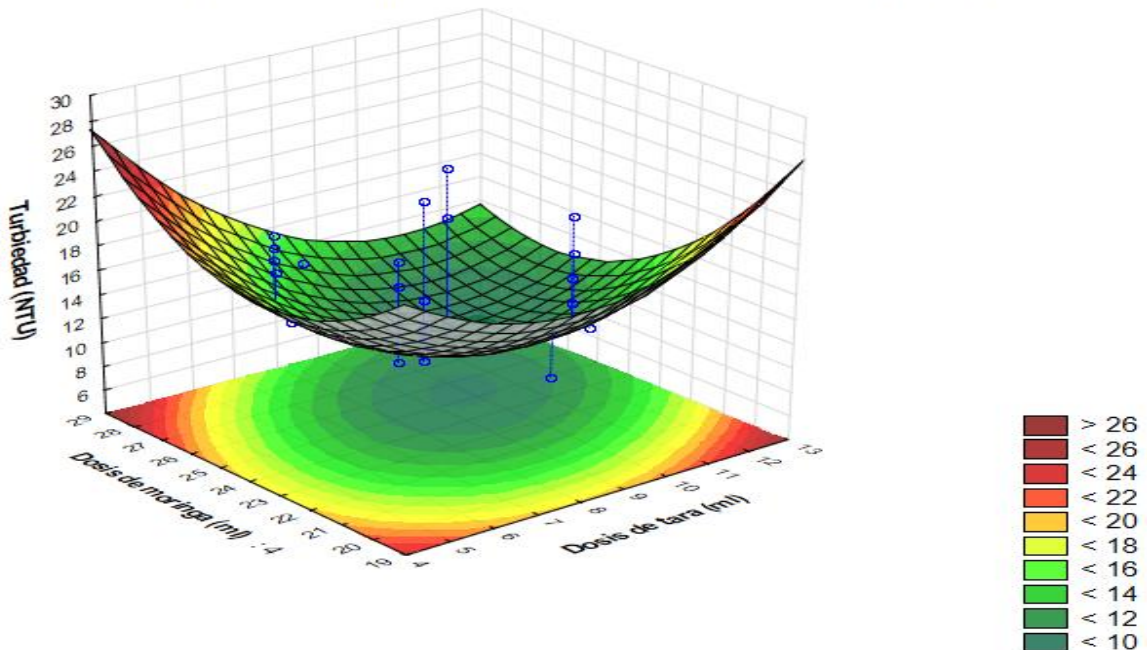
$$NTU = 310.91 - 23.61 * x - 25.56 * x^2 - 13.80 * y + .86 * y^2 + 2.81$$

Donde

X= Dosis de tara (L), X<sup>2</sup>= dosis de tara (Q)

Y= pH (L), Y<sup>2</sup>= pH (Q)

Fitted Surface; Variable: **Turbiedad (NTU)** 5 factors, 1 Blocks, 29 Runs; MS Pure Error=1.



*Figura 56.* Superficie de respuesta de las interacciones concentración de tara y dosis de moringa

En la figura 56 se detalla las interacciones entre dos variables independientes con respecto a la remoción de turbiedad donde detalla que a menor concentración de tara y un incremento leve de dosis de tara hay una mejor efectividad en la remoción de turbiedad. A continuación se presenta el modelo matemático reducido a partir de los coeficientes de regresion significativos.

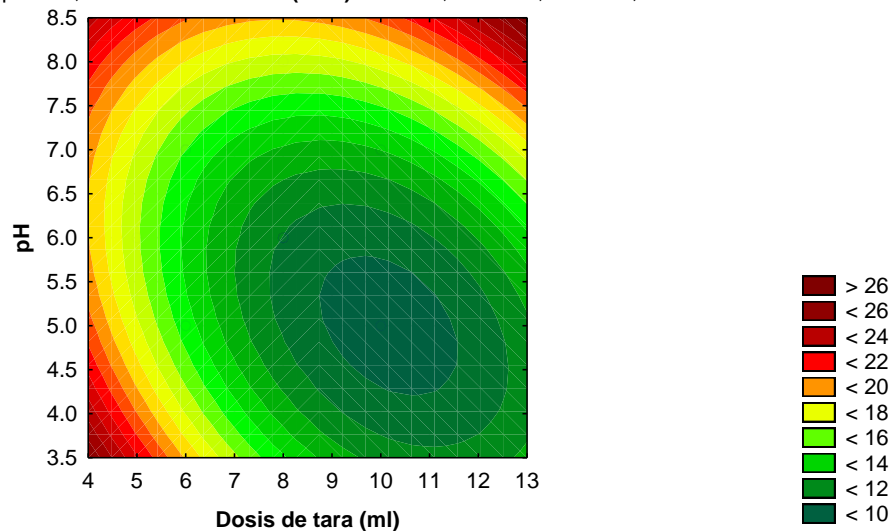
*Ecuación 12.* Modelo matemático de la interacción de dosis de tara y concentración de tara

$$NTU = 310.917 - 23.61 * y - 25.56 * y^2 - 16.50 * x + .28 * x^2 + 2.81$$

Donde X= Dosis de moringa (L), X<sup>2</sup>= dosis de moringa (Q)

Y= Dosis de tara (L), Y<sup>2</sup>= Dosis de tara (Q)

Superficie de respuesta ; Variable: **Turbiedad (NTU)** 5 factors, 1 Blocks, 29 Runs; MS Pure Error=1.



*Figura 57.* Gráfica de contorno de turbiedad a concentración de tara y dosis de moringa

Turbiedad (NTU) 5 factors, 1 Blocks, 29 Runs; MS Pure Error=1.

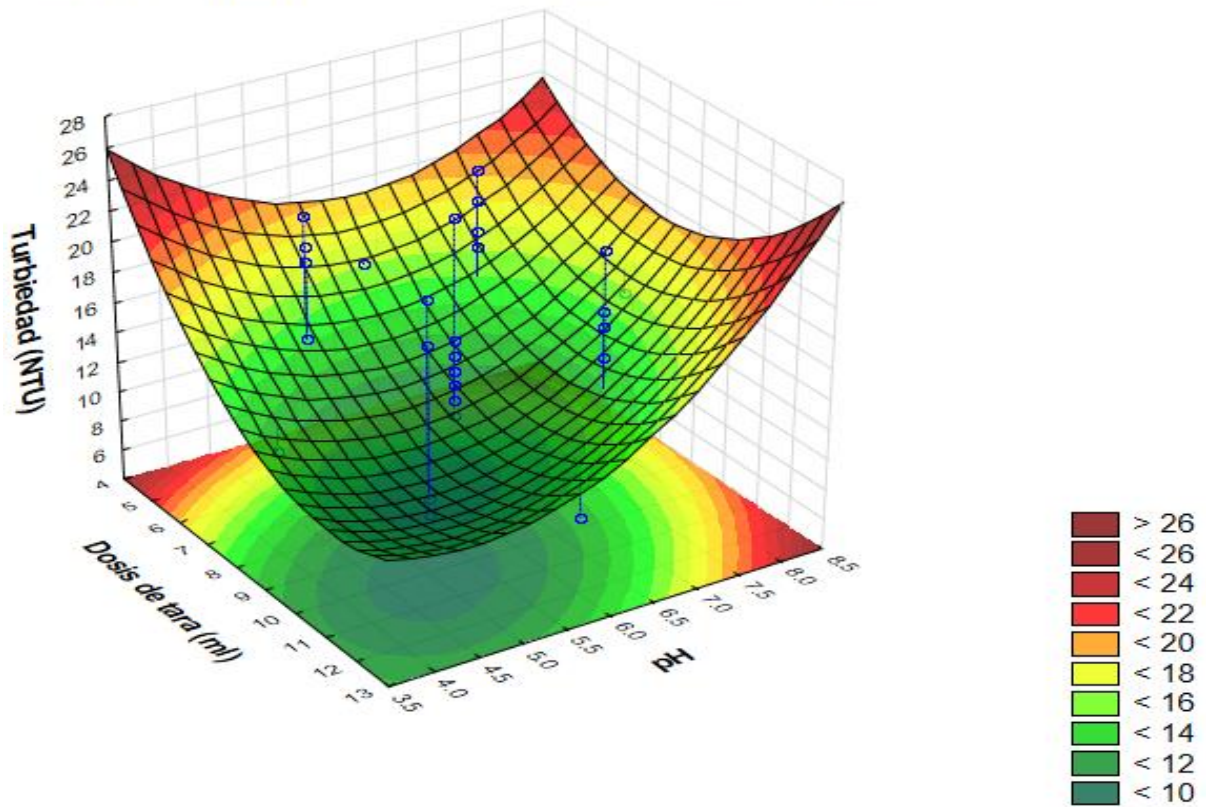


Figura 58. Superficie de respuesta de turbiedad, dosis de tara y pH.

En la figura 58 se detalla las interacciones entre dos variables independientes con respecto a la remoción de turbiedad donde detalla que a menor concentración de tara y la disminución de la velocidad de mezcla hay una mejor efectividad en la remoción de turbiedad. A continuación se presenta el modelo de segundo orden generados los los coeficientes significativos.

Ecuación 13. Modelo matemático de la interacción de velocidad baja y concentración de tara

$$NTU = 310.91 - 23.61 * y - 25.56 * y^2 + 1.49 * x + .044 * x^2 + 2.81$$

Donde

X= Dosis de tara (L), X<sup>2</sup>= dosis de tara (Q)

Y= pH (L), Y<sup>2</sup> = pHQ)

$$Eficiencia = \frac{Turbidez Inicial (NTU) - Turbidez Final (NTU)}{Turbidez Inicial (NTU)} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{500 - 4}{500} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 99.20$$

En la remocion de turbiedad para el Diseño Compuesto Central Rotacional hubo una eficiencia de 99.20% siendo los variables mas significativos la concentracion de tara, dosis de tara velocidad de mezcla lenta y el pH. En este caso el incremento de la eficiencia se debe a que se trabajo con niveles de pH bajo y velocidades de mezclas lentas lo que recomendaba Saranya, (2017) por lado Galvez et al., (2014) meciona que al disminuir el pH los biopolimeros son mas efectivos y tienden a mejorar la remocion de coloides, según Tapia, Mamani, Rojas, y Yarango, (2010) la goma de tara tiene un efecto de neutralizar medios acidos ya que actua como una solucion buffer.

Según Túnez, Galván, y Fernández, (2011) en su investigación mencionan que las proteínas o polisacáridos son electrolitos anfóteros, Permitiendo que los polisacáridos cedan protones en un medio ácido cargándolo positivamente hasta llegar a un equilibrio

o un pH neutro, de la misma manera sucede en un medio básico pero con carga negativa. Generalmente provienen de una mezcla de un ácido débil y una base conjugada interviniendo así en la transferencia de protones, es decir, un ácido es una especie química que tiene la capacidad de transferir protones y una base es la especie capaz de recibirlos (Bustamante, Mayely, Ayala, y Casas, 2009).

Modelos predictivo para las variables de respuesta de turbiedad y coliformes totales

Tabla 29

*Calculo del modelo predictivo para la remociones turbiedad*

Factores	Regress	Value	Coeff.*
Constant	310,9176		
(1)Concentración de tara (%)(L)	-23,6191	0,2000	-4,724
Concentración de tara (%)(Q)	-25,5654	0,0400	-1,023
(2)Dosis de tara (mL)(L)	-16,5008	10,0000	-165,008
Dosis de tara (mL)(Q)	0,2813	100,0000	28,133
(3)pH(L)	-13,8071	5,0000	-69,036
pH(Q)	0,8693	25,0000	21,734
(4)Dosis de moringa (mL)(L)	-18,1821	22,0000	-400,007
Dosis de moringa (mL)(Q)	0,2486	484,0000	120,316
(5)Velocida baja (rpm)(L)	1,4905	20,0000	29,810
Velocida baja (rpm)(Q)	0,0448	400,0000	17,910
1L by 2L	2,8125	2,0000	5,625
1L by 3L	-10,6250	1,0000	-10,625
1L by 4L	2,8125	4,4000	12,375
1L by 5L	1,1250	4,0000	4,500
2L by 3L	0,4687	50,0000	23,437

2L by 4L	0,3281	220,0000	72,187
2L by 5L	-0,0188	200,0000	-3,750
3L by 4L	0,5938	110,0000	65,313
3L by 5L	-0,3625	100,0000	-36,250
4L by 5L	-0,0437	440,0000	-19,250
<b>Predicted turbidez (UNT)</b>			<b>2,585</b>
<b>Predictes remoción de turbidez (%)</b>			<b>99,483</b>
-95,% Conf.			-1,451
+95,% Conf.			6,620
-95,% Pred.			-3,315
+95,% Pred.			8,484

El análisis desarrollado en la tabla 29 detalla el cálculo del modelo predictivo que es construido a partir de la regresión, con la finalidad de predecir resultados de remoción de turbiedad de forma teórica sin la necesidad de ejecutar pruebas de laboratorio. Según los datos analizados el modelo predice que se podría llegar a remover hasta 2.58 UNT. Las gráficas lo podemos ver en el anexo 6.

Tabla 30

*Tabla de valores optimizados para turbidez*

Factores	Regress	Value	Coeff.*
Constant	310,9176		
(1)Concentración de tara (%)(L)	-23,6191	0,1700	-4,015
Concentración de tara (%)(Q)	-25,5654	0,0289	-0,739
(2)Dosis de tara (mL)(L)	-16,5008	10,2000	-168,308
Dosis de tara (mL)(Q)	0,2813	104,0400	29,270
(3)pH(L)	-13,8071	5,0000	-69,036
pH(Q)	0,8693	25,0000	21,734
(4)Dosis de moringa (mL)(L)	-18,1821	23,5000	-427,281

Dosis de moringa (mL)(Q)	0,2486	552,2500	137,282
(5)Velocidad baja (rpm)(L)	1,4905	19,9000	29,660
Velocidad baja (rpm)(Q)	0,0448	396,0100	17,731
1L by 2L	2,8125	1,7340	4,877
1L by 3L	-10,6250	0,8500	-9,031
1L by 4L	2,8125	3,9950	11,236
1L by 5L	1,1250	3,3830	3,806
2L by 3L	0,4687	51,0000	23,906
2L by 4L	0,3281	239,7000	78,652
2L by 5L	-0,0188	202,9800	-3,806
3L by 4L	0,5938	117,5000	69,766
3L by 5L	-0,3625	99,5000	-36,069
4L by 5L	-0,0437	467,6500	-20,460
<b>Predicted turbidez (UNT)</b>			<b>0,092</b>
<b>Predicted remoción de turbidez (%)</b>			<b>99,98</b>
-95,% Conf.			-3,943
+95,% Conf.			4,128
-95,% Pred.			-5,806
+95,% Pred.			5,991

El análisis desarrollado en la tabla 30 detalla el cálculo del modelo predictivo que es construido a partir valores optimizados, con la finalidad de predecir resultados de remoción de turbiedad de forma teórica. Según los datos analizados el modelo de optimización predice que se podría llegar a remover hasta 0.092 UNT.

Tabla 31

*Tabla Parámetros experimentales y optimizados*

Factores	Experimental	Optimizados
Concentración de tara (%)	0.2	0.17
Dosis de tara (mL)	10	10.2
pH	5	5,1
Dosis de moringa (mL)	22	23.5
(5)Velocidad baja (rpm)	20	19.9



En la tabla 31 se detalla los parámetros experimentales y optimizados, de acuerdo a los niveles que se detallan fueron generados el modelamiento predictivo

Tabla 32

*Tabla de comparación de cuantificación y remoción de turbidez entre datos experimentales y predictivos*

	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)
Experimental	4	99.20
Modelo	2.59	99.48
Optimizado	0.09	99.98

En la tabla 32 hay tres concentraciones de turbiedad donde el modelo predictivo de optimización tiene una eficiencia de remoción de 99.98%.

Tabla 33

*Tabla valores del modelo predictivo para remoción de coliformes totales*

Constante	449,0097		
(1)Concentración de moringa (%) (L)	-5,8938	50,00	-294,692
Concentración de moringa (%) (Q)	0,0467	2500,00	116,750
(2)Velocidad alta (rpm) (L)	-1,6798	200,00	-335,958
Velocidad alta (rpm) (Q)	0,0042	40000,00	166,750
(3)Dosis de Moringa (mL) (L)	-10,3756	26,00	-269,764
Dosis de Moringa (mL) (Q)	0,2047	676,00	138,392
1L by 2L	0,0017	10000,00	17,500
1L by 3L	0,0367	1300,00	47,667
2L by 3L	-0,0067	5200,00	-34,667
<b>Predicted E-coli T (UFC)</b>			<b>0,988</b>
<b>Predicted remoción de E-coli T (%)</b>			<b>98,29</b>

-95,% Conf.	0,772
+95,% Conf.	1,203
-95,% Pred.	0,659
+95,% Pred.	1,316

El análisis desarrollado en la tabla 33 detalla el cálculo del modelo predictivo que es construido a partir de la regresión, con la finalidad de predecir resultados de remoción de coliformes totales de forma teórica sin la necesidad de ejecutar pruebas de laboratorio. Según los datos analizados el modelo predice que se podría llegar a remover hasta 98.29% ufc.

Tabla 34

*Tabla valores optimizados de E-Coli*

Constante	449,0097		
(1)Concentración de moringa (%) (L)	-5,8938	49,70	-292,924
Concentración de moringa (%) (Q)	0,0467	2470,09	115,353
(2)Velocidad alta (rpm) (L)	-1,6798	203,75	-342,258
Velocidad alta (rpm) (Q)	0,0042	41514,06	173,062
(3)Dosis de Moringa (mL) (L)	-10,3756	24,10	-250,051
Dosis de Moringa (mL) (Q)	0,2047	580,81	118,905
1L by 2L	0,0017	10126,38	17,721
1L by 3L	0,0367	1197,77	43,918
2L by 3L	-0,0067	4910,38	-32,736
<b>Predicted E-coli T (UFC)</b>			<b>0,001</b>
<b>Predicted remoción de E-coli T (%)</b>			<b>99,99</b>
-95,% Conf.			-0,145
+95,% Conf.			0,147

-95,% Pred.	-0,287
+95,% Pred.	0,289

El análisis desarrollado en la tabla 34 detalla el cálculo del modelo predictivo que es construido a partir valores optimizados, con la finalidad de predecir resultados de remoción de coliformes totales de forma teórica. Según los datos analizados el modelo de optimización predice que se podría llegar a remover hasta 99.99%

Tabla 35

*Tabla Parámetros experimentales y optimizados para E-Coli T*

Factores	Experimental	Optimizados
Concentración de moringa (%)	50	49.7
Velocidad alta (rpm)	200	203.7
Dosis de Moringa (mL)	26	24.1

En la tabla 35 se detalla los parámetros experimentales y optimizados, de acuerdo a los niveles que se detallan fueron generados el modelamiento predictivo

Tabla 36

*Tabla de comparación de cuantificación y remoción de turbidez entre datos experimentales y predictivos para E-coli T*

	E-coli T (UFC) x10 <sup>3</sup>	Remoción de E-coli T (%)
Experimental	0.85	98.8
Modelo	0,98	99.29
Optimizado	0.001	99.99

En la tabla 36 hay tres concentraciones de turbiedad donde el modelo predictivo de optimización tiene una eficiencia de remoción de 99.99%.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusión

Se pudo determinar la eficiencia de remoción de turbiedad y coliformes totales en cada nivel del diseño estadístico, obteniendo una eficiencia final de remoción de turbiedad al 99.20%, bajando de 500 a 4 UNT, y 98.57% de remoción final de coliformes totales, bajando de 62000 a 800 UFC/100 mL. Por lo tanto, con respecto al Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, D.S. 031-2010 en turbiedad nos dice que debe estar debajo de 5 UNT, por lo que sí se logró cumplir con este parámetro. En cuanto a la remoción de coliformes totales, el análisis final debe estar dentro de los parámetros establecidos por la norma D.S. 031-2010 el cual menciona 800 UFC/100ml, por lo que no se llegó a cumplir con este parámetro en estudio.

La determinación de las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas del agua contaminada, tubo una carga microbiana de 62000 UFC/100 mL, pH 7, conductividad 730 us/cm, oxígeno disuelto 360 mg/L y temperatura de 26.3 °C.

El proceso de acción química de la goma de tara y moringa esta dada por los componentes (galactomananos, que está conformado de 20 a 40% de galactosa – 60 a 80% de manosa y proteínas polielectrolíticas catiónicas y aceite isotiocionato de bencilo (4-O-acetil- $\alpha$ -L-ramnopiranosilox)) altamente catiónicas que dentro del proceso de la cuagulación actua por el principio de la doble capa neutralizando las cargas negativas de los coloides permitiendo la aglomeración de partículas.

Los parámetros y niveles maximizados del diseño estadístico Screening en la mejor remoción de turbiedad fueron a volumen de dosis de tara a 6 mL, concentración de tara al 0.1% y velocidad de mezcla lenta a 30 rpm con pH inferiores a 7, de acuerdo a la tabla de efectos para optimizar la remoción se debe trabajar a pH con tendencia ácidas, velocidad de mezcla menores a 30 rpm y volumen de dosis de tara superiores a 4 mL.

Los parámetros y niveles maximizados en la mejor remoción de coliformes totales en el diseño estadístico Screening fue a una concentración de moringa de 40%, volumen de dosis de moringa 20 mL y velocidades de mezcla rápida de 200 rpm. De acuerdo a la tabla de efectos para una óptima remoción de coliformes totales se debe incrementar el volumen de dosis y la concentración de moringa oleífera y trabajar con velocidades de mezcla rápida superiores a 200 rpm.

Los parámetros óptimos para la remoción de coliformes totales para el diseño estadístico de Box- Behnken fue a una concentración de moringa 53%, a un volumen de dosis 25 mL, velocidad de mezcla rápida de 215 rpm, con estos niveles se podría obtener coliformes menores a 1000 UFC/100 mL de un inicial de 56 000 UFC/100 mL con una eficiencia de remoción 98.8%

Los parámetros óptimos para la remoción de turbiedad para el diseños estadístico central compuesto rotacional fue a un pH de 5 y volumen de dosis de tara de 10 mL, velocidad de mezcla lenta de 22 rpm y concentración de tara superior a 0.35 %, con estos niveles se podrían obtener turbiedad final menores a 5 UNT de un inicial de 500 UNT con una remoción de 98.29 %

De acuerdo al modelamiento matemático de segundo orden predictivo, los parámetros y puntos óptimos para la remoción de turbiedad es a una concentración de tara 0.17%, volumen de dosis de tara a 10.2 mL, pH de 5.1 dosis de moringa 23.5 mL y velocidad de mezcla lenta a 20 rpm, con una cuantificación y remoción de turbidez final de 99.99 y 0.09% UNT respectivamente.

Del acuerdo al modelamiento matemático de segundo orden predictivo, los parámetros y puntos óptimos para la remoción de E-coli totales es a concentración de moringa 49.7%, velocidad de mezcla rapida a 200 rpm y volumen de dosis de moringa 24.1 mL. con una cuantificación y remoción final de E-coli total de 99.99% y 1.0 UFC/100mL respectivamente.

## **5.2 Recomendaciones**

- Hacer un estudio minucioso en cuanto a los biopolímeros usados, ya que según la especie y distribución de cultivo contiene la calidad de proteínas y la capacidad coagulante y bactericida.
- Preparar una metodología de prueba de jarras teniendo en cuenta todas las consideraciones bibliográficas para seguir el paso y no cometer los mínimos errores, esos que alteran significativamente el resultado.
- Incluir en el estudio parámetros, como Oxígeno Disuelto, Conductividad, Temperatura y otros, como niveles de estudio para ver el comportamiento en cada etapa de la estadística aplicada.

- Incluir en el estudio la tasa de sedimentación para tener en cuenta la cantidad de material que se produce con el uso de un biopolímero.
- Optimizar parámetros con otros diseños experimentales fraccionados y superficie de respuesta utilizando biopolímeros modificados.



## Referencias bibliográficas

- Aguilar-Galvez, A., Noratto, G., Chambi, F., Debaste, F., & Campos, D. (2014). Potential of tara ( *Caesalpinia spinosa* ) gallotannins and hydrolyzates as natural antibacterial compounds Instituto de Biotecnología ( IBT ), Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM , Av . La Transfers , Interfaces and Processes ( TIPS ), Chemical. *FOOD CHEMISTRY*, (2013). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.110>
- Aguilar Ascon, E. A. (2010). *Utilización de las semillas de tara (Caesalpinia Spinosa) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Aldana Rivera, E. A. (2012). *Uso del extracto de la semilla de moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano* (Universidad Nacional de Ingeniería). Retrieved from [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1130/1/lopez\\_gj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1130/1/lopez_gj.pdf)
- Ali, E. N., Muyibi, S. A., Salleh, H. M., Alam, Z., & Salleh, M. R. M. (2010). *Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water*. 2010(March), 259–266. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.23030>
- Amagloh, F. K., & Benang, A. (2009). Effectiveness of Moringa oleifera seed as coagulant for water purification. *African Journal of Agricultural Research*, 4(February), 119–123.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. *Sedapal*, 1–44. Retrieved from [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Anizi, A. A., Hellyer, M. T., & Zhang, D. (2014). Toxicity assessment and modelling of Moringa oleifera seeds in water purification by whole cell bioreporter. *Water Research*, 56, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.02.045>
- Barrenechea Martel, A. (2009). Coagulación. In *Planta de tratamiento de agua para consumo humano* (pp. 153–220).
- Beltrán-Heredia, J., & Sánchez Martín, J. (2008). Azo dye removal by Moringa oleifera seed extract coagulation. *Coloration Technology*, 124(5), 310–317. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2008.00158.x>
- Bhawana, P., & Fulekar, M. H. (2012). *Nanotechnology : Remediation Technologies to clean up the Environmental pollutants*. 2(2), 90–96.
- Bravo, M., & Gutiérrez, J. L. (2015). *Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de la aguas del Río Pollo de Otuzco empleando semillas de Caesalpinia spinosa (Tara)*.

- Briefs, A. M. C. T. (2013). Experimental design and optimisation (4): Plackett-Burman designs. *Analytical Methods*, 5(8), 1901–1903. <https://doi.org/10.1039/c3ay90020g>
- Briñez A, K. J., Guarnizo G, J. C., & Arias V., S. a. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 30(2), 175–182.
- Bustamante R, A. J., Mayely Murillo, N. C., Ayala, A., & Casas, J. A. (2009). *Estrategia didáctica para el aprendizaje de los conceptos de pH, efecto buffer y capacidad amortiguadora a partir el estudio de bebidas no alcohólicas*. <https://doi.org/1692-3375>
- C, M., G, M., A, G., Fernández, T., Hernández, E., & Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica Potential applications of Moringa oleifera. A critical review. *Pastos Y Forrajes*, 36(2), 137–149.
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., & Teixeira, M. R. (2016). The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Canepa De Vargas, L. (2009). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. In *Tratamiento de agua para consumo humano* (pp. 211–266).
- Carpinteyro Urban, S. L. (2011). *Tratamiento de aguas residuales empleando polimeros naturales y biodegradabilidad de los lodos generados* (Instituto Politécnico Nacional). Retrieved from <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19805/SandraCarpinteyro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cham, K. (2013). *Síntesis y Caracterización de Nanop rticulas Magnéticas*.
- Chambi, F., Chirinos, R., Pedreschi, R., Betalleluz-Pallardel, I., Debaste, F., & Campos, D. (2013). Antioxidant potential of hydrolyzed polyphenolic extracts from tara (Caesalpinia spinosa) pods. *Industrial Crops and Products*, 47, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.009>
- Chicoma Aquino, I. M., & Vigo Lezma, L. E. (2018). *Eficiencia de la goma de Caesalpinia Spinosa de la remoción de sólidos suspendidos en las aguas del río Chonta, Ba os del Inca-2018*. Univerdidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Coldebella, P. F., Nishi, L., & Madrona, G. (2014). AVALIA O DO TEMPO DE DEGRADA O DO COAGULANTE NATURAL MORINGA OLEIFERA LAM EM P O NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL T ssia Rhuna Tonial dos Santos Universidade Estadual de Maringá. <https://doi.org/10.18674/exacta.v7i1.1203>
- Cordero, I., Jiménez, M. D., Delgado, J. A., Villegas, L., & Balaguer, L. (2016). Spatial and demographic structure of tara stands (Caesalpinia spinosa) in Peru: Influence of

- present and past forest management. *Forest Ecology and Management*, 377, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.034>
- Davila Paredes, C., Carranza Huaman, M., Flores Albornoz, J., Polo Zalazar, R., & Araujo Jamanca, N. (2018). Efectividad de especies naturales como ayudantes de Coagulación , para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas Effectiveness of natural species Coagulation as assistants for cl. *Aporte Santiaguino*, 11(2), 299–310.
- El-Sheekh, M. M., Khairy, H. M., Gheda, S. F., & El-Shenody, R. A. (2016). Application of Plackett-Burman design for the high production of some valuable metabolites in marine alga *Nannochloropsis oculata*. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(1), 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.10.001>
- Enfoque, U. (2015). *Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de Caesalpinia spinosa (Textile wastewater biocoagulation by Caesalpinia spinosa extracts)*. (1), 1–12.
- Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (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. Retrieved from <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/648>
- Field, M., Bergman, M., & Persson, K. M. (2007). *Assessment of drinking water treatment using Moringa Oleífera natural coagulant*.
- Fuentes, L., Contreras, W., Perozo, R., Mendoza, I., & Villegas, Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *MULTICIENCIAS N*, 8, 281–287.
- Galvez, A., Noratto, G., Chambi, F., Debaste, F., & Campos, D. (2014). Potential of tara (*Caesalpinia spinosa*) gallotannins and hydrolysates as natural antibacterial compounds. *Food Chemistry*, 156(2013), 301–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.110>
- Gómez, Gretel; Batista, C. (2006). Optimización De Medios De Cultivos Para Microorganismos, Una Valiosa Estrategia Para La Producción De Biopreparados De Interés Agrícola. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 17–24.
- Goycochea Ricci, R. A. (2010). *Evaluación de taninos y goma del fruto de la tara Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze provenientes de las lomas de Atiquipa, Arequipa - Perú*. (Universidad Nacional Agraria La Molina). Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/536>
- Guillermo, L., & Esquivel, R. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 19, 37–41.

- Hermida, É. (2011). *Polímeros. Guía didáctica* (Saavedra). Argentina.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (McGRAW-HIL). Mexico.
- Jaramillo, A. C., Echavarría, A. M., & Hormaza, A. (2013). Diseño Box-Behnken para la optimización de la adsorción del colorante azul ácido sobre residuos de flores. *Ingeniería Y Ciencia*, 9(18), 75–91. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.9.18.4>
- Jiménez, J., Vargas, M., & Quirós Noemi. (2012). Estimación de la tuna (Opuntia Cuchinillera) para la remoción del color en agua potable Estimation of the nopal cactus ( Opuntia cochenillifera ) for color removal in drinking water. *Tecnología En Marcha*, 42(4), 55–62. Retrieved from file:///C:/Users/Miqueas/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLaTunaOpuntiaCochenilliferaParaLaRemoc-4835667.pdf
- Kaur, A., Kumari, C., Tripathi, A., Kakade, A., & Li, X. (2019). Journal of Water Process Engineering Development and efficacy analysis of a Moringa oleifera based potable water purification kit. *Journal of Water Process Engineering*, 27(August 2018), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.005>
- Kondo, K., Takaishi, Y., Shibata, H., & Higuti, T. (2006). ILSMRs (intensifier of  $\beta$ -lactam-susceptibility in methicillin- resistant Staphylococcus aureus) from Tara [Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze]. *Phytomedicine*, 13(3), 209–212. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2004.08.001>
- Landázuri-Rojas, A. C., Villarreal, J. S., Núñez, E. R., Pico, M. M., Lagos, A. S., & Caviedes, M. (2018). Experimental evaluation of crushed Moringa oleifera Lam. seeds and powder waste during coagulation-flocculation processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 5443–5451. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.021>
- Lapa, D. la C. P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la tara Caesalpinia spinosa-caesalpinia tinctoria. *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal Cienc ...*, 7, N° 14(ISSN: 1561-0888), 64–73.
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *Estado Del Arte Del Tratamiento de Aguas Por Coagulación-Floculación ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúca*, XL(2), 10–17. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Luo, J., Lin, W., Cai, X., & Li, J. (2012). Optimization of fermentation media for enhancing nitrite-oxidizing activity by artificial neural network coupling genetic algorithm. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(5), 950–957. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(12\)60423-6](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(12)60423-6)
- Macías, M. R. (2017). *Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos Maylín*. XXXVIII(2), 87–101.

- Mahamadou Bafoutche, A. N. (2014). *Propiedades fungicida , bactericida y aglutinante de las semillas de Moringa oleifera Lam.* Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Marín, R. (2011). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *Emacsa*, (1) 1–37.
- Martel Barrenechea, A. (2009). Coagulación. In *Planta de tratamiento de agua para consumo humano* (pp. 153–220).
- Mehta, A., & Agrawal, B. (2008). Investigation into the mechanism of action of Moringa oleifera for its anti-asthmatic activity. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*. <https://doi.org/10.3742/OPEM.2008.8.1.024>
- Mera Alegria, C. F., Gutiérrez Salamanca, M. L., Montes Rojas, C., & Paz Concha, J. P. (2016). EFECTO DE LA Moringa oleífera EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAUCA, COLOMBIA. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 14(2), 100. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)100-109)
- Montgomery, D. (2009). Influence of surface modified nano silica on alkyd binder before and after accelerated weathering. *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 65, pp. 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00005-2)
- Moreno-Galván, A. E., Rojas-Tapias, D. F., & Bonilla, R. R. (2011). Sequential statistical design application in identification of Azotobacter chroococcum AC1 nutritional sources. *Revista Corpoica - Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 151–158.
- Moreno Perez, S. C. (2016). *Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa.*
- Myers, R., Montgomery, D., & Anderson-Cook, C. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments.*
- Nkurunziza, T., Nduwayezu, J. B., Banadda, E. N., & Nhapi, I. (2009). The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science & Technology-WST*, 1551–1558. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.155>
- Olson, M. E., & Fahey, J. W. (2011). Moringa oleifera : un árbol multiusos para las zonas tropicales secas Moringa oleifera : a multipurpose tree for the dry tropics. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 82, 1071–1082. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7550/rmb.28737>
- Orellana, J. A. (2005). Tratamiento de las aguas. *Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO*, 1–123.
- Palestina, D. E. (2013). *Determinación de la calidad del agua mediante indicadores*

*biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, universidad de caldas, municipio de palestina, colombia* \*. 13(2), 89–105.

Petersen, H. H., Petersen, T. B., Enemark, H. L., Olsen, A., & Dalsgaard, A. (2016). Food and Waterborne Parasitology Removal of *Cryptosporidium parvum* oocysts in low quality water using *Moringa oleifera* seed extract as coagulant. *FAWPAR*, 3, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fawpar.2016.03.002>

Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S., & Neill, J. G. O. (2010). A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(13–14), 798–805. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.014>

Rajan, C. S. (2011). *Nanotechnology in Groundwater Remediation*. 2(3), 182–187.

Rodríguez, S., Muñoz, R., García, O., & Fernández, E. (2005). Empleo de un producto Coagulante Natural para Clarificar Agua. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36, 8. Retrieved from <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/CQ-2005-4-CQ-038.pdf>

Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Peres, J. A. (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>

Saranya, R. (2017). Experimental Study On Treatment Of Sullage Waste Water Using Coagulants. In *SSRG International Journal of Civil Engineering*.

Tapia, N., Mamani, S., Rojas, N., & Yarango, A. (2010a). 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.

Tapia, N., Mamani, S., Rojas, N., & Yarango, A. (2010b). Estudio De La Coagulación Del Sistema Coloidal De  $Fe(OH)_3$  Por Acción De La Goma De Tara. *Tapia Mamani, Yarango*, 13(2), 104–108.

Tinoco, M., Rojas, C., Tripaldi, P., Criollo, M., & Huayasaca, L. (2011). *Aplicación de funciones de decisión multicriterio y diseño Plackett-Burman para el estudio de la calidad sensorial de mortadelas*. 2(1), 142–157.

Tinoco, M., Rojas, C., Tripaldi, P., Criollo, M., & Huayasaca, L. (2011). Artículo Aplicación de funciones de decisión multicriterio y diseño Plackett-Burman para el estudio de la calidad sensorial de mortadelas Multicriteria decision functions and Plackett-Burman design application for the study of sensory quality of mortadell. *Revista Venezolana de Ciencia Y Tecnología de Alimentos*., 2(1), 142–157.

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014).

Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación / floculación usando almidón de plátano Turbidity removal in a water sample from a natural source via coagulation / flocculation using plantain starch Remoção de turbidez em água de. *Revista ION*, 27(1), 17–34.

Túnez Fiñana, I., Galván Cejudo, A., & Fernández Reyes, E. (2011). 6. *pH y amortiguadores: Tampones fisiológicos*. 11.

Vargas Oviedo, J. E. (2016). *ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LA TARA (Caesalpinia spinosa) EN LA REGIÓN APURÍMAC*.

Velázquez et al. (2016). Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): usos potenciales en la agricultura, industria y medicina. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.07.018>

Villaseñor-basulto, D. L., Astudillo-sánchez, P. D., Real-olvera, J., & Bandala, E. R. (2018). Journal of Water Process Engineering Wastewater treatment using Moringa oleifera Lam seeds : A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23(March), 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.017>

Villaseñor Basulto, D. L., Astudillo Sánchez, P. D., Del Real Olvera, J., & Bandala, E. R. (2018). Wastewater treatment using Moringa oleifera Lam seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23(March), 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.017>

Vunain, E., Masoamphambe, E. F., Mpeketula, P. M. G., Monjerezi, M., & Etale, A. (2019). Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of Moringa oleifera seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103118>

With, T., & Powder, S. (2011). BACTERIOLOGICAL AND PHYSCIO – CHEMICAL EVALUATION OF WATER TREATED WITH SEED POWDER OF MORINGA OLEIFERA LAM. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 4(2): 208 – 212, 4(2), 208–212. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4314/bajopas.v4i2.42>

Wu, Y., Ding, W., Jia, L., & He, Q. (2015). The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *Food Chemistry*, 168, 366–371. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.07.083>

## Anexos

Anexo 1. Toma de muestra de agua. Y Lugar de recojo de agua cruda.



Recolección de muestra agua cruda



Toma de muestra control microbiológico



Hice pack para conservación de muestra



Rotulado de muestra control



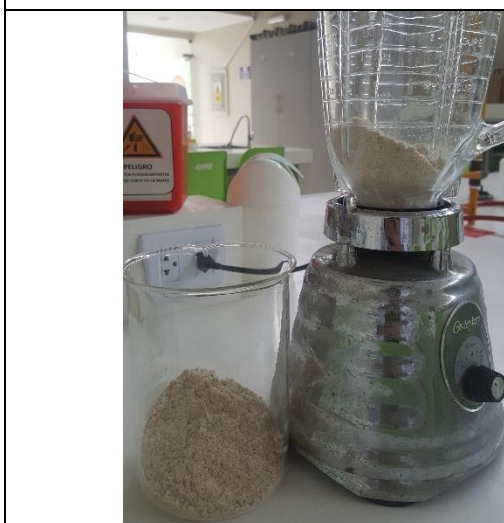
## Anexo 2. Preparación de insumos para el ensayo de laboratorio



Extracción de semilla de moringa



Secado de moringa



Triturado de semilla



Cernido de polvo a 6mm

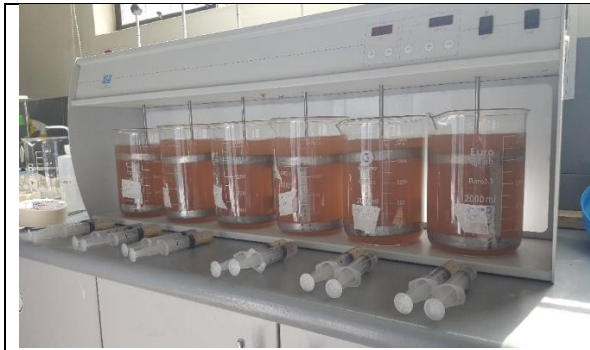


Preparación para la dosificación



Preparación de la concentración de cada biopolímero

### Anexo 3. Ensayo en la prueba de jarras



Prueba de jarras lista para empezar



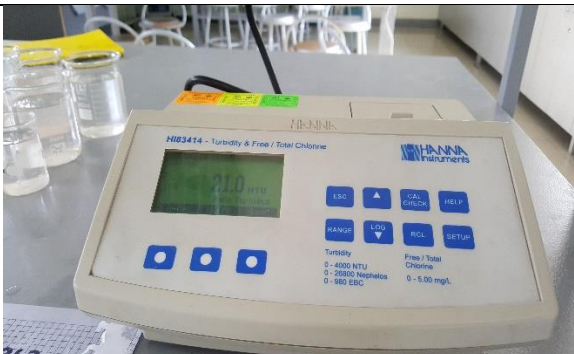
Jarras en reposo para sedimentación



Succión de muestras para su análisis de turbiedad, pH, conductividad, T°, OD



Toma de datos con el multiparámetro



Toma de dato de turbiedad



Muestras de las 2 replicas

*Anexo 4. Ensayos en el laboratorio, recolección de muestras*

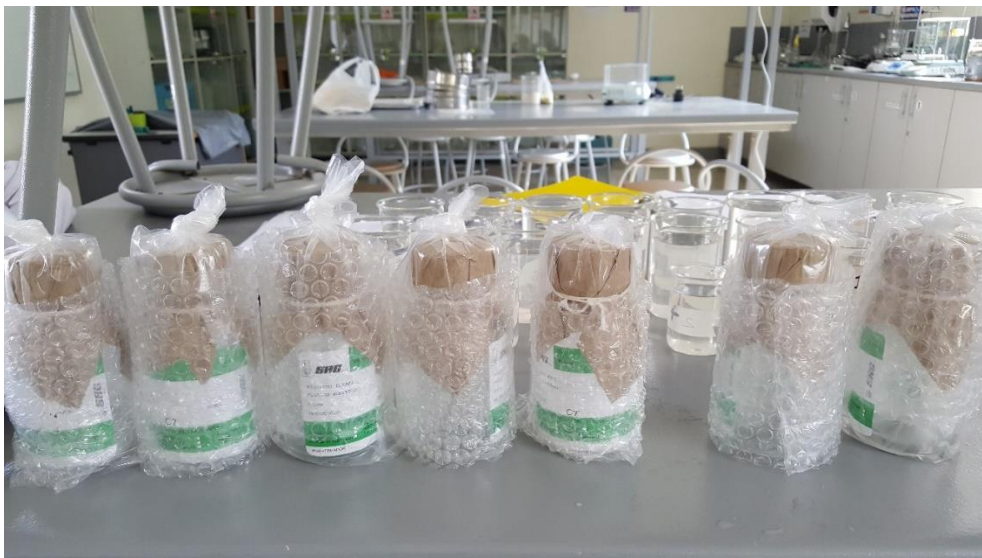


Succión de muestra de agua para análisis microbiológico

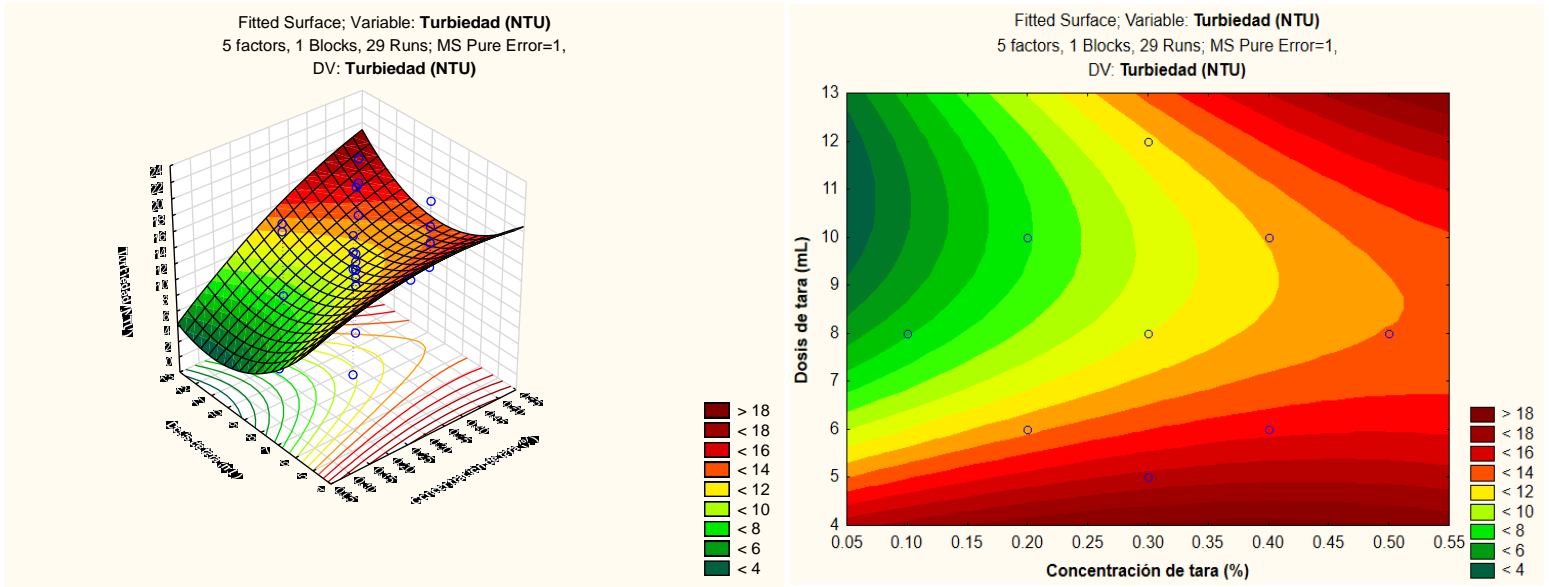


Acondicionamiento para llevar al laboratorio

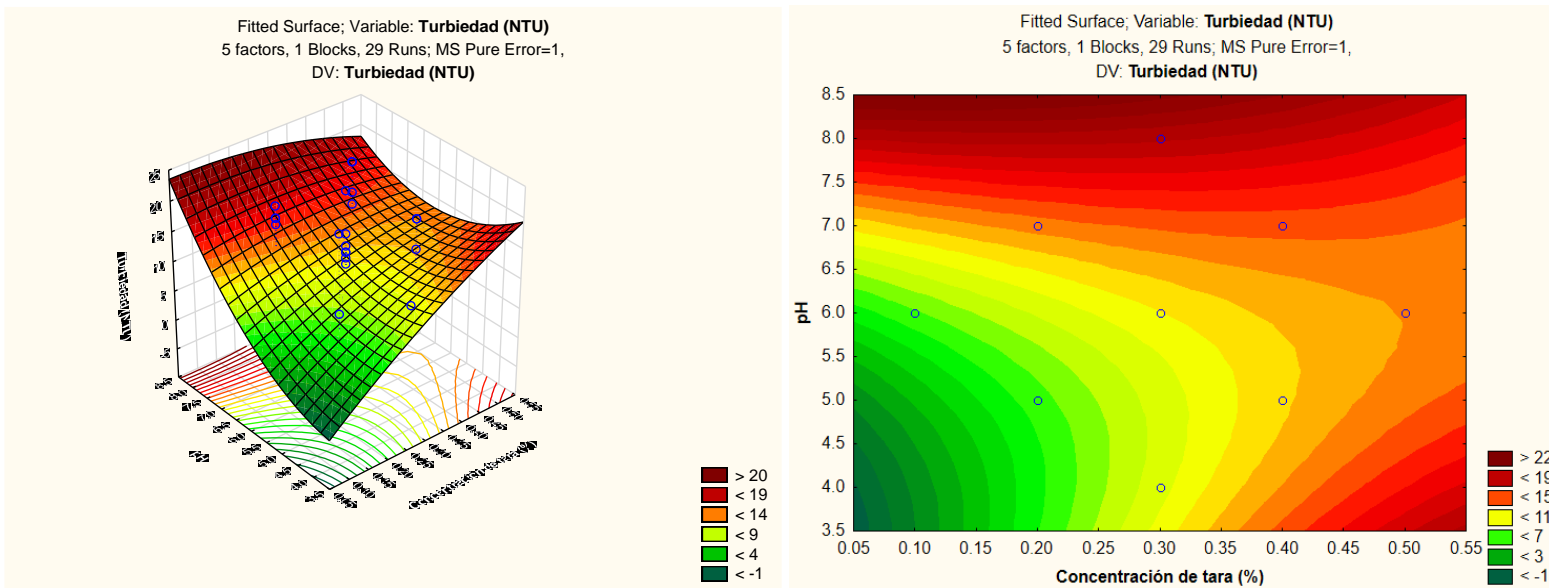
*Anexo 5. Frascos para la muestra de parámetros microbiológicos*



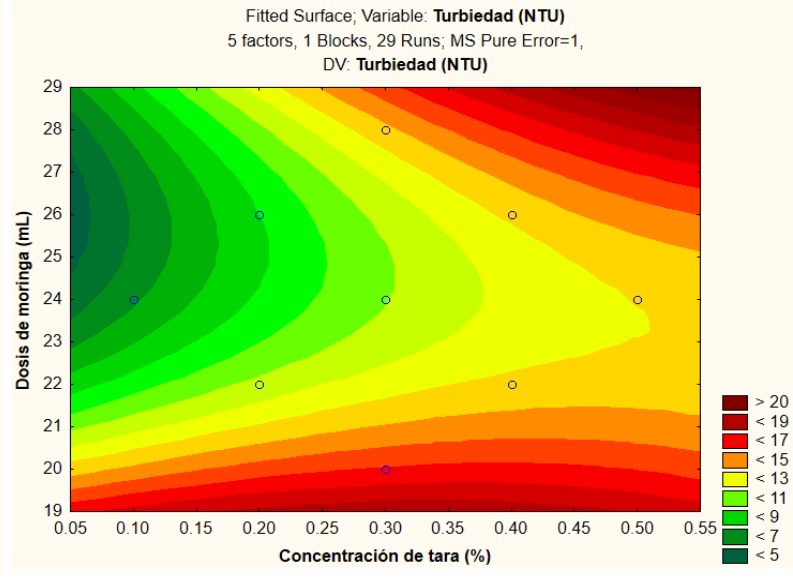
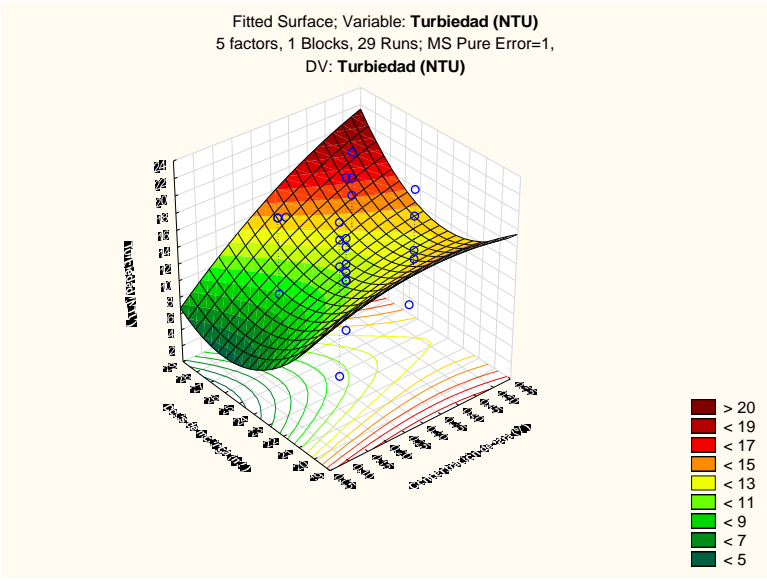
Anexo 6. Modelamiento de modelo predictivo construido a partir de la regresión para turbiedad.



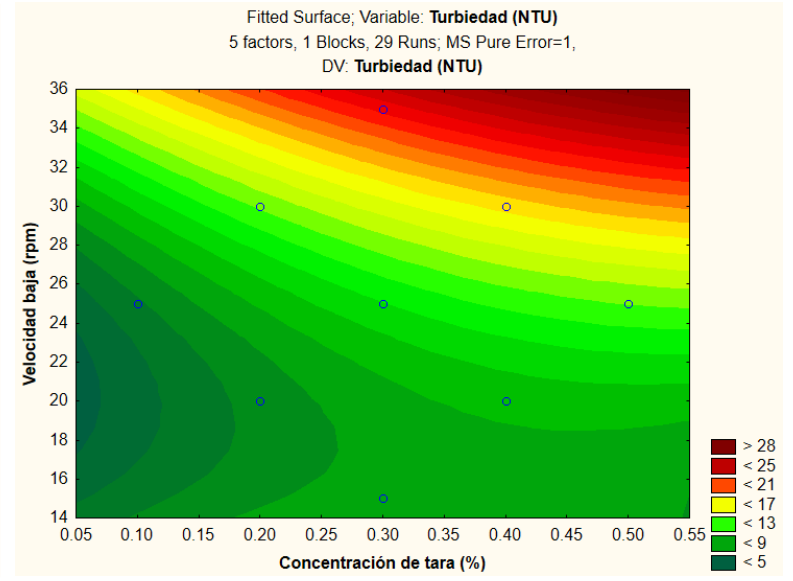
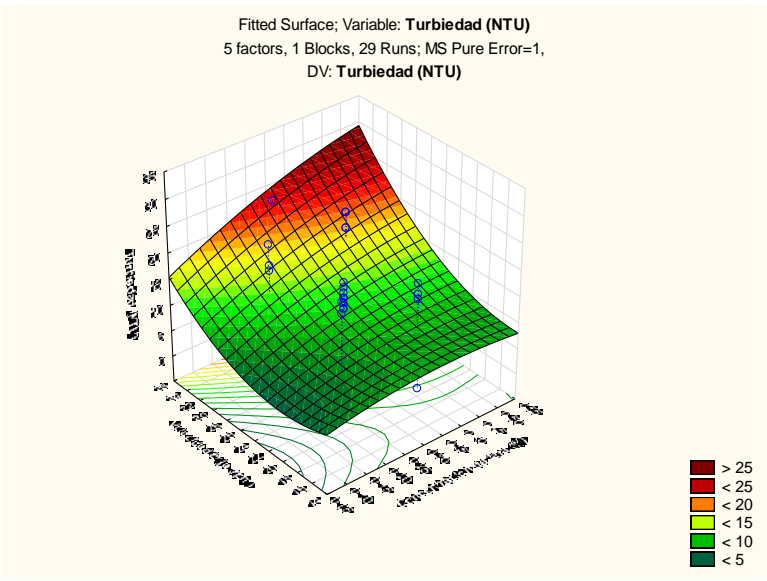
a.1. Se ve en las figuras que lo más óptimo en remoción de turbiedad es a menores de 0.05% de concentración de tara con un volumen de 11mL.



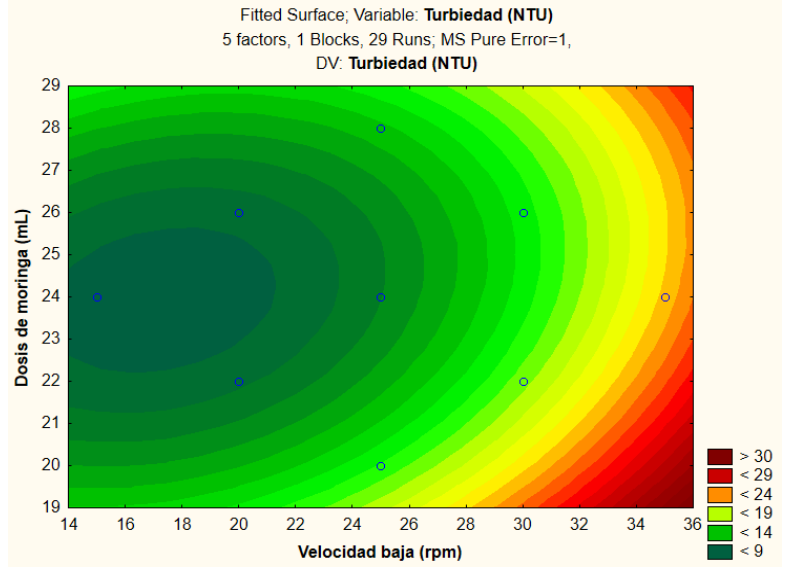
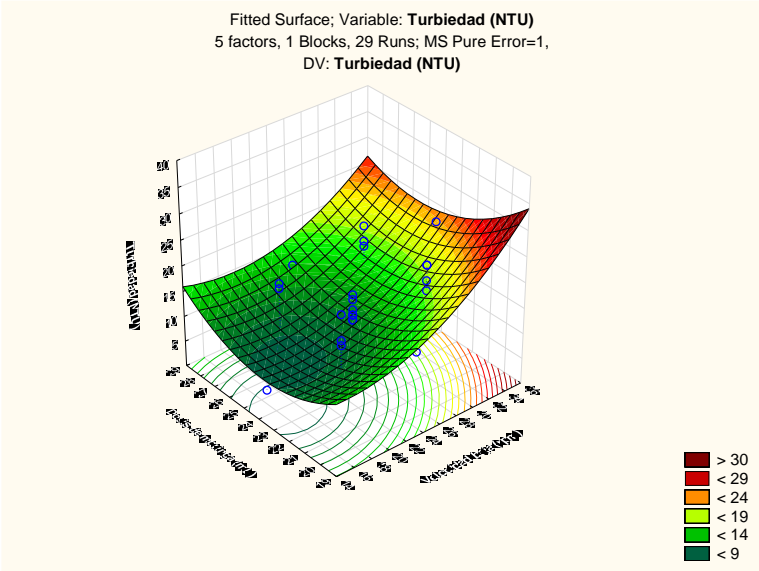
a.2. La mejor remoción de turbiedad podemos encontrar a una concentración de tara 0.05% y pH ácido de 4.



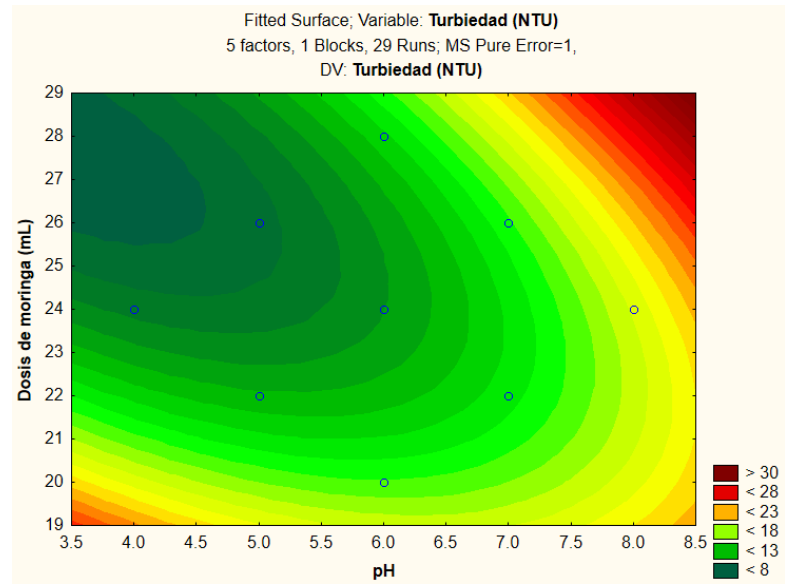
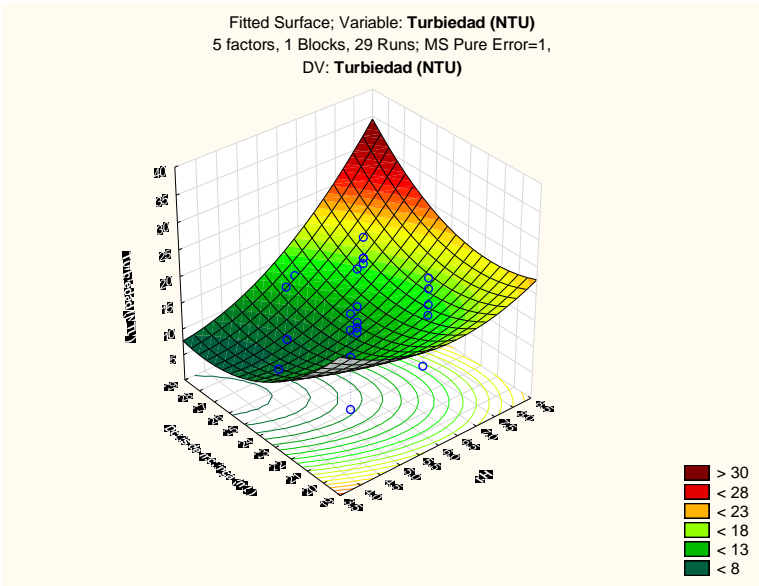
a.3. La mejor remoción de turbiedad podemos encontrar a un volumen dosis de moringa 25ml y concentración de tara 0.05%.



a.4. De acuerdo a la figura la mejor remoción de turbiedad se consigue con una concentración de tara 0.05% y velocidad lenta de 20 rpm.



a.5. La mejor remoción encontramos con una baja velocidad 18 rpm a un volumen de dosis de moringa 24 mL.



a.6. Existe mejor remoción a pH de 4 y volumen de dosis de moringa 28 mL.

# Anexo 7. Informe del ensayo de laboratorio para coliformes totales- primera prueba



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



## INFORME DE ENSAYO N° 131615 - 2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : WILDER TORRES QUISPE  
**DOMICILIO LEGAL** : CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNIÓN- ÑAÑA- LURIGANCHO  
**SOLICITADO POR** : WILDER TORRES QUISPE  
**REFERENCIA** : UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
**PROCEDENCIA** : ÑAÑA- LURIGANCHO  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2019-03-19  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2019-03-19 AL 2019-03-22  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2019-03-19  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	LC	Unidades
Filtración de membrana para Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF® Part 9222 B, 23rd Ed., 2017 Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.	1	ufc/100mL

L.C.: límite de cuantificación.

### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	12:00	15:00	15:01	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 0	Rrim 1	Rrim 2	
Código del Laboratorio	19031060	19031061	19031062	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	62000	13000	30000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:02	15:06	15:06	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 3	Rrim 4	Rrim 5	
Código del Laboratorio	19031063	19031064	19031065	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	29000	25000	29000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:10	15:10	15:16	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 6	Rrim 7	Rrim 8	
Código del Laboratorio	19031066	19031067	19031068	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	25000	29000	11000

*** Resultados de campo proporcionados por el cliente				
Parámetro	Unidades	Rrim 0	Rrim 1	Rrim 2
***pH	unid. pH	19031060	19031061	19031062
**Temperatura	°C	7	7	8.5
Parámetro	Unidades	Rrim 3	Rrim 4	Rrim 5
***pH	unid. pH	19031063	19031064	19031065
**Temperatura	°C	6.5	8.5	7.5
Parámetro	Unidades	Rrim 6	Rrim 7	Rrim 8
***pH	unid. pH	19031066	19031067	19031068
**Temperatura	°C	8.0	6.7	9.5
		26	27	26

\*\*\*Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación.

\*El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL.  
 SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF, 22nd Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency ASTM (American Society) for Testing and Materials NTP: Norma Técnica Peruana  
 OBSERVACIONES : • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio, luego serán eliminadas.  
 Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Urna • Oficinas Administrativas Pasaje Ctorinda Mallo de Turner N° 2079 - Lima  
 Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 3

Blgo. Roger Aparicio Estrada  
 C.B.P. N° 7403  
 Asesor Técnico Biológico



**INFORME DE ENSAYO N° 131615 - 2019  
CON VALOR OFICIAL**

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Filtración de membrana para Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9222 B, 23rd Ed. 2017. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.	1	ufc/100mL

L.C.: límite de cuantificación.

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	12:00	15:00	15:01	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 1.2	Rrim 2.2	Rrim 3.2	
Código del Laboratorio	19031070	19031071	19031072	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	12000	30000	25000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:02	15:06	15:06	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 4.2	Rrim 5.2	Rrim 6.2	
Código del Laboratorio	19031073	19031074	19031075	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	27000	28000	26000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:08	15:10	15:10	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 7.2	Rrim 8.2	Rrim 8.2	
Código del Laboratorio	19031076	19031077	19031077	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	29000	10000	

**Resultados de campo proporcionados por el cliente				
Parámetro	Unidades	Rrim 1.2	Rrim 2.2	Rrim 3.2
**pH	unid. pH	7.0	8.0	7.3
**Temperatura	°C	26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 4.2	Rrim 5.2	Rrim 6.2
**pH	unid. pH	8.3	7.7	8.2
**Temperatura	°C	26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 7.2	Rrim 8.2	
**pH	unid. pH	7.2	8.7	
**Temperatura	°C	26	27	

**\*\*Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación.**

Blgo. Roger Aparicio Estrada  
C.B.P. N° 7403  
Asesor Técnico Biológico

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF, 22nd Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana  
OBSERVACIONES: • Es prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • os resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio, luego serán eliminadas.  
Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.





**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047**



**INFORME DE ENSAYO N° 131615 - 2019  
CON VALOR OFICIAL**

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Filtración de membrana para Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9222 B, 23rd Ed. 2017. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.	1	ufc/100mL

L.C.: límite de cuantificación.

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	12:00	15:00	15:01	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 1.3	Rrim 2.3	Rrim 3.3	
Código del Laboratorio	19031078	19031079	19031080	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	11000	29000	24000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:02	15:06	15:06	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 4.3	Rrim 5.3	Rrim 6.3	
Código del Laboratorio	19031081	19031082	19031083	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	27000	30000	26000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19	2019-03-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:08	15:10		
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada		
Código del Cliente	Rrim 7.3	Rrim 8.3		
Código del Laboratorio	19031084	19031085		
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	28000	10000	

**\*\*Resultados de campo proporcionados por el cliente**

Parámetro	Unidades	Rrim 1.3	Rrim 2.3	Rrim 3.3
**pH	unid. pH	19031078	19031079	19031080
**Temperatura	°C	7.4	6.4	6.9
		26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 4.3	Rrim 5.3	Rrim 6.3
**pH	unid. pH	19031081	19031082	19031083
**Temperatura	°C	7.7	7.4	7.5
		26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 7.3	Rrim 8.3	
**pH	unid. pH	19031084	19031085	
**Temperatura	°C	7.7	8.9	
		26	27	

**\*\*Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación.**

Blgo. Roger Aparicio Estrada  
 C.B.P. N° 7403  
 Asesor Técnico Biológico

\*El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL

SM:SMEWW - APHA - AWWA - WEF, 22nd Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials NTP: Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A. C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Urna • Oficinas Administrativas Pasaje Ctorinda Mallo de Turner N° 2079 - Lima  
 Central Telefónica (511) 425-6885 • Web www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



**CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS**

Cliente: Wilder Torres Quispe      Contacto: 916097706      Telef.(s) \_\_\_\_\_  
 Lugar: Naña - Jurigando      Empresa: UPEU      Planta: \_\_\_\_\_  
 Carta/Cotización: 2019-03 VE-29-1      Muestreado por SAG \_\_\_\_\_      Muestreado por Cliente       Proyecto: \_\_\_\_\_  
 N° Informe: \_\_\_\_\_

PUNTO DE MUESTREO ó CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU		ANÁLISIS DE LABORATORIO	N° Informe:	CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
	FECHA	HORA		CT	OTROS				
Rim 0	19-03-19	12:00pm	AS	X			19031060	Rim 0	
Rim 1	19-03-19	3:00pm	AS	X			19031061	Rim 1	
Rim 2	19-03-19	3:08pm	AS	X			19031062	Rim 2	
Rim 3	19-03-19	3:02pm	AS	X			19031063	Rim 3	
Rim 4	19-03-19	3:06pm	AS	X			19031064	Rim 4	
Rim 5	19-03-19	3:06pm	AS	X			19031065	Rim 5	
Rim 6	19-03-19	3:08pm	AS	X			19031066	Rim 6	
Rim 7	19-03-19	3:10pm	AS	X			19031067	Rim 7	
Rim 8	19-03-19	3:11pm	AS	X			19031068	Rim 8	
Rim 1.2	19-03-19	3:11pm	AS	X			19031069	Rim 1.2	
Rim 2.2	19-03-19	3:20pm	AS	X			19031070	Rim 2.2	
Rim 3.2	19-03-19	3:22pm	AS	X			19031071	Rim 3.2	
Rim 4.2	19-03-19	3:25pm	AS	X			19031072	Rim 4.2	
Rim 5.2	19-03-19	3:27pm	AS	X			19031073	Rim 5.2	
Rim 6.2	19-03-19	3:30pm	AS	X			19031074	Rim 6.2	
Rim 7.2	19-03-19	3:33pm	AS	X			19031075	Rim 7.2	
Rim 8.2	19-03-19	3:34pm	AS	X			19031076	Rim 8.2	

Observaciones de Muestreo: \_\_\_\_\_  
 Recibido en laboratorio: 6:14 pm      Día/Hora: 18:00  
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Wilder Torres Quispe      Firma(s): [Firma]  
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: Wilder Torres Quispe Huachaca      Firma(s): [Firma]



CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

Cliente: Wilder Torres Quispe      Contacto: 916097706      E-mail: \_\_\_\_\_      Telef.(s) \_\_\_\_\_  
 Lugar: Naña - Sanjandino      Empresa: \_\_\_\_\_      Planta: \_\_\_\_\_      Proyecto: \_\_\_\_\_  
 Muestreado por SAG: \_\_\_\_\_      Muestreado por Cliente:

Carta/Cotización: \_\_\_\_\_      Nº Informe: \_\_\_\_\_

PUNTO DE MUESTREO O CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU		ANÁLISIS DE LABORATORIO	CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
	FECHA	HORA		CT				
Rtim1.3	19-03-14	3:51pm	PS	70 PH	X	19 03 10 77	Rtim 1.3	
Rtim2.3	19-03-14	3:52pm	PS	26.7	X	19 03 10 78	Rtim 2.3	
Rtim3.3	19-03-14	3:55pm	PS	24.8	X	19 03 10 79	Rtim 3.3	
Rtim4.3	19-03-14	3:57pm	PS	25.7	X	19 03 10 80	Rtim 4.3	
Rtim5.3	19-03-14	3:59pm	PS	26.8	X	19 03 10 81	Rtim 5.3	
Rtim6.3	19-03-14	4:00pm	PS	26.7	X	19 03 10 82	Rtim 6.3	
Rtim7.3	19-03-14	4:02pm	PS	25.8	X	19 03 10 83	Rtim 7.3	
Rtim8.3	19-03-14	4:03pm	PS	26.72	X	19 03 10 84	Rtim 8.3	
				27.87	X			

Observaciones de Muestreo: \_\_\_\_\_

Recibido en laboratorio: 6:41  
 Día/Hora: 18:00

Firma(s): Wilder Torres Quispe      Firma(s): \_\_\_\_\_  
 Firma(s): Wilder Torres Quispe      Firma(s): \_\_\_\_\_  
 Firma(s): Wilder Torres Quispe      Firma(s): \_\_\_\_\_  
 Firma(s): Wilder Torres Quispe      Firma(s): \_\_\_\_\_

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Wilder Torres Quispe  
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: Wilder Torres Quispe

# Anexo 9. Informe del ensayo de laboratorio para coliformes totales- segunda prueba



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



## INFORME DE ENSAYO N° 132779 - 2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
**DOMICILIO LEGAL** : CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNIÓN- ÑAÑA- LURIGANCHO  
**SOLICITADO POR** : WILBER PÉREZ HUACHACA  
**REFERENCIA** : UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
**PROCEDENCIA** : ÑAÑA- LURIGANCHO  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2019-05-09  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2019-05-09 AL 2019-05-12  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2019-05-19  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Filtración de membrana para Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9222 B, 23rd Ed. 2017. Membrana Filter Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.	1	ufc/100mL

L.C.: límite de cuantificación.

### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-05-19	2019-05-19	2019-05-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	12:00	15:00	15:01	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 0	Rrim 1	Rrim 2	
Código del Laboratorio	19050378	19050379	19050380	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	54000	8500	2500
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-05-19	2019-05-19	2019-05-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:02	15:06	15:06	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 3	Rrim 4	Rrim 5	
Código del Laboratorio	19050381	19050382	19050383	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	6500	1200	10000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-05-19	2019-05-19	2019-05-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:08	15:10	15:16	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 6	Rrim 7	Rrim 8	
Código del Laboratorio	19050384	19050385	19050386	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	4600	4000	800

**Resultados de campo proporcionados por el cliente				
Parámetro	Unidades	Rrim 0	Rrim 1	Rrim 2
**pH	unid. pH	7,8	7,5	8,5
**Temperatura	°C	26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 3	Rrim 4	Rrim 5
**pH	unid. pH	7,8	8,5	7,5
**Temperatura	°C	26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 6	Rrim 7	Rrim 8
**pH	unid. pH	8,0	7,7	8,5
**Temperatura	°C	26	27	26

\*\*Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación.

\*El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL

SM SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency ASTM (American Society) for Testing and Materials NTP: Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES : \* Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. \* Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. \* Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio, luego serán eliminadas.

Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Urna • Oficinas Administrativas Pasaje Ctórinda Mallo de Turner N° 2079 - Lima  
 Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 3

Blgo. Roger Aparicio Estrada  
 C.B.P. N° 7403  
 Asesor Técnico Biológico



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



INFORME DE ENSAYO N° 131615 - 2019 CON VALOR OFICIAL

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Filtración de membrana para Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9222 B, 23rd Ed. 2017. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.	1	ufc/100mL

L.C.: límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-05-19	2019-05-19	2019-05-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	12:00	15:00	15:01	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 9	Rrim 10	Rrim 11	
Código del Laboratorio	19050387	19050388	19050389	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	9000	4500	7000
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-05-19	2019-05-19	2019-05-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:02	15:06	15:06	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 12	Rrim 13	Rrim 14	
Código del Laboratorio	19050390	19050391	19050392	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	900	1800	1800
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2019-05-19	2019-05-19	2019-05-19	
Hora de inicio de muestreo (h)	15:08	15:10	15:10	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
Código del Cliente	Rrim 15	Rrim 16	Rrim 17	
Código del Laboratorio	19050393	19050394	19050395	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Filtración de membrana para Coliformes Totales	ufc/100mL	2000	1800	1800

**Resultados de campo proporcionados por el cliente				
Parámetro	Unidades	Rrim 9 19050387	Rrim 10 19050388	Rrim 11 19050389
**pH	unid. pH	7.7	8.0	7.3
**Temperatura	°C	26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 12 19050390	Rrim 13 19050391	Rrim 14 19050392
**pH	unid. pH	8.3	7.7	8.2
**Temperatura	°C	26	26	25
Parámetro	Unidades	Rrim 15 19050393	Rrim 16 19050394	Rrim 17 19050395
**pH	unid. pH	7.2	8.7	8.7
**Temperatura	°C	26	27	27

\*\*Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación.

Blgo. Roger Aparicio Estrada  
C.B.P. N° 7403  
Asesor Técnico Biológico

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL


SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF, 22nd Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana  
OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • os resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.  
Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Urna • Oficinas Administrativas Pasaje Ctorinda Mallo de Turner N° 2079 - Lima  
Central Telefónica (511) 425-8885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3

Anexo 10. Cadena de custodia –segundo ensayo



FR-002  
Version: 05  
F.E: 10/2016  
Página: 06

### CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

**Cliente:** Wilber Pérez Huachaca      **Contacto:** 917992056      **Planta:** \_\_\_\_\_      **Proyecto:** \_\_\_\_\_  
**Lugar:** Junjanocho - Choclica - Piura      **E-mail:** WilberP@sigmail.com      **Telef(s):** \_\_\_\_\_  
**Empresa:** \_\_\_\_\_      **MUESTREO POR SAG:**       **MUESTREO POR CLIENTE:**

PUNTO DE MUESTREO O CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU		ANÁLISIS DE LABORATORIO		DATOS ADICIONALES
	FECHA	HORA				CÓDIGO DE LABORATORIO		
Rim 0	4-05-19	15:30	AS	10	04			19 05 03 78
Rim 1	4-05-19	15:50	DS	26	78			19 05 03 79
Rim 2	4-05-19	16:10	AS	25	85			19 05 03 80
Rim 3	4-05-19	16:12	AS	26	78			19 05 03 81
Rim 4	4-05-19	16:14	DS	26	85			19 05 03 82
Rim 5	4-05-19	16:14	DS	25	85			19 05 03 83
Rim 6	4-05-19	16:14	DS	26	85			19 05 03 84
Rim 7	4-05-19	16:14	AS	26	77			19 05 03 85
Rim 8	4-05-19	16:14	AS	25	8			19 05 03 86
Rim 9	4-05-19	16:14	DS	26	73			19 05 03 87
Rim 10	4-05-19	16:14	DS	26	83			19 05 03 88
Rim 11	4-05-19	16:14	AS	25	77			19 05 03 89
Rim 12	4-05-19	16:14	AS	26	82			19 05 03 90
Rim 13	4-05-19	16:14	AS	26	72			19 05 03 91
Rim 14	4-05-19	16:14	AS	26	87			19 05 03 92
Rim 15	4-05-19	16:14	AS	25	87			19 05 03 93
Rim 16	4-05-19	16:14	DS	26	87			19 05 03 94
Rim 17	4-05-19	16:14	AS	25	82			19 05 03 95

**Observaciones de Muestreo:** \_\_\_\_\_  
**Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo:** Wildor Pomario Torres Quispe      **Final(s):** \_\_\_\_\_      **Recibido en laboratorio:** 6:30 PM  
**Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo:** Wilber Pérez Huachaca      **Final(s):** \_\_\_\_\_      **Día/Hora:** 09-05-19

## Anexo 11. Certificado de calibración de los equipos utilizados.

Se muestra los certificados de calibración del equipo floculador, multiparámetro y medidor de turbidez.



**INLAD S.A.C.**  
ASEGURAMIENTO METROLÓGICO  
INDUSTRIAS & LABORATORIOS AL DIA S.A.C.  
Empresa de Servicios Metroológicos



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN  
CON PATRONES TRAZABLES  
INDECOPI - INACAL.



SNM  
Sistema Nacional de Metrología

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° MRP-365-2018

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN	2018-08-28	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura <math>k=2</math>. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.</p> <p>Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitarse le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.</p>						
EXPEDIENTE	ILD-1879-2018							
<p><b>1. SOLICITANTE</b> : UNIVERSIDAD PERUANA UNION</p> <p><b>DIRECCIÓN</b> : CAR.CENTRAL KM. 19 VILLA UNION-NAÑA- LIMA</p>								
<p><b>2. EQUIPO DE MEDICIÓN</b> : FLOCULADOR</p> <p><b>MÁRCA</b> : LOVIBOND</p> <p><b>MODELO</b> : ET 750</p> <p><b>NÚMERO DE SERIE</b> : 0308</p> <p><b>PROCEDENCIA</b> : NO INDICAA</p> <p><b>IDENTIFICACIÓN</b> : 9578</p> <p><b>UBICACIÓN</b> : LABORATORIO</p>								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 50%;">ALCANCE DEL EQUIPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ALCANCE DE INDICACIÓN</td> <td>(10 – 300) rpm</td> </tr> <tr> <td>TIPO</td> <td>1 rpm</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCIÓN	ALCANCE DEL EQUIPO	ALCANCE DE INDICACIÓN	(10 – 300) rpm	TIPO	1 rpm
DESCRIPCIÓN	ALCANCE DEL EQUIPO							
ALCANCE DE INDICACIÓN	(10 – 300) rpm							
TIPO	1 rpm							
<p><b>FECHA DE CALIBRACIÓN</b> : 2018-08-26</p>								
<p><b>3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN</b> La calibración de la velocidad de giro se ha realizado según el P-CAL-05 Procedimiento de calibración de equipos de rotación; basado en la metodología de determinación del error de indicación por comparación directa con tacómetro patrón.</p>								
<p><b>4. LUGAR DE CALIBRACIÓN</b> La calibración se realizó en el laboratorio de INLAD S.A.C.</p>								
<p><i>Ing. Ernesto Rodríguez Moron</i> Jefe de Metrología</p>								

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE INDUSTRIAS LABORATORIOS AL DIA S.A.C.

Av 28 de Julio Mz. V1 Lt 17 - ait. Cdra. 15 de Angélica Gamarra - Los Olivos. Lima - Lima

Teléfonos 531 0003, Nextel ( 946480783 51\*648\*783), Claro (965305195), Movistar (939295001)

E-mail: [metrologia@inladsac.com](mailto:metrologia@inladsac.com)      web site: [www.inladsac.com](http://www.inladsac.com)



a 1. Certificado de calibración del floculador



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN  
CON PATRONES TRAZABLES  
INDECOPI - INACAL.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LE-363-2018**

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN : 2018-08-28  
EXPEDIENTE : ILD-1879-2018

**1. SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD PERUANA UNION

DIRECCIÓN : CAR CENTRAL KM. 19 VILLA UNION-ÑAÑA- LIMA - LIMA - LURIGANCHO

**2. EQUIPO DE MEDICIÓN** : MULTIPARAMETRO

MARCA : HANNA INSTRUMENTS

MODELO : C 214 (C 99)

NÚMERO DE SERIE : H92587

PROCEDENCIA : RUMANA

IDENTIFICACIÓN : 3072

UBICACIÓN : LABORATORIO

DESCRIPCIÓN	ALCANCE DEL EQUIPO
ALCANCE DE INDICACIÓN	6.5 - 8.5 pH
RESOLUCIÓN	0,1 pH
TIPO	DIGITAL

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2018-08-26



**3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN**

La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados, tomando como referencia el procedimiento, PC-020 "Procedimiento para la Calibración de Medidores de pH", primera edición del SNM-INDECOPI

**4. LUGAR DE CALIBRACIÓN**

La calibración se realizó en el laboratorio de INLAD S.A.C.

Ing. Ernesto Rodríguez Moron  
Jefe de Metrología

**PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE INDUSTRIAS LABORATORIOS AL DIA S.A.C.**

Av 28 de Julio Mz. V1 Lt 17 - alt. Cdra. 15 de Angélica Gamarra - Los Olivos. Lima - Lima  
Teléfonos 531 0003, Nextel ( 946480783 51\*648\*783), Claro (965305195), Movistar (939295001)  
E-mail: metrologia@inladsac.com web site: www.inladsac.com

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud esté dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

INLAD S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.





a 2. Certificado de calibración del multiparámetro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN  
CON PATRONES TRAZABLES  
INDECOPI - INACAL.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LE-370-2018**

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN: 2018-08-28

EXPEDIENTE: ILD-1879-2018

1. SOLICITANTE: UNIVERSIDAD PERUANA UNION

DIRECCIÓN: CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNION-NAÑA - LIMA

2. EQUIPO DE MEDICIÓN: MEDIDOR DE TURBIDEZ

MARCA: HANNA INSTRUMENTS

MODELO: HI 83703

NÚMERO DE SERIE: D0000495

PROCEDENCIA: RUMANIA

IDENTIFICACIÓN: NO INDICA

UBICACIÓN: LABORATORIO

DESCRIPCIÓN	ALCANCE DEL EQUIPO
ALCANCE DE INDICACIÓN	0,00 a 50,00 FTU 50 a 1000 FTU
RESOLUCIÓN	0,01 FTU
TIPO	DIGITAL

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición. Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

INLAD S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Determinación del error de indicación por medición directa con soluciones primarias estándar de 0 FTU, 10 FTU y 500 FTU.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó en el laboratorio de INLAD S.A.C.

*Ernesto Rodríguez Morón*  
Ing. Ernesto Rodríguez Morón  
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN DEL COMITÉ DE ANGIÉLICA GARCÍA DE LOS QUIJOS, LIMA, LIMA  
Teléfonos 531 0003, Nextel ( 96480783 51\*648\*783), Claro (965305195), Movistar (939295001)  
E-mail: metrologia@Inladsac.com web site: www.Inladsac.com

a 3. Certificado de calibración de medidor de turbidez.

Anexo 12. Especificación técnica de la goma de tara dado por el proveedor.

ESPECIFICACION TECNICA

E 417: GOMA DE TARA

EINECS	254-409-6			
ASPECTO	Polvo Blanco – Blanco amarillento			
OLOR	Sin olor			
HUMEDAD	≤ 15 %			
MATERIA INSOLUBLES EN ÁCIDO	≤ 2%			
GALACTOMANANOS	≥ 80%			
PROTEINAS (N x 5.7)	≤ 3.50%			
GRASAS	≤ 0.95%			
CENIZAS	≤ 1.5%			
PLOMO	≤ 2 ppm			
ARSÉNICO	≤ 3ppm			
MERCURIO	≤ 1ppm			
CADMIO	≤ 1ppm			
TOTAL DE METALES PESADOS (Cu + Zn)	≤ 20ppm			
ALMIDON	Ausente			
pH (Solución 1%)	5.0 - 7.0			
VISCOSIDAD EN CALIENTE / (Sol. 1%, 25°C, 20r.p.m. spindle #4)	4000 – 6800cps			
GRANULOMETRIA	Goma de Tara	A través de Malla 200 (75µm)	A través de Malla 100 (150µm)	A través de Malla 60 (250µm)
	FINA	70-90%	≥ 90 %	100%
	ESTANDAR	30-70%	≥ 80%	99%
	GRUESA	15-20%		95%
AEROBIOS MESÓFILOS	<5000 u.f.c./g			
MOHOS Y LEVADURAS	< 500 u.f.c./g			
E. COLI - COLIFORMES	Ausente/ 1g			
D. SALMONELLA (DETECCIÓN)	Ausente/ 25g			
INGREDIENTE	Es una goma 100% natural obtenida del endospermo molido de la semilla de Tara (Caesalpinia Spinosa).			
ALMACENAMIENTO	Se debe almacenar en un lugar frio y seco, el tiempo de vida útil es de 24 meses en su empaque original y bajo las condiciones requeridas			
OBSERVACION	No contiene: GMC, GLUTEN; ninguno de los ingredientes presentes en la lista según directiva: 2003/89 CE - Anexo 3ª.			
USOS	Aditivo alimentario. Utilizado como espesante, aglomerante, estabilizador. Posee la ventaja de ser incolora, insípida, muy estable y altamente resistente a la descomposición			
PRESENTACION	Sacos de papel con bolsa interior de polietileno de 25Kg neto cada una.			

Anexo 13. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos, D.S. 031-2010-SA

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS  
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS**

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. <i>E. Coli</i>	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

Anexo 14. Límites máximos permisibles de parámetros organolépticos, D.S. 031-2010-SA

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA**

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escaia Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoniacó	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad