



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos  
Hidráulicos (ERIS).

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA PRODUCIDA A PARTIR DE LA SEMILLA DE  
DURAZNO *PRUNUS PERSICA* S “SALCAJÁ” COMO COAGULANTE NATURAL EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUA**

**Ing. Amilcar Bernardino Racancoj Alonzo**

Asesorado por el Dr. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Guatemala, noviembre de 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA PRODUCIDA A PARTIR DE LA SEMILLA DE DURAZNO *PRUNUS PERSICA* S “SALCAJÁ” COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

**ING. AMILCAR BERNARDINO RACANCOJ ALONZO**

ASESORADO POR EL DR. DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS**

**DE INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Dr. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
EXAMINADOR	MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	MSc. Ing. Julián Antonio Duarte Jiménez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA PRODUCIDA A PARTIR DE LA SEMILLA DE DURAZNO *PRUNUS PERSICA* S “SALCAJÁ” COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 24 de septiembre de 2019.

**Ing. Amilcar Bernardino Racancoj Alonzo**

Correo electrónico: amilcar4991@gmail.com







ERIS

ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA  
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 31 de agosto de 2021

Msc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)  
Facultad de ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA PRODUCIDA A PARTIR DE LA SEMILLA DE  
DURAZNO PRUNUS PÉRSICA S “SALCAJÁ” COMO COAGULANTE NATURAL EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUA**

Elaborado por el ingeniero Amilcar Bernardino Racancoj Alonzo, como parte de su Estudio Especial II, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y revisión de lingüística, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi **APROBACIÓN**.

Agradeciendo la atención prestada a la presente me suscribo de usted.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Dennis Salvador Argueta Mayorga  
INGENIERO CIVIL  
MAESTRO EN INGENIERIA VIAL  
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA  
DOCTOR EN CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD  
COLEGIADO 8297

Dr. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Asesor del estudio





ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA  
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 12 de noviembre de 2021

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA PRODUCIDA A PARTIR DE LA  
SEMILLA DE DURAZNO *PRUNUS PERSICA* S “SALCAJÁ” COMO  
COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA**

Presentado por el estudiante:

**Ing. Amilcar Bernardino Racancoj Alonzo**

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio. Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,  
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Adan Pocasangre  
Collazos**

Firmado digitalmente por  
Adan Pocasangre Collazos  
Fecha: 2021.11.11 22:22:39  
-06'00'

M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria





ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA  
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 15 de noviembre de 2021

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: Dr. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga, MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis, MSc. Ing. Julián Antonio Duarte Jiménez, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; M.Sc Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Jéssica Edith Melgarejo Monterroso, Colegiada No. 27003, al trabajo del estudiante Ing. Amilcar Bernardino Racancoj Alonzo, titulado: ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA PRODUCIDA A PARTIR DE LA SEMILLA DE DURAZNO *PRUNUS PERSICA* S “SALCAJÁ” COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los quince días del mes de noviembre de 2021.

**Imprimase**

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis  
DIRECTOR



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por su guía y sabiduría.

**Mis padres**

Su apoyo y motivación contribuyeron a lograr esta meta.

**Mis hermanos**

Por ser una motivación para mi superación personal y académica.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Escuela Regional de  
Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos**

Por contribuir a mi formación profesional.

**Msc. Ingeniero Zenón  
Much**

Por su amistad en el desarrollo de la maestría y apoyo en la etapa final del estudio especial.

**Personal del Laboratorio  
de EMPAGUA**

Por su apoyo y paciencia brindada en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Dra. Alba Tabarini Molina.*

**Amigos que hice en esta  
etapa de mi vida**

A quienes aprecio y admiro por ser buenos profesionales y sobre todo grandes seres humanos.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN .....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XXIII
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	XXVII
OBJETIVOS .....	XXXI
HIPÓTESIS .....	XXXIII
ANTECEDENTES.....	XXXV
ALCANCES y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	XLI
INTRODUCCIÓN .....	XLIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Partículas en suspensión .....	1
1.1.1. Macropartículas .....	2
1.1.2. Sustancias húmicas.....	3
1.1.3. Partículas coloidales.....	3
1.2. Comportamiento de los coloides en el agua.....	4
1.3. Forma de coloides .....	5
1.4. Propiedades de los coloides .....	6
1.4.1. Propiedades cinéticas.....	6

1.4.2.	Propiedades ópticas .....	7
1.4.3.	Propiedades de superficie .....	7
1.4.4.	Propiedades electrocinéticas (electrocinetismo).....	8
1.5.	Estabilidad e inestabilidad de los coloides .....	9
1.5.1.	Carga eléctrica de los coloides .....	10
1.5.2.	La doble capa eléctrica.....	11
1.5.3.	Energía potencial de interacción de las partículas coloidales.....	14
1.5.4.	Estabilización estérica .....	16
1.6.	Naturaleza de la turbiedad y el color .....	16
1.6.1.	Turbiedad .....	16
1.6.2.	Color .....	18
1.7.	Coagulación-floculación .....	18
1.7.1.	Proceso de coagulación .....	19
1.7.1.1.	Desestabilización de suspensiones coloidales.....	21
1.7.1.2.	Cinética de la coagulación.....	25
1.7.1.3.	Factores que influyen en la coagulación .....	27
1.7.2.	Sustancias coagulantes y sus características.....	32
1.7.2.1.	Agentes de coagulación .....	32
1.7.2.2.	Auxiliares de coagulación.....	33
1.7.2.3.	Coagulantes naturales.....	33
1.7.3.	Proceso de floculación.....	33
1.7.3.1.	Factores que influyen en la floculación.	35
1.8.	Polímeros en el tratamiento de agua.....	36
1.8.1.	Características de los polímeros.....	37
1.8.2.	Clasificación de los polímeros.....	39
1.8.2.1.	Polímeros naturales .....	40

	1.8.2.2.	Polímeros sintéticos.....	43
	1.8.2.3.	Polímeros de acuerdo con su carga .....	45
	1.8.2.4.	Modo de empleo de los polímeros.....	45
1.9.		Características de la especie <i>Prunus Persica S</i> “Salcajá” .....	47
	1.9.1.	Etimología .....	47
	1.9.2.	Origen de <i>Prunus Persica S</i> .....	47
	1.9.3.	Distribución geográfica .....	48
	1.9.4.	Taxonomía .....	49
	1.9.5.	Características de la especie Salcajá.....	50
	1.9.6.	Definición de la estructura del fruto <i>Prunus Persica S</i> .....	52
	1.9.7.	Características de la semilla <i>Prunus Persica S</i> .....	53
	1.9.8.	La semilla de <i>Prunus Persica S</i> Salcajá como coagulante.....	55
2.		METODOLOGÍA .....	57
	2.1.	Enfoque metodológico.....	57
	2.2.	Definición y operacionalización de variables .....	58
	2.3.	Muestra del agua tratar .....	60
	2.3.1.	Muestreo del agua empleada para aplicación de los tratamientos.....	62
	2.4.	Instrumentos de obtención de información .....	69
	2.5.	Trabajo de campo.....	70
	2.5.1.	Obtención de materia prima para la producción de coagulante a base de molienda de Semillas <i>Prunus Persica S</i> “Salcajá” .....	70
	2.5.2.	Preparación del coagulante para el bloque 1 .....	72
	2.5.2.1.	Extracción de las semillas.....	77
	2.5.3.	Utilidad de semillas en la producción de coagulante .	80

2.5.4.	Preparación del coagulante para los bloques del 2 al 6 .....	83
2.5.5.	Preparación de la prueba de jarras bloque 1 .....	86
2.5.6.	Preparación de la prueba de jarras bloques 2 al 6 ...	93
2.6.	Análisis de datos.....	97
3.	RESULTADOS.....	101
3.1.	Bloque 1.....	101
3.2.	Bloque 2.....	104
3.2.1.	Análisis de contenido de cianuro .....	107
3.3.	Bloque 3.....	108
3.4.	Bloque 4.....	111
3.5.	Bloque 5.....	114
3.6.	Bloque 6.....	117
3.7.	Calibración del agitador experimental para uso en el bloque 1	120
3.8.	Análisis de varianza para las muestras de turbiedad .....	123
3.9.	Análisis de varianza para las muestras de color.....	126
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	131
4.1.	Análisis de la efectividad del coagulante a base de la molienda de la semilla de <i>Prunus Persica</i> Salcajá en la remoción de turbiedad.....	131
4.2.	Análisis de la efectividad del coagulante a base de la molienda de la semilla de <i>Prunus Persica</i> Salcajá en la remoción de color .	144
4.3.	Variación del pH en los tratamientos con coagulante natural <i>Prunus Persica</i> Salcajá .....	156
4.4.	Análisis de contenido de cianuro .....	160
	CONCLUSIONES.....	163

RECOMENDACIONES.....	165
BIBLIOGRAFÍA .....	167
APÉNDICES.....	179
ANEXOS.....	187





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Distribución de tamaños de las partículas en el agua .....	4
2.	Esquema de la doble capa eléctrica.....	12
3.	Modelo de la doble capa difusa de Stern-Gouy.....	13
4.	Energía potencial de interacción entre dos coloides .....	15
5.	Neutralización de las cargas coloidales por acción de la adición de un coagulante.....	20
6.	Energía potencial de interacción entre dos coloides .....	23
7.	Adsorción de polímeros en una coloide .....	24
8.	Esquema del proceso de coagulación .....	27
9.	Concentración de coloide expresada como concentración de superficie .....	31
10.	Modos de aplicación de polímeros .....	46
11.	Estructura del fruto <i>Prunus Persica S.</i> .....	52
12.	Interfaz de aplicación Granmo .....	61
13.	Resultados de Granmo.....	61
14.	Conformación de bloques de tratamientos.....	62
15.	Mapa de ubicación de la toma de muestra de agua.....	63
16.	Toma de muestra de agua río Samalá .....	63
17.	Mapa de ubicación de la toma de muestra de agua.....	64
18.	Toma de muestra de agua río Xequijel .....	64
19.	Mapa de ubicación de la toma de muestra de agua.....	65
20.	Toma de muestra de agua río Samalá .....	65
21.	Preparación de turbiedad artificial .....	66

22.	Pesaje de arcilla para inducir turbiedad en bloque 4 .....	67
23.	Pesaje de arcilla para inducir turbiedad en bloque 5 .....	68
24.	Pesaje de arcilla para inducir turbiedad en bloque 6 .....	68
25.	Mapa de ubicación de cultivos de <i>Prunus Persica S Salcajá</i> .....	71
26.	Recolección de semillas en plantación es de <i>Prunus Persica S</i> “Salcajá” .....	71
27.	Semillas de <i>Prunus Persica S</i> “Salcaja” encontradas.....	72
28.	Semillas adquiridas de producción doméstica. ....	72
29.	Secado de semillas y maceración.....	73
30.	Secado y molienda.....	74
31.	Película de grasas en la superficie de la jarra.....	75
32.	Flujograma de producción de coagulante.....	76
33.	Condiciones de las semillas encontradas.....	77
34.	Calidades de semillas encontrados .....	78
35.	Calidades de semillas <i>Prunus Persica S Salcajá</i> encontradas .....	78
36.	Peso de las diferentes clases de semillas encontradas .....	79
37.	Semilla rallada y aplicación de calor.....	80
38.	Proceso de tamizado y obtención de coagulante final .....	80
39.	Porcentaje de utilidad en el proceso de recolección de semillas.....	81
40.	Semillas recolectadas.....	81
41.	Semillas deshidratadas.....	82
42.	Pesaje de semillas y endocarpio.....	82
43.	Campana de extracción.....	83
44.	Proceso de extracción de coagulante.....	84
45.	Equipo para mezcla rápida.....	87
46.	Equipo agitador de mezcla lenta .....	88
47.	Iluminación led .....	89
48.	Prototipo de agitador a 40 r.p.m.....	90
49.	Agua empleada para el bloque 1 .....	92

50.	Dispositivos para mezcla rápida y mezcla lenta.....	92
51.	Aplicación de coagulante en mezcla rápida .....	93
52.	Laboratorio de Química y Microbiología .....	94
53.	Mezcla de agua y llenado de vasos precipitados.....	94
54.	Prueba jarras con agitador de laboratorio y agitador experimental utilizado en el bloque 1 .....	95
55.	Preparación de solución de sulfato de aluminio.....	96
56.	Medición de parámetros turbiedad, color y pH.....	96
57.	Resultados de color trabajados con diluciones .....	97
58.	Resultados cualitativos del bloque 1 .....	101
59.	Resultados cualitativos del bloque 2.....	104
60.	Toma de muestras para determinación de cianuro.....	107
61.	Resultados cualitativos del bloque 3.....	109
62.	Resultados cualitativos del bloque 4.....	112
63.	Resultados cualitativos del bloque 5.....	115
64.	Resultados cualitativos del bloque 6.....	118
65.	Fabricación de agua para prueba comparativa .....	122
66.	Prueba de mezclado .....	122
67.	Resultados cualitativos de la prueba comparativa .....	123
68.	Variación de la turbiedad en el bloque 1.....	131
69.	Comparación de valores de turbiedad en dos tipos de agitadores ....	132
70.	Variación de la turbiedad en el bloque 2.....	134
71.	Variación de la turbiedad en el bloque 3.....	135
72.	Variación de la turbiedad en el bloque 4.....	136
73.	Variación de la turbiedad en el bloque 5.....	137
74.	Variación de la turbiedad en el bloque 6.....	138
75.	Medias marginales de % de remoción en función a los tratamientos aplicados.....	139
76.	Casos de homogeneidad de varianzas.....	140

77.	Diagrama de cajas para porcentaje e remoción y tratamientos aplicados .....	140
78.	Medias marginales de % de remoción en función a los bloques de turbiedad .....	141
79.	Diagrama de cajas para porcentaje e remoción y tratamientos aplicados .....	142
80.	Interacción de tratamientos.....	143
81.	Variación del color en el bloque 1 .....	144
82.	Comparación de valores de turbiedad en dos tipos de agitadores ....	145
83.	Variación del color en el bloque 2 .....	146
84.	Variación del color en el bloque 3 .....	147
85.	Variación del color en el bloque 4 .....	148
86.	Variación del color en el bloque 5 .....	149
87.	Variación del color en el bloque 6 .....	150
88.	Medias marginales de porcentaje de remoción de color en función a los tratamientos aplicados .....	151
89.	Diagrama de cajas para porcentaje de remoción de color y tratamientos aplicados .....	152
90.	Medias marginales de porcentaje de remoción de color en función a los bloques de color .....	153
91.	Diagrama de cajas para porcentaje de remoción de color y bloques de color.....	154
92.	Interacción de tratamientos.....	155
93.	Variación del pH en del bloque 1 al bloque 6 .....	156

## TABLAS

I.	Mecanismos de desestabilización en relación a las características del agua y de las partículas .....	29
II.	Análisis en el uso de los polímeros .....	38
III.	Polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes .....	41
IV.	Relación de las especies naturales por estudiar. ....	43
V.	Taxonomía de la especie <i>Prunus Persica S</i> .....	50
VI.	Composición química de la semilla <i>Prunus Persica S</i> Salcajá.....	53
VII.	Operacionalización de variables.....	59
VIII.	Instrumentos de recolección de información usados .....	69
IX.	Peso de semillas procesadas .....	83
X.	Arreglo de datos en bloques completos al azar.....	98
XI.	Tabla ANOVA .....	99
XII.	Valores iniciales en bloque 1 .....	103
XIII.	Valores finales del bloque 1 .....	104
XIV.	Valores iniciales de bloque 2 .....	106
XV.	Valores finales de bloque 2.....	107
XVI.	Resultados de determinación de cianuro.....	108
XVII.	Valores iniciales de bloque 3 .....	111
XVIII.	Valores finales de bloque 3.....	111
XIX.	Valores iniciales de bloque 4 .....	114
XX.	Valores finales de bloque 4.....	114
XXI.	Valores iniciales de bloque 5 .....	117
XXII.	Valores finales de bloque 5.....	117
XXIII.	Valores iniciales de bloque 6 .....	120
XXIV.	Valores finales de bloque 6.....	120
XXV.	Resultados de turbiedad en los dos equipos.....	121
XXVI.	Resultados de color en los dos equipos .....	121

XXVII.	Diferencia de valores de turbiedad y color .....	123
XXVIII.	Eficiencias encontradas para turbiedad .....	124
XXIX.	Análisis de varianza para eficiencia de remoción de turbiedad .....	124
XXX.	Resultados de la prueba de Tukey para tratamientos con coagulante .	125
XXXI.	Resultados de la prueba de Tukey en bloques de turbiedad.....	126
XXXII.	Eficiencias encontradas para color.....	127
XXXIII.	Análisis de varianza para para eficiencia de remoción de color .....	127
XXXIV.	Resultados de la prueba de Tukey para tratamientos con coagulante .	128
XXXV.	Resultados de la prueba de Tukey bloques de color.....	129

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\alpha$	Alfa
cm <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
CGL	Cromatografía gas líquido
g/mol	Gramos sobre mol
H <sub>a</sub>	Hipótesis alternativa
H <sub>0</sub>	Hipótesis nula
$\mu$	Media Media
m $\mu$	Micrómetros
mg/L	Miligramos sobre litro
ml	Mililitro
$\pi$	Nivel de probabilidad
NTG	Norma Técnica Guatemalteca
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
$\psi_0$	Potencial cero
pH	Potencial de Hidrógeno
$\psi\phi$	Potencial Phi
$\psi\zeta$	Potencial zeta
Al <sub>2</sub> (SO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	Sulfato de aluminio
UE	Unidades experimentales
UNT	Unidades nefelométricas de turbidez
UPt-Co	Unidades platino cobalto





## GLOSARIO

<b>Agua potable</b>	Agua apta para el consumo humano, cumple con todos los requisitos físicos, químicos y microbiológicos establecidos por la norma guatemalteca COGUANOR NGO 29001.
<b>Alzheimer</b>	Es un tipo de demencia que causa problemas con la memoria, el pensamiento y el comportamiento.
<b>Amigdalina</b>	Es un glucósido cianogénico presente en las semillas de varias plantas de la subfamilia <i>Amygdaloideae</i> , en la familia <i>Rosaceae</i> . Se ha utilizado en algunos países como tratamiento para el cáncer, pero no se ha demostrado que sea eficaz en ensayos clínicos con seres humanos.
<b>ANOVA</b>	En inglés, <i>ANalysis Of VAriance</i> por sus siglas en inglés, es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas.
<b>AWWA</b>	<i>American Water Works Association</i> asociación científica y educativa internacional sin fines de lucro fundada para mejorar la calidad y el suministro de agua.

<b>Coagulación</b>	Proceso mediante el cual se añaden compuestos al agua, para reducir las fuerzas que mantienen estable a la materia suspendida, coloidal y disuelta, con ayuda de la energía de mezclado.
<b>Coagulante</b>	Sustancia química que, al añadir al agua, produce la unión de las partículas en suspensión presentes, para producir un floculo insoluble en agua, para facilitar la posterior sedimentación de los floculos.
<b>CEPIS</b>	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>EFSA</b>	<i>European Food Safety Authority</i> por sus siglas en inglés, es la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria.
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.
<b>FCAA IARNA</b>	Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
<b>Flóculos</b>	Partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante.
<b>Floculación</b>	Proceso que propicia el contacto entre partículas, mediante mezclado lento, para formar floculos y de esta manera facilitar su precipitación.

<b>Granmo</b>	Calculadora de Grandària Mostral
<b>MSPAS</b>	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social Guatemala.
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la Salud.
<b>Polímeros</b>	Son cadenas de monómeros individuales, ligados entre sí en una configuración lineal o ramificada con grupos funcionales, unidos enlaces covalentes que pueden poseer carga negativa, carga positiva o una carga neutral, o con muy baja tendencia a desarrollar carga en una solución acuosa.
<b><i>Prunus Persica</i></b>	También denominado melocotonero, duraznero es una especie de árbol del género <i>Prunus</i> de la familia <i>Rosaceae</i> , el cual posee un fruto el cual se denomina popularmente durazo.
<b>PTAP</b>	Planta de tratamiento de agua potable



## RESUMEN

La presente investigación está enfocada en el uso de la molienda producida a partir de la semilla de *Prunus Persica* Salcajá, melocotón Salcajá como se le conoce comúnmente, como coagulante natural en el tratamiento del agua y que a su vez pueda ser un sustituto del sulfato de aluminio y que no genere subproductos que ejerzan daños a la salud de los seres vivos.

Mediante el diseño experimental de bloques completos al azar y con ayuda de la calculadora muestral Granmo se establecieron 6 grupos en los cuales se repitieron 4 tratamientos: sin aplicar coagulante, 30, 70, y 140 mg/L, en dichos grupos se evaluaron rangos de turbiedad y color distintos utilizando 3 fuentes de agua provenientes de los ríos Samalá en dos lugares distintos y Xequijel, y agua del grifo con turbiedad inducida mediante inclusión de arcilla.

Debido a las restricciones a causa de la pandemia COVID-19 y a la flexibilidad que proporciona el modelo experimental se realizó un bloque a escala domiciliar con un equipo experimental de agitación, obteniendo una diferencia del 31 % en remoción de turbiedad y 29 % en remoción de color al evaluarlo con los tratamientos a escala de laboratorio, los cuales fueron realizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, durante el desarrollo de las pruebas se evaluaron los parámetros de pH, turbiedad y color, además de realizar un análisis de cianuro en un laboratorio privado, acusa de los Glucósidos Cianogénicos que pueden llegarse a formar en las semillas del género *Prunus*.

Los resultados que se obtuvieron para la remoción de turbiedad estuvieron por debajo del 65 % en turbiedades menores a las 28 UNT, mientras que los mejores resultados se presentaron en turbiedades mayores a las 100 UNT con eficiencias arriba de 77.8 % ambas eficiencias corresponden al tratamiento e 30 mg/L; para color las eficiencias no pasaron del 60 % en rangos de color de 40 a 1656 UPt-Co. Al realizar el análisis de cianuro para los tratamientos de 30, 70, y 140 mg/L se comprobó que el agua subproducto del tratamiento con este coagulante no contiene cantidades de cianuro que incumplan la Norma COGUANOR NTG 29001.

En cuanto al análisis de varianza mostró que los tratamientos para rangos de turbiedad ente 3 a 623 UNT no son estadísticamente significativos, al no presentar mayor variación en sus tratamientos promedio, lo mismo ocurrió con el análisis de color entre los rangos de 40 a 2250 UPt-Co. La prueba Post Hoc bajo el criterio de Tukey demostró que el mejor resultado en remoción de turbiedad se da en el tratamiento de 30 mg/L. con un valor promedio de 64.99 % de eficiencia, mientras que la misma prueba mostro que en remoción de color el mejor resultado se da en el mismo tratamiento de 30 mg/L, solo que con una eficiencia de remoción promedio de 43.30 %.

El mismo análisis de varianza también arrojó que si existe diferencia significativa entre bloques y mediante la prueba Post Hoc se pudo analizar que las turbiedades arriba de 100 UNT presentan resultados mejores cuyas diferencias son estadísticamente significativas y que el mejor resultado se encuentra en el bloque de 623 UNT con una eficiencia del 84.35 % mientras que para color sucedió lo mismo, aunque la diferencia fue estadísticamente significativa a partir de las 236 UPt-Co.

Con esta investigación se comprobó que, aunque exista acción coagulante, el uso la molienda producida por las semillas *Prunus Persica* Salcajá, no es técnicamente factible debido a que con las dosis ensayadas y en los rangos evaluados no se cumple la Norma COGUANOR NTG 29001; estos resultados pueden variar por las condiciones de las aguas naturales analizadas y del agua fabricada en el laboratorio así como del proceso de extracción del coagulante, lo cual es un tema sugerido en investigaciones futuras.





## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el año 2014 solamente un 40 % de las muestras de agua analizadas para determinar cloro residual en agua cumplían con la normativa de Guatemala; para el año 2013 al menos del 40 % del agua de consumo humano recibió desinfección en las áreas urbanas; en muchos casos el agua se capta directamente del río o lago y se distribuye directamente sin realizar tratamiento alguno. Los niveles de bacterias del grupo coliformes y de bacterias patógenas son elevados siendo característicos de aguas residuales sin tratamiento, más que de agua de río, lo que pone en riesgo la salud de la población.<sup>1</sup>

Los coagulantes químicos más usados en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso y férrico y el cloro-sulfato férrico.<sup>2</sup> Actualmente en Guatemala las plantas de tratamiento utilizan sulfato de aluminio, como coagulante inorgánico, siendo este el más común el medio.

Según la Universidad de Zulia en su publicación No, 381, existen estudios que han concluido en que el aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser peligroso para la salud, con efectos graves en el sistema nervioso central, al punto de que se considera que existe una relación entre los agentes etiológicos del mal de Alzheimer y la concentración de aluminio en el organismo, además de que podría ocasionar envejecimiento prematuro<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Plan Nacional de Agua y Saneamiento. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Guatemala.* p. 8.

<sup>2</sup> CEPIS/OPS, *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida.* p.174

<sup>3</sup> Universidad de Zulia. *Proponen utilizar coagulantes naturales para la potabilización de agua. La Universidad de Zulia,* p. 4.

El uso de coagulantes químicos supone un costo de aproximadamente Q. 8.00 por kilogramo; actualmente en Guatemala el más usado es el sulfato de aluminio en plantas de tratamiento entre las cuales se pueden mencionar: Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Escuintla, PTAP Planta Lo de Coy, La Brigada, Santa Luisa, El Cambray, ubicadas en el departamento de Guatemala, PTAP de Sanarate el Progreso, y PTAP de Santa Cruz del Quiché.

Actualmente el tema de coagulantes naturales es un tema de investigación con mucho campo; un ejemplo es la metodología propuesta Ramírez y Jaramillo para el análisis de 16 semillas diferentes teniendo en cuenta su contenido en proteínas y polisacáridos para el proceso de coagulación investigando también el proceso de desinfección; dichas semillas son: semillas de *Jatropha curcas*, Cáliz de *Hibiscus Sabdariffa*, almidón de maíz, semillas de maíz dulce, semilla , de maracuyá, semilla de durazno, cáscara de papa, semillas de soja, semilla de haba, frijoles secos, extracto de semillas de mandarina, extracto de semillas de toronja y tánguelo, extractos de semillas de naranja, extractos de semillas de limón extracto de semillas de lima, extractos de semillas de guanaba<sup>4</sup>.

En Guatemala las investigaciones de coagulantes se han limitado al estudio de las siguientes especies: semilla de moringa, fécula de maíz, almidón de yuca, semilla de tamarindo. En dichos modelos de investigación se han analizado la efectividad del coagulante, predominando el análisis binomial para el establecimiento de muestra. Por otra parte, no se encuentra un marco referencial sobre que propiedades intervienen en el mecanismo de coagulación que caracterizan al coagulante.

---

<sup>4</sup> RAMÍREZ, Hildebrando, JARAMILLO, Jhoan. *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. Ingeniería Solidaria* p. 148.

Tomando en cuenta que en Guatemala son pocas las especies estudiadas como coagulantes naturales, es necesario investigar y aplicar nuevos modelos para conocer la efectividad de las especies no estudiadas, debido a esto el estudio del uso de la molienda a partir de las semillas de *Prunus Persica* S “Salcajá” genera la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué características determinarán la factibilidad de la aplicación de la molienda de semilla de *Prunus Persica* S “Salcajá como coagulante natural para la reducción de turbiedad y color en el agua?



## JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El incremento en la demanda de agua en los centros urbanos y rurales es cada vez más difícil de satisfacer y está generando serios problemas de sobreexplotación, se habla de escasez y falta de agua debido a la temporalidad del recurso agua y su contaminación. Para el 2000, se estimó un consumo doméstico de 283 millones de metros cúbicos y para el 2025 se estiman 1,210 millones de metros cúbicos de agua para cubrir la demanda de la población.

En cuanto al abastecimiento en el país el documento citado anteriormente hace mención que el suministro de agua potable de 331 municipalidades se abastece del 70 % con aguas superficiales y 30 % con aguas subterráneas, un 66 % usa sistemas de gravedad, 18.5 % utilizan bombeo y 15.2 % son sistemas mixtos. Dicho documento también hace mención que la contaminación que afecta a la mayoría de los principales ríos del país disminuye la disponibilidad de agua.

De 223 centros urbanos de más de 2,000 habitantes con sistema de drenaje, solo 24 aplican alguna clase de tratamiento a sus aguas residuales (la mayoría primario), el resto la descarga directamente a los ríos afectando la calidad de estos. Ante esta situación es necesario buscar alternativas que favorezcan el tratamiento de los ríos o mejoren la calidad del agua que se consume de los mismos debido a que un 70 % de las fuentes de abastecimiento de agua del país son superficiales<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Universidad Rafael Landívar. *Situación del Recurso Hídrico en Guatemala* p. 17.

El garantizar el agua en cantidad y en calidad suficientes es imprescindible para el desarrollo sostenible a nivel económico, social y ambiental. Por ello el objetivo de desarrollo número seis fijado en julio de 2010 por parte de la Asamblea General de Naciones Unidas, plantea garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas las personas, relacionado a este objetivo se desprende el concepto de seguridad hídrica que tomando de Grey y Sadoff se define como “la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua”.<sup>6</sup>

Para alcanzar la seguridad hídrica, en una población será necesario invertir tanto en infraestructura de almacenamiento, transporte y tratamiento como así también de instituciones sólidas y en la información y herramientas necesarias para predecir, planificar y enfrentar la variabilidad climática. Es por ello que realizar investigaciones acerca de productos coagulantes que no produzcan efectos a la salud contribuirían a alcanzar la seguridad hídrica minimizando los riesgos relacionados al agua que puedan producirse por el tratamiento.

Es necesario mejorar el acceso a los servicios de abastecimiento de agua potable. Por ello en la presente investigación, se buscan alternativas para la reducción de los valores de turbiedad y color hasta los límites permisibles en la normativa guatemalteca de agua potable, por medio de coagulantes orgánicos, que permitan la aglomeración de sólidos, debido a que el uso de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, causa enfermedades neurodegenerativas, al ser humano. En la actualidad no se encuentra un coagulante orgánico que

---

<sup>6</sup> GREY, David, SADOFF, Claudia. *Sink or Swim? Water Security for Growth and Development*. p. 547.

logre sustituir al sulfato de aluminio y es necesario encontrar alternativas orgánicas que logren sustituirlo.

La presente investigación forma parte de la línea de investigación agua para consumo humano, presentada en el manual operativo para el proceso de estudio especial de ERIS. Además, a nivel ambiental el uso la molienda producida a partir de la semilla de *Prunus Persica* S Salcajá, promueve el uso de una semilla que por lo regular es tirada en los domicilios, y en el cultivo muchas veces por el peso de la fruta o el aire cae al suelo biodegradándose rápidamente el fruto, quedando la semilla. El uso de estas semillas supone un aprovechamiento de las propiedades antioxidantes más allá de aprovechamiento biológico que estas puedan formar como abono al biodegradarse en suelo.

A nivel científico, esta investigación se justifica porque tiene como finalidad la creación de nuevas teorías para la medicación de las aguas en regiones urbanas como rurales, y nuevas formas de remediación ya que en la actualidad no se encuentra un coagulante orgánico que logre sustituir al sulfato de aluminio y es necesario encontrar alternativas orgánicas que logren sustituirlo, además genera conocimiento respecto al uso de especies para la mejora de la calidad del agua. A nivel económico, esta investigación se justifica porque tiene como finalidad el ahorro para la población, ya que, al reducir los gastos de tratamiento de aguas, se contribuirá a la reducción tarifaria, y mejora a los servicios en cantidad calidad y continuidad.





## OBJETIVOS

### General

Determinar la factibilidad del uso de la molienda producida a partir de la semilla de *Prunus Persica S*, Salcajá como coagulante natural para reducir la turbiedad, y color en el agua.

### Específicos

1. Establecer las propiedades coagulantes de la semilla *Prunus Persica S* Salcajá para remover la turbiedad, y color en el agua.
2. Determinar la concentración eficiente de la molienda producida a partir de la semilla de *Prunus Persica S* Salcajá que permita la reducción de la concentración de turbiedad, y color en el agua.
3. Determinar la eficacia del coagulante natural respecto a los valores de turbidez y color obtenidos de las muestras de agua.
4. Comparar los resultados con la normativa vigente en Guatemala COGUANOR NTG. 29001.



## HIPÓTESIS

Es técnicamente factible la aplicación de la molienda producida a partir de la semilla de *Prunus Persica* S Salcajá como coagulante orgánico, para remover la turbiedad y el color del agua, destinada para consumo humano.



## ANTECEDENTES

Lotti y Anelli, examinaron los aceites extraídos de las semillas de 60 variedades de duraznos, cultivadas en la región de Toscana. Utilizaron un diseño experimental y analizaron las características tradicionales y composición ácida de los aceites, mediante la evaluación por cromatografía gas-líquido CGL; concluyendo que la variedad influye notablemente tanto sobre el contenido del aceite, como de la composición acídica de los mismos<sup>7</sup>.

Los polímeros orgánicos de origen natural se han utilizado por más de 4000 años en India, en África y en China como coagulantes eficientes y como ayudantes de coagulación de aguas con alta turbidez, para uso doméstico en áreas rurales<sup>8</sup>.

Como alternativa a los coagulantes metálicos, al inicio de los años setenta en varios países latinoamericanos se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales locales para disminuir en parte o en su totalidad el consumo de coagulantes sintéticos. Esta iniciativa no tuvo un auge significativo debido a la producción y comercialización de polímeros sintéticos con mayor efectividad. No obstante, son muy diversas las fuentes naturales estudiadas en todo el mundo, con la intención ser utilizadas como coagulantes, para la clarificación del agua<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> FUNES, Jorge. *Estudio de la composición química de la semilla y de los aceites de semilla de frutos de especies de "Prunus" de producción nacional. Harinas de extracción.* p.17

<sup>8</sup> ASRAFUZZAMAN, Md y otros. *Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants.* p. 1.

<sup>9</sup> RODRÍGUEZ, J. y otros. *Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora.* p. 11

En Guatemala, se han realizado algunos estudios sobre la coagulación Mejía, realizó el estudio de la semilla de moringa como coagulante natural, reportando una reducción los niveles de turbiedad del 80 % lo que limitó a este estudio fue la evaluación de únicamente dos turbiedades diferentes con un tiempo de sedimentación de 24 horas<sup>10</sup>.

Martínez evaluó la fécula de maíz como coagulante, en el cual concluye que se puede substituir hasta un 25 % del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación. Con la observación que solo evaluó dos turbiedades diferentes, sin una muestra base (testigos) y se hizo la prueba al reemplazar 1/4 y 1/3 de la dosis óptima de sulfato de aluminio por fécula de maíz<sup>11</sup>.

Moscozo Barrios realizó la evaluación del uso de almidón de yuca como coagulante natural, realizando diferentes combinaciones entre almidón de yuca y sulfato de aluminio a modo de establecer cuál es la dosis de sulfato de aluminio que puede ser sustituida por almidón de yuca. Su investigación fue de tipo experimental el número de pruebas fue de 6 a intervalos del 20 %, cada uno de los porcentajes la prueba se basó en el método 1060B indicado en Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales de la editorial Díaz de Santos, las pruebas de jarras se realizaron conforme a la Norma ASTM D 2035-08 Standard *Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*, con un volumen de jarras de 2,000 cm<sup>3</sup>; a partir de la metodología descrita anteriormente el autor concluyó que es posible substituir hasta en un 60 % del sulfato de aluminio. Cabe mencionar que ninguna combinación presentó mejor eficiencia que al utilizar únicamente sulfato de aluminio y no se utilizaron testigos<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> MEJÍA, GUILLEN, Juan. *La utilización de la semilla de la moringa Oleífera como coagulante natural*. p. 5

<sup>11</sup> MARTÍNEZ MORÁN, Eddy. *El uso de fécula de maíz como una alternativa de ayuda en el proceso de coagulación del agua cuando se emplea el sulfato de aluminio*. p. 34

<sup>12</sup> MOSCOZO BARRIOS, Luis. *Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización*. p. 15.

Álvarez Suazo evaluó la capacidad de la semilla de tamarindo como coagulante. Su diseño de investigación fue experimental, el número de pruebas se basó en una distribución binomial con valores  $\alpha = 0.01$  y  $\pi = 0.80$ , dando como resultado 24 pruebas; se preparó la prueba de jarras conforme a la Norma ASTM D 2035-08 *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water* con un volumen de jarras de 1,000 cm<sup>3</sup> y se filtró mediante el uso de un filtro, una bomba de vacío, un embudo y un matraz para filtrar; en este estudio también se sustituyó el sulfato de aluminio por el coagulante natural a intervalos del 20 %. Como resultado esta semilla presentó una eficiencia del 67.8 % en la remoción de turbiedad y 49.7 % en la remoción de color, aunque económicamente no es una propuesta factible según el análisis realizado por el autor<sup>13</sup>.

Turcios Flores, evaluó la capacidad de la semilla moringa oleífera como coagulante. Planteando un diseño de investigación experimental, con un número de 25 muestras determinado por la prueba de distribución binomial, con  $\alpha = 0.05$  y  $\pi = 0.70$ , la prueba del coagulante se realizó mediante pruebas de jarras conforme a la Norma ASTM D 2035-08 *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water* con un volumen de jarras de 2,000 cm<sup>3</sup> también se realizó una sustitución con sulfato de aluminio en intervalos de 20 %. Como resultado no logró alcanzar los 15 UNT de turbiedad indicados por la norma COGUANOR NTG. 29001, en una hora de sedimentación, y al combinarla con sulfato de aluminio, este proporcionaba la mayor acción coagulante, con esto no se lograba disminuir la acción de un coagulante químico. Los porcentajes de remoción en 30 minutos de sedimentación fueron de 67 % en la turbiedad y 50 % en el color<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> ÁLVAREZ SUAZO, Tania. *Uso de la semilla de tamarindo (tamarindus indica) como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización*. p.16.

<sup>14</sup> TURCIOS FLORES, Edwin. *Uso de semilla de moringa oleífera como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano*. p.17.

Por otra parte, en México, Fernández desarrolló la investigación titulada *Fitorremediación mediante cotiledones de durazno (Prunus Persica) para reducción de turbidez y Escherichia coli de aguas domésticas*. En dicha investigación planteó una investigación del tipo experimental, su espacio muestral consto de 3 corridas de prueba de jarras, con 5 vasos precipitados cada uno con 600 cm<sup>3</sup> de muestra, dicho espacio muestral no tiene un fundamento estadístico, sin embargo, el análisis de datos se realiza mediante un análisis de varianza por sus siglas en inglés ANOVA. Sus resultados demuestran que el uso de las semillas de *Prunus Persica* removi6 la turbidez en un 82 %, y redujo los valores de *Escherichia coli* en 95 %. en esta investigación no se analiz6 color, y solo se limita a especificar un origen de las semillas siendo este el de un mercado local, ni se relacion6 dicho coagulante con otros coagulantes naturales de otros estudios<sup>15</sup>.

Barbarán Silva, Lopez Chavez, y Chico Ruiz, presentaron la investigación titulada *Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (Prunus Persica) y palta (Persea Americana)*. Dicha investigación de carácter experimental, presento 6 tratamientos diferentes, con tres repeticiones de cada uno; la aplicación de los coagulantes se realiz6 mediante prueba de jarras con un volumen de 700 cm<sup>3</sup>, dicha investigación no se apoya de un modelo estadístico de análisis de datos. Los resultados mostraron que el coagulante obtenido de la semilla de durazno tiene un porcentaje de remoción del 92.95 % a la concentración de 15 gr/L; mientras que la semilla de palta a 5 gr/L, su porcentaje de remoción es de 48,92 %<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> FERNÁNDEZ HORÓSTEGUI, Helenn. *Fitorremediación mediante cotiledones de durazno (Prunus persica) para reducción de turbidez y Escherichia coli de aguas domésticas, Distrito de Oyón*. p.17.

<sup>16</sup> BARBARÁN SILVA, Hellen, LOPEZ CHAVEZ, Jhanny y CHICO RUIZ, Julio. *Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (prunus persica) y palta (persea americana)*. p. 16



Un caso reciente en Ecuador, Chavez Herrera desarrolló la evaluación de la acción coagulante de la semilla de durazno y tallo de nopal: aclaración de aguas turbias. El autor describe su tipo de investigación como cuantitativa de tipo experimental; su espacio muestral se limitó 5 análisis para una muestra de turbiedad, específicamente 3 aplicaciones de coagulante a base de semilla de durazno y 1 aplicación de coagulante de nopal, no se evidencia la utilización de prueba de jarras. Como resultado se tuvo una reducción de 61 unidades de turbiedad en 200 ml de agua con 100 mililitros de coagulante durante un periodo de 12 horas, sin embargo, no logro profundizar sobre el desarrollo de la semilla de durazno, enfocándose más al uso del tallo de nopal, además el agua usada era para uso recreativo<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> CHAVEZ HERRERA, Santiago. *Evaluación de la acción coagulante de la semilla de durazno y tallo de nopal: aclaración de aguas turbias*. p.18



## ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La presente investigación es cuantitativa de tipo experimental, porque no tendrá un solo tratamiento y tendrá un punto de control que será el testigo, relacionando los efectos de los tratamientos sobre pH, turbiedad, color.

Las pruebas de laboratorio se limitarán únicamente a encontrar algunas de las propiedades físicas, y organolépticas del agua; siendo estas: turbiedad, color aparente, pH. los primeros dos parámetros determinaran si existe un tratamiento al aplicar el coagulante natural; los niveles pH son importantes en la coagulación, por lo tanto, es necesario determinar su comportamiento en la aplicación de los tratamientos, respecto al valor inicial de la muestra de agua a tratar. Esta investigación no considera los demás parámetros organolépticos y fisicoquímicos, pues no busca determinar la influencia de ellos en el coagulante. Por otro lado, en investigaciones anteriores, no se especifica el uso de la semilla de *Prunus Persica* S “Salcajá” por lo que la información al respecto se limita a pequeñas investigaciones en México como Ecuador, quienes a su vez no han profundizado en el origen de dicha semilla, existiendo diferentes tipos del género *Prunus Persica*. Con base en estudios anteriores se ha llegado a la conclusión que la especie más común es la Salcajá, por lo tanto, el estudio se limitará únicamente a esta especie.

El análisis de laboratorio implica el análisis de aguas con turbiedades altas como bajas y se estará realizando una prueba con sulfato de aluminio, para conocer la variación del coagulante experimental respecto al coagulante químico.

El tipo agua a utilizar proviene de dos fuentes la primera son aguas naturales de ríos de la región de occidente, las cuales aportan turbiedades bajas y medias, debido a la época en que se realizaron las pruebas; la segunda fuente de agua es agua del grifo de laboratorio con inclusiones de arcilla para lograr las turbiedades altas.

El modelo experimental por utilizar es el llamado Bloques Completos al Azar y el número de bloques fueron calculados mediante la calculadora muestral Granmo, resultando un numero de 6 bloques.

El equipo de laboratorio como agitadores para la prueba de jarras es un factor limitante para realizar el estudio en el interior del país, debido a que son escasos los laboratorios públicos y privados que cuentan con este equipo. Reservándose el derecho de uso de los laboratorios privados.

## INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como un recurso imprescindible en la subsistencia de los ecosistemas, pero sobre todo es un derecho esencial para la vida y la dignidad de los seres humanos. Su carácter transversal hace que sea un recurso necesario para el desarrollo sostenible a nivel económico, social y ambiental.

Según el Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015, se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40 % de agua en un escenario climático en que todo sigue igual, en dicho informe también se hace mención que las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50 % de la población mundial y representan el 43 % de toda el agua utilizada para el riego, además a nivel mundial, 2.500 millones de personas dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua. A nivel regional, el límite global de sostenibilidad ecológica de agua disponible para su extracción ha sido superado por una tercera parte aproximadamente de la población, y aumentará hasta aproximadamente la mitad hacia el año 2030.

La disponibilidad de agua se enfrenta a las presiones de la contaminación, en el caso de las aguas superficiales debido a fuentes naturales derivadas de la erosión de los suelos, disolución de sustancias minerales y descomposición de materia orgánica y las actividades humanas, como descargas sanitarias, industriales y agrícolas, lo cual vulnera el recurso hídrico de las aguas superficiales. El color y la turbiedad son parámetros de gran importancia en la evaluación de la calidad de efluentes tratados, se consideran indicadores

sanitarios y están considerados dentro de los parámetros de aceptación para aguas que se destinen al consumo humano.

Actualmente existen diferentes procesos fisicoquímicos para el tratamiento del agua, siendo uno de los más usados el proceso coagulación floculación, en dicho proceso se añaden compuestos químicos al agua para reducir las fuerzas que separan a los coloides y, puedan formar aglomerados que se sean fáciles de remover del agua por sedimentación, mejorando las propiedades de color y turbiedad en el agua.

El proceso coagulación-floculación se caracteriza por el uso de coagulantes que son agentes que se agregan al agua para facilitar el asentamiento de materiales coloidales que se encuentran en suspensión, dentro de estos coagulantes se encuentran: el sulfato de aluminio, cloruro férrico, carbonato de calcio y polímeros orgánicos sintéticos. El sulfato de aluminio es un coagulante muy usado en distintos países, según algunos estudios está relacionado al deterioro cognitivo, demencia y en la aparición de la enfermedad del Alzheimer en los seres humanos<sup>18</sup>. También tienen incidencia en algunos animales como en el caso de la Tilapia donde tiene un impacto negativo sobre las hidrolasas del cerebro, el tracto digestivo y masa muscular<sup>19</sup>.

En la presente investigación, se explora el uso de la molienda producida a partir de *Prunus Persica* Salcajá como coagulante orgánico, determinando sus propiedades coagulantes, y encontrando su eficiencia entorno a la reducción de los valores de turbiedad y color en fuentes de aguas superficiales, determinado el cumplimiento de los límites permisibles en la normativa guatemalteca.

---

<sup>18</sup> RONDEAU, Virginie y otros. *Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort.*, p. 491

<sup>19</sup> MELO OLIVEIRA, Vagne. *Aluminium sulfate exposure: A set of effects on hydrolases from brain, muscle and digestive tract of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).* p. 103.

En el primer capítulo se presentan conceptos y descripciones generales acerca de las partículas en suspensión, el comportamiento de los coloides y su forma como sus propiedades; se aborda la naturaleza de la turbiedad y el color; así como se describe el proceso de coagulación -floculación, el uso de polímeros en el tratamiento del agua y las características de la especie *Prunus Persica* Salcajá. El segundo capítulo describe la metodología para la obtención del coagulante, el proceso de obtención del agua emplear en los tratamientos, como el planteamiento del modelo experimenta. El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos mediante el desarrollo del modelo experimental, las pruebas de jarras, la comparación cualitativa de los tratamientos aplicados, y el resultado de los análisis de varianza ANOVA realizados tanto para los resultados de turbiedad como de color. El último capítulo presenta la interpretación, discusión de los resultados como de las hipótesis planteadas en el planteamiento del modelo experimental.





# 1. MARCO TEÓRICO

Previamente al iniciar el estudio de la coagulación y floculación del agua es indispensable conocer algunos conceptos básicos, como los diferentes elementos que componen la turbiedad de las aguas.

## 1.1. Partículas en suspensión

Las aguas naturales contienen variedad componentes suspendidos y dispersos, estas partículas provienen de dos fuentes: las naturales, que son derivadas de la erosión de los suelos, disolución de sustancias minerales y descomposición de materia orgánica otra fuente puede ser así las actividades humana, como descargas sanitarias, industriales y agrícolas.

Las aguas superficiales contienen cantidades sustanciales de partículas suspendidas, especialmente, las corrientes de agua debido a los escurrimientos producidos por la precipitación, inundaciones que propician la erosión del suelo por el que fluyen arrastrando material desfragmentado del suelo y un alto contenido de bacterias<sup>20</sup>.

Estos escurrimientos son producidos por crecidas e inundaciones, y actualmente han aumentado debido al cambio climático y al cambio de uso de suelo; además en muchos casos a las corrientes de aguas son adicionadas

---

<sup>20</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 25.

descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas, lo que aumenta la cantidad de partículas suspendidas.

Las partículas suspendidas en el agua son de distintos tipos y tamaños; de acuerdo con su tamaño, las partículas suspendidas se clasifican en los siguientes tipos: macropartículas, sustancias húmicas y coloides<sup>21</sup>.

### **1.1.1. Macropartículas**

Se denominan macropartículas si el rango de tamaño está entre  $10^{-1}$  y  $10^{-3}$  mm, en este rango se encuentran las partículas como el limo, algas y protozoarios, estas partículas pueden ser removidas por tratamientos que involucran separación física como la filtración<sup>22</sup>.

Las macropartículas pueden sedimentarse a una velocidad razonable, por lo que solo podrían tratarse con sedimentación. La selección del tipo de tratamiento lo definirán la identificación de la naturaleza de estas partículas.

Según Andía Cárdenas, si el tamaño de las partículas presentes en el agua supera los de  $10^{-1}$  mm pueden ser eliminadas por tratamiento de separación física; estas partículas son de tamaño muy grande en las que se encuentran: la grava, la arena y algunas bacterias<sup>23</sup>.

---

<sup>21</sup> ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. p. 5.

<sup>22</sup> BECKETT, Ronald. *Surface and Colloid Chemistry in Natural Waters and Water Treatment*. p. 8.

<sup>23</sup> ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. p. 5.

### 1.1.2. Sustancias húmicas

Son responsables del color orgánico en el agua como resultado de la degradación de materia orgánica (celulosa, polipéptidos, lignina) por acción de microorganismos presentes en el agua<sup>24</sup>.

Las sustancias húmicas por lo regular se encuentran en ambientes naturales, como sedimentos y bosques, y en ambientes artificiales, como composta.

Las partículas coloidales están cubiertas por sustancias húmicas, las cuales se adsorben en la superficie coloidal, y que aportan a los coloides la carga negativa que poseen. Para los coloides con carga positiva, la adsorción es de moléculas húmicas de carga negativa; para los coloides con carga negativa, su superficie está cubierta primeramente por cationes de óxidos metálicos hidratados como el hierro, aluminio o silicón, estos iones positivos actúan como un puente para la adsorción de las sustancias húmicas, iones negativos<sup>25</sup>.

### 1.1.3. Partículas coloidales

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 milimicrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad, sus dimensiones las define la naturaleza de los coloides.<sup>26</sup>

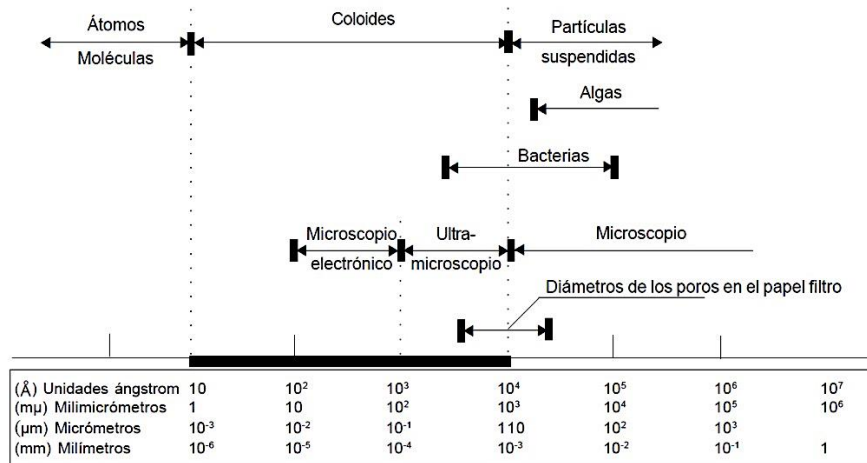
---

<sup>24</sup> SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*. p.20.

<sup>25</sup> BECKETT, Ronald. *Surface and Colloid Chemistry in Natural Waters and Water Treatment*. p. 8

<sup>26</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.154

Figura 1. **Distribución de tamaños de las partículas en el agua**



Fuente: CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*, p. 155.

## 1.2. Comportamiento de los coloides en el agua

Los sistemas coloidales pueden dividirse como hidrófobos o suspensores cuando repelen el agua, e hidrófilos o emulsores cuando presentan afinidad con ella. En los sistemas coloidales hidrófobos, las propiedades de la superficie de las partículas son muy importantes, principalmente en las aguas naturales, que pueden contener varios tipos de arcillas. Las arcillas y algunos óxidos metálicos son coloides hidrófobos muy importantes en el tratamiento del agua. Los coloides hidrofílicos comprenden soluciones verdaderas, ya sea de moléculas grandes o agregados de moléculas pequeñas (llamados micelas), cuyas dimensiones están dentro de los límites coloidales. Abarcan varios polímeros tanto sintéticos como naturales y numerosas sustancias de significación biológica como proteínas, ácidos nucleicos, almidones y otras macromoléculas<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.154.

Para Arboleda Valencia los sistemas coloidales se podrían dividir moleculares y no moleculares (micelares); liofílicos y liofóbicos, diuturnos y caducos, orgánicos e inorgánicos. Los coloides moleculares, están constituidos por sustancias polímeras, formadas por largas cadenas orgánicas, con pesos moleculares muy grandes entre estos se encuentran la gelatina, las proteínas, el almidón, entre otros. Los coloides de asociación o micelares pueden formarse por asociación de moléculas más pequeñas de minerales o compuestos orgánicos (jabones, detergentes), aglutinados en presencia de un dispersante en partículas de tamaño coloidal. Los coloides liofílicos formados por las dispersiones moleculares de sustancias poliméricas o sustancias aglutinadas en tamaño coloidal, que tienen una fuerte atracción por el solvente, y reaccionan químicamente con el agua, entre estos se encuentran jabones, materia orgánica encontrada en aguas residuales, poseen una capa hidratada la cual actúa como barrera entre las partículas. Los coloides liofóbicos están formados por sustancias insolubles como las arcillas, metales y son mucho más inestables que los liofílicos. Los coloides diuturnos son aquellos que no se modifican o se aglutinan durante mucho tiempo comparado con el período de observación; con un efecto contrario a estos los coloides caducos se aglutinan o cambian rápidamente<sup>28</sup>.

### **1.3. Forma de coloides**

Los coloides se encuentran relacionados con sus propiedades, se pueden clasificar a las formas coloidales en isométricas que tienen una dimensión igual en todas direcciones (esferas, poliedros); y anisométricas que se extienden preferentemente en una o dos dimensiones tales como cilindros, láminas, cintas<sup>29</sup>.

---

<sup>28</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.13.

<sup>29</sup> Ibid. p.13.

## **1.4. Propiedades de los coloides**

Entre las propiedades que poseen los coloides se encuentran cinéticas, ópticas, de superficie y electrocinéticas.

### **1.4.1. Propiedades cinéticas**

Son las propiedades que definen el comportamiento de las partículas coloidales referidas a su movimiento en el agua<sup>30</sup>.

Las propiedades cinéticas están relacionadas al movimiento de las partículas en el líquido en que se dispersan; esta interacción choques y con partículas similares se genera una repulsión.

Dentro de las propiedades cinéticas se encuentra el, movimiento Browniano, esta propiedad es la que más distingue a las dispersiones coloidales, y hace que estas no puedan sedimentarse aun cuando las partículas son más densas que el líquido que las rodea. La difusión es la distribución uniforme en un solvente debido al movimiento incesante de las partículas coloidales; por último, se encuentra la presión osmótica, que es la presión necesaria para equilibrar el flujo un solvente en una solución coloidal mediante una membrana<sup>31</sup>.

---

<sup>30</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 159

<sup>31</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.14.

### **1.4.2. Propiedades ópticas**

Dentro de estas propiedades se encuentra la diseminación de luz basada en el efecto Tyndall-Faraday el cual es un fenómeno por el cual las partículas coloidales provocan la dispersión de la luz cuando esta pasa a través de una suspensión coloidal. Esta dispersión es directamente proporcional al tamaño de las partículas. Otra propiedad es la coloración u opalescencia donde inicialmente los coloides son incoloros. Sin embargo, las suspensiones coloidales aparecen con una cierta coloración. Se basa en La Ley de Lambert-Beer establece que la absorción es proporcional a la longitud de la luz a través de la solución absorbente y a la concentración de la solución<sup>32</sup>.

### **1.4.3. Propiedades de superficie**

Para Mendoza e Ibañez la propiedad de superficie se da por la adsorción que es la capacidad de concentrar o retener componentes en la superficie del coloide, adsorbiendo inclusive iones que les confieren cargas positivas o negativas y, por tanto, no resulta práctico sedimentar las partículas coloidales sin tratamiento químico previo<sup>33</sup>.

Del párrafo anterior sabemos que la capacidad de adsorción en las superficies es una de sus principales propiedades, su importancia radica a que, gracias a ella, las partículas que se encuentran estables en el agua debido a su carga superficial pueden ser desestabilizadas con la adición de partículas que forman un aglomerado con los coloides.

---

<sup>32</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.15.

<sup>33</sup> MENDOZA GOMEZ, Mónica e IBAÑES Pinedo, *Módulo del recurso del agua II Tratamiento del agua potable, operación, procesos, talleres y monitoreos*. p. 25.

Con relación a las propiedades de superficie Arboleda Valencia menciona que cuando la materia se subdivide hasta llegar al tamaño coloidal se produce un gran incremento del área; esta enorme superficie tiene la tendencia de adsorber, en la interfase sólido líquido, moléculas, iones o coloides<sup>34</sup>.

#### **1.4.4. Propiedades electrocinéticas (electrocinetismo)**

Las partículas de una dispersión coloidal, se mueven de un polo de determinado signo a otro, al estar sometidas a un campo eléctrico, lo que demuestra que poseen una carga electrostática, este fenómeno se da a tres causas siendo la primera el remplazo isomórfico: ocurre que en coloides con una estructura reticular donde los cristales que puede tener imperfecciones; dichas imperfecciones pueden originar el reemplazo de un átomo de mayor valencia o viceversa, creando así una carga eléctrica en la partícula.

La ionización se da debido a que muchos coloides naturales contienen en la superficie grupos químicos que pueden ionizarse dando origen a cargas eléctricas. La adsorción preferencial donde los coloides pueden cargarse por adsorción preferencial de iones en la superficie, esta carga primaria produce una fuerza repulsiva, que impide la aglomeración o coagulación de las partículas, cuando éstas se acercan unas a otras. Esta causa toma en cuenta las fuerzas coulómbicas de repulsión y atractivas de Van der Waals.

Las fuerzas coulómbicas de repulsión ocurren cuando dos partículas de igual signo se aproximan y varían proporcionalmente con el producto de sus cargas, e inversamente con el cuadro de la distancia; Mientras que las fuerzas de Van der Waals se deben a una multiplicidad de causas, una de ellas el movimiento continuo de los electrones en sus órbitas que crea un campo

---

<sup>34</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.16.



magnético que fluctúa constantemente y ejerce influencia sobre los electrones de la materia circundante lo que origina fuerzas atractivas entre partículas de carga opuesta, entre partículas neutras y entre partículas con la misma carga<sup>35</sup>.

Esta propiedad muestra el comportamiento eléctrico de los coloides. Al colocar las partículas coloidales en un campo eléctrico migran hacia el polo de carga opuesta; las partículas se mueven debido a la carga que presentan sus superficies.

CEPIS/OPS menciona que mediante el fenómeno de la electroforesis se puede demostrar que las partículas coloidales tienen carga eléctrica, mediante el paso de una corriente directa a través de una solución coloidal, esto permite apreciar que las partículas son atraídas por el electrodo positivo o por el negativo, evidenciando su carga eléctrica<sup>36</sup>.

## **1.5. Estabilidad e inestabilidad de los coloides**

Las suspensiones coloidales están sujetas a ser estabilizadas y desestabilizadas mediante carga de partículas o hidratación. Además, existen algunos factores de atracción o desestabilización que son los siguientes: la gravedad la cual es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales; el movimiento browniano permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización; las fuerzas de Van der Waals son una fuerza débil de origen eléctrico, y es un factor muy importante, pues constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas siempre atractivas, que decrecen rápidamente con la

---

<sup>35</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p. 18.

<sup>36</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.162.

distancia, se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas<sup>37</sup>.

Del párrafo anterior podríamos considerar a la estabilidad como la resistencia del coloide a ser removido sedimentación o filtración.

La estabilidad de los coloides está en función de su tamaño y propiedades eléctricas, y está afectada por la naturaleza química del medio de dispersión. Para remover los coloides es necesario que serán desestabilizados de algún modo<sup>38</sup>.

Otros factores que pueden contribuir a la desestabilización de la carga superficial son; el desequilibrio de la carga, resultado de imperfecciones en la superficie del coloide<sup>39</sup>.

### **1.5.1. Carga eléctrica de los coloides**

Las partículas coloidales poseen normalmente una carga eléctrica negativa en la superficie. Estas cargas, llamadas primarias, atraen los iones positivos del agua, que se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos<sup>40</sup>.

Son las causantes de la turbiedad y del color, por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas, influenciadas por la carga eléctrica que poseen.

---

<sup>37</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.165.

<sup>38</sup> SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*. p.25.

<sup>39</sup>AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*, p. 28.

<sup>40</sup>ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. p. 8.

En el agua la mayor parte de las partículas y moléculas de sustancias húmicas poseen superficie cargada eléctricamente, usualmente negativa la cual se encuentra en función de tres procesos: a los grupos presentes en la superficie sólida que pueden recibir o donar protones al reaccionar con el agua, como óxidos insolubles en la superficie los cuales pueden tornarse positivos o negativos; también las sustancias orgánicas con grupos carboxílicos y aminas, en todas estas reacciones la carga superficial de la partícula sólida depende de la concentración de protones ( $H^+$ ) y, por tanto, del pH del agua; a los grupos superficiales que pueden reaccionar en el agua con otros solutos además de protones, como los coloides, responsables del color de tipo orgánico, (proteínas y los ácidos poliacrílicos). Y a las cargas pueden ser el resultado de imperfecciones de la estructura molecular, como en el caso de las arcillas que se encuentran en suspensión en aguas turbias<sup>41</sup>.

### **1.5.2. La doble capa eléctrica**

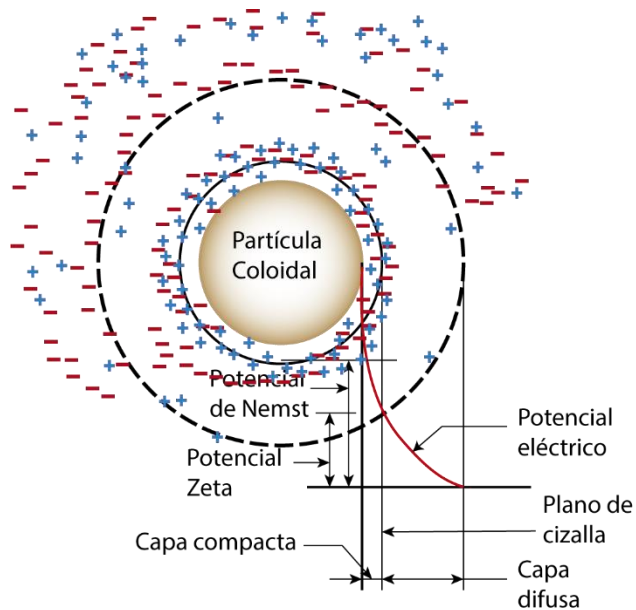
Un sistema coloidal no presenta carga eléctrica “líquida” debido a que la carga de superficie negativa es balanceada con los iones de carga contraria presentes en el agua. Como la superficie de la partícula es negativa, hay un cúmulo de iones positivos en la región de interfaz (sólido-líquido) que forman, junto con la carga negativa de la partícula, la doble capa eléctrica, también denominada capa compacta. Los iones negativos se aproximan a la capa compacta y atraen iones positivos; así se forma la capa difusa, que engloba a la primera. En realidad, la capa difusa resulta de la atracción de iones positivos, de la repulsión electrostática de iones negativos (con la misma carga de la partícula) y la difusión térmica. Se tiene, por tanto, una concentración elevada de iones positivos próximos a la superficie del coloide, también denominada capa de Stern,

---

<sup>41</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.165.

a partir de la cual se forma la capa difusa, en la cual la concentración de iones es menor <sup>42</sup>.

Figura 2. **Esquema de la doble capa eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 168.

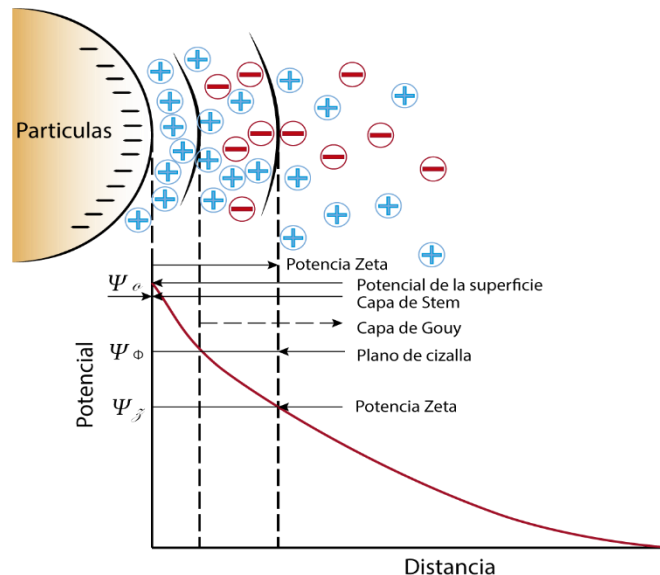
En aguas naturales (con baja concentración de electrolitos) la reacción de adsorción formará una mono-capa de iones de carga opuesta a la del sólido coloidal, la mayoría de estos coloides están cargados negativamente; los iones de distinto signo (contra-iones) son atraídos hacia la superficie del sólido, mientras que los del mismo signo (co-iones) son repelidos. A esta capa se le conoce como capa de Stern. Fuera de esta capa, una capa móvil forma una atracción electrostática. Esta capa es conocida como Capa Difusa y contiene cargas positivas y negativas. Estas dos capas forman dos regiones con propiedades diferentes, a la estructura formada se le conoce con el nombre de

<sup>42</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.168.

doble capa eléctrica<sup>43</sup>. El modelo físico que explica la coagulación del agua considera que las fuerzas electrostáticas existentes en las partículas, están rodeadas de una capa eléctrica que interactúa con la fase acuosa, pudiéndose representar de diferentes maneras.

De todos estos modelos el que explica mejor este fenómeno es el de doble capa difusa de Stern-Gouy, figura 3.

Figura 3. **Modelo de la doble capa difusa de Stern-Gouy**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de CEPIS/OPS, *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 168.

Con base en el modelo de la doble capa difusa se pueden identificar tres potenciales de interés<sup>44</sup>:

- El potencial  $\psi_0$  en la superficie coloidal. Es un potencial eléctrico creado por la presencia del coloide en el agua, que disminuye con la distancia, a partir

<sup>43</sup> MÁRTINEZ ARREOLA, María. *Uso de polímeros en el tratamiento de agua*. p. 7.

<sup>44</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.169.

de la superficie de este, donde es máximo. Se le denomina potencial de Nernst.

- El potencial  $\psi\phi$  (Phi), en el interior de la superficie de la doble capa, donde comienza la capa difusa.
- El potencial  $\psi\zeta$  (Zeta) en el plano de cizalla.

Para Stern, existe una distancia mínima entre la superficie del coloide y los iones de carga contraria (positivos), en la cual el potencial eléctrico decrece linealmente; en seguida la disminución resulta exponencial y pasa por la frontera entre la capa compacta y la difusa, lugar en que el potencial eléctrico, según Lykema, es designado potencial zeta. Este concepto está asociado a la aplicación de la diferencia de potencial en una muestra de agua que contiene coloides negativos, de tal forma que una cierta porción del medio, en torno de la partícula, camine junto con esta al electrodo positivo, lo que caracteriza al plan de la cizalla<sup>45</sup>.

### **1.5.3. Energía potencial de interacción de las partículas coloidales**

CEPIS/OPS explica que ocurre interacción entre las capas difusas, al aproximarse dos coloides semejantes, esto ocasiona que haya repulsión debido a la fuerza electrostática entre ellos. Existen fuerzas atractivas entre las partículas denominadas fuerzas de Van der Waals; las cuales son atribuidas a las fluctuaciones de carga en los átomos y producto de interacciones entre dipolos permanentes o inducidos en los átomos interactuantes de los coloides del agua. Al darse un aumento en la concentración total de electrolitos, se reduce la

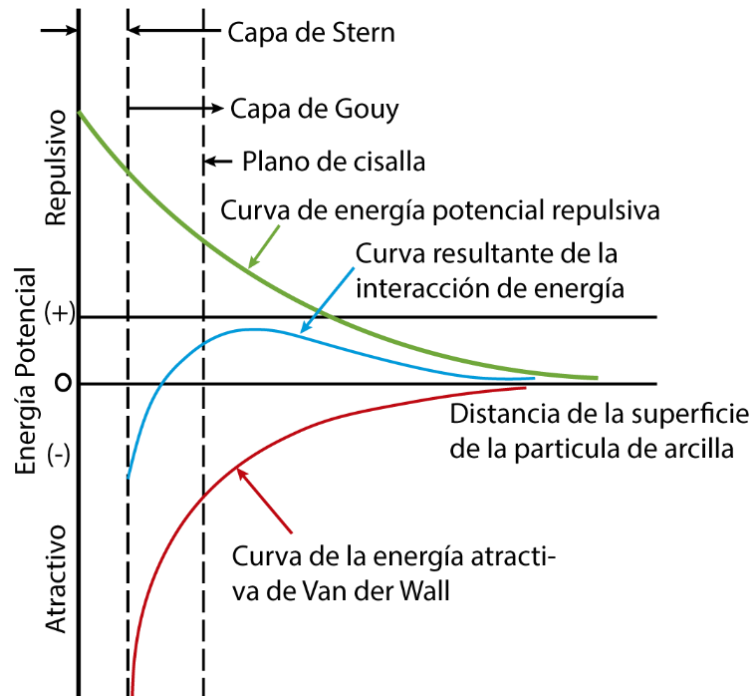
---

<sup>45</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.170.

distancia efectiva a través de la cual se manifiesta la carga. El efecto es aún más pronunciado cuando se utilizan cationes polivalentes<sup>46</sup>.

Las fuerzas de Van der Waals son la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Son de origen eléctrico y de débil magnitud, en tanto que disminuyen rápidamente con la distancia; ocurren por la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas<sup>47</sup>.

Figura 4. **Energía potencial de interacción entre dos coloides**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 171.

<sup>46</sup>CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.170  
<sup>47</sup>Ibib. p. 171.

#### **1.5.4. Estabilización estérica**

Para CEPIS/OPS puede resultar de la adsorción de polímeros en la superficie de las partículas coloidales. Los polímeros adsorbidos pueden estabilizar como desestabilizar, dependiendo de la cantidad del polímero y de las partículas, de la afinidad entre el polímero con la partícula en el agua y de la concentración y tipo de electrolitos presentes. Cuando hay interacción entre las superficies de dos partículas recubiertas por polímeros que se encuentran próximos, la repulsión entre ellas puede ocurrir de dos formas; en el primer caso cada capa de polímero puede ser comprimida, lo que reduce el volumen disponible para las moléculas adsorbidas y restringe el movimiento de los polímeros causando, la repulsión entre las partículas. O también las capas adsorbidas se intercalan, lo que aumenta la concentración de los segmentos de los polímeros en esa región; si los segmentos extendidos de los polímeros fueran fuertemente hidrofílicos, ocurre preferentemente la reacción entre ellos en el agua, y tienden a repelerse<sup>48</sup>.

### **1.6. Naturaleza de la turbiedad y el color**

El agua que se encuentra en la naturaleza contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución según el tamaño de disgregación del material que acarrea. De acuerdo con el tipo de estas sustancias presentes, el agua puede aparecer como turbia o coloreada, o ambas.

#### **1.6.1. Turbiedad**

La turbiedad es la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida, de diseminar en todas direcciones la luz que pasa por ella. Esta definición implica

---

<sup>48</sup>CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.173.



una interrelación entre la luz incidente y la sustancia diseminada. La diseminación de la luz es la interacción de un conjunto de ondas actuando sobre un conjunto de átomos y partículas, sin relación con la concentración de la suspensión. El número, concentración y masa de las partículas, así como su tamaño, forma e índice de refracción, influyen en la turbiedad aparente de una suspensión<sup>49</sup>.

La turbidez es una medida de claridad del agua; es la medida del nivel en el cual, el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, como arcillas provenientes de la erosión del suelo, a algas o a crecimientos bacterianos.

Las arcillas son los componentes más comunes en las aguas turbias, constituyen un material natural, terroso, de gránulos muy finos, que se vuelve plástico cuando se mezcla con cierta cantidad de agua. Varios análisis de arcilla han demostrado que esta se compone principalmente de sílice, aluminio y agua, frecuentemente con cantidades apreciables de hierro, álcalis y tierra alcalina<sup>50</sup>.

Arboleda Valencia coincide en que las arcillas forman parte de la turbiedad y se refiere al término arcillas como una gran variedad de compuestos, tierra fina (0.002 mm de diámetro de grano o menos), a veces coloreada, que adquiere plasticidad al mezclarse con limitadas cantidades de agua químicamente son silicatos de aluminio con fórmulas bastante complejas que según Houser pueden ser clasificados como *Colita*, *Montmorillonita (Bentonita)*, *Illita*, *Muscovita*; y físicamente están constituidas por cristales con una estructura atómica reticular definida<sup>51</sup>.

---

<sup>49</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.21.

<sup>50</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p.163.

<sup>51</sup> *Ibid.* p.25.

### **1.6.2. Color**

El color orgánico en el agua es de naturaleza coloidal, sin embargo, algunos autores sugieren que se encuentra en solución verdadera, esto indica que el tamaño de las partículas de color puede variar entre 3,5 y 10 m $\mu$ , lo que se acerca bastante al límite entre dispersión coloidal y solución verdadera. La discrepancia de los investigadores puede deberse a que el color es causado por coloides hidrofóbicos; es decir, por aquellos que tienen poca afinidad con el agua y causan turbiedad en la misma<sup>52</sup>.

El autor anteriormente mencionado, considera que las principales especies responsables del color orgánico natural en el agua son los ácidos fúlvicos, himatomelánicos y húmicos, conocidos en su conjunto como sustancias húmicas. Además, que el color no se deriva de productos naturales, sino también de hidróxidos metálicos, como el del hierro y de compuestos orgánicos desconocidos presentes en los desechos domésticos e industriales.

### **1.7. Coagulación-floculación**

Es el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc.<sup>53</sup>

En la coagulación-floculación se añade un coagulante al agua para crear una atracción entre las partículas en suspensión. La mezcla se agita lentamente para inducir la agrupación de partículas entre sí.

---

<sup>52</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida* p.163.

<sup>53</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.30.

Para Beckett es un proceso mediante el cual, se añaden compuestos químicos al agua para reducir las fuerzas que separan a los coloides y, puedan formar aglomerados que se sean fáciles de remover del agua por sedimentación<sup>54</sup>.

Dicho autor separa a la coagulación- floculación en dos etapas; la primera, la coagulación es el proceso por el cual se logra la desestabilización química de las partículas coloidales, que se encuentran en estado estable en su medio dispersante, por reducción de las fuerzas que mantienen su estabilidad. La floculación persigue que las partículas desestabilizadas se junten para formar un aglomerado de gran tamaño y peso, el cual pueda ser removido por sedimentación.

Los contaminantes que se eliminan por el proceso de coagulación- floculación poseen un alto peso molecular y son liófilos; las partículas que se eliminan son: sólidos suspendidos, color aparente, material coloidal, algunos precursores de trihalometanos y moléculas grandes que se adsorben poco en carbón activado<sup>55</sup>.

### **1.7.1. Proceso de coagulación**

La coagulación consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma<sup>56</sup>.

---

<sup>54</sup> BECKETT, Ronald. *Surface and Colloid Chemistry in Natural Waters and Water Treatment*. p. 30.

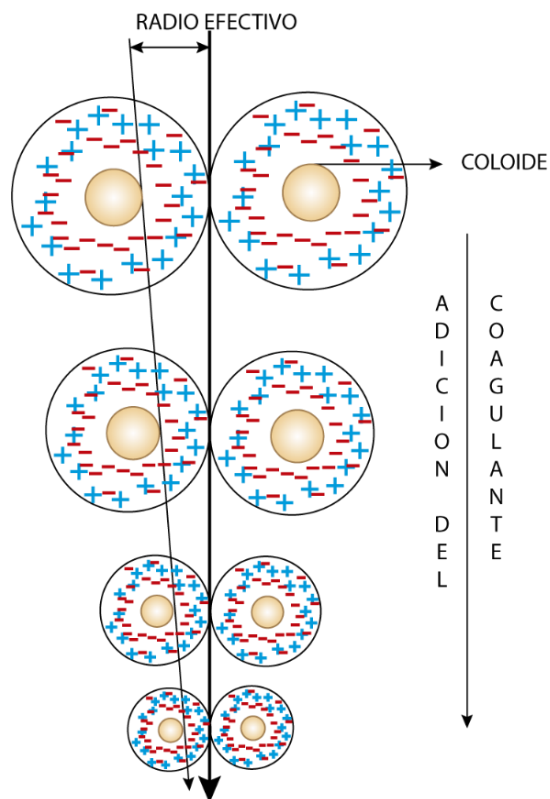
<sup>55</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 35.

<sup>56</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.31.

La coagulación comienza instantáneamente al añadirse los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo.

Los coagulantes son agentes que se agregan al agua para facilitar el asentamiento de materiales coloidales que se encuentran en suspensión, y su adición se realiza mediante una mezcla rápida que disipa el coagulante y favorece su contacto con las partículas en suspensión<sup>57</sup>.

Figura 5. **Neutralización de las cargas coloidales por acción de la adición de un coagulante**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda.

*Tratamiento de agua: Coagulación y floculación* p. 10.

<sup>57</sup> SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*. p.33.

### **1.7.1.1. Desestabilización de suspensiones coloidales**

Al esparcir el coagulante rápidamente en el agua ocurren tres fenómenos en la reacción. La neutralización de las cargas negativas de los coloides con iones coagulantes, la reacción del coagulante con la alcalinidad del agua y la formación de flóculos de óxido hidratado coloidal con carga positiva los cuales son atraídos por las partículas coloidales de carga negativa <sup>58</sup>.

Conocer los fenómenos que pueden ocurrir al aplicar los coagulantes es importante para entender los distintos mecanismos de coagulación.

La desestabilización de partículas coloidales se logra por distintos mecanismos; la eficiencia de cada uno depende de distintos factores como: el tipo de coloide, su concentración, el pH de la fase dispersa y la concentración de coagulante<sup>59</sup>.

Tanto Arboleda Valencia como Andía Cárdenas describen que la desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

Adsorción y neutralización de cargas: la neutralización de las cargas de coloides liofóbicos, puede hacerse según Mackrle: por cambio de la concentración de los iones que determinan el potencial del coloide, o por la adsorción de iones que posean una carga opuesta a las de los iones

---

<sup>58</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 36.

<sup>59</sup> BECKETT, Ronald. *Surface and Colloid Chemistry in Natural Waters and Water Treatment*. p. 32.

determinantes de potencial, y que sean capaces de reemplazar a éstos en la capa de Stern<sup>60</sup>.

Al añadir productos de coagulación se puede producir una desestabilización por adsorción la cual reduce la carga superficial, disminuyendo las fuerzas de repulsión entre partículas y permitiendo la neutralización de las cargas.

La adición de moléculas con carga opuesta tiene la capacidad de adsorberse en la superficie coloidal. Las cargas opuestas se anulan mutuamente y se logra la coagulación<sup>61</sup>.

Compresión de doble capa: si se incrementa la concentración del electrolito se incorporan contraiones en la capa difusa, con lo cual ésta se represa y se disminuye la magnitud de las fuerzas repulsivas, permitiendo la eliminación de la barrera de energía. Por eso, la adición de una sal neutra (electrolito indiferente) no cambia el potencial del coloide, pero altera la forma de la curva de las fuerzas coulombicas, disminuyendo la distancia hasta la cual son efectivas. La reducción del espesor de la doble capa, sin embargo, es más importante que la reducción del potencial zeta hasta el punto isoeléctrico  $Z = 0$ <sup>62</sup>.

Dicho de otra forma, al aumentar los iones de carga opuesta en la solución, la fuerza de repulsión electrostática disminuye; provocando que la distancia entre las partículas disminuya hasta que puedan juntarse. En la figura 6 se muestra el efecto de la fuerza iónica del líquido y la distancia entre las partículas coloidales sobre las fuerzas que interactúan.

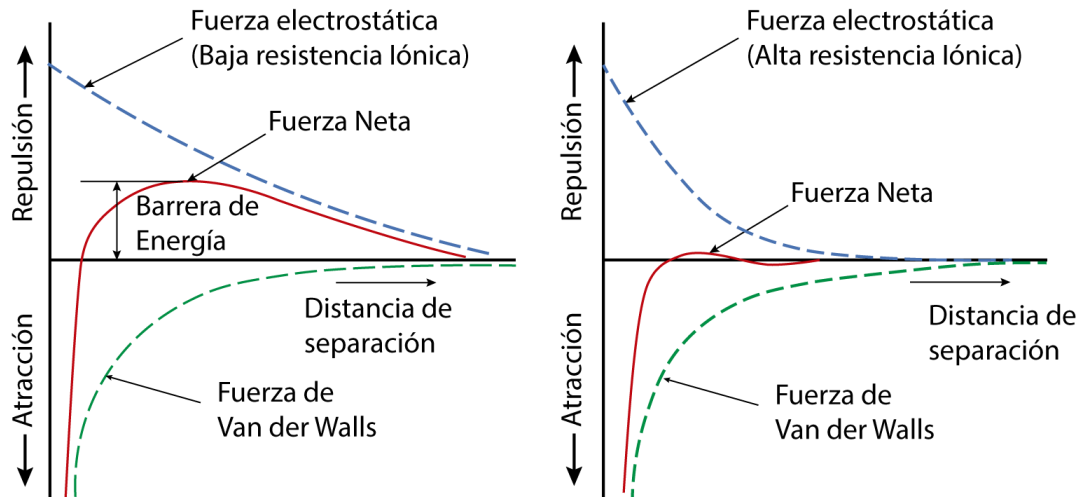
---

<sup>60</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.31.

<sup>61</sup> SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*. p.41.

<sup>62</sup> *Ibid.* p.37.

Figura 6. **Energía potencial de interacción entre dos coloides**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*. p.41

Al añadir más coagulante del necesario se produce una restabilización del coloide, pero con carga opuesta a la que tenía originalmente debido a que la superficie del coloide adsorbe los iones coagulantes. Este mecanismo de desestabilización es el que domina la desestabilización de partículas hidrófobas<sup>63</sup>.

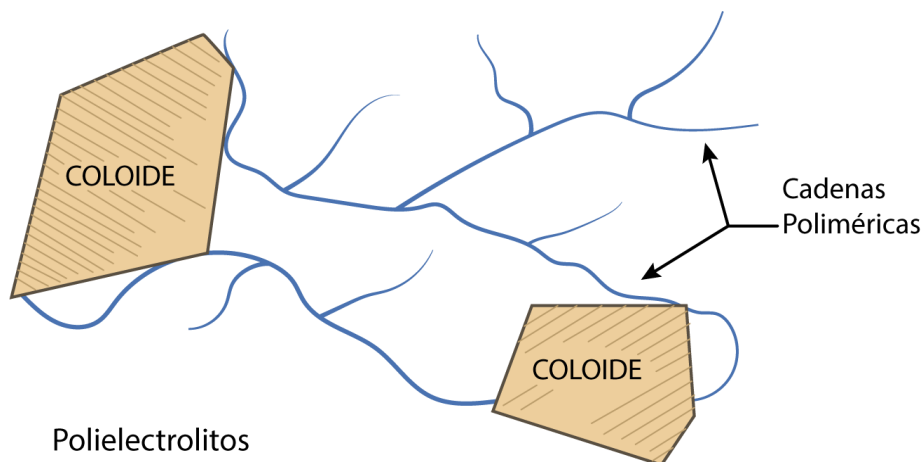
Adsorción y puente químico: según lo indicado por Arboleda Valencia, si la adsorción de contraiones es debida a fuerzas químicas se establecerán enlaces de hidrógeno, covalentes, iónicos, entre otros, entre las moléculas adsorbidas y las superficies de los coloides, en cuyo caso estas quedarán adheridas a puntos fijos de adsorción y su número podrá aumentar hasta cambiar la carga del coloide con lo que se producirá su estabilización.

<sup>63</sup> BECKETT, Ronald. *Surface and Colloid Chemistry in Natural Waters and Water Treatment*. p. 35.

La coagulación puede realizarse también usando una variedad de compuestos sintéticos y naturales caracterizados por tener largas cadenas moleculares, que gozan de la propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de la cadena y de actuar como coagulantes.

La teoría del puente químico supone, que las moléculas de los polímeros contienen grupos químicos; que pueden adherirse a la superficie de las partículas coloidales en uno o más sitios de adsorción. Los polímeros contienen varios sitios ionizables que pueden unirse a varias partículas coloidales, es decir, los polímeros actúan como un puente químico entre las partículas permitiendo su aglomeración y decantación<sup>64</sup>.

Figura 7. **Adsorción de polímeros en una coloide**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*, p. 38.

La adición excesiva de polímeros provoca la reestabilización de los coloides; ya que si el polímero no encuentra otra partícula con la que pueda

---

<sup>64</sup> SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*. p.41.



unirse, buscará otro sitio de adsorción con la partícula original impidiendo la formación de flóculos <sup>65</sup>.

Por incorporación (o de barrido): este tipo de coagulación se produce cuando se agrega una concentración de coagulantes tan alta, que se excede el límite de solubilidad de ese compuesto en el agua. Instantáneamente se precipitan los hidróxidos que se forman por reacción de la alcalinidad y el agua misma con los coagulantes, con lo que se induce la producción de un floc de barrido que atrapa en su caída a los coloides y partículas suspendidas las cuales se ven forzadas a decantar, incorporadas dentro del precipitado que desciende. Al realizar este tipo de coagulación se puede producir en parte o al inicio, coagulación por puente químico, e incluso coagulación por adsorción-neutralización<sup>66</sup>.

#### **1.7.1.2. Cinética de la coagulación**

La cinética de coagulación se refiere a la rapidez con la que estas partículas coagulan. En este sentido, se identifican dos tipos de partículas coloidales: coloides reversibles e irreversibles. Los coloides reversibles son cinéticamente estables, si se separan las fases es posible la redispersión espontánea del medio disperso (sólido coloidal). Dentro de este tipo de partículas están las moléculas de detergente o jabón, proteínas, aminas y algunos polímeros de cadena larga. Una vez separados del agua pueden volver a su condición inicial, como partícula suspendida y dispersa con solo tener contacto con el agua; a este fenómeno se le conoce como peptización <sup>67</sup>.

---

<sup>65</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 198

<sup>66</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.40.

<sup>67</sup> MÁRTINEZ ARREOLA, María. *Uso de polímeros en el tratamiento de agua*. p. 17.

Todo lo contrario, ocurre con los coloides irreversibles los cuales son cinéticamente inestables, una vez separados del medio disperso no pueden ser disueltos nuevamente; al unirse los coloides para formar el flóculo ya no se pueden separar. Ejemplos de este tipo de partículas son: las arcillas, los óxidos metálicos y los microorganismos.

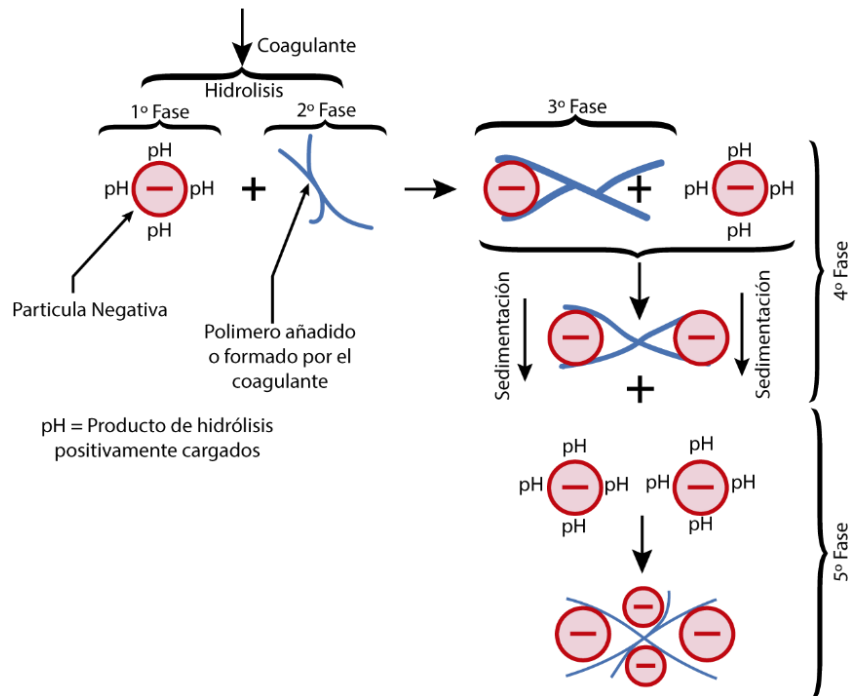
Stumm y O'Melia identificaron varias etapas en el proceso de coagulación, algunas de estas etapas ocurren secuencialmente otras coinciden parcialmente y otras incluso pueden ocurrir simultáneamente. Se puede suponer que las diferentes etapas de la reacción pueden resultar controlables en un cierto porcentaje, bajo diversas condiciones químicas, las etapas son las que se detallan a continuación<sup>68</sup>:

- Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de estas y las fuerzas de Van der Waals.
- Formación de los flóculos.
- Precipitación del hidróxido metálico.

---

<sup>68</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 192

Figura 8. **Esquema del proceso de coagulación**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 196.

### 1.7.1.3. Factores que influyen en la coagulación

Los factores que influyen en la coagulación están relacionados con el tipo de coagulante empleado y su mezcla; también las características del agua cruda y las variables químicas. Dichos factores no pueden ser calificados como benéficos o perjudiciales al proceso, porque están en función con otras características que en conjunto influyen en la coagulación <sup>69</sup>.

Estos factores que pueden ser ventajosos o significar una desventaja al proceso, ante esto es importante conocer dichos factores para la elección apropiada del coagulante, determinando su cantidad, el tiempo y la fuerza de agitación de mezcla, mediante ensayos.

<sup>69</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 40.

Tipo de coagulante: existen varios tipos de coagulantes siendo efectivos en condiciones específicas; cada tipo de coagulante difiere en sus características físicas y químicas, algunos de ellos son empleados en aguas duras, otros ajustan el pH en una zona óptima de coagulación. En resumen, la elección del coagulante se basa en pruebas de laboratorio para compararlos con la muestra del agua a la que se le dará el tratamiento<sup>70</sup>.

Concentración del coagulante: existe mucha especulación respecto a la influencia de la concentración de solución de coagulante en la eficiencia del proceso de tratamiento; se ha sugerido limitar la concentración mínima a valores del orden de 0,5 % en las estaciones de tratamiento. Pero tal sugerencia contradice el procedimiento usual en la realización de ensayos de laboratorio, que generalmente usan la solución de coagulante con una concentración de 0,1 y 0,2 %, dependiendo del volumen de los frascos de los equipamientos de floculación (1 o 2 litros) y de las dosis previstas para los ensayos<sup>71</sup>.

La calidad del agua cruda: las características del agua cruda más importantes en un proceso eficiente son la concentración de coloides, la alcalinidad y el pH, el tamaño de las partículas y la temperatura<sup>72</sup>.

La cantidad de coloides es la medida normalmente mediante la cantidad de turbiedad o color presente en el agua.

Para American Water Works Association, CEPIS/OPS y Andía Cárdenas se presentan 4 situaciones diferentes de tratamiento, en función de la concentración coloidal y la alcalinidad del agua, las cuales se presentan en la tabla I.

---

<sup>70</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 40.

<sup>71</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 213

<sup>72</sup> Ibid.

Tabla I. **Mecanismos de desestabilización en relación con las características del agua y de las partículas**

Concentración coloidal	Alcalinidad del agua	Características y/o requerimientos	Mecanismos de desestabilización	Valores de pH
Alta	Baja	Determinación de la dosis óptima de coagulante.	Adsorción	4 a 6
Alta	Alta	Valores de pH neutros donde los polímeros de hidróxidos metálicos no tienen carga muy alta	Adsorción y neutralización de la carga	Neutro o poco ácidos
Baja	Alta	Dosis altas de coagulante y adición de partículas coloidales como bentonita o arcilla	Adsorción y neutralización de la carga	Relativamente altos
Baja	Baja	El pH disminuye al agregar coagulante y no permite la formación de hidróxidos. Se debe agregar partículas coloidales como arcilla o bentonita	Adsorción	Ácido

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida.* p. 214.

El proceso de coagulación deberá efectuarse dentro de la zona óptima de pH, si no es así, se desperdicia el coagulante. La cantidad de coagulante utilizada deberá ser la mínima requerida para una adecuada floculación en el tiempo disponible y además si se necesita ajustar el valor de pH al valor óptimo se considera agregar una cantidad de ácido o álcali al agua. El pH óptimo según

para la coagulación de aguas con color es más bajo (4-6), que para aguas con mayor turbiedad (6,5-8,5)<sup>73</sup>.

Si hablamos de temperatura esta es un factor considerable zonas con climas muy marcados, principalmente cuando se alcanzan bajas temperaturas.

Mártinez Arreola considera que se requerirá un mayor tiempo de mezcla en días fríos que en días cálidos para una cantidad específica de coagulante. Si se desea reducir el tiempo de mezcla se necesita agregar más coagulante cuando la temperatura del agua es baja <sup>74</sup>.

También el rango de pH óptimo varía con la temperatura, y decrece al disminuir esta, esto conllevaría a un desperdicio de coagulante.

La viscosidad del agua se incrementa al disminuir la temperatura, y como esta es inversamente proporcional a la agitación pericínética de las partículas, el fenómeno de transporte también disminuye. Con ello el porcentaje de remoción disminuye porque la floculación ortocinética sola (agitación exterior de la masa de agua) no es capaz de conseguir la aglomeración de las partículas pequeñas<sup>75</sup>.

Dosis óptima de coagulante: para un valor de pH dado se puede representar el efecto de la dosis de coagulante en relación con la concentración coloidal, la curva de coagulación típica se puede dividir en cuatro zonas. La zona 1 corresponde a dosis bajas, donde se ha agregado coagulante en cantidad insuficiente para realizar la desestabilización; La zona 2 corresponde a dosis más altas, donde se realiza la desestabilización y el flóculo precipita; En la zona 3, dosis aún más altas pueden reestabilizar las dispersiones con ciertos valores de

---

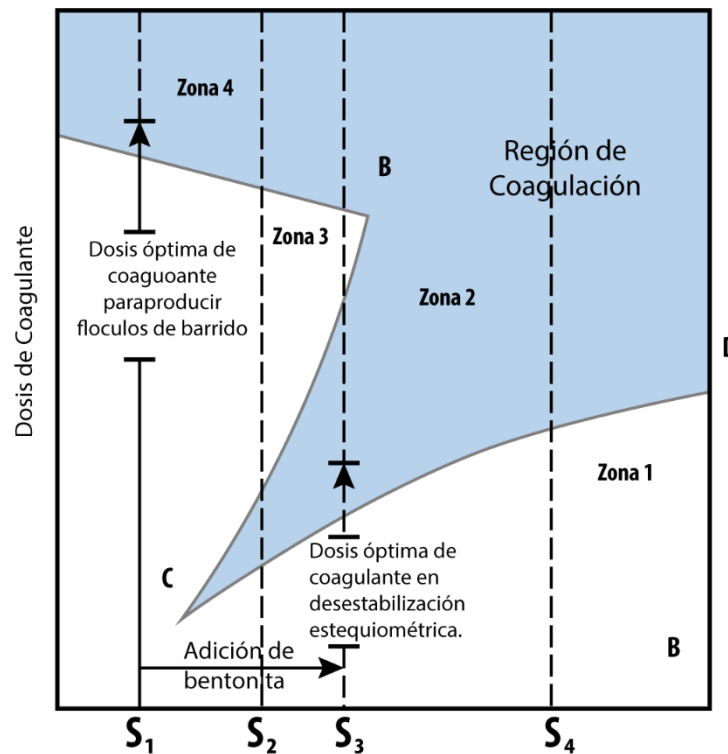
<sup>73</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 217.

<sup>74</sup> MÁRTINEZ ARREOLA, María. *Uso de polímeros en el tratamiento de agua*. p. 33.

<sup>75</sup> *Ibid.* p. 215.

pH. Por último, para la zona 4 se tiene gran cantidad de coagulante, actúa de tal forma que captura las partículas coloidales (coagulación de barrido) <sup>76</sup>.

Figura 9. **Concentración de coloide expresada como concentración de superficie**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 216.

Condiciones de mezcla: una buena agitación del agua durante la adición de coagulante influye en una dispersión uniforme; dado que la cantidad de coagulante requerida es pequeña comparada con el volumen de agua a tratar se hace difícil la correcta dispersión del coagulante, esto provoca que la coagulación no sea eficiente y que se utilice mayores dosis del coagulante para que se logre.

<sup>76</sup>CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 215..

Por ello se utiliza la mezcla rápida que es la agitación violenta del agua con el propósito de mezclar de manera uniforme el coagulante<sup>77</sup>.

### **1.7.2. Sustancias coagulantes y sus características**

Al usar un coagulante se debe considerar que las aguas superficiales poseen características físicas y químicas diferentes entre sí. Las reacciones de coagulación son complejas, el efecto de los iones presentes en el agua está en función de su concentración y la naturaleza sus cargas; además los coagulantes poseen tiene ventajas y desventajas que son consideradas al seleccionar el más efectivo. American Water Works Association menciona tres grupos de coagulantes: agentes de coagulación, auxiliares de coagulación y coagulantes naturales<sup>78</sup>.

#### **1.7.2.1. Agentes de coagulación**

Son productos químicos que producen una reacción química con los componentes del agua produciendo sustancias insolubles capaces de precipitarse<sup>79</sup>.

Los agentes de coagulación son las sustancias químicas más usadas en el proceso de tratamiento de agua.

CEPIS/OPS considera que dentro de este grupo se encuentran sulfatos o cloruros de aluminio y hierro que al reaccionar con el agua producen hidróxidos

---

<sup>77</sup> ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. p. 17.

<sup>78</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 45

<sup>79</sup> Ibid.



de aluminio o hierro insolubles, los más destacados son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso y férrico<sup>80</sup>.

#### **1.7.2.2. Auxiliares de coagulación**

Este tipo de sustancias por sí solas no son coagulantes efectivos por lo que siempre se deben de utilizar como co-coagulantes. En este grupo se encuentran polímeros aniónicos, catiónicos (de polaridad muy variable) o neutros, los cuales pueden presentar forma sólida (polvo) o líquida. Poseen un alto peso molecular, y con origen natural o sintético. Como ejemplo de este tipo de sustancias están los modificadores de pH, sílice activada y núcleos de flóculos<sup>81</sup>.

#### **1.7.2.3. Coagulantes naturales**

Para Arboleda Valencia se trata de sustancias presentes naturalmente en el agua que favorecen la formación de flóculos, pueden ser activadas con un tratamiento adecuado. Este tipo de coagulantes se producen en las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos)<sup>82</sup>.

#### **1.7.3. Proceso de floculación**

El termino floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es un proceso por el cual, al ser desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper los agregados preformados<sup>83</sup>.

---

<sup>80</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 175.

<sup>81</sup> MÁRTINEZ ARREOLA, María. *Uso de polímeros en el tratamiento de agua*. p. 36.

<sup>82</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.48.

<sup>83</sup> ROMERO ROJAS, Jairo. *Potabilización del agua*. p. 79.

La floculación es un proceso importante porque busca crear floc de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

Para Andía Cárdenas es el proceso por el cual las partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación se unen para formar conglomerados de mayor peso y tamaño que puedan ser removidos por medios físicos; sedimentación y filtración. En esta etapa, ocurre una mezcla lenta con el fin de promover la formación y el aumento de tamaño de los flóculos formados; el aumento del tamaño del flóculo depende de dos factores: la colisión, que depende de una acción física que agite el agua y la adhesión, que se controla por fuerzas químicas<sup>84</sup>.

Tomando en cuenta lo descrito por CEPIS/OPS la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte<sup>85</sup>:

- Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

La aglomeración de las partículas es el resultado de la actuación de los tres mecanismos de transporte mencionados anteriormente; al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la

---

<sup>84</sup> ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. p. 30.

<sup>85</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 265.

floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microfloculo inicial. Recién cuando este alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinética, promoviendo un desarrollo mayor del microfloculo<sup>86</sup>.

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

En el proceso de floculación existen parámetros que facilitan o dificulta el proceso, dichos parámetros están relacionados con la naturaleza del agua, el tiempo de floculación, el gradiente de velocidad y la variación del caudal.

La naturaleza del agua: el proceso de la floculación es extremadamente sensible a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad. Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio fisicoquímico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, lo que afectará el tiempo de floculación. También la concentración y la naturaleza de las partículas precursoras de la turbiedad tienen influencia en el proceso de floculación; siendo la velocidad de formación de flóculos es proporcional a la concentración de partículas<sup>87</sup>.

El tiempo de floculación: en todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Al tener las condiciones óptimas, existe un tiempo para la floculación, entre 20 y 40 minutos. La permanencia del agua durante un tiempo inferior o

---

<sup>86</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 265.

<sup>87</sup> *ibid.* p. 282.

superior al óptimo produce resultados inferiores, tanto más acentuados en cuanto más se aleje este del tiempo óptimo de floculación<sup>88</sup>.

La influencia que tiene el gradiente de velocidad considera cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad; debió a esto los flóculos pueden crecer hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores. El autor también menciona que la resistencia de los flóculos puede depender de su tamaño, forma y compactación; así como del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas; y del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas<sup>89</sup>.

Por último, en cuanto a la variación del caudal también produce cambios en factores, como el tiempo de floculación y el gradiente de velocidad, porque al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad; y al aumentarlo, el tiempo de retención disminuye y el gradiente de velocidad aumenta <sup>90</sup>.

## **1.8. Polímeros en el tratamiento de agua**

La definición de un polímero para Arboleda Valencia es una substancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas monómeras, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente. Su grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica<sup>91</sup>.

---

<sup>88</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 284.

<sup>89</sup> Ibid. p. 285.

<sup>90</sup> Ibid. p. 286.

<sup>91</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.47

Para el autor citado anteriormente el tipo de polímeros que se forme depende de la naturaleza de los grupos funcionales que lo integran todos los monómeros capaces de formar polímeros deben tener por lo menos dos núcleos activos para que la macromolécula formada pueda conservar su configuración inicial. Cuando las cadenas poliméricas tienen múltiples grupos funcionales activos se denominan polielectrolitos.

El término polielectrolito denota a aquellos polímeros que poseen muchas cargas en su estructura, refiriéndose a los polímeros catiónicos y aniónicos; A la reacción química para juntar las unidades de monómero y formar un polímero se le conoce como polimerización; el grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman la cadena polimérica, esta puede variar de  $10^4$  a  $10^6$  unidades en su estructura molecular; además puede contener diversos tipos de unidades monoméricas en su cadena. Un polímero que contiene un solo tipo de monómero es llamado homopolímero y uno que contiene más de un tipo de monómero es llamado copolímero. El número total y tipos de unidades de monómero en un polímero puede ser variado en su fabricación; las cadenas de polímero pueden ser lineales, ramificadas o reticulares<sup>92</sup>.

### **1.8.1. Características de los polímeros**

Entre las características de los polímeros se pueden encontrar el peso molecular (MW); considerando un polímero con MW bajo si es menor a  $10^5$  g/mol, medio si esta entre  $10^5$ - $10^6$  g/mol, y alto mayor a  $10^6$  g/mol. El peso molecular es un parámetro es importante, de manera individual y en conjunto con otros parámetros; un ejemplo de la importancia del MW se da en la adsorción, ya que

---

<sup>92</sup> KIRCHMER, Cliff, ARBOLEDA, Jorge; CASTRO, María. *Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación*. p 2.

en muchos casos es irreversible, pero puede ocurrir una desadsorción debido al alto peso molecular del floculo formado<sup>93</sup>.

Los polímeros utilizados en el tratamiento son solubles en el agua; la mayoría de ellos son sintéticos, producidos mediante transformación química, y también existen los polímeros naturales.

Una de las características a la densidad de carga La clasificación de polímeros con respecto a su densidad de carga es baja, 10 %; media, 25 %; o alta, 50 %-100 %<sup>94</sup>.

Otros parámetros que se deben considerar son: el pH, la viscosidad, la cadena del polímero y la fórmula molecular de los grupos funcionales<sup>95</sup>.

El uso de los polímeros trae consigo beneficios, desventajas y riesgos los cuales se analizan en la siguiente tabla:

Tabla II. **Análisis en el uso de los polímeros**

Ventajas	Desventajas
Menor incremento en la carga iónica del tratamiento.	El almacenamiento, mezclado y sistemas de alimentación de polímeros son diferentes que los utilizados para los coagulantes convencionales y deben ser adquiridos y debidamente instalados.
Reducción de las cantidades de aluminio y hierro utilizadas en el tratamiento.	Algunos polímeros son abastecidos con muy alto o muy bajo pH, por lo tanto, requieren de contenedores de materiales especiales para su almacenamiento.
Uso de dosis menores de coagulante.	En algunos casos, los polímeros deben ser mezclados con agua caliente y se requiere adquirir e instalar un calentador especial.

<sup>93</sup> BOLTO, Brian, GREGORY, Jhon. Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research* p. 2304

<sup>94</sup> ZHRIM, Abu; TIZAOUI, Chedly., HILAL, Nidal. *Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes*. p. 3.

<sup>95</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 46.

Continuación tabla II.

Ventajas	Desventajas
Mejoran la remoción de color y precursores de trihalometanos.	Agua con alto contenido de cloro residual degrada algunos tipos de polímeros.
Los polímeros coagulantes no son tan ácidos y son menos dependientes del pH.	Polímeros con alta viscosidad requieren equipos de bombeo especiales, además, estos polímeros son peligrosos cuando se derraman porque son extremadamente resbalosos.
Producen flóculos más grandes que hacen más fácil la sedimentación.	En muchas fórmulas de polímeros se presentan trazas de posibles impurezas nocivas, sin embargo, si su concentración es menor a la máxima recomendada no representa una amenaza a la salud.
Los polímeros floculantes pueden mejorar la calidad de aguas que han sido mal coaguladas reduciendo la dosis de coagulante utilizado y otros químicos que ayudan a controlar el pH.	Debido a la complejidad de los procesos de polimerización para fabricar polímeros sintéticos aunado a su vulnerabilidad a distintas reacciones, existen dificultades para asegurar que sus características son uniformes.
Los polímeros ayudantes de filtración alteran de manera favorable las propiedades de los sólidos que llegan a los filtros y disminuye la frecuencia de lavado de los filtros.	Los polímeros ayudantes de filtración presentan desventajas si su dosis no es apropiada una sobredosis podría incrementar la adherencia de sólidos en el filtro que son difíciles de remover.
Una dosis pequeña de polímeros floculantes puede remplazar grandes dosis de coagulante de aluminio o hierro, por lo tanto, la cantidad de lodos se reduce. También mejoran sus características para un mejor manejo y menor tiempo de remoción.	
Ahorro de inversión del 25-30 %.	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de MÁRTINEZ ARREOLA, María. *Uso de polímeros en el tratamiento de agua* pp. 44-45.

### 1.8.2. Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar en dos grupos el primero, por su origen siendo naturales o sintéticos; en el segundo grupo se encuentra los relacionados con su tipo de carga y uso en el tratamiento de agua.

### 1.8.2.1. Polímeros naturales

Son polímeros que muchas veces no tienen una sola composición química bien definida, pues están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos (almidón, celulosa, glucósidos, entre otros.) y proteínas (caseína, olieratina, gelatina, entre otros.)<sup>96</sup>.

Estos polímeros son el producto de reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas; tienen propiedades coagulantes o floculantes por lo que algunos especialistas han estudiado algunos polímeros naturales extraídos de recursos disponibles en zonas de interés.

Además de poseer algún efecto toxicológico este es mínimo además de ser biodegradables; estos polímeros suelen ser utilizados como comestibles o aditivos en productos alimenticios <sup>97</sup>.

Es necesario siempre evaluar la toxicidad de los coagulantes naturales propuestos debido a que algunos compuestos posee cierta toxicidad que puede ser añadida al agua de tratamiento.

Muchos de estos componentes tienen propiedades coagulantes o floculantes y son usados por nativos en forma empírica para clarificar el agua, un ejemplo de ello la penca de la tuna o nopal empleada en las sierras del Perú y México; o con las semillas del nirmalí utilizadas en la India. La tabla III da los nombres de algunas de estas sustancias<sup>98</sup>.

---

<sup>96</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.48.

<sup>97</sup> ZHRIM, Abu. , TIZAOUI, Cheadly y HILAL, Nidal. Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes. p.4.

<sup>98</sup> Ibid.



Tabla III. **Polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes**

Nombre Común	Se extrae de	Parte de donde se obtiene
Alginato de sodio	Algas pardas marinas ( <i>Phaeophyceae</i> )	Toda la planta
Tuna	<i>Opuntia ficus indica</i>	Las hojas
Semillas de nirmalí	Maíz, yuca, papa, trigo	El grano o el tubérculo
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo <i>Schinopsis Lorentzii</i>	Corteza de Árbol
Gelatina común	Animales	Residuos animales Huesos
Carboximetil celulosa	Arboles	Corteza del árbol
Goma de guar	<i>Cyanoosis osoralioides</i>	Semillas

Fuente: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua* p.48.

De la tabla anterior los que han dado mejor rendimiento y vale la pena considerarlos para su uso en plantas de tratamiento son: los compuestos algínicos, los derivados de la tuna o nopal y los almidones<sup>99</sup>.

Los derivados de la tuna o nopal constan de polvos blancos solubles en agua que se extractan con relativa facilidad. Han sido probados con agua turbia artificial y natural y han dado resultados comparables o mejores que los de los polímeros sintéticos<sup>100</sup>.

La planta de nopal pertenece al género *Opuntia*, son originarias de México, pero actualmente se pueden encontrar en varias regiones de Latinoamérica, Europa y Australia.

<sup>99</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*, p.48.

<sup>100</sup> KIRCHMER, Cliff; ARBOLEDA, Jorge y CASTRO, María. *Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación*. p.2.

Los almidones presentan una amplia gama de posibilidades. Con la dificultad de producir a partir de ellos compuestos solubles en agua. Algunas marcas comerciales de polielectrolitos son simples derivados de almidones<sup>101</sup>.

Los almidones se pueden encontrar en distintas fuentes, entre las que se encuentran: la patata, el maíz, el trigo, la tapioca y la cañagria.

Para Arboleda Valencia los componentes algínicos provienen de algas marinas del grupo *Phaeophyceae* (algas pardas), los cuales contienen polisacáridos ampliamente utilizados en la industria, especialmente en productos farmacéuticos, alimenticios y textiles. Por eso, su empleo como coagulante o floculante consumiría solamente una fracción de su producción total.

Sin embargo, en los últimos años se han venido desarrollando investigaciones para encontrar nuevos polímeros naturales, tal es el caso de Ramírez y Jaramillo que proponen una metodología para el análisis de 16 semillas diferentes teniendo en cuenta su contenido en proteínas y polisacáridos para el proceso de coagulación investigando también el proceso de desinfección, teniendo en cuenta las semillas que contienen una cantidad ya sea de ácido ascórbico, fumálico o cítrico. De dicha propuesta se extrae la tabla 4 donde se enlistan las semillas que sugieren estudiar<sup>102</sup>.

---

<sup>101</sup> CAMPOS, José y AZEVEDO, José. Empleo do anido de batata como auxiliar de floculacaon. p. 3.

<sup>102</sup> RAMÍREZ, Hildebrando y JARAMILLO, Jhoan. *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. Ingeniería Solidaria.* p. 148.

Tabla IV. **Relación de las especies naturales por estudiar**

Especie	Función	
	Coagulante	Desinfectante
Semillas de <i>Jatropha curcas</i>		
Caliz de <i>Hibiscus sabdariffa</i>		
Almidón de Maíz		
Semillas de maíz dulce		
Semilla de maracuyá		
Semilla de durazno		
Cáscara de papa		
Semillas de soja		
Semilla de haba		
Frijoles secos		
Extracto de semillas de mandarina		
Extracto de semillas de toronja y tánguelo		
Extractos de semillas de naranja		
Extractos de semillas de limón		
Extracto de semillas de lima		
Extractos de semillas de guanaba		

Fuente: RAMÍREZ, Hildebrando y JARAMILLO, Jhoan. *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos*. p. 148.

### 1.8.2.2. **Polímeros sintéticos**

Son compuestos orgánicos producidos por medio de la transformación química de subproductos del carbón y del petróleo. Lo conforman la mayoría de

los polímeros manufacturados por la industria y de mayor venta comercialmente<sup>103</sup>.

La mayoría se distribuye en forma de polvo seco. Otros son líquidos con concentraciones del 10 % al 60 % de polímeros activos.

Los polímeros sintéticos son los más usados en el tratamiento de agua por ser más efectivos que los naturales, ya que es posible controlar sus propiedades como el número y tipo de unidades cargadas y el peso molecular<sup>104</sup>.

En el mercado existe una amplia variedad de polímeros sintéticos catiónicos, aniónicos y no iónicos con una gran variedad de pesos moleculares y densidad de carga.

Se recomienda que debe investigarse la toxicidad de los polielectrolitos sintéticos y someterse a un exigente control de calidad, pues a veces los monómeros utilizados en la producción de polímeros son tóxicos. Debido a esto, algunos polímeros sintéticos no pueden usarse en el tratamiento de agua potable<sup>105</sup>.

Además, la Organización Mundial de la Salud ha publicado el informe sobre aspectos de salud relacionados con el uso de polielectrolitos en el tratamiento del agua potable, en el que se destaca la necesidad de controlar la toxicidad de los monómeros usados en la preparación de los polímeros<sup>106</sup>.

---

<sup>103</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.49.

<sup>104</sup> ZHRIM, Abu; TIZAOUI, Cheadly y HILAL, Nidal. *Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes*. p.5.

<sup>105</sup> CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. p. 156.

<sup>106</sup> Organización Mundial de la Salud. *International Reference Centre for Community Water Supply*. p. 4.

### **1.8.2.3. Polímeros de acuerdo con su carga**

Los polímeros empleados en el tratamiento de agua pueden o no tener carga eléctrica. Los que no la tienen se denominan no iónicos. Los demás se dividen en catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa)<sup>107</sup>.

Según American Water Works Association los polímeros catiónicos son coagulantes de bajo peso molecular y los aniónicos actúan como floculantes, ayudantes de filtración y como ayuda para acondicionar los lodos con alto o muy alto peso molecular<sup>108</sup>.

### **1.8.2.4. Modo de empleo de los polímeros**

Los polímeros pueden ser añadidos al agua en tres maneras distintas; Como coagulante, como ayudantes de coagulación y como ayudantes de floculación<sup>109</sup>.

El autor del párrafo anterior también menciona que cuando se agregan como único coagulante, a no ser que se apliquen en gran cantidad o tengan muy buenas propiedades coagulantes, el número de cadenas poliméricas que puede adherirse a las partículas en un tiempo económicamente aceptable y con los gradientes de velocidad usuales no es suficiente y la coagulación no se realiza o se realiza pobremente. Cuando se agregan como ayudante de coagulación, los polímeros se adhieren a las partículas, antes que los coagulantes metálicos, compitiendo por los sitios de adsorción. Cuando, por último, los polímeros se añaden como ayudante de floculación los microflocs tienen oportunidad de

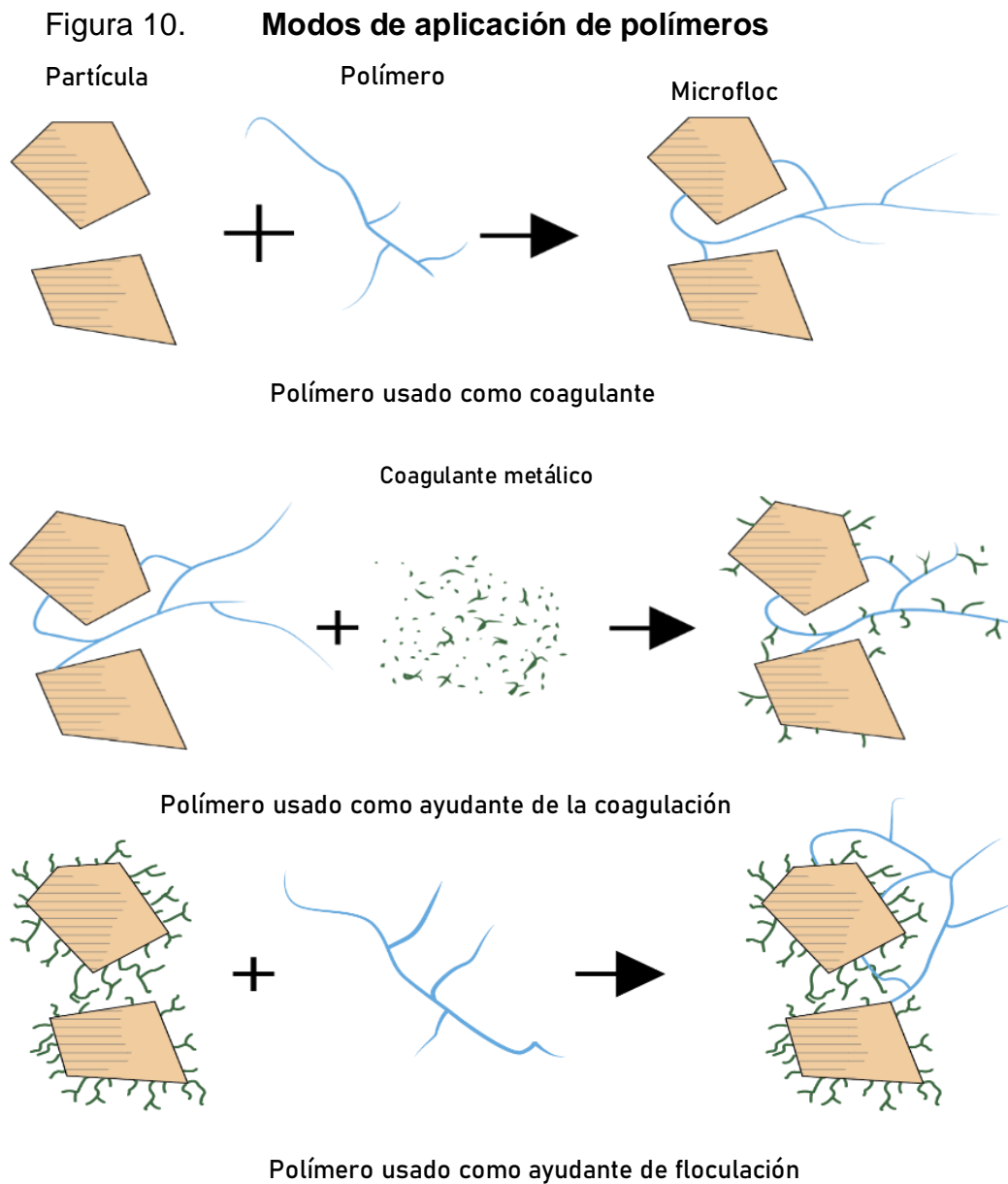
---

<sup>107</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. p.49.

<sup>108</sup> AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. p. 47

<sup>109</sup> Ibid. p.50.

formarse primero y los polielectrolitos intervienen después sólo para reforzar las uniones y aumentar el número de núcleos que integran cada floc. La figura siguiente nos muestra el proceso en los tres casos de añadir polímeros.



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*, p. 51.

## **1.9. Características de la especie *Prunus Persica* S “Salcajá”**

La especie *Prunus Persica* S “Salcajá” posee diferentes características que la diferencian de las demás, así como también comparte otras con el género *Prunus Persica*.

### **1.9.1. Etimología**

Tomando como referencia el concepto de el termino *Prunus Persica*, originalmente se llama *Amygdalus Persica* L., melocotonero del latín *malus cotonus*, manzana algodonosa debido a la piel del fruto. También se suele denominar duraznero o durazno en América proveniente del latín *durus acinus*, que tiene la piel dura debido a su piel y fruto<sup>110</sup>.

### **1.9.2. Origen de *Prunus Persica* S**

El melocotón como lo denomina es originario de China donde las referencias de su cultivo se remontan a tres mil años, donde fueron llevados posteriormente a Persia a través de las rutas comerciales por las montañas llegando a ser conocido, así como fruta pérsica, de allí el nombre *Persica* o melocotón. Estos términos llevaron al error que los melocotones eran originarios de Persia<sup>111</sup>.

Estos árboles son propios de regiones frías y templadas pudiéndose cultivar regiones sub-tropicales en las cuales este se lleva a cabo en lugares de gran altitud, en las que se presentan bajas temperaturas de invierno.

---

<sup>110</sup> OWEN, Johnson y MORE, David. *Árboles: guía de campo*. p.50.

<sup>111</sup> GONZALES, Iván y RUANO, Julio. *Manual del cultivo del melocotón*. p. 44.

El melocotón está comprendido entre los frutales se introdujeron a Guatemala, luego de la conquista en la época de la colonia; hacia 1984 se encontraban en el país, plantaciones comerciales o simplemente árboles dispersos desde los 1,500 hasta 2,400 metros sobre el nivel del mar. Existe mucha variabilidad genética en los duraznos sembrados en el país entre estos se encuentran aquellos de pulpa blanca (conocidos como duraznos blancos) que actualmente se han estado utilizando como porta injerto de los de pulpa amarilla o melocotón<sup>112</sup>.

De este cultivo es posible seleccionar genotipos, partir de poblaciones procedentes de semillas y fijar injertos, es por ello que pueden existir muchas variedades de dependiendo de la región.

En nuestro país éste es un cultivo de importancia, y ocupa un segundo lugar después de la manzana (*Malus pumila*), en cuanto al número de árboles y superficie cultivada<sup>113</sup>.

### **1.9.3. Distribución geográfica**

El cultivo del melocotón (*P. Persica S*) se encuentra difundido en todo el mundo, encontrándose la mayor producción en Europa, donde se obtienen unos 3.5 millones de toneladas métricas lo que representa casi el 50 % de la producción mundial<sup>114</sup>.

El cultivo del melocotón (*P. Persica S*) es ampliamente conocido como cultivo de clima templado, sin embargo, en los últimos años con el mejoramiento

---

<sup>112</sup> PÉREZ, Nelson. *Fertilidad en frutales deciduos*. In Curso Nacional de Frutales Deciduos. p. 4.

<sup>113</sup> Instituto Nacional de Comercialización Agrícola. *Diagnóstico sobre la comercialización de frutales deciduos*. p. 76.

<sup>114</sup> PÉREZ, Nelson. *Fertilidad en frutales deciduos*. In Curso Nacional de Frutales Deciduos. p. 4.



genético que han realizado países como Estados Unidos, Brasil y México quienes han estado sacando variedades de bajo requerimiento de horas frío (80 a 250 y de 250 a 600 horas).

Debido a esto Guatemala ha podido contar con variedades como Diamante (el cual se divide en tres tipos) Early Grand, Early Gold y por supuesto Salcajá<sup>115</sup>.

En el caso de la población local en Guatemala y el mercado centroamericano reconoce y gusta de la variedad Salcajá debido a su dulzura, consistencia y aroma.

El cultivo de melocotón se da en 14 departamentos de nuestro país, siendo el departamento más importante Quetzaltenango en el cual se cultiva 400 hectáreas y el menos importante es Jutiapa con 2 hectáreas. De las 400 hectáreas que se cultivan en Quetzaltenango el 57.62 % se estima que es un área dispersa en todo el departamento, funcionando como una fruticultura llamada de traspatio o considerada como seguridad alimentaria, por lo que solo 170 hectáreas están registradas como plantaciones compactas<sup>116</sup>.

#### **1.9.4. Taxonomía**

En cuanto a taxonomía el género fue descrito primero por Carlos Linneo como *Amygdalus persicus* y publicado en 1753 y atribuido posteriormente al género *Prunus* por Jonathan S. Stokes y publicado 1812. A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de *Cronquist*<sup>117</sup>.

---

<sup>115</sup> PÉREZ, Nelson. *Fertilidad en frutales deciduos*. In Curso Nacional de Frutales Deciduos. p. 5.

<sup>116</sup> ESCOBAR HERNANDEZ, Eugenio. *Evaluación de 10 tratamientos para extender la vida de anaquel del fruto del melocotonero (Prunus Persica I cultivar Salcajá)* p.6.

<sup>117</sup> LOPEZ MALDONADO, Oscar. *Recomendaciones para el cultivo del melocotón (Prunus Persica Stokes) en el occidente de Guatemala*. p.4.

Tabla V. **Taxonomía de la especie *Prunus Persica S***

Reino	Vegetal
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	Rosales
Familia	Rosácea
Genero	<i>Prunus</i>
Subgénero	<i>Amigdalus</i>
Especie	<i>Persica</i>
Nombre Científico	<i>Prunus (Amigdalus) Pérsica</i> Stokes

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de LOPEZ MALDONADO, Oscar.  
*Recomendaciones para el cultivo del melocotón (Prunus Persica Stokes) en el occidente de Guatemala.* p. 4.

### 1.9.5. Características de la especie Salcajá

Barrientos González y Lopez Maldonado clasifican las especies de duraznos según su adherencia a la semilla, los que tienen su semilla adherida al mesocarpio pueden ser de mesocarpio blanco, llamados duraznos blancos, presentan gran variabilidad, utilizándoseles como patrón de los melocotones; Los de mesocarpio amarillo: son llamados simplemente melocotones, son de mayor valor comercial y se conocen las variedades de Salcajá, Xalapán, Tejutla y otras. Y por último se encuentran los de mesocarpio rojizo (color que se encuentra

cercano a la semilla), se conocen las variedades de Durango y Ely Golden. Los de semilla no adherida al mesocarpio Su mesocarpio es demasiado blando y no está adherido a la semilla, se conocen comúnmente como “priscos” y existen varios tipos que no están plenamente identificados<sup>118</sup>.

Con base en el párrafo anterior se puede concluir que la especie Salcajá pertenece a la clasificación de semillas con mesocarpio amarillo. Como base a lo descrito por Lopez Maldonado el fruto es de color amarillo intenso con una chapa roja, de pulpa consistente. Con un sabor y aroma característico, con 180 días de floración a cosecha. Frutos de medianos a grandes entre 150 a 200 gramos aroma característico y una concentración de sólidos solubles que oscilan de 12 a 15 grados brix. En nuestro medio es la variedad más apetecida para consumo en fresco por su dulzura y aroma. La época de cosecha depende de la región productora, iniciándose desde finales de julio hasta finales de septiembre<sup>119</sup>.

Escobar menciona que el 85.42 % del área total cultivada en el país corresponde a plantaciones con la variedad Salcajá el resto está formado por variedades como flor DLyz, L-27, diamante y otras<sup>120</sup>.

Como historia de esta especie se realizó un reportaje para la revista digital Frutagru, acerca de los melocotones cultivados en Salcajá , municipio de Quetzaltenango; en dicha revista resalta la información que en la década de 1970, Óscar Ovalle Soto, un agricultor de la región viajó hacia Estados Unidos, en donde pudo conocer diferentes técnicas de plantación, lo que lo llevó a experimentar por su cuenta hasta lograr crear su propia variedad, llevando el

---

<sup>118</sup> BARRIENTOS GONZÁLES, Rafael. *Experiencia en la producción y comercialización del durazno (Prunus Persica) en la comunidad de Santa María*. p. 5.

<sup>119</sup> LOPEZ MALDONADO, Oscar. *Recomendaciones para el cultivo del melocotón (Prunus Persica Stokes) en el occidente de Guatemala*. p.7.

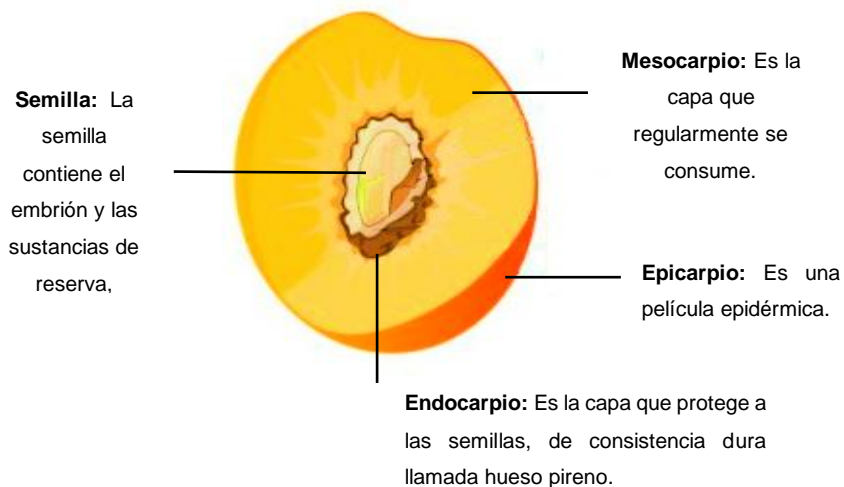
<sup>120</sup> ESCOBAR HERNANDEZ, Eugenio. *Evaluación de 10 tratamientos para extender la vida de anaquel del fruto del melocotonero (Prunus Persica I cultivar Salcajá)*. p.8.

nombre de su tierra natal, la variedad Salcajá se diferencia de la de otras partes por su tamaño y su sabor, a partir de allí y sin tener todos los conocimientos técnicos, la gente de Salcajá ha mostrado un interés por aprender e investigar más acerca de esta fruta, su producción y maneras de mejorar todo el proceso que conlleva la siembra de duraznos, llegando a producir 40 mil quintales al año<sup>121</sup>.

### 1.9.6. Definición de la estructura del fruto *Prunus Persica S*

Los frutos son ovarios maduros, y que este órgano contiene las semillas, el fruto de *Prunus Persica S* se considera parte de las drupas, entra en el tipo de frutos simples específicamente el grupo de los semicarnosos; debido a que poseen un epicarpio fino, mesocarpio carnoso y endocarpio duro. La estructura del fruto se muestra en la figura 11<sup>122</sup>.

Figura 11. Estructura del fruto *Prunus Persica S*



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de OWEN, Johnson y MORE, David. *Árboles: guía de campo*. p.50.

<sup>121</sup> FRUTAGRU. *Se acerca el primer festival del melocotón Salcajá*. p. 20

<sup>122</sup> MACHACA GONZALES, Leonardo. *Proceso de extracción del aceite vegetal de las almendras de durazno (Prunus Persica) a nivel de laboratorio*. p 18.

### 1.9.7. Características de la semilla *Prunus Persica S*

Con base en lo descrito por Machaca Gonzales la semilla durazno es un sólido blando o grano de color amarillo de forma ovalada con un tamaño medio de 1,6 cm de largo y 1 cm de ancho, que alberga el embrión y contienen aceite vegetal y otros componentes más<sup>123</sup>. Ruiz y García mencionan que las semillas poseen también amigdalina y aldehído benzoico<sup>124</sup>.

Según Salem por la composición química de las semillas *Prunus Persica* es la siguiente<sup>125</sup>:

Tabla VI. **Composición química de la semilla *Prunus Persica S* Salcajá**

	%
Hidratos de Carbono	33.51
Proteínas	53.46
Cenizas	6.56
Fibra cruda	6.47

Fuente: FUNES, Jorge. *Estudio de la composición química de la semilla y de los aceites de semilla de frutos de especies de "Prunus" de producción nacional. Harinas de extracción y aislamiento de proteínas* p.18.

Desde el punto de vista toxicológico las semillas de *Prunus Persica S* en general están compuestas por amigdalina la cual es una toxina vegetal natural correspondiente al grupo de los glucósidos cianogénicos. La amigdalina se compone de dos unidades de glucosa (genciobiosa), una unidad de benzaldehído y

<sup>123</sup> MACHACA GONZALES, Leonardo. *Proceso de extracción del aceite vegetal de las almendras de durazno (Prunus Pérsica) a nivel de laboratorio* p. 19.

<sup>124</sup> RUIZ, Mario y GARCÍA ALAYO, Fred. *Extracción de amigdalina a partir de semillas de Prunus Persica L. "durazno" e hidrólisis enzimática enterobacteriana.* p. 4.

<sup>125</sup> FUNES, Jorge. *Estudio de la composición química de la semilla y de los aceites de semilla de frutos de especies de "Prunus" de producción nacional. Harinas de extracción.* p.18.

una de cianuro los cuales son solubles en agua, poco soluble en metanol frío y moderadamente soluble en metanol caliente<sup>126</sup>.

Según Duke la semilla de *Prunus Persica*, posee de 25500 a 60000 ppm de amigdalina, es decir, entre un 2.55 % - 6 % del peso seco de las semillas, este resultado fue corroborado por Ruiz & García donde se encontró una concentración de 5200 ppm o 5.2 %<sup>127</sup>.

La toxicidad que posee la semilla de *Prunus Pérsica*, es un factor determinante para el uso de esta semilla como coagulante, debido a que la incorporación de amigdalina al agua tratada descartaría su uso como coagulante.

Tomando en cuenta un estudio publicado por la EFSA (*European Food Safety Authority*). Agencia de Seguridad Alimentaria de la Unión Europea; la amigdalina presente en las semillas degrada al cianuro mediante la trituración o masticación, pero no se degrada todo, por lo que dependiendo de la cantidad de semillas que se consumen, puede provocar una intoxicación con diferentes efectos, fiebre, náuseas, insomnio, dolor de cabeza, dolores en las articulaciones, caída de la presión arterial, entre otros.

Estos estudios revelan, una cantidad variable entre 0.5 y 3.5 miligramos de cianuro por kilo corporal puede resultar fatal, el cianuro se absorbe rápidamente alcanzando niveles máximos en sangre en cuestión de minutos y se distribuye a todos los órganos. Con base en estos resultados la EFSA considera segura y como ingesta admisible se establece en 20 microgramos por kilogramo de peso corporal, siendo 25 veces inferior a la dosis letal mínima anteriormente descrita.

---

<sup>126</sup> ARRÁZOLA, Guillermo y otros, *Determinación de los compuestos cianogénicos amigdalina y prunasina en semillas de almendras (Prunus dulcis L.) mediante cromatografía líquida de alta resolución*. p. 24.

<sup>127</sup> RUIZ, Mario y GARCÍA ALAYO, Fred. *Extracción de amigdalina a partir de semillas de Prunus Persica L. "durazno" e hidrólisis enzimática enterobacteriana*. p. 8.

Con base en los límites indicados y a la cantidad de amigdalina presente en las semillas, los investigadores estiman que como mucho se podrían consumir, o bien una semilla grande o tres pequeñas cuyo peso total no exceda de 370 miligramos, en el caso de los niños, la cantidad máxima se establece en 60 miligramos<sup>128</sup>.

#### **1.9.8. La semilla de *Prunus Persica* S Salcajá como coagulante**

Las semillas de *Prunus Persica* están compuestas de proteínas y almidón que son las características que le dan la propiedad de coagulación. Principalmente las proteínas al presentarse de manera catiónica desestabilizan a las partículas coloidales de carga negativa haciendo que se atraigan unas con otras formando los coágulos y posterior a ello, los flóculos. Además, retrasan las reacciones químicas, microbiológicas, y la formación de enzimas por lo que contribuyen en el tratamiento de aguas<sup>129</sup>.

Se ha evidenciado estudios en donde se ha utilizado la semilla *Prunus Persica* para la reducción de *E-coli* en aguas residuales domésticas.

Vásquez González hace referencia que las semillas de los frutos remueven la turbiedad de agua debido a que las proteínas liberadas se enlazan con las partículas y bacterias suspendidas, y forman aglomerados que son removidos en sedimentación<sup>130</sup>.

---

<sup>128</sup> FOODSERVICE. *Las semillas pueden provocar envenenamiento por cianuro*. p. 12

<sup>129</sup> RAMÍREZ, Hildebrando y JARAMILLO, Jhoan. Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria* p. 145.

<sup>130</sup> VÁSQUEZ GONZÁLEZ, Leonardo. *Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana, Viscum album y Senna candolleana)*. *Naturaleza y desarrollo*. p. 490.

La semilla de *Prunus Persica* S posee el 53 % de proteínas por lo tanto la mayor parte de su composición se puede utilizar para uso de coagulante.

Lédo, Lima, Paulo, y Duarte mencionan que la coagulación puede llevarse a cabo por algún mecanismo de atrapamiento en el que no intervienen las cargas, como en el caso de los coagulantes que funcionan por arrastre de barrido<sup>131</sup>. Esto concuerda con Miller, Fugate, Craver, Smith, y Zimmerman los cuales mencionan que al no existir sales el extracto activo no depende de cargas eléctricas como en el caso de los coagulantes producidos por la moringa<sup>132</sup>.

Otro mecanismo que se puede dar es el propuesto por Okuda, Baes, Nishijima, y Okad quienes establecen que se puede formar una estructura semejante a una malla que atrapa los sólidos suspendidos durante la coagulación. Los cationes bivalentes del coagulante natural son eléctricamente adsorbidos por el componente activo con carga negativa ajustado de acuerdo con el pH óptimo, formando una materia insoluble con la malla<sup>133</sup>.

---

<sup>131</sup> LÉDO, Patricia y otros. Comparative Study of Aluminum Sulfate and Moringa oleifera seeds as Coagulants in the Clarification of Water with Low Turbidity. *Información tecnológica*. p. 6.

<sup>132</sup> MILLER, Sarah y otros. Toward understanding the efficacy and mechanism Opuntia spp. As a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environ. Sci. Technol.* p. 4260.

<sup>133</sup> OKUDA, Tetsuji y otros. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in Moringa oleifera seeds. *Water Research*. p. 833.



## **2. METODOLOGÍA**

A continuación, se describe la metodología empleada para la obtención de la materia prima, el proceso de producción del coagulante orgánico y el diseño experimental para el desarrollo de las pruebas.

### **2.1. Enfoque metodológico**

El diseño de investigación utilizado es el experimental porque consistirá en la manipulación de una variable experimental, no comprobada, en condiciones controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular. El trabajo presenta una investigación cuantitativa de tipo experimental, porque se relacionan, los efectos que generan la dosis del coagulante, sobre la turbiedad, color, en las diferentes muestras de agua analizadas.

El diseño experimental por utilizar es el de Bloques completos al azar; definido por Hinkelman citado por Mendoza e Ibañez de la siguiente manera: el material experimental es dividido en grupos de unidades experimentales (UE) cada uno, donde  $t$  es el número de tratamientos, tales que las UE dentro de cada grupo son lo más homogénea posible y las diferencias entre las UE sea dada por estar en diferentes grupos. Los conjuntos son llamados bloques. Dentro de cada bloque las UE son asignadas aleatoriamente, cada tratamiento ocurre exactamente una vez en un bloque. Conocido como diseño de doble vía, se aplica cuando el material es heterogéneo. Las unidades experimentales homogéneas se agrupan formando grupos homogéneos llamados bloques.

Tratamientos A, B, C, D, E

Bloque I: B A E C D

Bloque II: C B D E A

Bloque III: B E A D C

Bloque IV: D C A E B

Para el desarrollo de este estudio los tratamientos serán las distintas concentraciones de coagulantes de semilla de *Prunus Persica* S “Salcaja” (30 mg/l, 70 mg/l, y 140 mg /l), además de un testigo (muestra sin tratamiento). Se analizará un tratamiento con  $Al_2(SO_4)_3$ , (sulfato de aluminio), solo como referencia. El análisis estadístico de dicho sistema experimental; se realiza mediante una tabla ANOVA (*ANalysis Of VAriance*), Análisis de Varianza. con el cual se comprueban las hipótesis  $H_0$ : las medias de todos los tratamientos son iguales (no existe acción coagulante); o  $H_a$ : existen al menos un par de pruebas diferentes (existe al menos un tratamiento que es estadísticamente significativo)

## **2.2. Definición y operacionalización de variables**

En función de la relación de influencia de una variable sobre otra se distingue entre variable dependiente e independiente, para este caso se analiza la influencia de la concentración de coagulante de semilla *Prunus Pérsica* sobre la turbiedad y el color de varias muestras de agua, la definición de variables para el presente estudio se representa de la siguiente manera al igual que su operativización en la tabla VII:

Variable Independiente: Molienda producida a partir de la semilla de *Prunus Persica* S “Salcaja” a un volumen de concentración, y tiempo de aplicación. La semilla de *Prunus Persica* S “Salcaja” es reconocida por su gran acción de disminuir la turbiedad, por otro lado, investigaciones realizadas indican que tiene

gran cantidad de aceites y grasas a diferencia de otros coagulantes naturales, con una acción en valores de turbiedad, color y E-coli.

VARIABLES dependientes: reducción de turbidez y color.

La turbidez y el color parámetros físicos que determinan la calidad del agua.

Tabla VII. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDADES
<b>Variable independiente:</b> <b>Molienda</b> <b>producida a partir de la semilla de <i>Prunus Persica Salcajá</i></b>	La semilla <i>Prunus Persica</i> es reconocida por su gran acción de disminuir la turbiedad, por otro lado, investigaciones realizadas identifican que tiene gran cantidad de aceites y grasas a diferencia de otros coagulantes naturales, con una acción en valores de turbiedad y color.	Determinar la concentración de molienda producida a partir de la semilla de <i>Prunus Persica S</i>	Concentración	Concentración de coagulante	Gramos
				Turbidez	NTU
				Color	Unidades de Color
				pH	Unidades de pH
		Evaluar la efectividad del método	Eficiencia	% de Remoción	$\left( \frac{\text{valor inicial} - \text{valor residual}}{\text{valor inicial}} \right) * 100$

Continuación tabla VII.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDADES
Variable dependiente: reducción de turbidez, color	La turbidez y el color como parámetros físicos que determinan la calidad del agua.	Medir los valores de Color Turbiedad y pH en el agua antes y después de la aplicación de la dosis de coagulante, para analizar el comportamiento.	Análisis físico de turbiedad color y pH	% de reducción de turbidez	$\left( \frac{\text{valor inicial} - \text{valor residual}}{\text{valor inicial}} \right) * 100$

Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Muestra del agua tratar

El agua por tratar proviene de fuentes superficiales como ríos y también de turbiedades artificiales las cuales sean inducidas mediante la adición de arcilla. La cantidad de puntos de muestreo será determinada a partir de la cantidad de bloques que se deseen evaluar.

Cal utilizar un análisis de varianza para el procesamiento de datos el número de bloques según se puede calcular mediante la calculadora muestral *Granmo* la cual es parte de los servicios Científico-técnicos del IMIM (*Institut Hospital del Mar d'Investigacions Mèdiques*), utilizando para este caso los siguientes parámetros:

Figura 12. Interfaz de aplicación Granmo

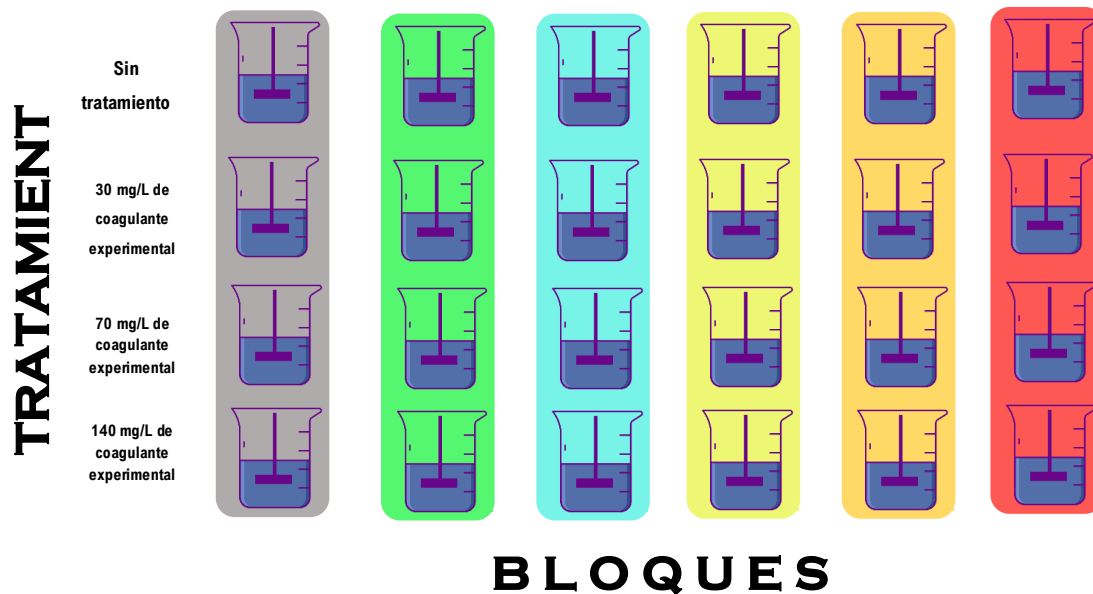
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de NAVE, Francisco. *Métodos estadísticos aplicados a la investigación*. p.19

Figura 13. Resultados de Granmo

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de calculadora de tamaño muestral Granmo.

El resultado anterior se interpreta en que se necesitan 6 bloques con 4 tratamientos para que el resultado pueda ser representativo, esto quiere decir que necesitaremos 6 muestras con valores de turbiedad diferentes.

Figura 14. **Conformación de bloques de tratamientos**



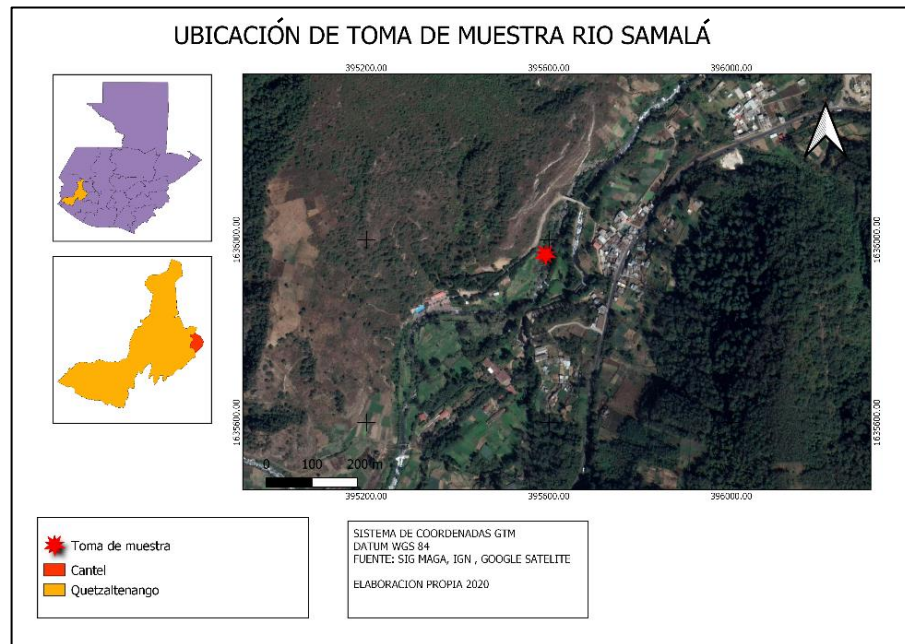
Fuente: elaboración propia.

### 2.3.1. Muestreo del agua empleada para aplicación de los tratamientos

Debido diseño de investigación basado en el modelo de bloques completos al azar; en el estudio se pueden utilizar tanto agua natural como artificial, el agua natural puede ser obtenida de alguna fuente superficial y el agua artificial puede ser fabricada mediante la adición de diferentes cantidades de arcilla tipo caolín. El tipo de agua podrá variar únicamente en cada bloque mas no en cada tratamiento. Para la conformación del bloque 1 se utilizó agua proveniente de la

parte alta del río Samalá, el punto en específico se encuentra en la entrada al turicentro Chicovix, en el municipio de Cantel, departamento de Quetzaltenango.

Figura 15. **Mapa de ubicación de la toma de muestra de agua**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 16. **Toma de muestra de agua río Samalá**

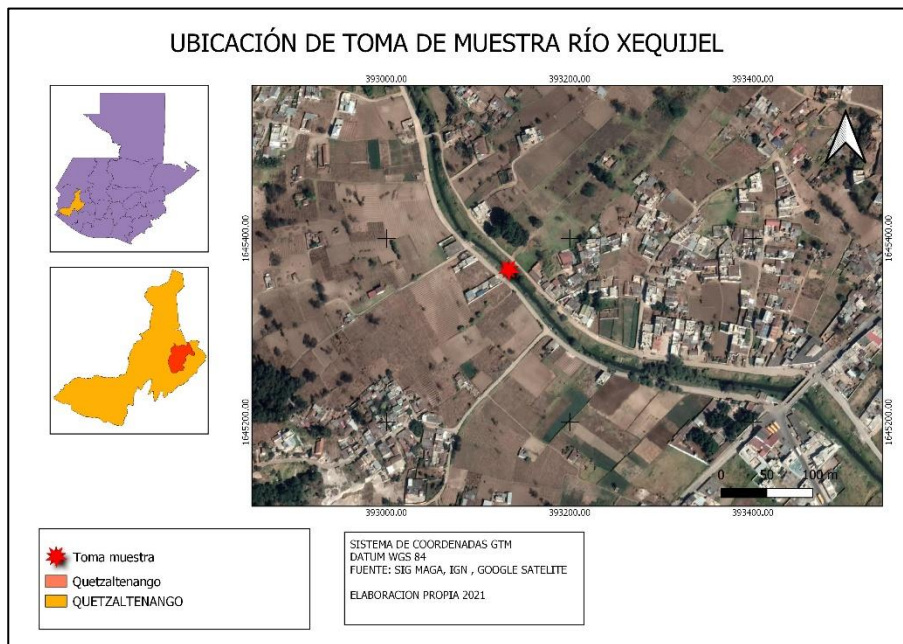


Fuente: Río Samalá, Cantel, Quetzaltenango



El agua utilizada para la aplicación de los tratamientos del bloque 2 fue tomada del río Xequijel, específicamente en la Aldea San José Chiquilajá, Municipio de Quetzaltenango, las coordenadas de la toma de muestra fueron: Latitud: 14° 52.662´ y Longitud: 91° 29.594´.

Figura 17. **Mapa de ubicación de la toma de muestra de agua**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 18. **Toma de muestra de agua río Xequijel**

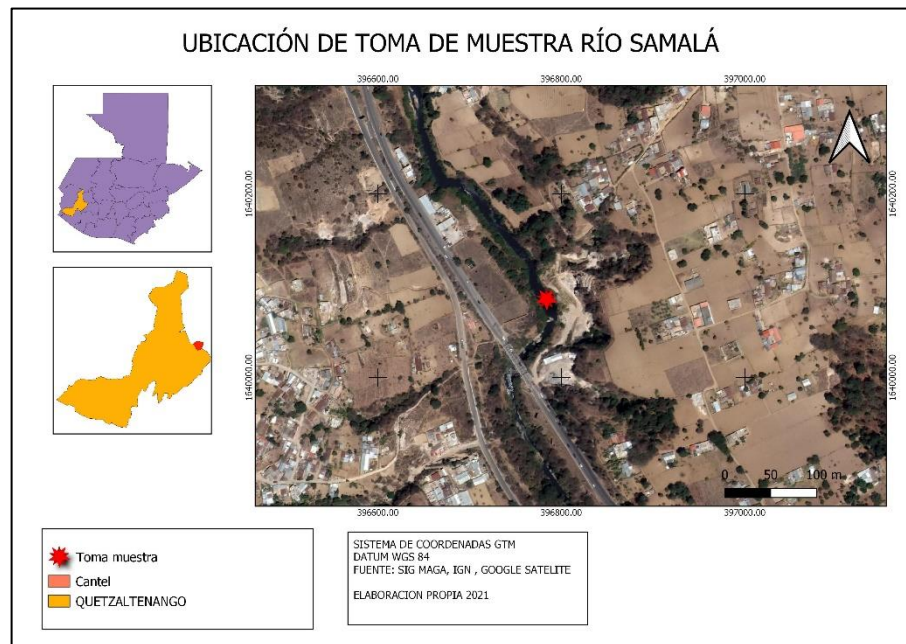


Fuente: Río Xequijel, San José Chiquilajá, Quetzaltenango



El agua utilizada para la aplicación de los tratamientos del bloque 3 fue tomada del río Samalá, específicamente en la Aldea Paxaj Cantel, Quetzaltenango, las coordenadas de la toma de muestra fueron: Latitud: 14° 49.807´ y Longitud: 91° 27.546´.

Figura 19. **Mapa de ubicación de la toma de muestra de agua**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 20. **Toma de muestra de agua río Samalá**



Fuente: Río Samalá, Cantel, Quetzaltenango

Para los bloques 4, 5 y 6 se utilizó agua del grifo con inclusiones de arcilla, la cual fue pesada, mezclada y distribuida en los vasos precipitados.

Figura 21. **Preparación de turbiedad artificial**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

El agua utilizada para la aplicación de los tratamientos del bloque 4 consto en agua obtenida del grifo del laboratorio de química al cual se le añadió arcilla con un peso estimado, para obtener la turbiedad determinada. Inicialmente se tomó como referencia lo mencionado por Turcios Flores, el cual utilizo caolín para inducir la turbiedad a diferentes valores, eligiendo base, el valor de 0.45 g/L para una turbiedad de 145 NTU, pero la turbiedad inducida era muy poca por lo que se tomó la cantidad de 0.75 g/L con lo cual se obtuvo una turbiedad de 168 NTU

y color de. Se utilizó una cantidad de 8 litros considerando desperdicios por lo que la cantidad de arcilla pesada fue de 6.00 gramos.

Figura 22. **Pesaje de arcilla para inducir turbiedad en bloque 4**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

El agua utilizada para la aplicación de los tratamientos del bloque 5 consto en agua obtenida del glifo del laboratorio de química al cual se le añadió arcilla con un peso estimado, eligiendo como base, el valor de 0.75 g/L para una turbiedad de 168 NTU, del bloque 4. Se utilizo una cantidad de 8 litros considerando desperdicios por lo que la cantidad de arcilla pesada fue de 15.00 gramos, obteniendo una turbiedad de 337 NTU y de color de 1656 UPt-Co.

Figura 23. **Pesaje de arcilla para inducir turbiedad en bloque 5**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

El agua utilizada para la aplicación de los tratamientos del bloque 6 consto en agua obtenida del grifo del laboratorio de química al cual se le añadió arcilla con un peso estimado, eligiendo como base, el valor de 1.875 g/L para una turbiedad de 337 NTU, del bloque 5. Se utilizó una cantidad de 8 litros de agua considerando desperdicios. La cantidad de arcilla pesada fue de 30.09 gramos, obteniendo una turbiedad de 623 NTU y de color de 2,250 UPt-Co.

Figura 24. **Pesaje de arcilla para inducir turbiedad en bloque 6**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

## 2.4. Instrumentos de obtención de información

Los instrumentos de recolección de datos son todas aquellas herramientas que nos ayudan a recabar la información sustancial para el desarrollo de la investigación, entre los más importantes están boletas en la toma de muestras o la prueba de jarras como un instrumento para obtener la información del proceso de coagulación- floculación con el coagulante experimental, la tabla VII describe los instrumentos utilizados.

Tabla VIII. Instrumentos de recolección de información usados

Etapa	Fuente	Técnicas	Instrumentos	Resultados
Recolección de muestras iniciales	Investigador	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Observación</li> <li>•Análisis de Color, Turbiedad y pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabla de identificación de muestras</li> <li>•Turbidímetro HACH 2100N IS</li> <li>•Espectrofotómetro HACH DR3900</li> <li>•Medidor de pH Hanna HI9811-5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Mapas de ubicación de muestras</li> <li>•Parámetros iniciales: turbiedad, color, pH</li> </ul>
Aplicación de la molienda de <i>Prunus Pérsica</i> Salcajá	Investigador	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Prueba de Jarras</li> <li>•Observación de índice de Wilcomb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Agitador de 6 jarras</li> <li>•Tablas de registro de pruebas</li> <li>•Turbidímetro HACH 2100N IS</li> <li>•Espectrofotómetro HACH DR3900</li> <li>•Medidor de pH Hanna HI9811-5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Dosis de coagulante</li> <li>•Parámetros finales: turbiedad, color, pH</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

## **2.5. Trabajo de campo**

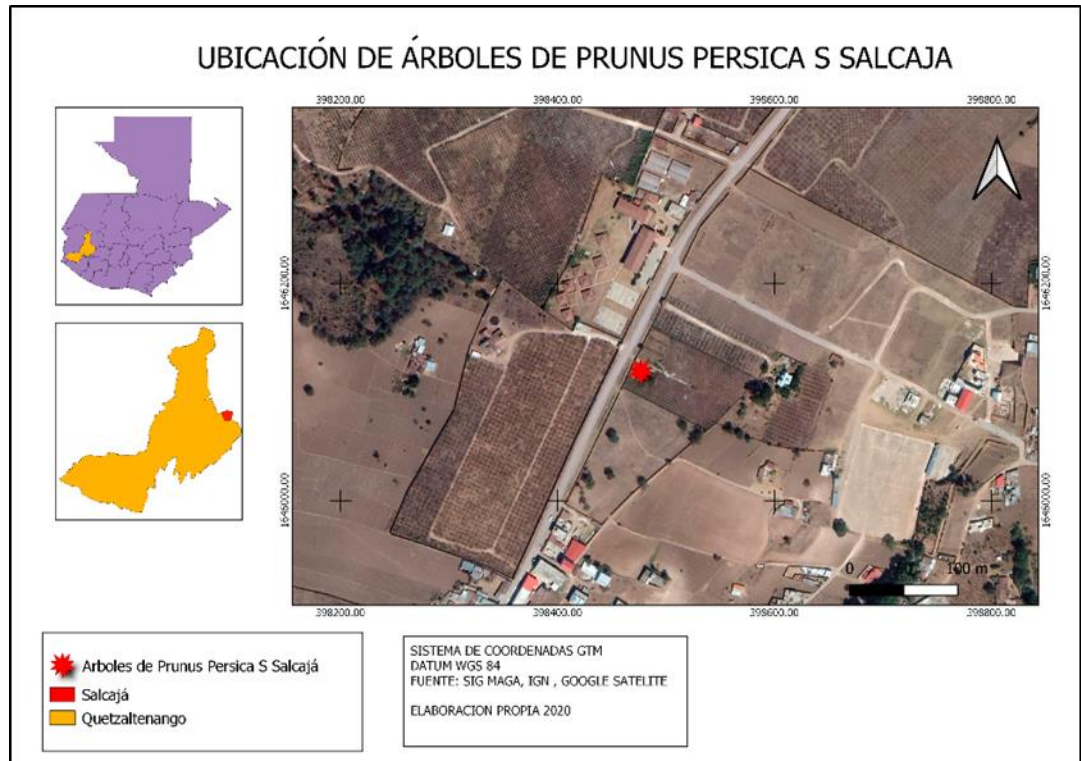
El trabajo de campo comprende la obtención de la materia prima, la preparación del coagulante natural y su aplicación a las muestras de agua preparadas y recolectadas.

### **2.5.1 Obtención de materia prima para la producción de coagulante a base de molienda de Semillas *Prunus Persica* S “Salcajá”**

Para la obtención del coagulante primero se ubicó un lugar en donde obtener semillas de melocotón de la variedad Salcajá como se conoce en el medio, un grupo de semillas fue obtenido de los frutos caídos en una plantación ubicada en la aldea Santa Rita del municipio de Salcajá, departamento de Quetzaltenango, lugar que se indica en la figura 25. De la misma manera en dicho municipio se logró recolectar semillas producto de la producción de dulces típicos, pastelería y consumo doméstico presentes en la localidad.



Figura 25. **Mapa de ubicación de cultivos de *Prunus Persica* S Salcajá**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS

Figura 26. **Recolección de semillas en plantaciones de *Prunus Persica* S "Salcajá"**



Fuente: sembradíos de duraznos, Salcajá, Quetzaltenango.

Figura 27. **Semillas de *Prunus Persica* S “Salcajá” encontradas**



Fuente: sembradíos de duraznos, Salcajá, Quetzaltenango.

Figura 28. **Semillas adquiridas de producción doméstica**



Fuente: Salcajá, Quetzaltenango.

### 2.5.2. **Preparación del coagulante para el bloque 1**

Ramírez y Jaramillo mencionan que para extraer el extracto de las semillas primero se inicia con un proceso de secado, maceración, pulverización y tamizado, añadiéndole posteriormente un disolvente para mejorar la calidad del extracto, retirar impurezas y activar los agentes para el tratamiento. Seguido a



esto, se hace la extracción de los agentes ya puros para su aplicación en los test de actividad.<sup>134</sup>

Al usar este método en una escala domiciliar se tiene el inconveniente que se necesita un mejor control de temperatura ya que la semillas se encuentra entera y es necesario que pierda la mayor humedad posible para que sea fácil su maceración, incluso se puede usar un molino de café para la pulverización; al no tener control del tiempo de secado o no brindarle las condiciones de temperatura (horno), obtenemos un material de color café el cual no funciona como coagulante.

Figura 29. **Secado de semillas y maceración**



Fuente: Quetzaltenango.

Fernández Horóstegui obtuvo el procedimiento de MAS, F. RUBI donde una vez extraído las almendras de las semillas se procede a molerlas en una máquina

<sup>134</sup> RAMÍREZ, Hildebrando y JARAMILLO, Jhoan. *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. Ingeniería Solidaria.* p. 146.

de moler, seguidamente se pasa por un tamiz, después se prepara para llevarla a una estufa a 80 °C por un periodo de 20 min, dejando reposar 24 horas antes de su aplicación<sup>135</sup>.

Al moler de primero las semillas, se adquiere un mejor control de las semillas en el secado con la estufa, sin embargo, la molienda no se puede realizar por medio de una máquina de moler debido a que la humedad y los aceites convierten la molienda en una masa quedando incrustada en los discos de moler desperdiciando la molienda; una forma de desarrollar esta metodología es mediante un pimentero de cocina el cual otorga un mejor control sobre la molienda.

La observación de este método es que el tiempo de 20 minutos a 80° no es suficiente para eliminar algunos aceites de la semilla, y las grasas salen a flote en la aplicación del coagulante.

Figura 30. **Secado y molienda**



Fuente: Quetzaltenango.

---

<sup>135</sup> FERNÁNDEZ HORÓSTEGUI, Helenn. *Fitorremediación mediante cotiledones de durazno (Prunus persica) para reducción de turbidez y Escherichia coli de aguas domésticas, Distrito de Oyón.* p. 38.

Figura 31. **Película de grasas en la superficie de la jarra**



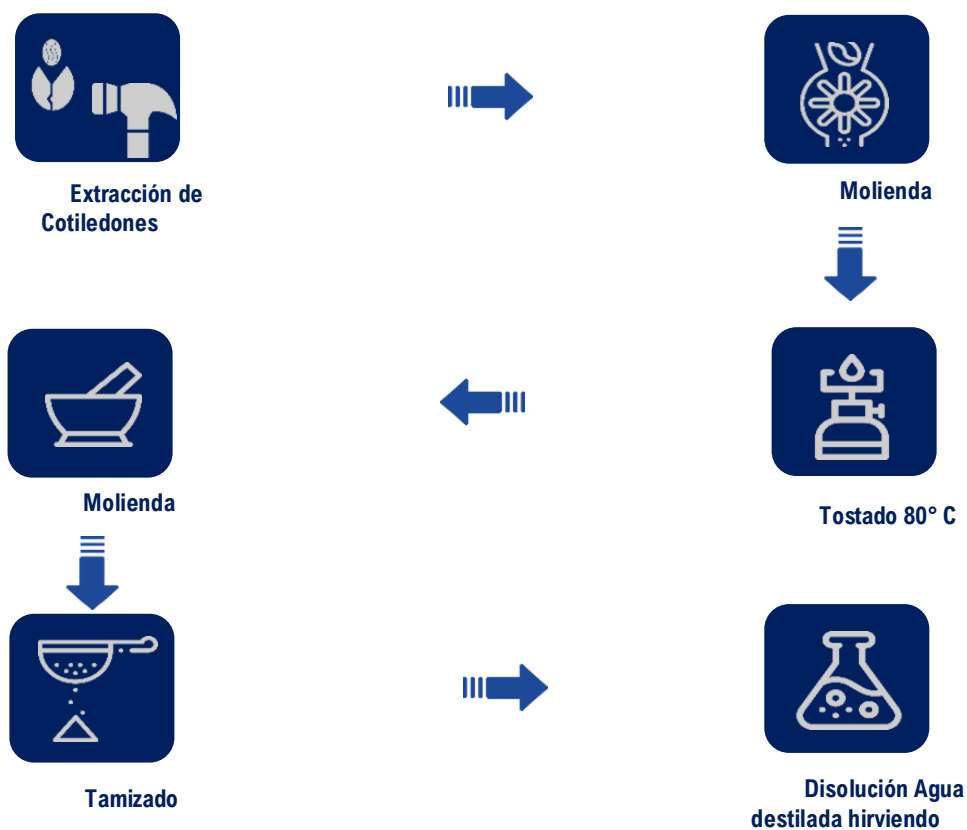
Fuente: Quetzaltenango

Barbarán Silva, Lopez Chavez, y Chico Ruiz proponen que el disolvente debe de ser agua destilada hirviendo; para este estudio se siguió el siguiente procedimiento, tomando en cuenta los procedimientos de los tres autores mencionados anteriormente<sup>136</sup>.

---

<sup>136</sup> BARBARÁN SILVA, Hellen, LOPEZ CHAVEZ, Jhanny y CHICO RUIZ, Julio. *Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (prunus persica) y palta (persea americana)*. p. 10.

Figura 32. **Flujograma de producción de coagulante**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de BARBARÁN SILVA, Hellen, LOPEZ CHAVEZ, Jhanny y CHICO RUIZ, Julio. *Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*prunus persica*) y palta (*persea americana*)* p.10; FERNÁNDEZ HORÓSTEGUI, Helenn. *Fitorremediación mediante cotiledones de durazno (*Prunus persica*) para reducción de turbidez y *Escherichia coli* de aguas domésticas, Distrito de Oyón*. p.38; RAMÍREZ, Hildebrando y JARAMILLO, Jhoan. *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos* p. 146.

### 2.5.2.1. Extracción de las semillas

Las semillas para el presente estudio provinieron de dos fuentes, la primera fuente de semillas producto de frutos caídos de una plantación local y la segunda de una fuente domiciliar dedicada a la producción de subproductos naturales a base de *Prunus Persica* S “Salcajá”; Las semillas recolectadas se encontraron en tres diferentes condiciones, la primera semillas con un color oscuro de consistencia dura, las segundas empezando a presentar coloración negra con consistencia dura y las terceras semillas con el color característico marrón y consistencia dura.

Figura 33. Condiciones de las semillas encontradas



Fuente: Quetzaltenango.

Al extraer las semillas se pudo encontrar que la calidad de la semilla variaba en función a la calidad del endocarpio, siendo para las semillas que poseen el endocarpio negro, una semilla de mala calidad, la semillas que empiezan a tener un endocarpio negro, con calidad media, y las semillas con un endocarpio de color normal (marrón) con una calidad aceptable.

Figura 34. **Calidades de semillas encontrados**



Fuente: Quetzaltenango.

Al seleccionar 45 semillas se pudieron encontrar diferentes calidades de endocarpios y por consiguiente de cotiledones (unos más deshidratados que otros), así como se evidencia en la figura 20, incluso se extrajo una semilla de un fruto fresco y presento una calidad que no se evidencia deshidratación.

Figura 35. **Calidades de semillas *Prunus Persica* S Salcajá encontradas**



Fuente: Quetzaltenango.

Con relación en el peso las semillas de mala calidad no presentan un peso significativo, mientras que las semillas de buena calidad presentan un peso de

0.2 g, las semillas recién extraídas presentan un peso de 0.6 g. la variación del peso de debe al contenido de aceite y humedad que posee la semillas.

Figura 36. **Peso de las diferentes clases de semillas encontradas**



Fuente: Quetzaltenango.

Para la preparación se utilizaron las semillas que no presentaran demasiada deshidratación, moliéndolas con un rayador de cocina, seguidamente se cocinaron a 80° C mediante una estufa, donde el calor se fue graduando mediante la altura del sartén respecto a la fuente del calor, la temperatura se midió mediante un sensor de calor de un multímetro, al pasar 60 minutos de la aplicación de calor las semillas fueron molidas por un mortero y fueron tamizadas



por un colador de cocina, por último se dejó reposar el coagulante durante 24 horas, antes de su aplicación disolviéndolo en agua destilada hirviendo.

Figura 37. **Semilla rallada y aplicación de calor**



Fuente: Quetzaltenango.

Figura 38. **Proceso de tamizado y obtención de coagulante final**



Fuente: Quetzaltenango.

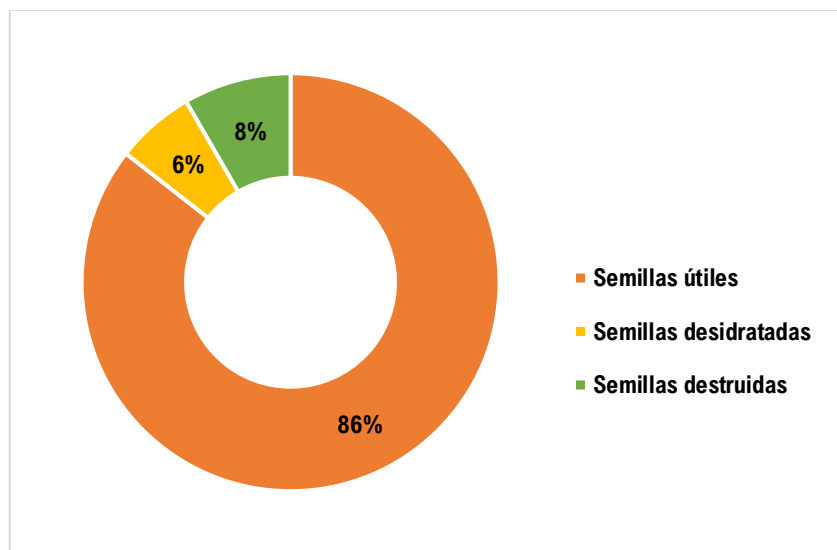
### **2.5.3. Utilidad de semillas en la producción de coagulante**

Se recolecto una cantidad de 180 semillas con las que se se, procedió a extraer la semilla del endocarpio, el proceso de extracción más apto es mediante impacto sobre una superficie, ya que al usar un método de corte con algún equipo manual o mecánico conlleva más tiempo y necesita mayor práctica para no



destruir la semilla en el proceso. Con el método de impacto se logró la obtención de 154 semillas que pueden ser usadas para la obtención de coagulante, 11 semillas en proceso de descomposición, y 15 semillas que se destruyeron en el proceso.

Figura 39. **Porcentaje de utilidad en el proceso de recolección de semillas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Semillas recolectadas**



Fuente: Quetzaltenango.

La figura 40 muestra las 154 semillas en buen estado, mientras que, en la parte inferior izquierda, se observa las 15 semillas destruidas, y las semillas deshidratadas, la figura 41 muestra con mejor calidad las semillas deshidratadas.

Figura 41. **Semillas deshidratadas**



Fuente: Quetzaltenango.

La figura 42 muestra la composición de fotografías donde se evidencia el pesaje de las semillas y el peso total del endocarpio el cual representa un residuo solido a la producción de coagulantes.

Figura 42. **Pesaje de semillas y endocarpio**



Fuente: Quetzaltenango.

Tabla IX. **Peso de semillas procesadas**

Elemento	Peso
<b>Semillas útiles</b>	41.3 g
<b>Semillas destruidas</b>	4.1 g
<b>Semillas deshidratadas</b>	1.5 g
<b>Endocarpio triturado</b>	664.4 g

Fuente: elaboración propia.

#### 2.5.4. **Preparación del coagulante para los bloques del 2 al 6**

Para la preparación del coagulante de los bloques 2 al 6 se siguió con el procedimiento de la sección 2.2.1. la variación se dio en el uso de instrumentación de laboratorio como por ejemplo se utilizó una campana de extracción a manera de contener los posibles humos o gases que se pudieran producir en el proceso de extracción del coagulante.

Figura 43. **Campana de extracción**





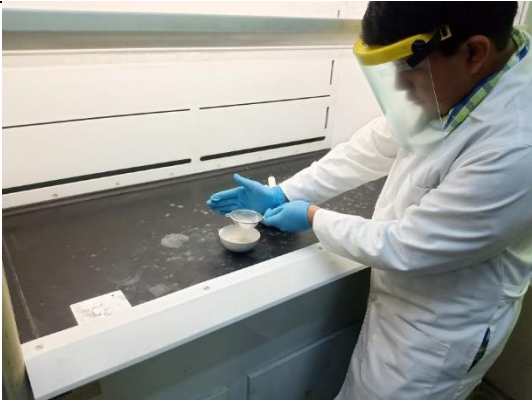
Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería

La extracción del coagulante se realizó conforme a la figura 44:



Figura 44. **Proceso de extracción de coagulante**

PROCESO	DESCRIPCIÓN
 <p data-bbox="391 888 756 919">Extracción de cotiledones</p>	<p data-bbox="829 594 1243 863">Mediante este proceso se extrae el cotiledón del endocarpio, el método más práctico encontrado es mediante impacto, debido a que mediante un proceso de corte se destruye el cotiledón, y demora más tiempo.</p>
 <p data-bbox="477 1365 594 1396">Molienda</p>	<p data-bbox="829 936 1243 1205">La primera etapa de la molienda se realizó con un rayador de cocina a manera de tener una molienda no tan fina en donde el calor se distribuya de mejor forma; seguidamente se separó el tegumento para dejar solo la molienda.</p>
 <p data-bbox="371 1824 699 1856">Separación de tegumento</p>	

Continuación figura 44.

PROCESO	DESCRIPCIÓN
 <p data-bbox="505 842 867 867"><b>Aplicación de calor (tostado)</b></p>	<p data-bbox="938 407 1356 638">Se aplicó calor a 80° C mediante una estufa, en la cual se graduó la temperatura para obtener una temperatura constante, el tiempo de aplicación de calor fue de 60 minutos.</p>
 <p data-bbox="630 1272 748 1297"><b>Molienda</b></p>	<p data-bbox="938 873 1356 972">Con un matraz de laboratorio se procedió a moler el material base para el coagulante.</p>
 <p data-bbox="630 1703 748 1728"><b>Tamizado</b></p>	<p data-bbox="938 1304 1356 1507">Con un colador de cocina se procedió a tamizar el coagulante seguidamente se dejó reposar por 24 horas previo a su disolución en agua destilada hirviendo.</p>

Continuación figura 44.

PROCESO	DESCRIPCIÓN
 <p data-bbox="483 840 586 867"><b>Pesado</b></p>	<p data-bbox="824 405 1240 604">Para una concentración al 1% se trabajaron 2.5 g de coagulante natural a base de la molienda de <i>prunus pérsica</i> disueltos en 250 ml de agua destilada hirviendo.</p>
 <p data-bbox="289 1306 781 1333"><b>Disolución en agua destilada hirviendo</b></p>	<p data-bbox="824 871 1240 1035">El coagulante se disolvió en agua destilada hirviendo, y se dejó reposar por algunos minutos dentro de la campana de extracción.</p>

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

### 2.5.5. Preparación de la prueba de jarras bloque 1

La prueba de jarras se basó en procedimiento descrito por el manual de prácticas de laboratorio de ERIS el cual se basa en la Norma ASTM D 2035-08 *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*<sup>137</sup>.

<sup>137</sup> MUCH SANTOS, Zenon. *Manual de Prueba de Jarras*. p. 2.

La limitante del acceso a un Laboratorio con un agitador múltiple, llevo al desarrollo de un prototipo de mezclador, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D 2035-08 la cual establece las condiciones que debe reunir el aparato mezclador entre las cuales podemos mencionar.

El agitador múltiple debe utilizarse un agitador de varias posiciones con una variación continua de velocidad de aproximadamente 20 a 150 rpm. Las paletas de agitación deben ser de un calibre ligero resistente a la corrosión del mismo material y tamaño.

La base iluminada es útil para observar la formación de flóculos, de preferencia se deben de considerar medidas para evitar que el calor sea transmitido por sistema de iluminación que puede contrarrestar el asentamiento normal. Los frascos (o vasos de precipitados), todos del mismo tamaño y forma; Se pueden usar vasos de precipitados Griffin de 1500 ml (se recomiendan 1000 ml talla mínima). Para este caso se utilizó un destornillador inalámbrico como equipo de mezcla rápida el cual otorga 200 r.p.m, con velocidad ajustable, únicamente se le ajusto la velocidad para 100 r.p.m., se adicionaron unas paletas y un eje para que funcionara en la jarra.

Figura 45. **Equipo para mezcla rápida**



Fuente: Quetzaltenango.



La mezcla lenta se efectuó mediante un prototipo de mezclador, el cual es un motor que trabaja a 40 r.p.m., y este va acoplado a una base metálica desmontable la cual permite el ingreso de las jarras.

Figura 46. **Equipo agitador de mezcla lenta**

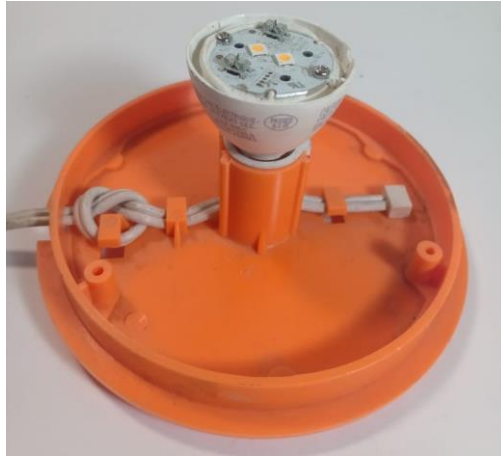


Fuente: Quetzaltenango.

Para la base iluminada se utilizó iluminación Led porque no genera calor el cual contrarresta el asentamiento normal.



Figura 47. Iluminación led



Fuente: Quetzaltenango.

Como jarra se utilizó un recipiente de 750 ml de pvc, el volumen de trabajo no se consideró como limitante porque la dosis de coagulante se redujo mediante la ecuación de balance de masas, como ejemplo:

Para una concentración de coagulante al 1% (10gr en 1 litro) las dosis de 30 mg/L se calculan de la siguiente manera:

$V_1$ = Dosis de coagulante en ml

$C_1$ = Concentración de coagulante 1000 mg/L (100gr en un litro)

$V_2$ = Volumen de las probetas 700 ml

$C_2$ = 30 mg/L

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

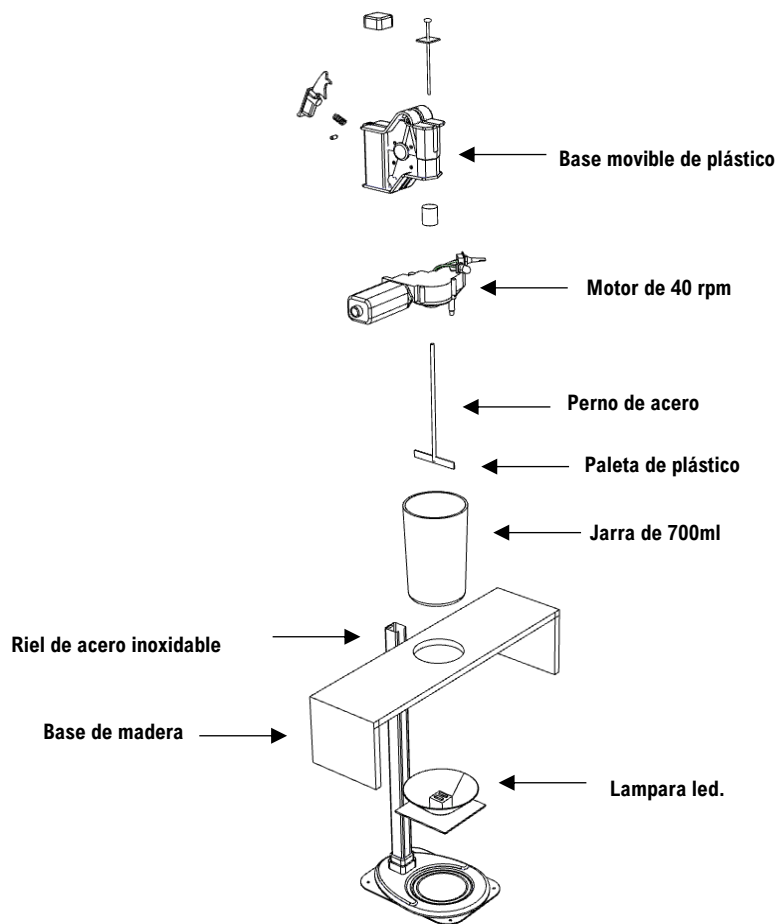
$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{700 \text{ ml} * 30 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 2.1 \text{ ml}$$

La fórmula anterior evidencia que el volumen de agua a tratar no es considerable, debido a que la dosis de coagulante se ajusta al volumen de agua tratar, siendo el factor más importante la mezcla lenta, debido a que la variación de la agitación podría incurrir en la dispersión de los flóculos, la figura 30 muestra de otra forma el diseño del prototipo de agitación.

Figura 48. **Prototipo de agitador a 40 r.p.m.**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Illustrator.

Al tener definido el sistema de mezclado y agitación se procedió a desarrollar la prueba mediante los siguientes pasos:

- Se agitó la muestra y se midió con una probeta la cantidad de agua, seguidamente fue colocada en la jarra.
- La jarra se colocó en el agitador.
- La concentración de coagulante con la que se trabajó fue al 1 %; y la cantidad aplicada a cada prueba fue de 30 mg/l, 70 mg/l, y 140 mg /l.
- Los parámetros considerados fueron los siguientes:
  - Mezcla Rápida 100 rpm por 1 minuto (Simulando Canaleta Parshall)
  - Mezcla Lenta 40 rpm por 10 minutos (Floculadores)
  - Tiempo de sedimentación 15 minutos (Sedimentadores)
- Se procedió a realizar la mezcla rápida por un minuto con el destornillador adaptado, se colocó la jarra en el agitador, se encendió; y se esperaron los tiempos de mezcla lenta y sedimentación.
- Se analizaron los parámetros de turbiedad color y pH previo a la realización de la prueba y después de la prueba

Para el desarrollo del bloque 1 se utilizó el agua descrita anteriormente en la sección 2.1.2. Previamente a las pruebas se procedió a batir el agua para homogenizar.

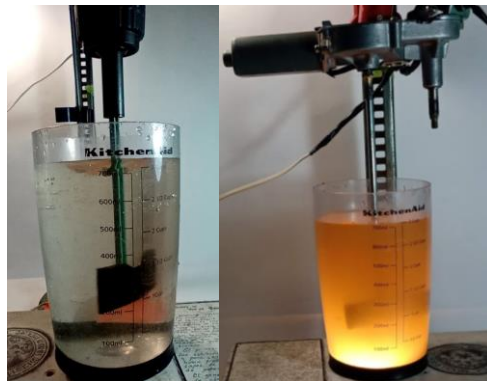
Figura 49. **Agua empleada para el bloque 1**



Fuente: Quetzaltenango.

Se procedió a realizar la mezcla rápida con el destornillador modificado, y la mezcla, lenta se realizó por el prototipo de agitador.

Figura 50. **Dispositivos para mezcla rápida y mezcla lenta**



Fuente: Quetzaltenango.

Se aplicaron las dosis de coagulante natural mediante una jeringa realizando la conversión de 30 mg/l, 70 mg/l, y 140 mg/l. a 2ml, 5ml y 10 ml respectivamente; además se realizó una prueba sin coagulante (testigo) y una con dosis de 30 mg/l de  $Al_2(SO_3)_4$ . cabe mencionar que estas dosis fueron distribuidas en jeringas.

Figura 51. **Aplicación de coagulante en mezcla rápida**



Fuente: Quetzaltenango.

### **2.5.6. Preparación de la prueba de jarras bloques 2 al 6**

Las pruebas de los bloques 2 al 6 fueron realizadas en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, *Dra. Alba Tabarini Molina*, ubicado en el segundo nivel del edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria zona 12, Guatemala, Guatemala. Conjuntamente se realizó la calibración del equipo de agitación experimental utilizando las aguas a analizar y una concentración de sulfato de aluminio de 30 mg/l.

Figura 52. **Laboratorio de Química y Microbiología**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Durante el desarrollo de las pruebas de jarras se destacan las siguientes actividades:

- Para los bloques 2 y 3 se mezcló previamente el agua y se distribuyó en los vasos precipitados de 1000 ml una cantidad de 700 ml.

Figura 53. **Mezcla de agua y llenado de vasos precipitados**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

- Durante el desarrollo de las pruebas de jarras se sincronizo con el agitador experimental a manera de encontrar diferencias significativas en el proceso de evaluación del coagulante.

Figura 54. **Prueba jarras con agitador de laboratorio y agitador experimental utilizado en el bloque 1**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

- Se preparó una solución de sulfato de aluminio al 1% a manera de comparar los valores con los del coagulante en evaluación.

Figura 55. **Preparación de solución de sulfato de aluminio**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

- Se tomaron los valores de turbiedad, color y pH al agua antes del tratamiento y a cada uno de los tratamientos después del desarrollo de las pruebas de jarras.

Figura 56. **Medición de parámetros turbiedad, color y pH**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

- Cuando el color de las pruebas excedió el rango de lectura del espectrofotómetro (500UPtCo) se trabajaron diluciones a manera de



obtener datos de lectura más certeros a los que proporcionaba en espectrofotómetro.

Figura 57. **Resultados de color trabajados con diluciones**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

## 2.6. **Análisis de datos**

El análisis del experimento, parte del arreglo del cuadro siguiente el cual debe ser de la manera presentada en la tabla siguiente:

Tabla X. **Arreglo de datos en bloques completos al azar**

TRATAMIENTO	BLOQUE				
	1	2	3	...	b
1	$Y_{1-1}$	$Y_{1-2}$	$Y_{1-3}$	...	$Y_{1-b}$
2	$Y_{2-1}$	$Y_{2-2}$	$Y_{2-3}$	...	$Y_{2-b}$
3	$Y_{3-1}$	$Y_{3-2}$	$Y_{3-3}$	...	$Y_{3-b}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
k	$Y_{k-1}$	$Y_{k-2}$	$Y_{k-3}$	...	$Y_{k-b}$

Fuente: elaboración propia con datos de MENDOZA RIVERA y Henry, BAUTISTA MENDOZA, Gloria. *Diseño Experimental* Consulta: 8 de mayo de 2020.  
<http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/legal.html>.

Además, se debe tener en cuenta que cada observación del experimento es expresada mediante una ecuación lineal en los parámetros, el conjunto conforma el modelo para el diseño de bloques completos al azar.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases}$$

El diseño del modelo lineal esta dado por: Donde  $\mu$  es la media global de los tratamientos,  $\tau_i$  es el efecto del  $i$  –ésimo tratamiento el cual es constante para todas las observaciones dentro del  $i$  –ésimo tratamiento,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$  –ésimo bloque  $\varepsilon_{ij}$  es el término del error aleatorio, el cual se distribuye normal e independiente con media 0 y varianza  $\sigma_s^2$ <sup>138</sup>.

<sup>138</sup> MENDOZA RIVERA, Henry y BAUTISTA MENDOZA, Gloria. *Diseño Experimental*. Consulta: 8 de mayo de 2020. <http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/legal.html>.

Las hipótesis planteadas en el experimento se plantean de la siguiente forma:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_k = \mu$$

$H_0$  = las medias de todos los tratamientos son iguales

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j \text{ para algun } i \neq j$$

$H_a$  = Existen al menos una par de pruebas diferentes

Para poder concluir con las hipótesis es necesario la construcción de la tabla ANOVA, la cual se muestra a continuación:

Tabla XI. **Tabla ANOVA**

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grado de Libertad	Cuadrado medio	$F_0$	Valor $p$
<b>Tratamientos</b>	$SC_{TRAT}$	$k - 1$	$SM_{TRAT}$	$F_0 = \frac{SC_{TRAT}}{SM_E}$	$P(F > F_0)$
<b>Bloques</b>	$SC_B$	$b - 1$	$SM_B$	$F_0 = \frac{SM_B}{SM_E}$	$P(F > F_0)$
<b>Error</b>	$SC_E$	$(k - 1)(b - 1)$	$SM_E$		
<b>Total</b>	$SC_T$	$N - 1$			

Fuente: elaboración propia, con datos de MENDOZA RIVERA, Henry y BAUTISTA MENDOZA, Gloria. *Diseño Experimental*. Consulta: 8 de mayo de 2020.  
<http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/legal.html>.

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT} - SC_B$$

$$SC_T = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^k Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{j.}^2}{k} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

Cuando en el modelo existen diferencias significativas Valor  $p < 0.05$  donde  $p = P(F - F_0)$  se utiliza alguna prueba de comparación múltiple de medias (Prueba post Andeva) para encontrar el mejor tratamiento.

La prueba de Tukey es un método que tiene como fin comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos. En la aplicación de esta prueba se calcula un valor  $w$  llamado el comparador de Tukey cuya definición es como sigue:

$$w = q * \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$

De la expresión anterior el factor  $q$  se obtiene de una tabla (tabla de Tukey), que consta de filas de valores  $q$  para diferente número de tratamientos o experimentos. Las columnas indican el valor de factor  $q$  para diferentes grados de libertad. Normalmente las tablas disponibles tienen significancias relativas de 0.05 y 0.01. el MSE es el cuadrado medio del error el cual se obtiene del análisis de varianza, y  $r$  indica el número de repeticiones. Cuando la diferencia entre dos valores medios sobrepasa al valor  $w$  (comparador de Tukey), entonces se concluye que se trata de promedios diferentes, pero si la diferencia es menor que el número de Tukey, entonces se trata de dos muestras con valor promedio estadísticamente idéntico.

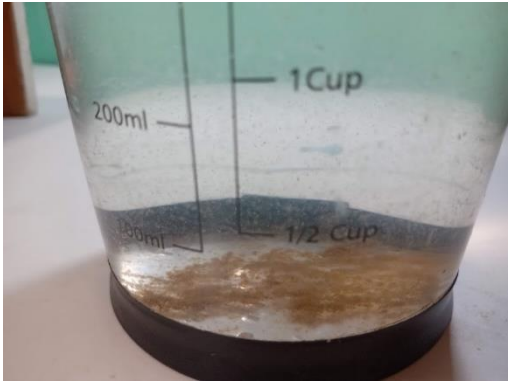
### 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a los distintos bloques evaluados con la aplicación de coagulante natural a base de la molienda de *Prunus Persica* S “Salcajá”.

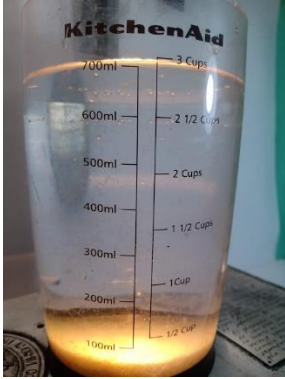
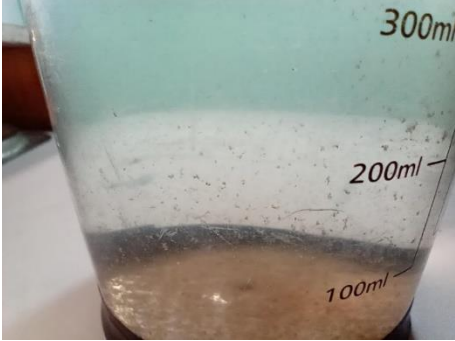
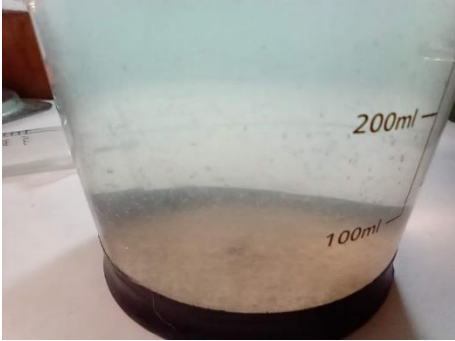
#### 3.1. Bloque 1

La siguiente figura describe el comportamiento de los distintos tratamientos que se le aplicaron al bloque 1.


Figura 58. Resultados cualitativos del bloque 1

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
Sin coagulante	Sin ninguna señal de aglutinación (índice de Wilcomb 0)	

Continuación figura 58.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Flóculo que se deposita fácil, pero no completamente (Índice de Wilcomb 8)	
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud (Índice de Wilcomb 6)	
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lento (Índice de Wilcomb 4)	

Continuación figura 58.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica S</i> "Salcajá"	Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lento (Índice de Wilcomb 4)	

Fuente: Quetzaltenango.

Tabla XII. **Valores iniciales en bloque 1**

VALORES INICIALES		
Turbiedad (UNT)	Color (Unidades Pt-Co)	pH (unidades de pH)
3.64	40	6.21

Fuente: elaboración propia.

De los análisis realizados para el bloque 1 los resultados fueron los siguientes:

Tabla XIII. Valores finales del bloque 1


PARÁMETROS			
Muestra	Turbiedad NTU	Color Unidades Pt-Co	ph
Sin coagulante	2.86	57	6.19
30 mg/L de Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1.78	27	6.33
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	2.05	37	6.19
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	2.37	39	6.15
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	3.38	64	6.23

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Bloque 2

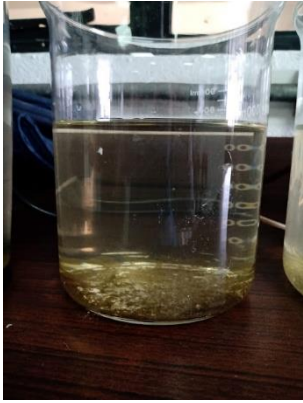
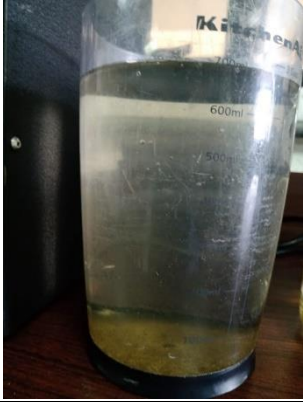
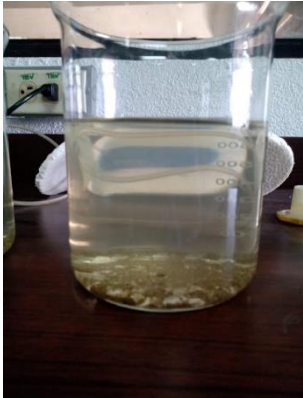
La siguiente figura describe el comportamiento de los distintos tratamientos que se le aplicaron al bloque 2.

Figura 59. Resultados cualitativos del bloque 2



Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
Sin coagulante	Sin ninguna señal de aglutinación (Índice de Wilcomb 0)	



Continuación figura 59.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Flóculo satisfactorio que se deposita rápidamente y que deja el agua sin color perceptible (Índice de Wilcomb 10)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ (Agitador experimental)	Flóculo satisfactorio que se deposita rápidamente y que deja el agua sin color perceptible (Índice de Wilcomb 10)	
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	

Continuación figura 59.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica S</i> "Salcajá"	Flóculo disperso bien formado, pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lento (Índice de Wilcomb 4)	
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica S</i> "Salcajá"	Flóculo disperso bien formado, pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lento (Índice de Wilcomb 4)	

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Tabla XIV. **Valores iniciales de bloque 2**

VALORES INICIALES		
Turbiedad (UNT)	Color (Unidades Pt-Co)	pH (unidades de pH)
27	234	7.4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Valores finales de bloque 2

PARÁMETROS			
Muestra	Turbiedad NTU	Color Unidades Pt-Co	ph
Sin coagulante	16.1	148	7.3
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	12.9	120	7.0
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	18.4	186	7.3
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	25.8	237	7.2
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	32.3	285	7

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1. Análisis de contenido de cianuro

Se procedió a realizar la toma de muestras de los tres tratamientos (30 mg/L, 70mg/L, 140 mg/L), aplicados con coagulante a base de *Prunus Persica* S "Salcajá".

Figura 60. Toma de muestras para determinación de cianuro



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

La siguiente tabla muestra el resultado de las pruebas de cianuro, el reporte del laboratorio se encuentra en anexos.

Tabla XVI. **Resultados de determinación de cianuro**




TRATAMIENTO	RESULTADO	LMP (COGUANOR NTG 29001)
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<0.019	0.070 mg/L
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<0.019	0.070 mg/L
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<0.019	0.070 mg/L

Fuente: elaboración propia.

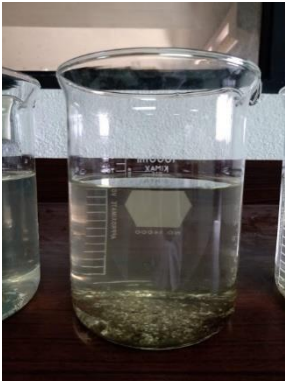


### 3.3. Bloque 3

La siguiente figura describe el comportamiento de los distintos tratamientos que se le aplicaron al bloque 3.

Figura 61. Resultados cualitativos del bloque 3

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
Sin coagulante	Sin ninguna señal de aglutinación (índice de Wilcomb 0)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Floculo satisfactorio que se deposita rápidamente y que deja el agua sin color perceptible (Índice de Wilcomb 10)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ (Agitador experimental)	Floculo satisfactorio que se deposita rápidamente y que deja el agua sin color perceptible (Índice de Wilcomb 10)	

Continuación figura 61.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo disperso bien formado, pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lento (Índice de Wilcomb 4)	
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo disperso bien formado, pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lento (Índice de Wilcomb 4)	

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Tabla XVII. **Valores iniciales de bloque 3**

VALORES INICIALES		
Turbiedad (UNT)	Color (Unidades Pt-Co)	pH (unidades de pH)
28	236	7.2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Valores finales de bloque 3**

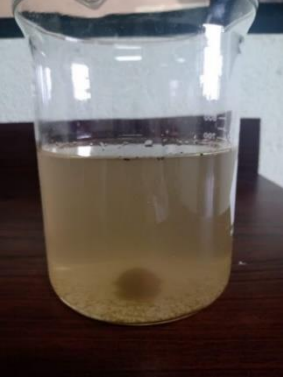


PARÁMETROS			
Muestra	Turbiedad NTU	Color Unidades Pt-Co	ph
Sin coagulante	7.16	109	7.1
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	7.68	96	6.7
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	10.06	120	7.1
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	16.5	160	6.9
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	20.3	180	6.9

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Bloque 4




La siguiente figura describe el comportamiento de los distintos tratamientos que se le aplicaron al bloque 4.

Figura 62. Resultados cualitativos del bloque 4

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
Sin coagulante	Sin ninguna señal de aglutinación (Índice de Wilcomb 0)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Flóculo bueno que se deposita fácil pero no completamente y deja color ligeramente perceptible (Índice de Wilcomb 8)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ (Agitador experimental)	Flóculo bueno que se deposita fácil pero no completamente y deja color ligeramente perceptible (Índice de Wilcomb 8)	



Continuación figura 62.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Tabla XIX. Valores iniciales de bloque 4

VALORES INICIALES		
Turbiedad (UNT)	Color (Unidades Pt-Co)	pH (unidades de pH)
168	878	7.6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Valores finales de bloque 4




PARÁMETROS			
Muestra	Turbiedad NTU	Color Unidades Pt-Co	ph
Sin coagulante	52.8	429	7.4
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	11.9	147	6.9
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	37.3	395	7.2
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	45.5	462	7.3
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	53.1	524	7.3

Fuente: elaboración propia.




### 3.5. Bloque 5

La siguiente figura describe el comportamiento de los distintos tratamientos que se le aplicaron al bloque 5.

Figura 63. Resultados cualitativos del bloque 5

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
Sin coagulante	Sin ninguna señal de aglutinación (índice de Wilcomb 0)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Flóculo bueno que se deposita fácil pero no completamente y deja color ligeramente perceptible (Índice de Wilcomb 8)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ (Agitador experimental)	Flóculo bueno que se deposita fácil pero no completamente y deja color ligeramente perceptible (Índice de Wilcomb 8)	

Continuación figura 63.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Tabla XXI. **Valores iniciales de bloque 5**

<b>VALORES INICIALES</b>		
<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>Color (Unidades Pt-Co)</b>	<b>pH (unidades de pH)</b>
<b>337</b>	<b>1656</b>	<b>7.5</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Valores finales de bloque 5**




<b>PARÁMETROS</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Turbiedad NTU</b>	<b>Color Unidades Pt-Co</b>	<b>ph</b>
Sin coagulante	<b>93.5</b>	<b>888</b>	<b>7.4</b>
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	<b>31.07</b>	<b>364</b>	<b>7</b>
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<b>51.1</b>	<b>500</b>	<b>7.3</b>
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<b>65.9</b>	<b>800</b>	<b>7.3</b>
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<b>63</b>	<b>612</b>	<b>7.2</b>

Fuente: elaboración propia.




### **3.6. Bloque 6**

La siguiente figura describe el comportamiento de los distintos tratamientos que se le aplicaron al bloque 6.

Figura 64. Resultados cualitativos del bloque 6

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
Sin coagulante	Sin ninguna señal de aglutinación (Índice de Wilcomb 0)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ (Agitador experimental)	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	

Continuación figura 64.

Tratamiento aplicado	Comportamiento durante el tratamiento Índice de Wilcomb	Muestra final
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica S</i> "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica S</i> "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica S</i> "Salcajá"	Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud y deja color perceptible (Índice de Wilcomb 6)	

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Tabla XXIII. **Valores iniciales de bloque 6**

<b>VALORES INICIALES</b>		
<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>Color (Unidades Pt-Co)</b>	<b>pH (unidades de pH)</b>
<b>623</b>	<b>2250</b>	<b>7.5</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Valores finales de bloque 6**

<b>PARÁMETROS</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Turbiedad NTU</b>	<b>Color Unidades Pt-Co</b>	<b>ph</b>
Sin coagulante	<b>130.0</b>	<b>1312</b>	<b>7.4</b>
30 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	<b>35.5</b>	<b>431</b>	<b>7</b>
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Périca</i> S "Salcajá"	<b>76.3</b>	<b>860</b>	<b>7.2</b>
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<b>93.9</b>	<b>980</b>	<b>7.1</b>
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	<b>89.7</b>	<b>1072</b>	<b>7</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Calibración del agitador experimental para uso en el bloque 1**

Durante las pruebas realizadas a los bloques 2,3,4,5 y 6 juntamente con los tratamientos aplicados se procedió a aplicar un tratamiento de 30 mg/L de sulfato de aluminio al agitador experimental, para comparar los valores proporcionados del agitador experimental, con el del agitador del laboratorio, los resultados se muestran a continuación.



Tabla XXV. **Resultados de turbiedad en los dos equipos**

<b>TURBIEDAD</b>					
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>BLOQUE 2</b>	<b>BLOQUE 3</b>	<b>BLOQUE 4</b>	<b>BLOQUE 5</b>	<b>BLOQUE 6</b>
30 mg/L Sulfato de Aluminio	12.9	7.68	11.9	31.7	35.5
30 mg/L Sulfato de Aluminio (Equipo experimental)	14.3	7.32	22.4	40.7	43.8
Diferencia	1.4	0.36	10.5	9	8.3
Porcentaje de Diferencia	11%	5%	88%	28%	23%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Resultados de color en los dos equipos**

<b>COLOR</b>					
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>BLOQUE 2</b>	<b>BLOQUE 3</b>	<b>BLOQUE 4</b>	<b>BLOQUE 5</b>	<b>BLOQUE 6</b>
30 mg/L Sulfato de Aluminio	120	96	147	364	431
30 mg/L Sulfato de Aluminio (Equipo experimental)	142	100	259	454	526
Diferencia	22	4	112	90	95
Porcentaje de Diferencia	18%	4%	76%	25%	22%

Fuente: elaboración propia

Para encontrar la razón de una posible dispersión en los valores, se procedió a evaluar la variación en turbiedad y color de una muestra de agua fabricada en el laboratorio, la única variante en los dos equipos fue el equipo de mezcla utilizado, pues en las dos pruebas se usaron vasos precipitados de 1000 ml.

Figura 65. **Fabricación de agua para prueba comparativa**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Figura 66. **Prueba de mezclado**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

Tabla XXVII. **Diferencia de valores de turbiedad y color**

Tipo de agitador	Turbiedad	Color
Valor Inicial	380	1665
Agitador experimental	2.34	31
Agitador de laboratorio	2.52	32
Diferencia	0.18	1
% de Diferencia	7 %	3 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Resultados cualitativos de la prueba comparativa**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, Facultad de Ingeniería.

### 3.8. **Análisis de varianza para las muestras de turbiedad**

La tabla siguiente nos muestra las eficiencias encontradas en los distintos tratamientos del bloque 1 al 6 respectivamente.

Tabla XXVIII. **Eficiencias encontradas para turbiedad**

TRATAMIENTOS	BLOQUES DE TURBIEDAD % de remoción					
	I	II	III	IV	V	VI
Sin tratamiento	21.43	40.37	74.43	68.57	72.26	79.13
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	43.68	31.85	64.07	77.80	84.84	87.75
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	34.89	4.44	41.07	72.92	80.45	84.93
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	7.14	0.00	27.50	68.39	81.31	85.60

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra el análisis de varianza correspondiente a los parámetros de turbiedad para los tratamientos aplicados.

Tabla XXIX. **Análisis de varianza para eficiencia de remoción de turbiedad**

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Modelo</b>	90955.128 <sup>a</sup>	9	10106.125	69.342	.000
<b>Tratamiento</b>	1327.450	3	442.483	3.036	.062
<b>Turbiedad</b>	15388.326	5	3077.665	21.117	.000
<b>Error</b>	2186.148	15	145.743		
<b>Total</b>	93141.276	24			

a. R al cuadrado = .977 (R al cuadrado ajustada = .962)

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS

Se han realizado pruebas post hoc bajo el criterio de Tukey para determinar aquellos tratamientos que representen una diferencia significativa tanto para los tratamientos como para los bloques de turbiedades, las tablas de comparaciones múltiples generadas para cada factor se presentan como apéndices.

Tabla XXX. **Resultados de la prueba de Tukey para tratamientos con coagulante**

<b>Porcentaje de Remoción</b>		
<b>HSD Tukey<sup>a,b</sup></b>		
<b>Dosis de tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Subconjunto</b>
		<b>1</b>
<b>140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica</i> S “Salcajá”</b>	6	44.9900
<b>70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica</i> S “Salcajá”</b>	6	53.1167
<b>Sin tratamiento</b>	6	59.3650
<b>30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica</i> S “Salcajá”</b>	6	64.9983
<b>Sig.</b>		.051
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 145.743.		
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6.000.		
b. Alfa = .05.		

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS

Tabla XXXI. **Resultados de la prueba de Tukey en bloques de turbiedad**

Porcentaje de remoción					
HSD Tukey <sup>a,b</sup>					
Turbiedad	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
27 NTU	4	19.1650			
3.64 NTU	4	26.7850	26.7850		
28 NTU	4		51.7675	51.7675	
125 NTU	4			71.9200	71.9200
337 NTU	4				79.7150
623 NTU	4				84.3525
Sig.		.942	.090	.231	.695
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 145.743.					
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.					
b. Alfa = .05.					

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS

### 3.9. **Análisis de varianza para las muestras de color**

La tabla siguiente nos muestra las eficiencias encontradas en los distintos tratamientos del bloque 1 al 6 respectivamente.

Tabla XXXII. Eficiencias encontradas para color

TRATAMIENTOS	BLOQUES DE COLOR % de remoción					
	I	II	III	IV	V	VI
Sin tratamiento	0.00	36.75	53.81	50.80	46.38	41.69
30 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	7.50	20.51	49.15	54.70	66.18	61.78
70 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	2.50	0.00	32.20	47.02	51.69	56.44
140 mg/L de Coagulante a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	0.00	0.00	23.73	39.91	63.04	52.36

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra el análisis de varianza correspondiente a los parámetros de color para los tratamientos aplicados.

Tabla XXXIII. Análisis de varianza para para eficiencia de remoción de color

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	41283.641 <sup>a</sup>	9	4587.071	45.983	.000
Tratamiento	690.306	3	230.102	2.307	.118
Color	9909.825	5	1981.965	19.868	.000
Error	1496.353	15	99.757		
Total	42779.995	24			

a. R al cuadrado = .965 (R al cuadrado ajustada = .944)

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS

Se han realizado pruebas post hoc bajo el criterio de Tukey para determinar aquellos tratamientos que representen una diferencia significativa tanto para los tratamientos como para los bloques de color, las tablas de comparaciones múltiples generadas para cada factor se presentan en apéndices.

Tabla XXXIV. **Resultados de la prueba de Tukey para tratamientos con coagulante**

<b>Porcentaje de Remoción</b>		
<b>HSD Tukey<sup>a,b</sup></b>		
<b>Dosis de tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Subconjunto</b>
		<b>1</b>
<b>140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S “Salcajá”</b>	6	29.8400
<b>70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S “Salcajá”</b>	6	31.6417
<b>Sin tratamiento</b>	6	38.2383
<b>30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S “Salcajá”</b>	6	43.3033
<b>Sig.</b>		.134
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 99.757.		
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6.000.		
b. Alfa = 0.05.		

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS



Tabla XXXV. Resultados de la prueba de Tukey bloques de color

Porcentaje de Remoción			
HSD Tukey <sup>a,b</sup>			
Rangos de color evaluados	N	Subconjunto	
		1	2
40 UPt-Co	4	2.5000	
234 UPt-Co	4	14.3150	
236 UPt-Co	4		39.7225
872 UPt-Co	4		48.1075
2250 UPt-Co	4		53.0675
1656 UPt-Co	4		56.8225
<b>Sig.</b>		.568	.210
<p>Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.                      Se basa en las medias observadas.                      El término de error es la media cuadrática (Error) = 99.757.</p>			
<p>a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.</p>			
<p>b. Alfa = 0.05.</p>			

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS



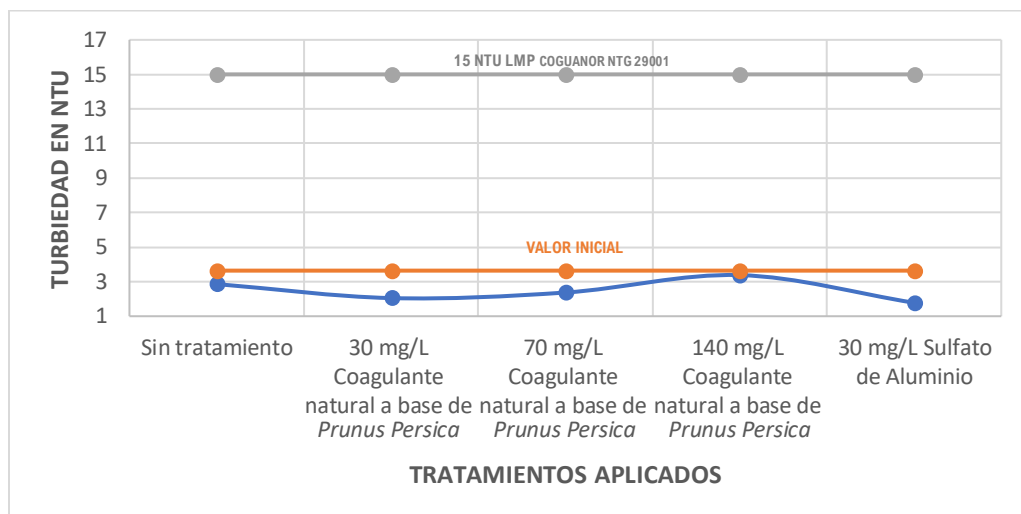
## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la siguiente sección se describen los resultados alcanzados con la aplicación de tratamientos con el coagulante experimental a base de la molienda de la semilla de *Prunus Persica* Salcajá, su relación con los parámetros de turbiedad, color, y pH; la diferencia significativa de los tratamientos como su comparación con la norma COGUANOR NTG 290001.

### 4.1. Análisis de la efectividad del coagulante a base de la molienda de la semilla de *Prunus Persica* Salcajá en la remoción de turbiedad

Durante el desarrollo del experimento del bloque 1 para la evaluación de los tratamientos con coagulante natural se pudo observar la formación de floc siendo la más representativa de la de 30 mg/L, llegando a reducir de 3.64 a 2.05 UNT. una eficiencia del 43 %. Dicho resultado se encuentra dentro de los límites de la normativa nacional vigente COGUANOR NTG 29001.

Figura 68. Variación de la turbiedad en el bloque 1

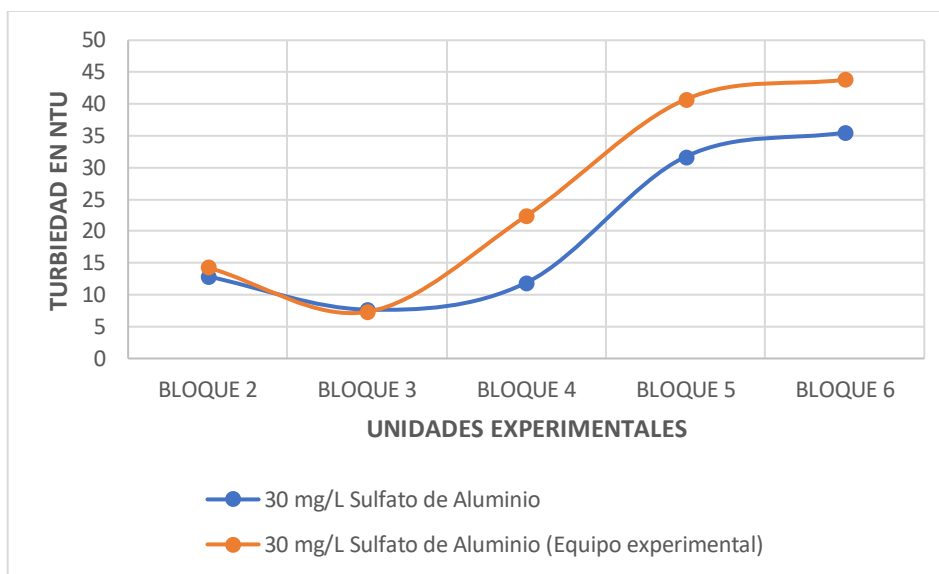


Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior se puede observar como todos los tratamientos aplicados se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la normativa nacional vigente, esto nos indica que existe acción coagulante por parte del coagulante en evaluación al existir variación en las remociones respecto al valor inicial. El sulfato de aluminio, alcanzo un valor de 1.78 UNT alcanzando una eficiencia del 51 % que representa una alternativa mejor a este bloque que el coagulante natural en evaluación.

Los tratamientos presentados en el bloque 1 fueron obtenidos mediante la utilización de un equipo experimental de agitación, por lo que al calibrarlo en relación a un agitador de laboratorio en el desarrollo de los bloques 2 al 6 se obtuvieron los valores de la tabla XXV. en la sección 3.7. dicha tabla nos ayuda a identificar un valor de variación promedio del 31 % en los valores presentados para el bloque 1; la figura siguiente nos muestra la variación en la turbiedad al usar una dosis e 30 mg/L de sulfato de aluminio en ambos agitadores.

Figura 69. **Comparación de valores de turbiedad en dos tipos de agitadores**



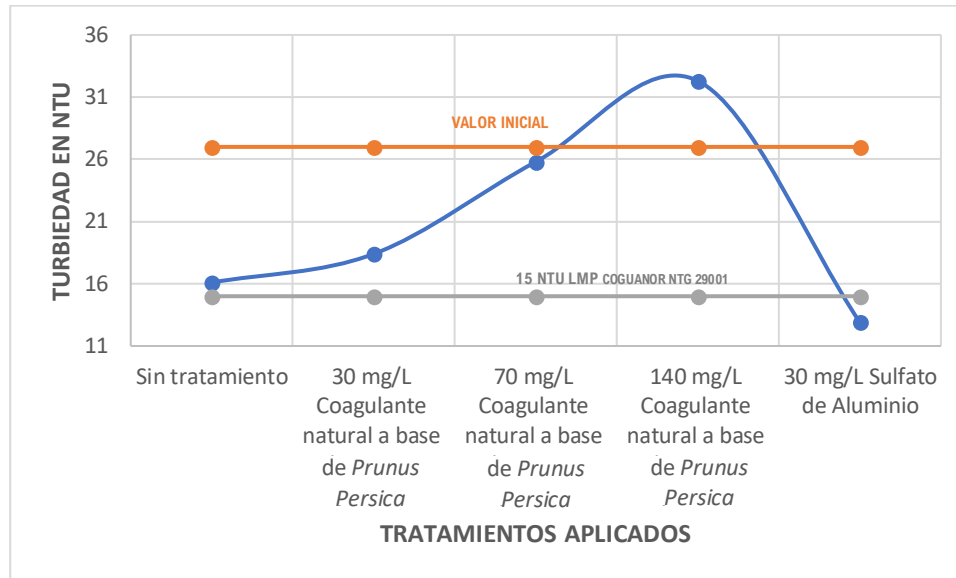
Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se puede observar que en los primeros bloques no existe mayor diferencia entre los agitadores, esto es debió a que la turbiedad evaluada fue baja; lo contrario sucede conforme aumenta la turbiedad en los bloques siguientes esto se debe a que entre menor partículas coloidales existan en las muestras de análisis menor será la diferencia entre los mezcladores debido a que existirán menores partículas que queden como residuo en el agua tratada, lo que causa la variación de los datos en los dos mezcladores debido a que el mezclador experimental, posee una altura de agua mayor al del mezclador de laboratorio aunque los dos posean el mismo volumen.

Esto se pudo comprobar al realizar una prueba con los dos agitadores cambiando el recipiente original del agitador experimental, por un vaso precipitado de igual volumen y forma al del agitador experimental obteniendo una diferencia del 7 % esto debido al comportamiento que tienen las partículas coloidales en cada prueba.

Para el bloque 2 la formación de floc que mejor se presentó de coagulante natural, se dio en la muestra de 30 mg/L con una formación de flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipitó con lentitud y dejó color perceptible, dicha dosis de coagulante logró una reducción de 27 a 18.4 UNT siendo una eficiencia del 31.8 %; sin embargo, al no tener tratamiento obtuvo una eficiencia del 40 % logrando reducir de 27 a 16.1 UNT respectivamente. El mejor resultado del bloque se dio con el sulfato de aluminio presentando una reducción a 12.9 UNT, un 48.7 % de eficiencia.

Figura 70. **Variación de la turbiedad en el bloque 2**



Fuente: elaboración propia.

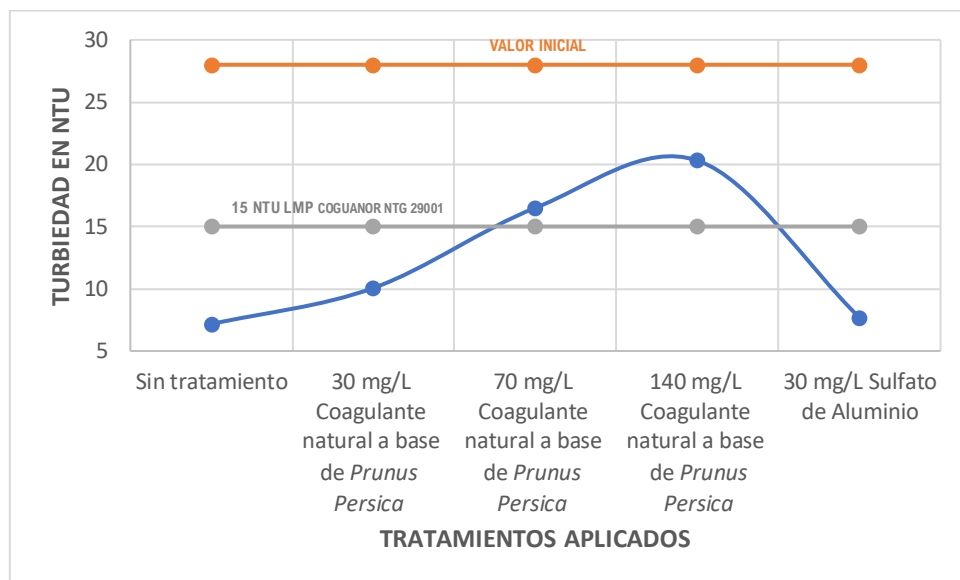
En la figura 70 se puede observar que los tratamientos van disminuyendo su eficiencia respecto al valor inicial, obteniendo los mejores resultados al no aplicar tratamiento y al usar sulfato de aluminio. Por lo que el valor de sulfato de aluminio es el único que logra cumplir con la normativa nacional vigente. En el caso del coagulante natural en evaluación se podría decir que la composición coloidal del agua a tratar no es afín al coagulante. Y que la eficiencia que tiene al no aplicar coagulante es debido a que estas aguas contienen macropartículas, las cuales otorgan la turbiedad y las cuales sedimentan por medios físicos en este caso sería la floculación la cual es replicada en el agitador.

Para el bloque 3 nuevamente se da la misma situación, aunque el punto de muestreo varió, la turbiedad inicial aumento solo una unidad, nuevamente el mejor resultado con coagulante natural se da en el tratamiento de 30 mg/L, logrando reducir de 28 a 10.06 UNT, una eficiencia del 64.7 %, sin embargo, el al no aplicar coagulante presento una eficiencia del 74.3 % al reducir de 28 a 7.16

UNT. Esta eficiencia fue mejor incluso que el sulfato de aluminio con 72.4 % reduciendo de 28 UNT a 7.68 UNT.

La razón del comportamiento es la misma que en el bloque 2 debido a la acción de las macropartículas, en cuanto al cumplimiento de la norma se podría decir que 2 de los tratamientos evaluados la aplicación de 30 mg/L de coagulante natural, la no aplicación de coagulante y el sulfato de aluminio logran cumplir la normativa, por el contrario, el resto de los tratamientos no cumplen con la normativa nacional vigente, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 71. **Variación de la turbiedad en el bloque 3**

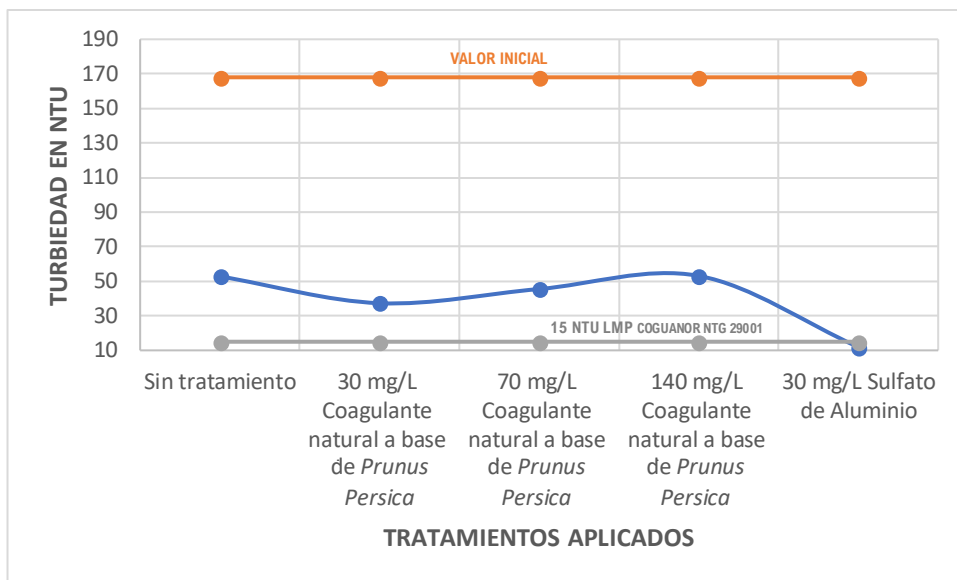


Fuente: elaboración propia.

El bloque 4 fue el primer bloque en analizar agua con la turbiedad inducida en laboratorio por lo que sus resultados variaron respectivamente, para este caso al analizar los tratamientos con coagulante natural se presentó un floculo bueno que se deposita fácil pero no completamente y deja color ligeramente perceptible, dicho floculo se presentó en el tratamiento de 30 mg/L. reduciendo de un valor inicial de 168 a 37.3 NTU correspondiente a una eficiencia del 77.80 % en este

caso esta eficiencia es la mejor de los tratamientos probados aunque sigue siendo mejor la de sulfato de aluminio para esta prueba la cual alcanza reducir de 125 a 11.9 NTU. un 92.92 % de eficiencia. En cuanto al cumplimiento de la normativa ninguno de los tratamientos con coagulante natural pudo cumplirla, exceptuando el sulfato de aluminio el cual, si la cumplió, pero no se considera como un tratamiento en evaluación.

Figura 72. **Variación de la turbiedad en el bloque 4**



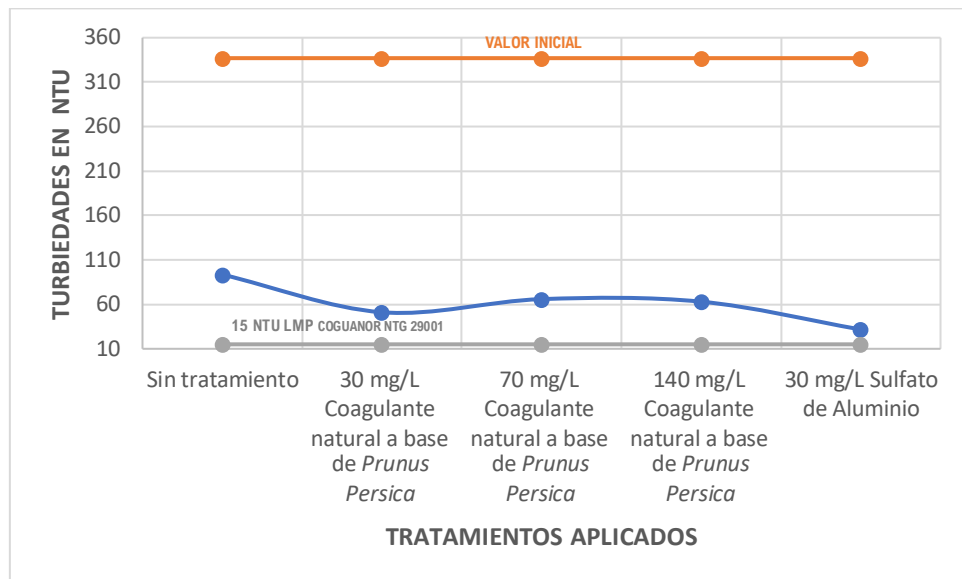
Fuente: elaboración propia.

Para el bloque 5 el mejor tratamiento con coagulante natural se evidenció en la dosis de 30 mg/L cuyo floculo presentado durante las pruebas fue bueno y se depositó fácil pero no completamente y dejó un color ligeramente perceptible. Dicha concentración aplicada logró disminuir de 337 a 51.1 NTU correspondiendo a una eficiencia del 84.84 %, en este bloque el sulfato de aluminio también logro la mejor remoción al disminuir hasta 31.07 NTU un 90.5 % de eficiencia, demostrando que el coagulante experimental no logra igualar al coagulante químico. En cuanto a la normativa ninguno de los tratamientos aplicados con



coagulante natural y el tratamiento de sulfato de aluminio logra su cumplimiento tan como se demuestra en la figura 73.

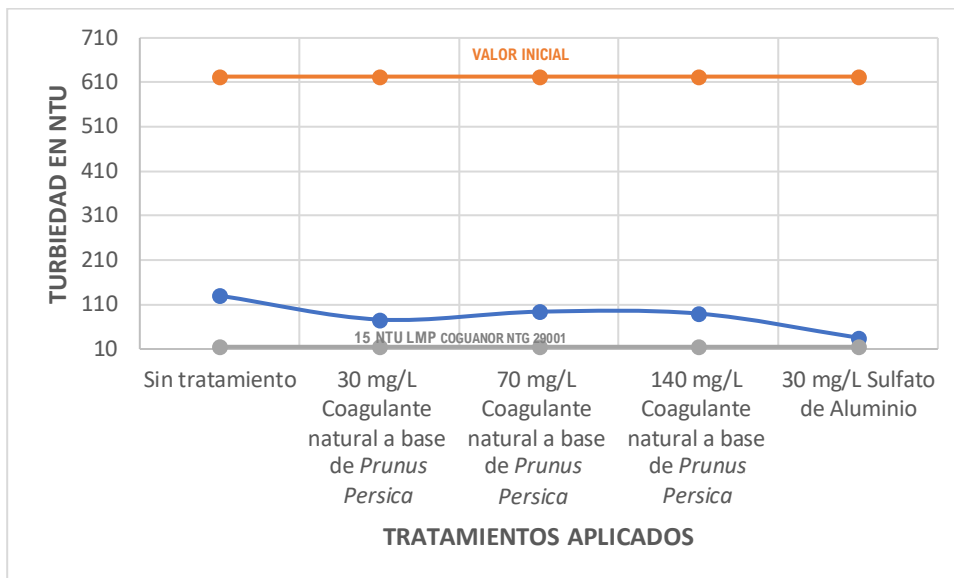
Figura 73. Variación de la turbiedad en el bloque 5



Fuente: elaboración propia.

Por último, el bloque 6 evaluó una turbiedad inicial de 623 NTU y el tratamiento que logro la mejor remoción con coagulante natural fue el de 30mg/L logrando alcanzar los 76.3 NTU, esta reducción es equivalente a un 79.13 % de eficiencia de remoción; aunque no se compara con el sulfato de aluminio el cual alcanza los s 35.5 NTU con un 94.30 % de eficiencia; es de agregar que los resultados incluyendo las pruebas con sulfato de aluminio no cumplen con la normativa tal como se muestra en la figura 74.

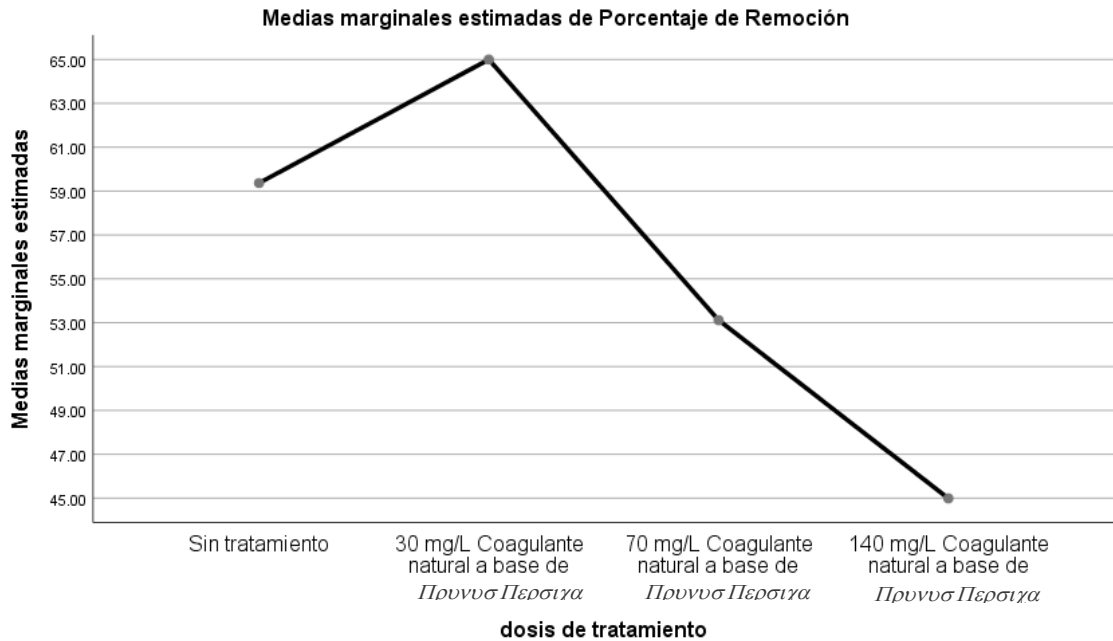
Figura 74. Variación de la turbiedad en el bloque 6



Fuente: elaboración propia.

En cuanto al análisis de varianza ANOVA, para la eficiencia de remoción en turbiedad los resultados sugieren que no existe diferencia significativa de los tratamientos; al cumplirse la hipótesis nula de que todas las medias de los tratamientos son iguales; debido a que el valor de p (0.062) presentado en la tabla XXIX es mayor al valor de comparación 0.05. Al interpretar este resultado podríamos decir que el coagulante no funciona debido a que las medias de sus resultados son iguales y esta igualdad incluye al tratamiento que no lleva coagulante, por lo que los tratamientos no ejercerían un efecto significativo al del tratamiento sin coagulante; cabe mencionar que esta igualdad de medias se da en un rango de tratamientos de 3 a 623 UNT y se ha evidenciado la poca afinidad del coagulante con las turbiedades bajas, por lo que este efecto repercute en el ANOVA general del coagulante.

Figura 75. **Medias marginales de % de remoción en función a los tratamientos aplicados**

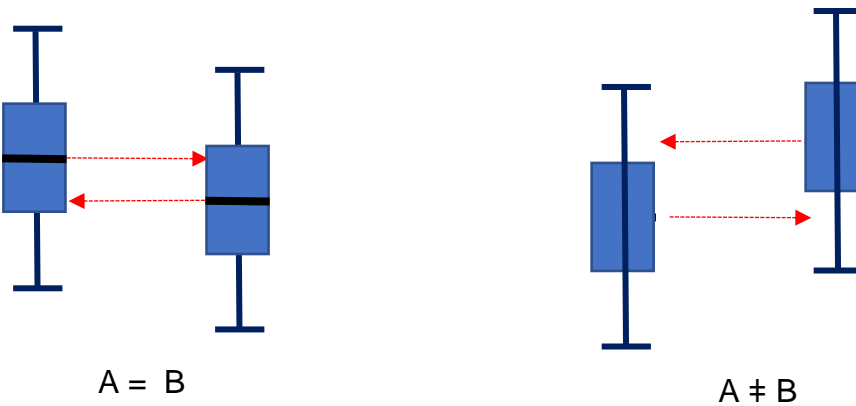


Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

La grafica anterior nos demuestra que no existe significancia estadística en los tratamientos debido a que las medias marginales de los tratamientos se encuentran de un rango de 65 % a 45% y la variación del tratamiento con coagulante que presenta mejor eficiencia, varía en un 6 % de eficiencia respecto al tratamiento que no involucra acción coagulante.

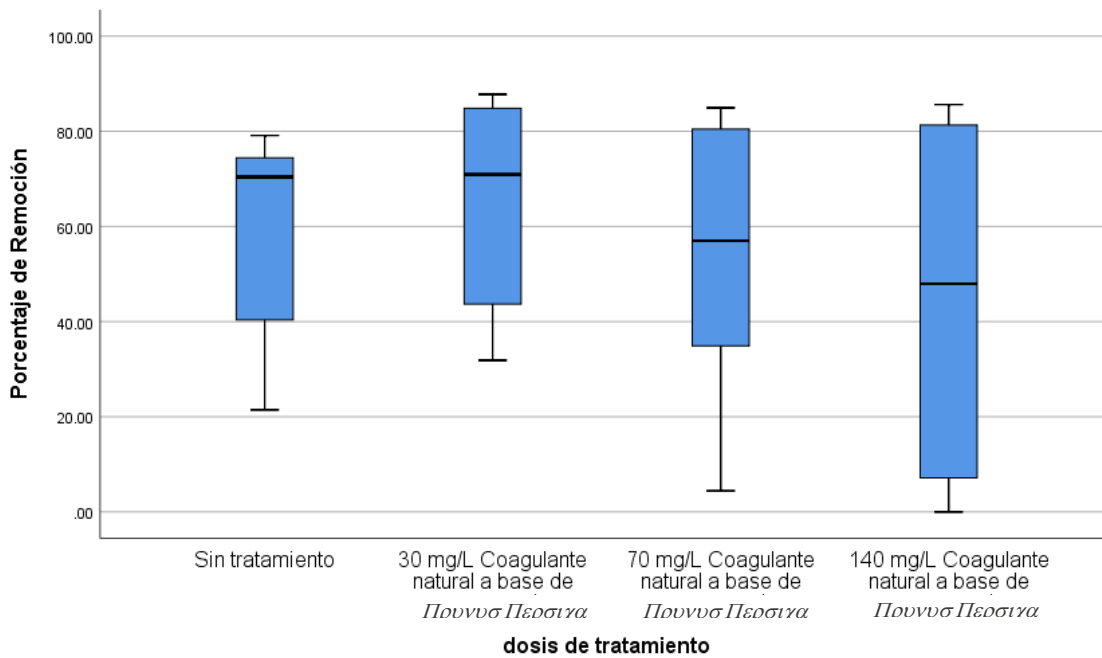
Al comprobarlo mediante el diagrama de cajas, se puede observar que las líneas medias (líneas negras) se encuentran dentro del rango de las cajas celestes en los 4 tratamientos que se prueban, existiendo homogeneidad de varianzas, tal como se muestra en la figura 77.

Figura 76. **Casos de homogeneidad de varianzas**



Fuente: elaboración propia.

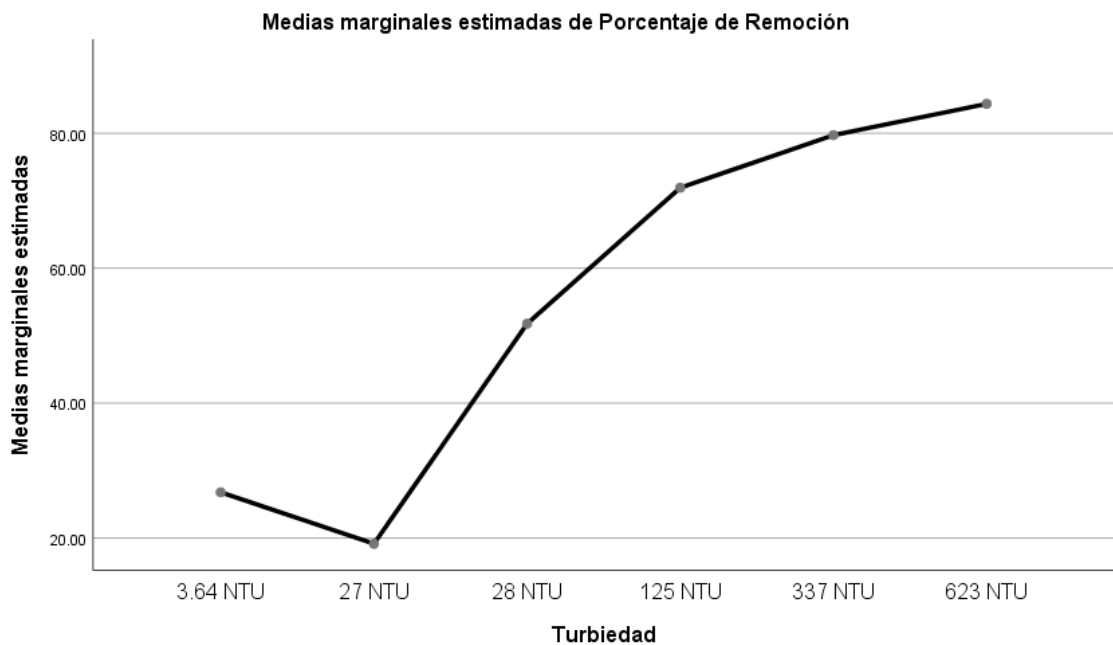
Figura 77. **Diagrama de cajas para porcentaje e remoción y tratamientos aplicados**



Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

Por otra parte, el análisis de varianza de los bloques de turbiedad en la tabla XXIX. nos indica un valor p de  $0.000 < 0.05$  por lo tanto la hipótesis nula se rechaza existiendo diferencia significativa entre los tratamientos, esto quiere decir que el efecto coagulante varía en función de los bloques existiendo bloques en donde el tratamiento ejerce una mejor eficiencia.

Figura 78. **Medias marginales de % de remoción en función a los bloques de turbiedad**

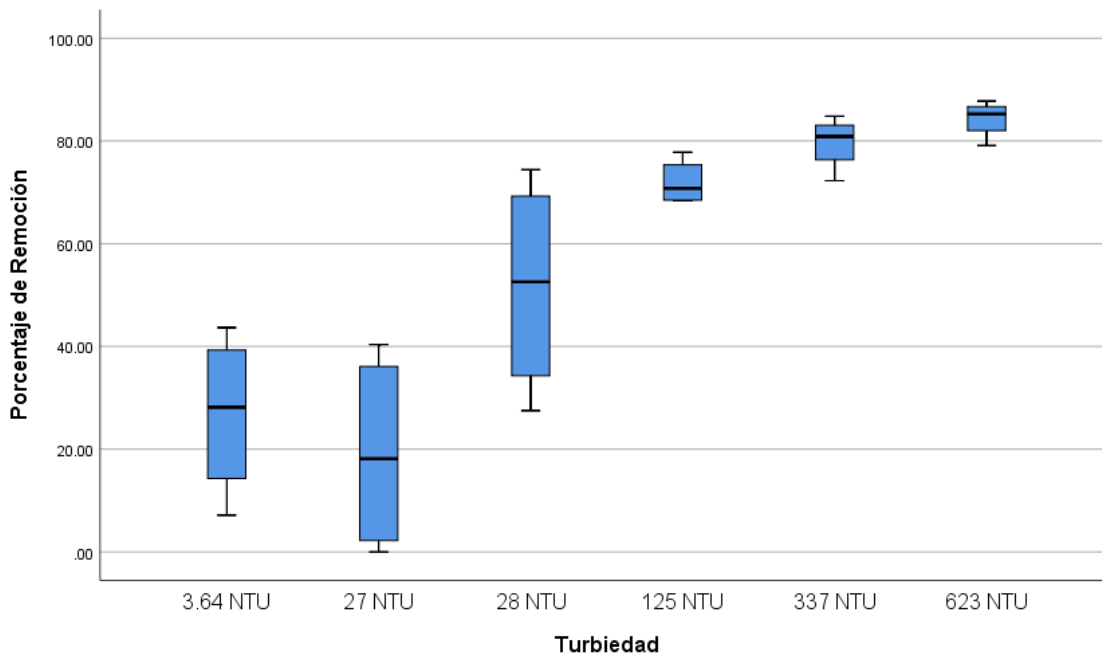


Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

En la figura anterior se puede observar cómo existe una variación de turbiedad a partir del bloque 2 (27 UNT) partiendo desde el 20 % de eficiencia promedio por bloque, hasta llegar a un 80 % lo cual es una diferencia estadística considerable tal como se demuestra en la tabla ANOVA.

Al tomar en cuenta los diagramas de cajas también se puede observar que las medias no coinciden dentro del rango de las cajas, por lo que se comprueba que los tratamientos ejercen un efecto diferente en cada bloque.

Figura 79. **Diagrama de cajas para porcentaje e remoción y tratamientos aplicados**

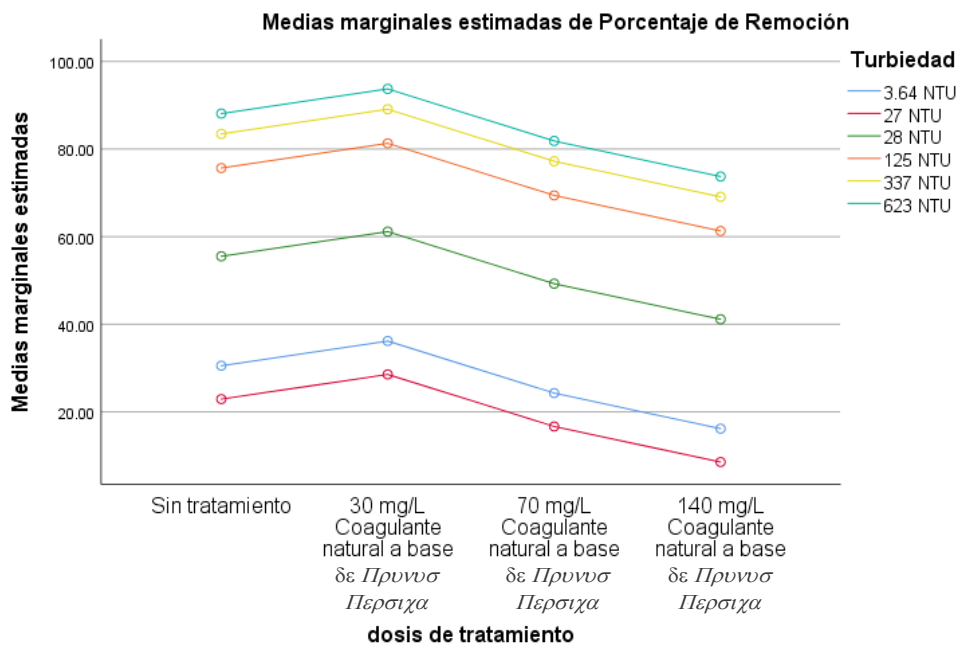


Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM-SPSS.

Se aplicó el criterio de Tukey para ambos resultados (tratamientos y bloques de turbiedad) aunque en los tratamientos no existiera diferencia significativa mediante el Tukey se pudo comprobar según la tabla XXX de la sección 3.8, que todos los tratamientos se encuentran en un subconjunto, por lo cual no existe algún tratamiento que se encuentre fuera de mismo y que represente una diferencia significativa, sin embargo se observa que el tratamiento de 30 mg/L. de coagulante natural a base de *Prunus Persica*, presentó la mejor remoción con un 64.99 % de eficiencia.

Para el caso de los bloques la diferencia fue significativa como se evidenció en los resultados ANOVA de la tabla XXXI, al aplicar el criterio de Tukey, se evidenciaron cuatro subconjuntos homogéneos, pero del cual el mejor tratamiento se da en el bloque de 623 NTU con un 84.35 % de eficiencia. Al analizar la tabla de Tukey se puede observar que las mejores eficiencias se dan en los tratamientos de 125 NTU para arriba.

Figura 80. **Interacción de tratamientos**



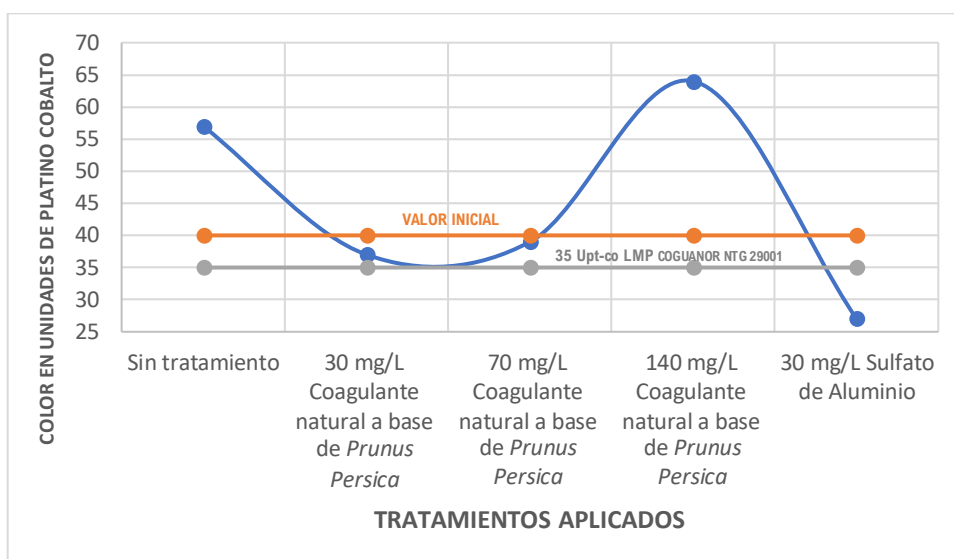
Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

Por último, en la figura anterior se puede observar que no existe interacción significativa entre cada bloque y los tratamientos aplicados, se puede observar que las mejores eficiencias de tratamientos se obtienen en las turbiedades altas arriba de las 100 NTU, también se observa que las medias de los tratamientos poseen el mismo comportamiento en cada bloque.

#### 4.2. Análisis de la efectividad del coagulante a base de la molienda de la semilla de *Prunus Persica* Salcajá en la remoción de color

En cuanto a la remoción de color el bloque 1 presentó el mejor resultado con coagulante natural en el tratamiento de 30 mg/L con un valor de 37 UPt-Co, sobre los 40 UPt-Co Iniciales, aunque esto representa una eficiencia de apenas, el 7.50 % cabe mencionar que el valor alcanzado con los 30 mg/L, no cumple la Normativa nacional vigente COGUANOR NTG 29001.

Figura 81. Variación del color en el bloque 1



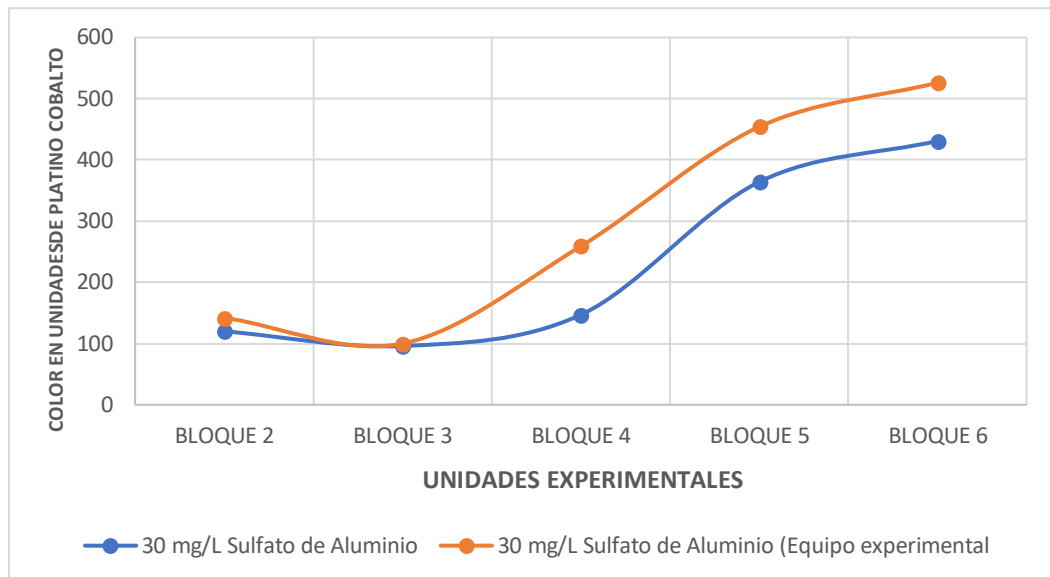
Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior se puede observar como todos los tratamientos experimentales aplicados se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la normativa nacional vigente, a excepción del sulfato de aluminio el cual se usó solo como comparación y hasta 37 UPt-Co una eficiencia del 32 % la figura 81 nos muestra que si existe remoción de color en al menos dos tratamientos. Cabe mencionar que los tratamientos presentados en el bloque 1 fueron obtenidos mediante la utilización de un equipo experimental de agitación,



por lo que al calibrarlo en relación con un agitador de laboratorio en el desarrollo de los bloques 2 al 6 se obtuvieron los valores de la tabla XXVI en la sección 3.7. dicha tabla nos ayuda a identificar un valor de variación promedio del 29 % en los valores presentados para el bloque 1; la figura siguiente nos muestra la variación en la turbiedad al usar una dosis e 30 mg/L de sulfato de aluminio en ambos agitadores.

Figura 82. **Comparación de valores de turbiedad en dos tipos de agitadores**



Fuente: elaboración propia.

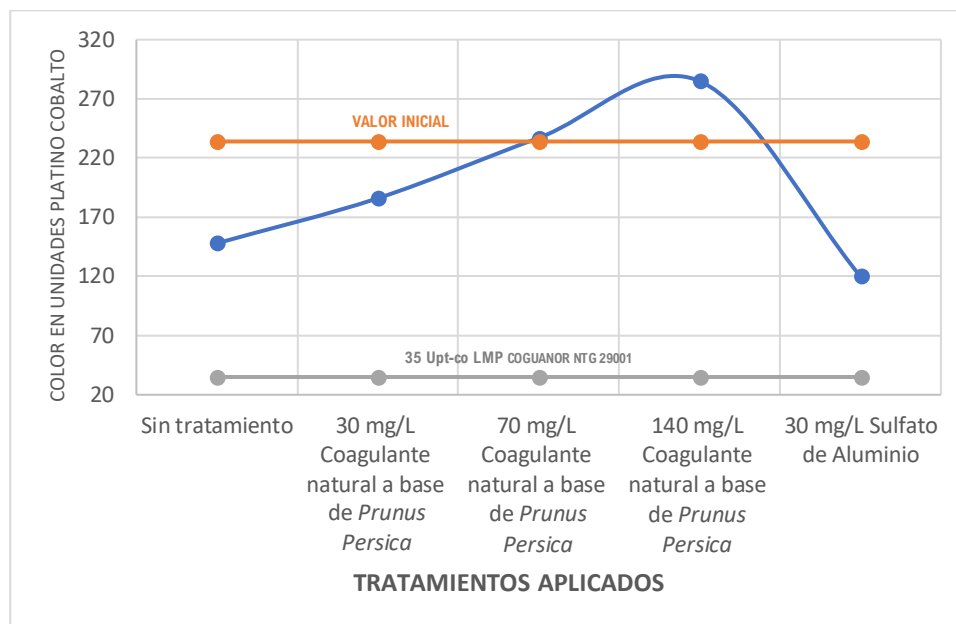
En la figura anterior se puede observar que en el bloque 2 existe diferencia de 8 UPt-Co, entre los dos agitadores, pero a partir del bloque 3 se puede observar que no existe mayor diferencia entre los agitadores, a pesar de que al igual que en la turbiedad la forma del recipiente ejerce un efecto sobre los resultados.

Al evaluar si existe alguna diferencia por el cambio de los agitadores se realizó una prueba con los dos agitadores, cambiando el recipiente original del

agitador experimental, por un vaso precipitado de igual volumen y forma al del agitador experimental obteniendo una diferencia del 3 % esto debido al comportamiento que tienen las partículas coloidales en cada prueba.

Para el bloque 2 la mejor remoción de color para las pruebas con el coagulante natural se dio al no aplicarle algún tratamiento, esto se debe a que el coagulante experimental posee un color blanquecino el cual aporta color al agua al que tratará.

Figura 83. Variación del color en el bloque 2



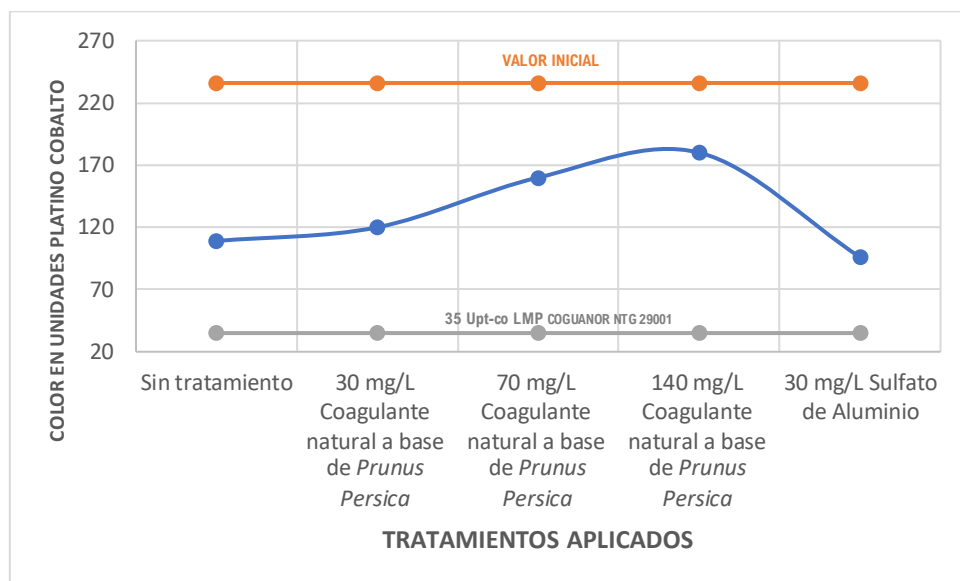
Fuente: elaboración propia.

En la figura 83 se puede observar que de los tratamientos con coagulante natural solo el tratamiento de 30 mg/L logra reducir el color de la muestra del bloque 2 de 234 a 186 Upt-Co, una eficiencia del 20 % por lo contrario el resto de los tratamientos no logra la reducción de los valores, exceptuando el sulfato de aluminio con un 48.72 % de eficiencia alcanzando las 120 Upt-Co. El sulfato

de aluminio se utiliza como indicador de la eficiencia que puede tener un coagulante que se encuentra en el mercado.

Al analizar el bloque 3 el color inicial únicamente vario 2 unidades de platino cobalto, y por lo tanto los resultados fueron similares a los del bloque 2. La mejor remoción se efectuó al no aplicar coagulante en la muestra, demostrando que el color que posee la dosis de coagulante influye en la reducción del color en los tratamientos, sin embargo, en este bloque todos los tratamientos con coagulante natural ejercieron un efecto coagulante que propicio una reducción siendo la más representativa la de 30 mg/L con 48.15 % de eficiencia. EL sulfato de aluminio logró una eficiencia del 59.32 % llegando a reducir hasta 96 UPt-Co. Los resultados producidos por el bloque 3 se encuentran por encima de los límites máximos permisibles de la normativa nacional vigente.

Figura 84. **Variación del color en el bloque 3**



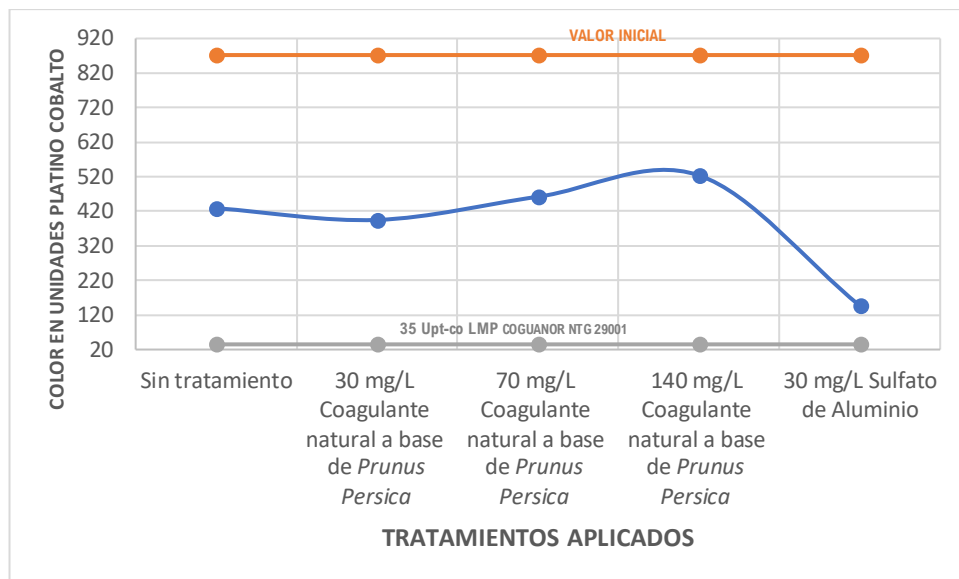
Fuente: elaboración propia.

La variación dada en los datos de color del bloque 2 y del bloque 3 respectivamente se podría deber a la composición del agua de cada río, debido

a que el color se produce muchas veces a causa de sustancias húmicas como resultado de la degradación de materia orgánica (celulosa, polipéptidos, lignina) por acción de microorganismos presentes en el agua.

A partir del bloque 4 se usó agua del grifo con turbiedad artificial, en la cual el mejor valor de reducción con coagulante natural se dio en la dosis de 30 mg/L, la cual logró reducir de 878 a 395 UPt-Co, siendo una eficiencia del 54.7 %, en la figura que precede se pueden observar los valores obtenidos en el bloque 4 en donde ninguno de los valores cumple con la normativa nacional vigente, sin embargo se nota la diferencia entre los resultados con sulfato de aluminio y los diferentes coagulantes naturales evaluados pues este llegó a alcanzar las 147 UPt-Co una eficiencia del 83.14 % .

Figura 85. Variación del color en el bloque 4

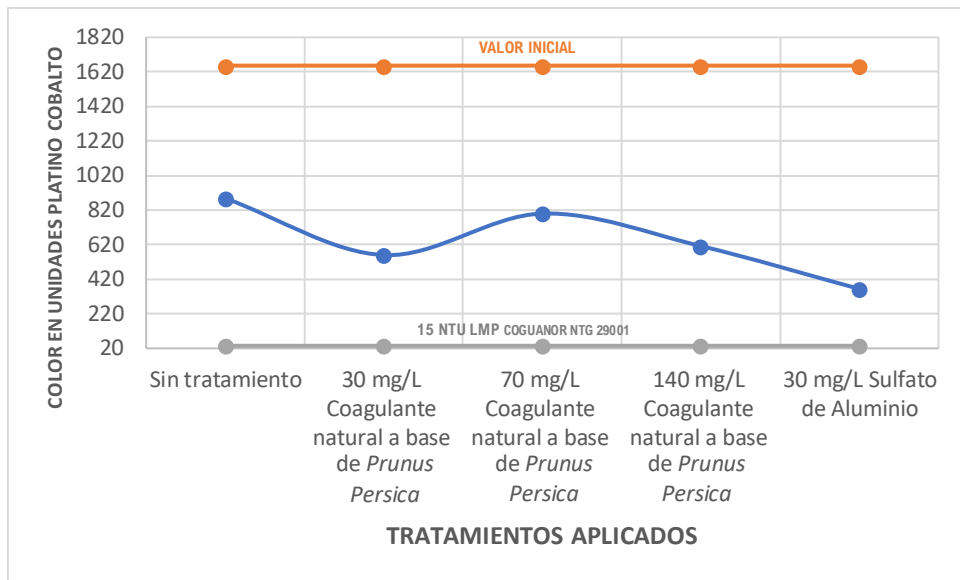


Fuente: elaboración propia.

Al hablar del bloque 5 nuevamente el mejor tratamiento con coagulante natural se da en la dosis de 30 mg/L. con una eficiencia del 66.18 % pues logro reducir de 1656 a 560 UPT-Co. La figura 78 permite ver que ninguno de los valores

analizados cumple con la Norma COGUANOR NTG 29001. Además, se aprecia que los tratamientos no siguen un comportamiento igual al del bloque 4 puesto que el tratamiento de 70 mg/L con coagulante natural 800 UPt-Co, presenta un peor resultado que el tratamiento de 140 mg/L, 612 UPt-Co. cuando en el bloque 4 fue todo lo contrario. Cabe mencionar que el sulfato de aluminio logra alcanzar una eficiencia de 78.2 % de eficiencia.

Figura 86. Variación del color en el bloque 5

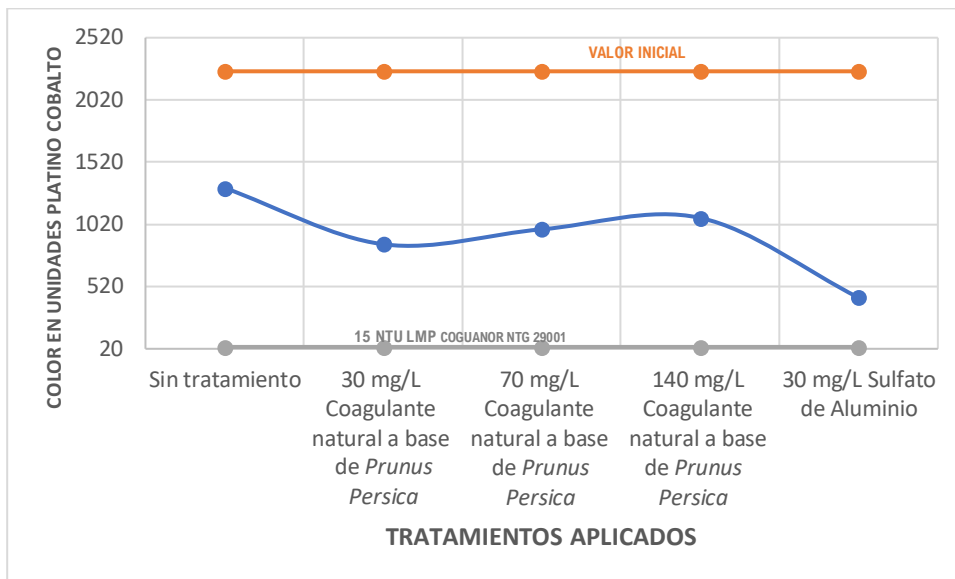


Fuente: elaboración propia.

El bloque 6 trato un color inicial de 2250 UPt-Co, el cual fue reducido a 860 UPt-Co mediante el tratamiento de 30 mg/L. de coagulante natural, esto representa una eficiencia del 61 % la cual es menor a la encontrada en el bloque 5. En cuanto al resto de tratamientos presentan resultados superiores al valor reducido por la dosis de 30 mg/L de coagulante natural, a excepción de la muestra con sulfato de aluminio la cual alcanza la eficiencia del 80 % pero aun así no es suficiente para el cumplimiento de la normativa nacional vigente. La variación las algunas dosis de los tratamientos aplicados a los bloques se debe

la interacción del coagulante con las partículas coloidales, debiendo haber mayor interacción entre el coagúlate y las partículas.

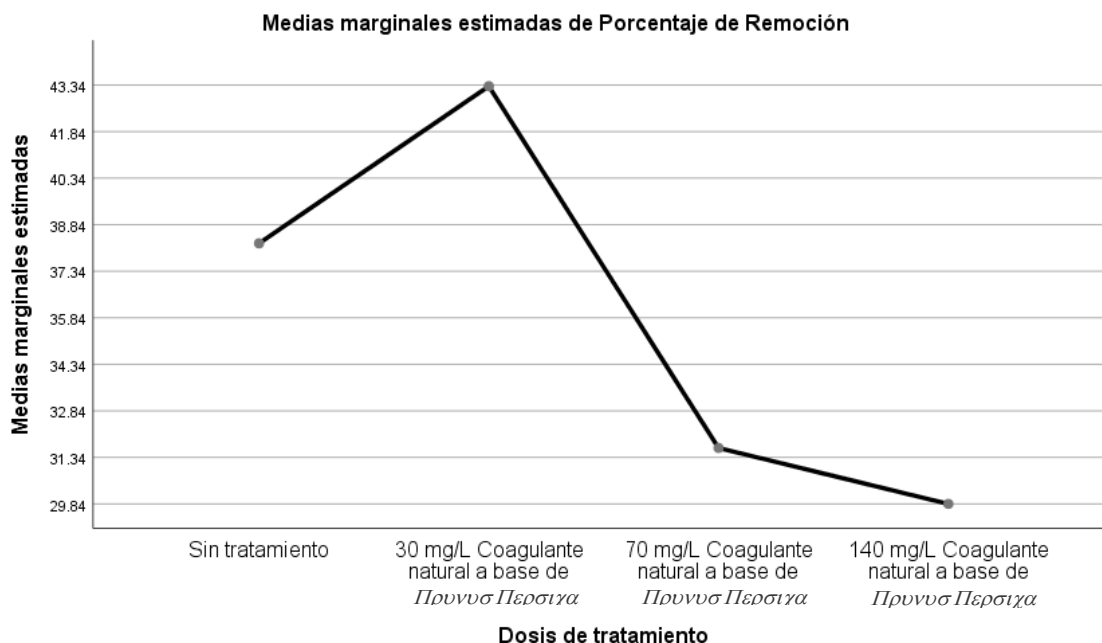
Figura 87. Variación del color en el bloque 6



Fuente: elaboración propia.

Al realizar el análisis de varianza ANOVA, para la eficiencia de remoción en color los resultados sugieren que no existe diferencia significativa de los tratamientos; al cumplirse la hipótesis nula de que todas las medias de los tratamientos son iguales debido a que el valor de p (0.118) presente en la tabla XXXIII es mayor al valor de comparación 0.05. Este resultado nos indica que el coagulante evaluado no funciona debido a las medias de sus resultados son iguales y esta igualdad incluye al tratamiento que no lleva coagulante, por lo que los tratamientos no ejercerían un efecto significativo al del tratamiento sin coagulante; cabe mencionar que esta igualdad de medias se da en un rango de tratamientos de 40 a 2250 UNT y se ha evidenciado que debido al color que posee el coagulante se modifica el color del tratamiento cuando las dosis de color a reducir son bajas; este efecto repercute en el ANOVA general del coagulante.

Figura 88. **Medias marginales de % de remoción de color en función a los tratamientos aplicados**

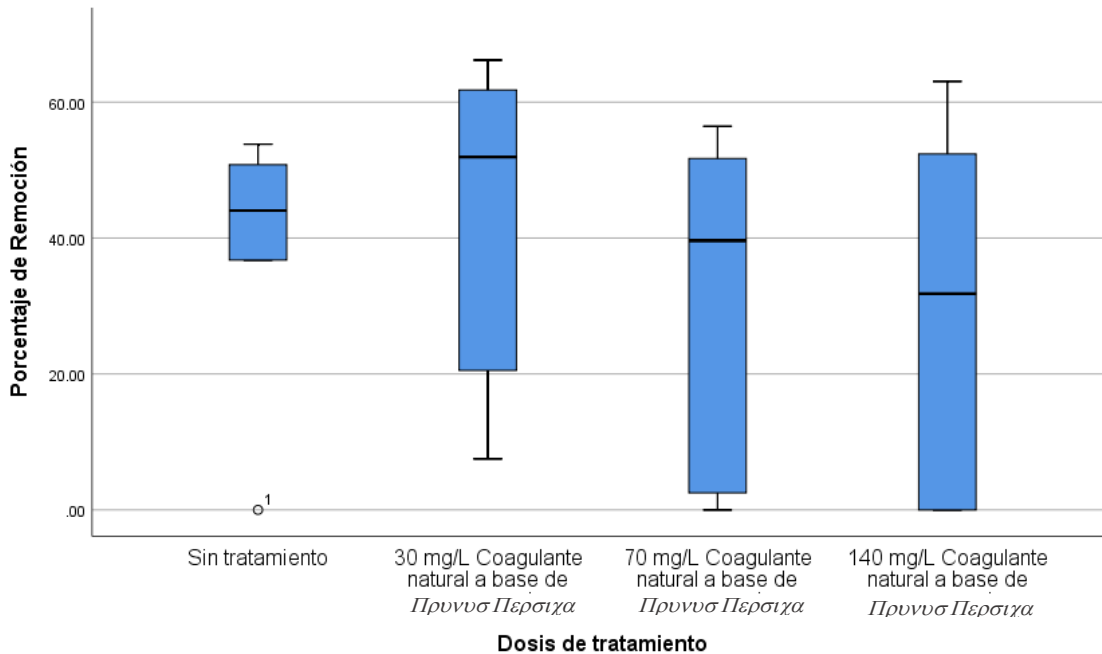


Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

La grafica siguiente nos demuestra que no existe significancia estadística en los tratamientos debido a que las medias marginales de los tratamientos se encuentran de un rango de 29.84 % a 43.34 % y la variación del tratamiento con coagulante que presenta mejor eficiencia, varía en un 4.5 % de eficiencia respecto al tratamiento que no involucra acción coagulante.

Al comprobarlo mediante el diagrama de cajas, tal como se realizó con los datos de turbiedad se puede observar que las líneas medias (líneas negras) se encuentran dentro del rango de las cajas celestes en los 4 tratamientos que se prueban, existiendo homogeneidad de varianzas.

Figura 89. **Diagrama de cajas para porcentaje de remoción de color y tratamientos aplicados**

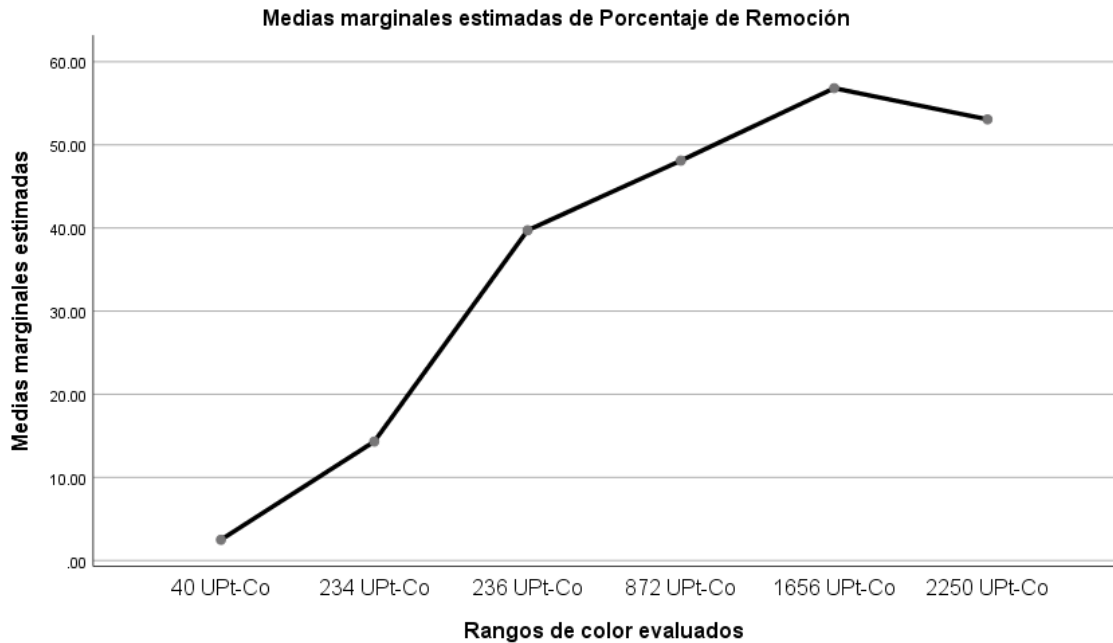


Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

Por otra parte, el análisis de varianza de los bloques en la tabla XXXIII evidencia un valor p de  $0.000 < 0.05$ ; por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza existiendo diferencia significativa entre los tratamientos, esto quiere decir que el efecto coagulante varía en función de los bloques existiendo bloques en donde el tratamiento ejerce una mejor eficiencia.



Figura 90. **Medias marginales de % de remoción de color en función a los bloques de color**

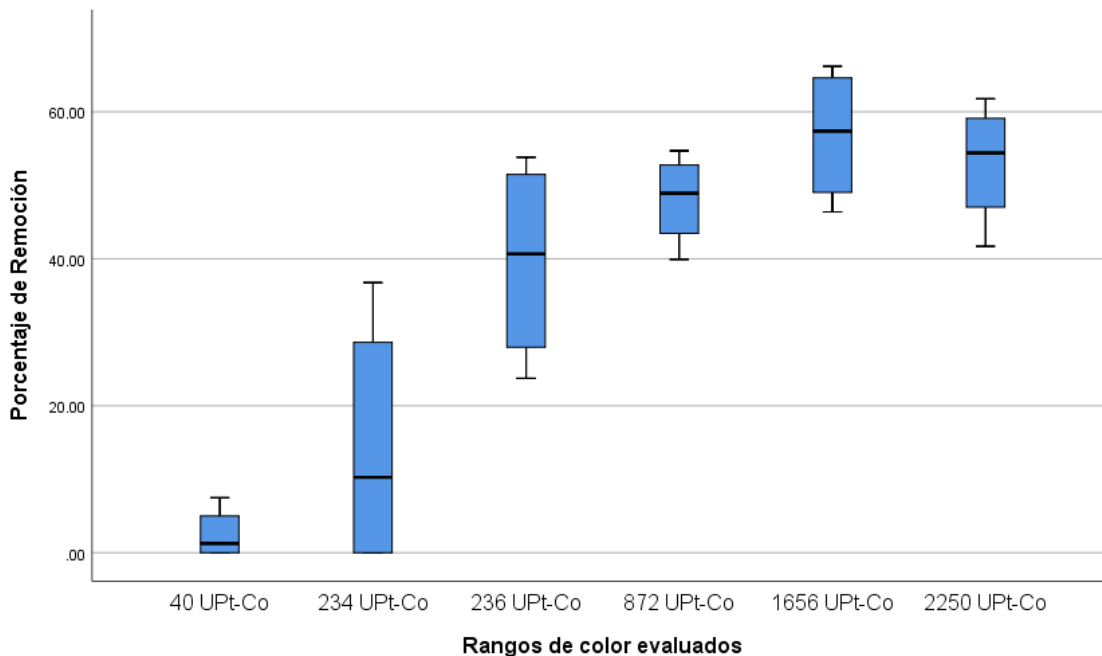


Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

En la figura anterior se puede observar cómo existe una variación de turbiedad a partir del bloque 1 (40 UPt-Co) partiendo desde el 4 % de eficiencia promedio por bloque, hasta llegar a un 52 % lo cual es una diferencia estadística considerable tal como se demuestra en la tabla ANOVA.

Al tomar en cuenta los diagramas de cajas también se puede observar que las medias no coinciden dentro del rango de las cajas, por lo que se comprueba que los tratamientos ejercen un efecto diferente en cada bloque.

Figura 91. **Diagrama de cajas para porcentaje de remoción de color y bloques de color**



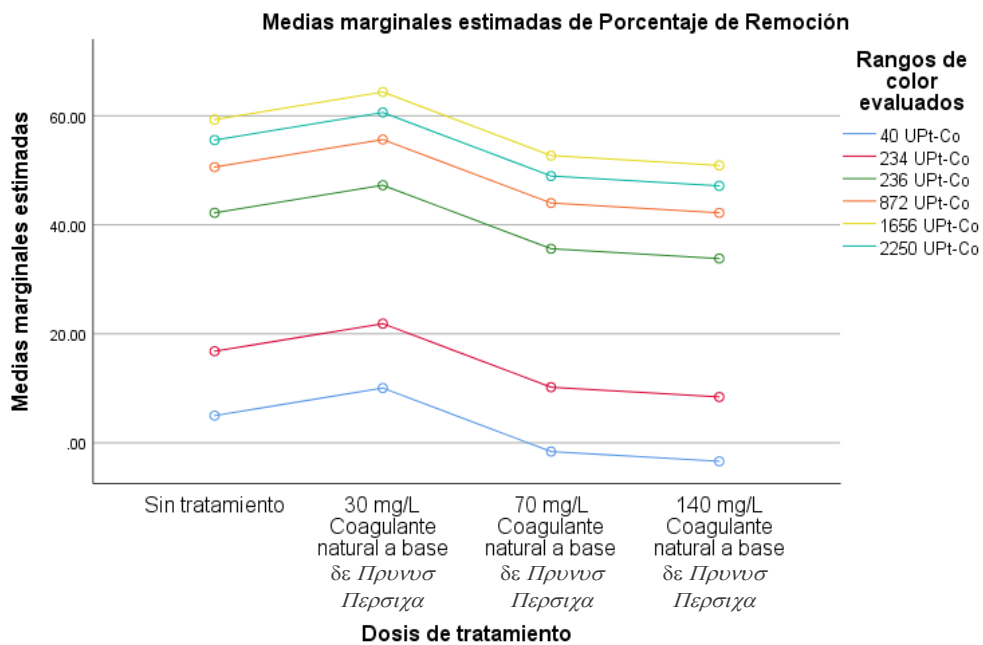
Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

Al igual que se realizó con el análisis de turbiedad se aplicó el criterio de Tukey para ambos resultados, aunque en los tratamientos no existiera diferencia significativa, mediante el Tukey se pudo comprobar. Según la tabla XXXIV de la sección 3.9, se evidencia que todos los tratamientos se encuentran en un subconjunto, por lo cual no existe algún tratamiento que se encuentre fuera de mismo y que represente una diferencia significativa, sin embargo, se observa que el tratamiento de 30 mg/L. de coagulante natural a base de *Prunus Persica*, presentó la mejor remoción con un 43.30 % de eficiencia.

Para el caso de los bloques la diferencia fue significativa como se evidenció en los resultados ANOVA, al aplicar el criterio de Tukey, se evidenciaron dos subconjuntos homogéneos, pero del cual el mejor tratamiento se da en el bloque de 1656 NTU con un 84.35 % de eficiencia. Al analizar la tabla de Tukey se puede

observar que las mejores eficiencias se dan en los tratamientos de 872 Upt-Co para arriba, y que no necesariamente el mejor porcentaje de remoción se da en el bloque de mayor color inicial.

Figura 92. **Interacción de tratamientos**



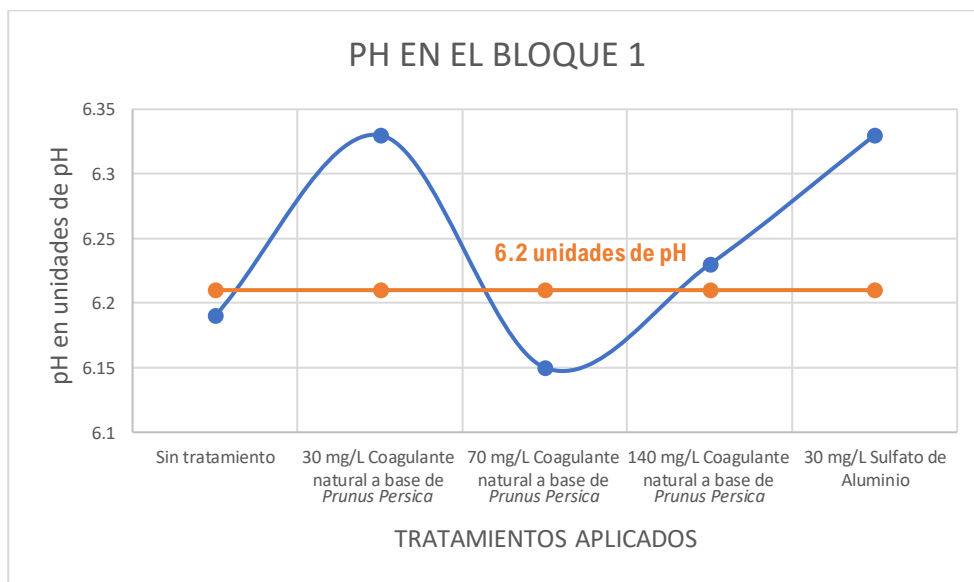
Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS.

Por último, en la figura anterior se puede observar que no existe interacción significativa entre cada bloque y los tratamientos aplicados, se puede observar que las mejores eficiencias de tratamientos se obtienen en los rangos de color altos arriba de las 872 UPt-Co, también se observa que las medias de los tratamientos poseen el mismo comportamiento en cada bloque.

### 4.3. Variación del pH en los tratamientos con coagulante natural *Prunus Persica* Salcajá

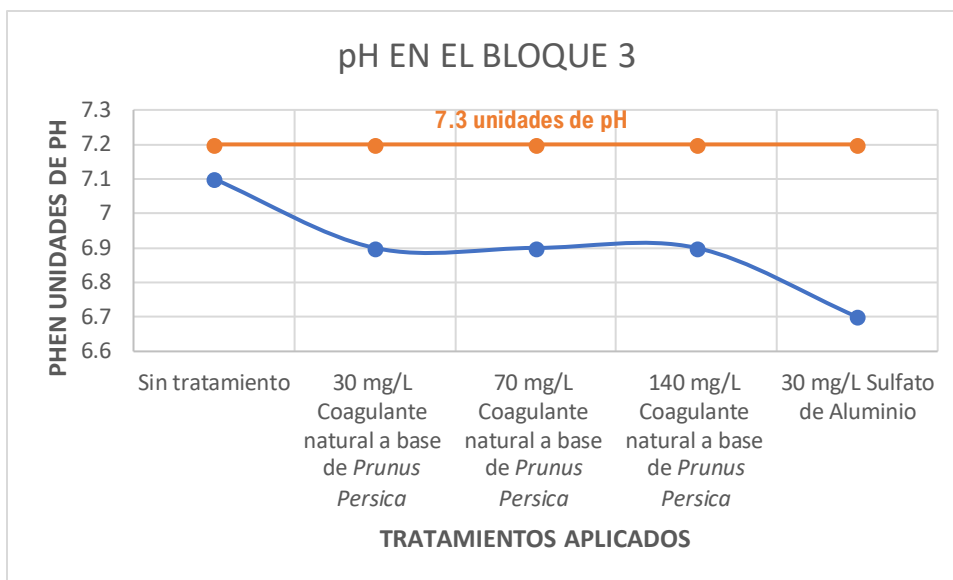
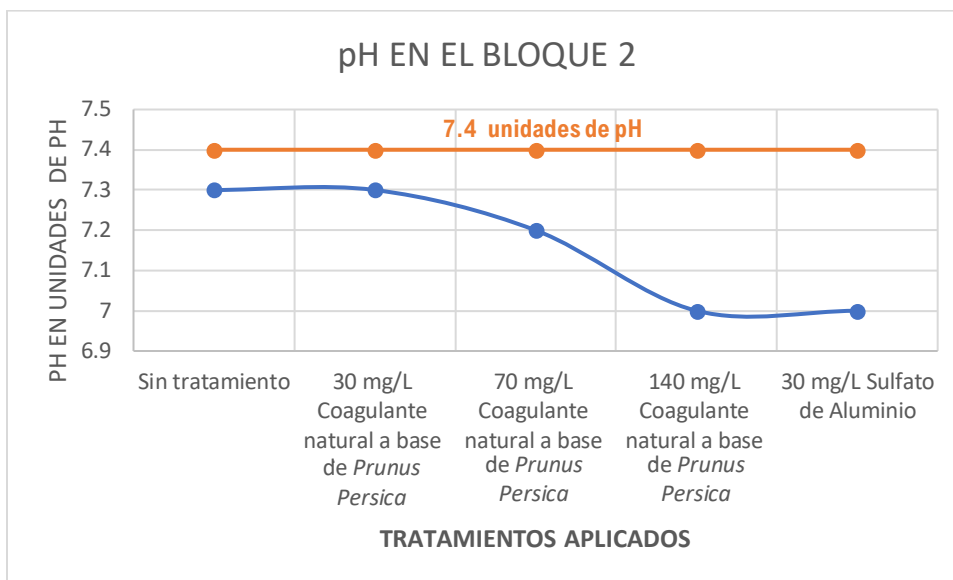
Como bien sabemos la coagulación debe efectuarse dentro de la zona óptima de pH. El sulfato de aluminio deriva de una base débil (hidroxilo de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico) por lo que su solución es muy ácida (pH entre 2 y 3.8), debido a esto su uso tiende a modificar el pH del agua a tratar<sup>139</sup>.

Figura 93. Variación del pH en del bloque 1 al bloque 6

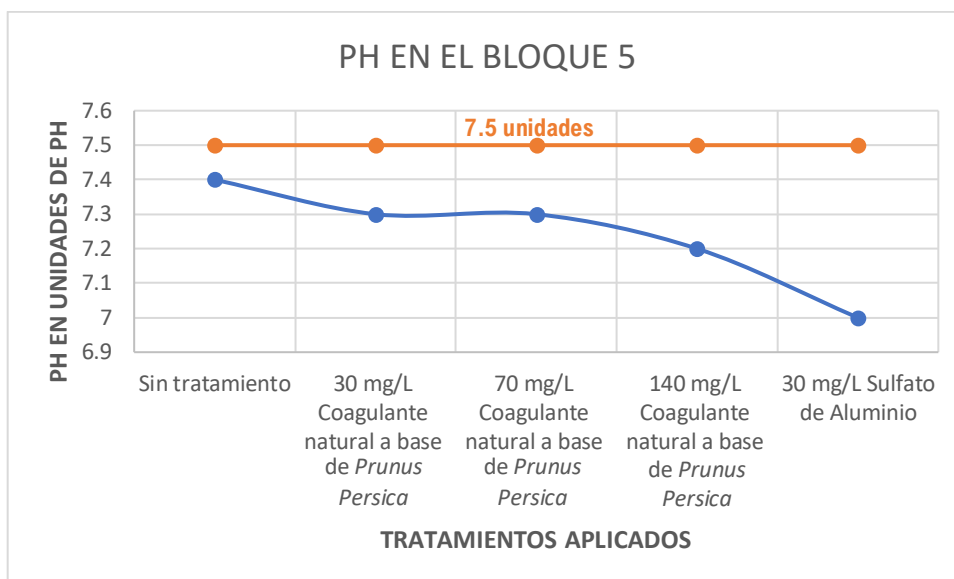
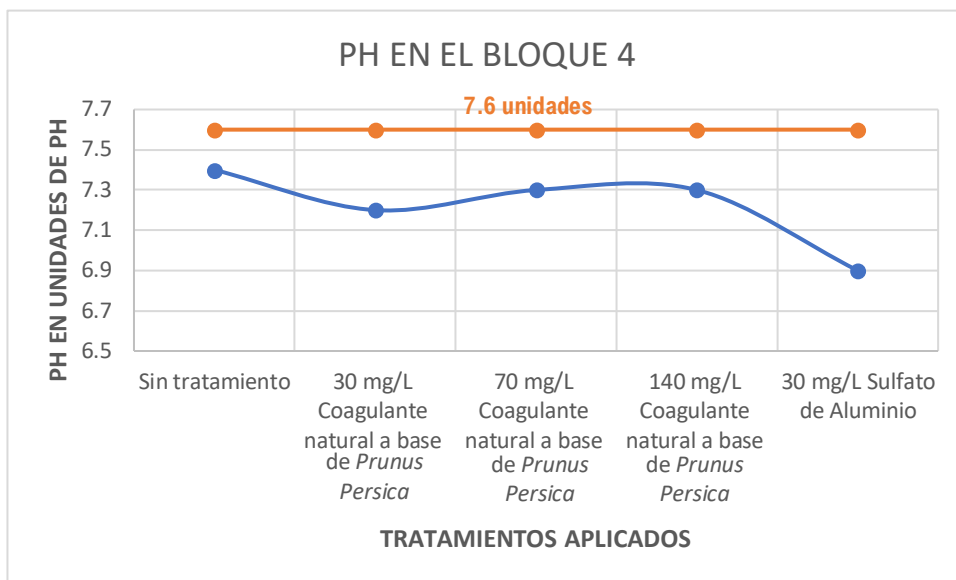


<sup>139</sup> SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*. p.33.

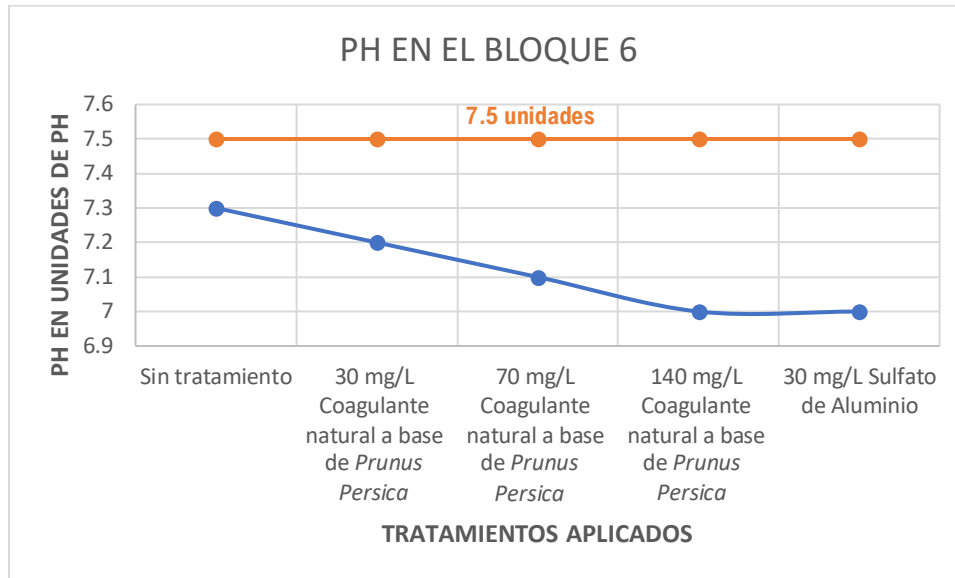
Continuación figura 93.



Continuación figura 93.



Continuación figura 93.



Fuente: elaboración propia.

En cuanto la variación del pH en el bloque 1 se pudo observar una disminución de 0.02 unidades respecto al valor inicial, y 0.18 unidades aumentaron respecto al valor inicial, manteniendo el rango del pH dentro de los límites máximos permisibles e la Norma COGUANOR NTG 29001, que son entre 6.5 y 8.5 unidades de pH.

Para el bloque 2 respectivamente la variación del pH disminuyó en promedio 0.2 unidades siendo la lectura más baja en la dosis de 140 mg/L de coagulante experimental con 7 unidades de pH. Para el bloque 3 el promedio fue reducción fue de 0.25 unidades, encontrando la lectura más baja en la dosis de 30, 70, y 140 mg/L.

El bloque 4 presenta una variación promedio de 0.3 unidades de pH y en las dosis de 70 y 140 mg/L. se presenta la mayor disminución siendo esta 0.3 unidades de pH. Para el bloque 5 en el tratamiento de 140 mg/L se obtuvo el valor más bajo de 7.2 unidades respecto a las 7.5 de medición inicial, el promedio

por los 4 tratamientos fue de 0.2 unidades de pH. Por último, para el bloque 6 se obtiene una disminución de 0.35 unidades de pH, presentando el menor valor en el tratamiento de 140 mg/L.

En relación con estos valores se puede decir que los promedios de los tratamientos oscilan de 0.2 a 0.35 unidades de pH en los bloques 2 al 6 mientras que el bloque 1 presenta disminución y aumento. Esta variación del pH se puede considerar como despreciable debido a que el medidor usado para medir el pH en los bloques 2 al 6 posee un rango de error de  $\pm 0.1$ , sin embargo, otro factor que puede afectar a la lectura es el ruido eléctrico que exista en el medio.

#### **4.4. Análisis de contenido de cianuro**

En relación con la toxicidad descrita en la sección 1.9.7; los resultados del estudio Ruiz y García demuestran que las semillas de *Prunus Persica* poseen un 5.2 % del peso seco de Amigdalina, por lo tanto, al hacer una estimación grosera, el tratamiento de coagulante de 30mg/L podría tener 1.56 mg de Amigdalina<sup>140</sup>.

El autor del párrafo anterior menciona que la Amigdalina se compone de dos unidades de glucosa (genciobiosa), una unidad de benzaldehído y una de cianuro. por lo tanto, este valor teórico de la dosis no cumpliría con la norma COGUANOR NTG. 29001 en el cuadro 3 relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud, en donde el límite máximo permisible para cianuro es de 0.070 mg/L.

Los resultados de Arrázola, Grané, Martin, y Dicenta en la determinación de compuestos cianogénicos amigdalina y prunasina en semillas de almendras

---

<sup>140</sup> RUIZ, Mario, GARCÍA ALAYO, Fred. *Extracción de amigdalina a partir de semillas de Prunus Persica L. "durazno" e hidrólisis enzimática enterobacteriana*. p. 8.



*Prunus dulcis L;* demuestran que se produce una pérdida de amigdalina en el desengrasado de las semillas, por lo tanto, al perder grasa en la preparación del coagulante podría variar la concentración de amigdalina hasta un 17 %<sup>141</sup>.

Los resultados de la determinación de cianuro presentados en la tabla XVI de la sección 3.2.1 y cuyo reporte de laboratorio se encuentra en anexos, determinan que los tres tratamientos ensayados con coagulante experimental en dosis de 30, 70, y 140 mg/L cumplen con la Norma COGUANOR NTG 29001, al estar por debajo del límite de detección del método Spectroquant Merk 09701 el cual está fijado en 0.019 mg/L, mientras que el límite máximo permisible de dicha norma es 0.070 mg/L.

La causa de que no exista cianuro en los tratamientos puede deberse a la pérdida del aceite y grasas e la semilla en los procesos de rayado, calentado, molido y disolución del coagulante. Otra acción que influye en la liberación de cianuro en los tratamientos es que para este caso el agua funciona como extractante de la amigdalina, y la extracción de amigdalina no es tan efectiva en el agua, presentando mejores resultados en metanol, por lo tanto, no se producen glucósidos cianogénicos en el tratamiento propuesto<sup>142</sup>.

---

<sup>141</sup> ARRÁZOLA, Guillermo y otros. *Determinación de los compuestos cianogénicos amigdalina y prunasina en semillas de almendras (Prunus dulcis L.) mediante cromatografía líquida de alta resolución. Revista Colombiana de Química.* p. 24.

<sup>142</sup> Ibid.



## CONCLUSIONES

1. La acción coagulante de la molienda de *Prunus Persica* Salcajá se debe principalmente a las proteínas liberadas que se enlazan con las partículas suspendidas para posteriormente sedimentarse, la semilla está compuesta por 53.46 % por proteínas.
2. Otro mecanismo que se observa a la hora de aplicar el coagulante a base de la molienda de *Prunus Persica* Salcajá, es el mecanismo de atrapamiento, debido a que elementos que no se disuelven en el agua actúan con un efecto de arrastre o barrido en las jarras donde se aplican los tratamientos esto se evidencia en los bloques con mayores turbiedades donde la eficiencia de remoción ha llegado hasta el 84.35 % de eficiencia en turbiedades de 623 UNT.
3. De los resultados presentados la mejor eficiencia en remoción de turbiedad con el coagulante a base de la molienda de *Prunus Persica* Salcajá se da en la dosis de 30 mg/L, con una eficiencia media del 64.99 % esto bajo el criterio de Tukey en un rango de turbiedades de 3.64 a 623 UNT.
4. De los resultados presentados la mejor eficiencia en remoción de color con el coagulante a base de la molienda de *Prunus Persica* Salcajá se da en la dosis de 30 mg/L, con una eficiencia media del 43.30 % esto bajo el criterio de Tukey en un rango de color de 40 a 1656 Upt-co.

5. La semilla de *Prunus Persica* Salcajá posee una eficiencia promedio del 59.3 % en turbiedad y un 43.3 % en color la cual no supera a la semilla de tamarindo analizada por Álvarez Suazo que presenta una eficiencia del 67.8 % en turbiedad y 49.7 % en color; y a la semilla de moringa analizada por Turcios Flores (2017) con 67 % en turbiedad y 50 % en color. Siendo estas últimas dos una alternativa a coagulantes orgánicos.
  
6. La utilización de la molienda a base de *Prunus Persica* S Salcajá en el tratamiento de agua para consumo humano, no es técnicamente factible debido a que. Las eficiencias presentadas en la remoción de turbiedad por los tratamientos ensayados no son estadísticamente significativas, debido a que el análisis sin coagulante presenta una eficiencia promedio del 59.36% mientras que la mejor dosis de aplicación de coagulante logra una eficiencia promedio del 64.99 %. Y en color, El análisis sin coagulante presenta una eficiencia promedio del 38.23 % mientras que la mejor dosis de aplicación de coagulante logra una eficiencia promedio del 43.30 %. Ambas eficiencias en la mayoría de los bloques no lograron cumplir los límites máximos permisibles requeridos en la norma COGUANOR NGO 29001 de 15.0 UNT en turbiedad y 35.0 Upt-Co en color aparente, tomando en consideración únicamente los efectos de coagulación -floculación con un tiempo de sedimentación de 15 minutos.

## RECOMENDACIONES

1. Desarrollar una investigación que evalúe y estandarice el proceso de extracción del coagulante a base de semillas de *Prunus Persica Salcajá*, o algún otro coagulante a base del género *Prunus* especie *Persica*.
2. Analizar la capacidad de la molienda a base de semillas de *Prunus Persica Salcajá*, en conjunto con Sulfato de Aluminio u otros coagulantes metálicos a fin de conocer su efectividad como auxiliar de coagulación o floculación para conocer cuánto se puede sustituir del coagulante con el que se mezcle.
3. Al hacer la mezcla rápida con un dispositivo que no sea el recomendado por la normativa es necesario su calibración respecto a los parámetros a evaluar, cuidando el no variar la forma de los vasos precipitados.
4. Realizar estudios donde se extraiga el aceite de semillas del género *Prunus* y especie *Pérsica* por métodos químicos o físicos, a efecto de evaluar si existe una mejora en la eficiencia de remoción de turbiedad y color.
5. En la preparación del coagulante a base de la molienda de semilla *Prunus Persica Salcajá* el endocarpio presenta un 93 % del peso total de la semilla y representa un subproducto de desecho, por lo que es recomendable evaluar su uso para la obtención de carbón activado.
6. Al utilizar semillas y elementos naturales es recomendable analizar su toxicidad ya que pueden producir glucósidos cianogénicos que son utilizados como defensa química contra herbívoros.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁVAREZ SUAZO, Tania. *Uso de la semilla de tamarindo (tamarindus indica) como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización*, [en línea]. Tesis de Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2016. 100p. <[https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis\\_is.html](https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis_is.html)> [Consulta: 20 de marzo de 2020].
2. AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. 1er edición, España: McGraw-Hill S.L. 2002. 250 p.
3. ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación* [en línea]. <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>> [Consulta: 25 de marzo de 2020].
4. ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*, 3ra. edición, Colombia: McGraw-Hill, 2001, 180 p.
5. ARRÁZOLA, Guillermo y otros. Determinación de los compuestos cianogénicos amigdalina y prunasina en semillas de almendras (*Prunus dulcis* L.) mediante cromatografía líquida de alta resolución. *Revista Colombiana de Química* [en línea]. 2,013, (42), 23-30, <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/5342>> [Consulta: 15 de abril de 2020].

6. ASRAFUZZAMAN, Md y otros. *Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants*, *ISRN Microbiology* [en línea]. <DOI 10.5402/2011/632189.> [Consulta: 3 de abril de 2020].
7. BARBARÁN SILVA, Hellen; LOPEZ CHAVEZ, Jhanny y CHICO RUIZ, Julio. Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*prunus persica*) y palta (*persea americana*). *SAGASTEGUIANA* [en línea]. <<https://1library.co/document/zi95we6z-remocion-turbiedad-coagulantes-naturales-obtenidos-semillas-durazno-americana.htm>> [Consulta: 25 de marzo de 2020].
8. BARRIENTOS GONZÁLES, Rafael. *Experiencia en la producción y comercialización del durazno (Prunus persica) en la comunidad de Santa María Jalapa*. [en línea]. Tesis pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 95p.<[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2079.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2079.pdf)> [Consulta: 11 de abril de 2020]
9. BECKETT, Ronald. *Surface and Colloid Chemistry in Natural Waters and Water Treatment*, 1a edición, Nueva York, Springer, Boston: MA,1990. ISBN 978-0-306-43802-8.
10. BOLTO, Brian y GREGORY, Jhon. *Organic polyelectrolytes in water treatment*. *Water Research* [en línea]. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135407001881>> [Consulta: 24 de marzo de 2020].



11. CAMPOS, José y AZEVEDO, José. Empleo do anido de batata como auxiliar de floclacaon. *Revista DAE* [en línea]. 1981, (125), 1-9, <<http://revistadae.com.br/site/artigo/1246-Emprego-de-amido-de-batata-como-auxiliar-de-floclacao-de-aguas-para-abastecimento>> [Consulta: 20 de marzo de 2020].
12. CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*, En: BARRENECHEA MARTEL, Ada [en línea]. <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>> [Consulta: 10 de marzo de 2020].
13. CEPIS/OPS. *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*, En: VARGAS, Lidia [en línea]. <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>> [Consulta: 20 de abril de 2020].
14. CHAVEZ HERRERA, Santiago. *Evaluación de la acción coagulante de la semilla de durazno y tallo de nopal: aclaración de aguas turbias*. [en línea]. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Machala, 2018, 110 p. <<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12400>> [Consulta: 10 de marzo de 2020].
15. ESCOBAR HERNANDEZ, Eugenio. *Evaluación de 10 tratamientos para extender la vida de anaquel del fruto del melocotonero (Prunus Pérsica I cultivar Salcajá)* [en línea]. Tesis pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2008. 108 p. <[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2422.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2422.pdf)> [Consulta: 11 de abril de 2020]

16. FERNÁNDEZ HORÓSTEGUI, Helen. *Fitorremediación mediante cotiledones de durazno (*Prunus persica*) para reducción de turbidez y *Escherichia coli* de aguas domésticas, Distrito de Oyón*. [en línea]. Tesis pregrado. Universidad César Vallejo. Lima. 2017. 75 p. <<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/20201?show=full>> [Consulta: 11 de marzo de 2020].
17. FOOFSERVICE. *Las semillas pueden provocar envenenamiento por cianuro* [en línea]. <<https://foodserviceyequipo.com/noticias-2/las- semillas-de-albaricoque-pueden-provocar-envenenamiento-por-cianuro/>> [Consulta: 26 de mayo de 2028].
18. FRUTAGRU. *Se acerca el primer festival del melocotón Salcajá*. [en línea] <<https://radioytelevisiofraternidad.com/tag/frutagru/>> [Consulta: 9 de mayo de 2020].
19. FUNES, Jorge. *Estudio de la composición química de la semilla y de los aceites de semilla de frutos de especies de "Prunus" de producción nacional. Harinas de extracción y* [en línea]. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 1978. 95 p. <[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_1538\\_Funes.](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1538_Funes.)> [Consulta: 15 de abril de 2020].
20. GONZALES, Iván y RUANO, Julio. *Manual del cultivo del melocotón*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2004. 65 p.

21. GREY, David y SADOFF, Claudia. Sink or Swim? Water Security for Growth and Development. *Water Policy* [en línea]. 2007, (9), 545 p. doi: 10.2166/wp.2007.021 [Consulta: 10 enero de 2021].
22. INSTITUTO NACIONAL DE COMERCIALIZACIÓN AGRÍCOLA. *Diagnóstico sobre la comercialización de frutales deciduos*. Guatemala: INDECA, 1979. 68 p.
23. KIRCHMER, Cliff; ARBOLEDA, Jorge y CASTRO, María. *Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación* [en línea]. <<https://www.ircwash.org/sites/default/files/253-75PO.pdf>> [Consulta: 20 de mayo de 2020].
24. LÉDO, Patricia y otros. *Comparative Study of Aluminum Sulfate and Moringa oleifera seeds as Coagulants in the Clarification of Water with Low Turbidity*. *Información tecnológica*, [en línea]. <<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000500002>> [Consulta: 12 de enero de 2021].
25. LETTERMAN, Raymond y PERO, Richard. Contaminants in polyelectrolytes used in water treatment. *Journal AWWA* [en línea]. 1990, 97 p. <<https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1990.tb07056.x>> [Consulta: 20 mayo de 2020].
26. LOPEZ MALDONADO, Oscar. *Recomendaciones para el cultivo del melocotón (*prunus persica stokes*) en el occidente de Guatemala*. [en línea]. Tesis pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 110p.

<[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2304.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2304.pdf)> [Consulta: 12 de abril de 2020].

27. MACHACA GONZALES, Leonardo. *Proceso de extracción del aceite vegetal de las almendras de durazno (Prunus Pérsica) a nivel de laboratorio* [en línea]. Tesis pregrado. Universidad Nacional del Callao, Perú, 2018. 200p. <<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2522>> [Consulta: 25 de abril de 2020].
28. MARTÍNEZ ARREOLA, María. *Uso de polímeros en el tratamiento de agua* [en línea]. Tesis pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México DF. 2015. 105p. <[https://repositorio.unam.mx/contenidos/uso-de-polimeros-en-el-tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-157704?c=rm7ZY8&d=false&q=humanidades&i=1&v=1&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/uso-de-polimeros-en-el-tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-157704?c=rm7ZY8&d=false&q=humanidades&i=1&v=1&t=search_0&as=0)> [Consulta: 5 de abril de 2020].
29. MARTÍNEZ MORÁN, Eddy. *El uso de fécula de maíz como una alternativa de ayuda en el proceso de coagulación del agua cuando se emplea el sulfato de aluminio*. Tesis de Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 1987. 205 p.
30. MEJÍA GUILLEN, Juan. *La utilización de la semilla de la moringa Oleífera como coagulante natural*. Tesis de Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 1986. 180 p.
31. MELO OLIVEIRA, Vagne. *Aluminium sulfate exposure: A set of effects on hydrolases from brain, muscle and digestive tract of juvenile Nile*

- tilapia (Oreochromis niloticus). Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, [en línea]. <<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2016.10.002>> [Consulta: 10 enero de 2021].
32. MENDOZA RIVERA, Henry y BAUTISTA MENDOZA, Gloria. *Diseño Experimental* [en línea] <<http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/legal.html>> [Consulta: 8 de mayo de 2020].
33. MENDOZA GOMEZ, Mónica e IBAÑES PINEDO, *Módulo del recurso del agua II Tratamiento del agua potable, operación, procesos, talleres y monitoreos*. Monografía para especialización, Universidad Industrial de Santander, Colombia. 2006. 75 p.
34. MILLER, Sarah y otros. Toward understanding the efficacy and mechanism *Opuntia* spp. As a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environ. Sci. Technol.* [en línea]. 2008, 42 (12), 4254-4279, <<https://doi.org/10.1021/es7025054>> [Consulta: 22 abril de 2020].
35. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Plan Nacional de Agua y Saneamiento*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Guatemala: 2015. 160 p.
36. MOSCOZO BARRIOS, Luis. *Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización*. [en línea]. Tesis de maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala,

Guatemala. 2015. 95p.  
<[https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis\\_is.html](https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis_is.html)> [Consulta: 9  
marzo de 2020].

37. MUCH SANTOS, Zenon. *Manual de Prueba de Jarras*. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, 2013. 75 p.
38. NAVE, Francisco. *Métodos estadísticos aplicados a la investigación*. Guatemala: Cholsamaj. 2019. 250 p.
39. OKUDA, Tetsuji y otros. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in Moringa oleifera seeds. *Water Research* [en línea]. 2001, 35 (3), 830-834, ISSN: 0043-1354 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400002967>> [Consulta: 2 de marzo de 2020].
40. Organización Mundial de la Salud. *International Reference Centre for Community Water Supply. Health aspects relating to the use of polyelectrolytes in water treatment for community water supply*. [en línea]. <<https://www.ircwash.org/sites/default/files/71-IRC73-1.4.pdf>> 1973 [Consulta; 2 marzo de 2020].
41. OWEN, Johnson y MORE, David. *Árboles: guía de campo*. España: Omega. 2006. 300 p. ISBN 978-84-282-1400-1
42. PÉREZ, Nelson. *Fertilidad en frutales deciduos*. In *Curso Nacional de Frutales Deciduos*. Guatemala. Editorial Universitaria. 1984. 150 p.

43. RAMÍREZ, Hildebrando y JARAMILLO, Jhoan. *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. Ingeniería Solidaria* [en línea]. <<http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.813>> [Consulta: 18 marzo de 2020].
44. RODRÍGUEZ, J y otros. Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico* [en línea]. 2007, (11), 8-16, ISSN: 1692-3375 <<https://www.redalyc.org/pdf/304/30401102.pdf>> [Consulta: 18 marzo de 2020].
45. ROMERO ROJAS, Jairo. *Potabilización del agua*, 3ra edición. México DF: Alfaomega SA CV. 1999. 98 p.
46. RONDEAU, Virginie y otros. Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort. *American Journal Epidemiology* [en línea]. 2009, Vol. 169 (4), 489 - 496, Doi: <10.1093/aje/kwn348> [Consulta: 28 marzo de 2020].
47. RUIZ, Mario y GARCÍA ALAYO, Fred. *Extracción de amigdalina a partir de semillas de Prunus Persica L. "durazno" e hidrólisis enzimática enterobacteriana.* [en línea]. <<http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2019/67.%20Ruiz%2c%20M.%20y%20Garcia%2c%20Fred%2c%20extracci%3b%3n%20de%20amigdalina%20a%20partir%20de%20semillas%20de.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [Consulta: 16 mayo de 2020].

48. SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry y PARKIN, Gene. *Química para la ingeniería ambiental*, 4a edición. Colombia: McGraw-Hill. 2001. 195p. ISBN: 9584101641 9789584101648
49. TURCIOS FLORES, Edwin. *Uso de semilla de moringa oleifera como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano*. [en línea]. Tesis de maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2017. 117p. <[https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis\\_is.html](https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis_is.html)> [Consulta: 8 marzo de 2020].
50. Universidad de Zulia. *Proponen utilizar coagulantes naturales para la potabilización de agua*. [en línea]. <<https://issuu.com/luzadn/docs/381>> [Consulta: 5 marzo de 2020].
51. Universidad Rafael Landívar. *Situación del Recurso Hídrico en Guatemala* [en línea]. <<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0135/doc0135.pdf>> [Consulta: 3 de febrero de 2021].
52. VÁSQUEZ GONZÁLEZ, Leonardo. *Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana, Viscum album y Senna candolleana). Naturaleza y desarrollo*. [en línea]. <<https://web.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/?q=node/23>> [Consulta: 16 de mayo de 2020].
53. ZAHRIM, Abu; TIZAOUI, Cheadly y HILAL, Nidal. *Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated*



*dyes: A review. Desalination.* [en línea].  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916410005771>> [Consulta: 8 de marzo de 2020].



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Pruebas Post Hoc para dosis de tratamiento para remoción de turbiedad

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) dosis de tratamiento	(J) dosis de tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Sin tratamiento	30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	-5.6333	6.97001	.850	-25.7219	14.4553
	70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	6.2483	6.97001	.807	-13.8403	26.3369
	140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	14.3750	6.97001	.210	-5.7136	34.4636
30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Sin tratamiento	5.6333	6.97001	.850	-14.4553	25.7219
	70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	11.8817	6.97001	.355	-8.2069	31.9703
	140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	20.0083	6.97001	.051	-.0803	40.0969

Continuación apéndice 1.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) dosis de tratamiento	(J) dosis de tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Sin tratamiento	-6.2483	6.97001	.807	-26.3369	13.8403
	30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	-11.8817	6.97001	.355	-31.9703	8.2069
	140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	8.1267	6.97001	.656	-11.9619	28.2153
140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Sin tratamiento	-14.3750	6.97001	.210	-34.4636	5.7136
	30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	-20.0083	6.97001	.051	-40.0969	.0803
	70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	-8.1267	6.97001	.656	-28.2153	11.9619

Se basa en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática (Error) = 145.743.

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS

Apéndice 2. Pruebas Post Hoc para bloques de turbiedad

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) Turbiedad	(J) Turbiedad	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3.64 NTU	27 NTU	7.6200	8.53649	.942	-20.1148	35.3548
	28 NTU	-24.9825	8.53649	.090	-52.7173	2.7523
	125 NTU	-45.1350*	8.53649	.001	-72.8698	-17.4002
	337 NTU	-52.9300*	8.53649	.000	-80.6648	-25.1952
	623 NTU	-57.5675*	8.53649	.000	-85.3023	-29.8327
27 NTU	3.64 NTU	-7.6200	8.53649	.942	-35.3548	20.1148
	28 NTU	-32.6025*	8.53649	.017	-60.3373	-4.8677
	125 NTU	-52.7550*	8.53649	.000	-80.4898	-25.0202
	337 NTU	-60.5500*	8.53649	.000	-88.2848	-32.8152
	623 NTU	-65.1875*	8.53649	.000	-92.9223	-37.4527
28 NTU	3.64 NTU	24.9825	8.53649	.090	-2.7523	52.7173
	27 NTU	32.6025*	8.53649	.017	4.8677	60.3373
	125 NTU	-20.1525	8.53649	.231	-47.8873	7.5823
	337 NTU	-27.9475*	8.53649	.048	-55.6823	-.2127
	623 NTU	-32.5850*	8.53649	.017	-60.3198	-4.8502
125 NTU	3.64 NTU	45.1350*	8.53649	.001	17.4002	72.8698
	27 NTU	52.7550*	8.53649	.000	25.0202	80.4898
	28 NTU	20.1525	8.53649	.231	-7.5823	47.8873
	337 NTU	-7.7950	8.53649	.937	-35.5298	19.9398
	623 NTU	-12.4325	8.53649	.695	-40.1673	15.3023

Continuación apéndice 2.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) Turbiedad	(J) Turbiedad	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
337 NTU	3.64 NTU	52.9300*	8.53649	.000	25.1952	80.6648
	27 NTU	60.5500*	8.53649	.000	32.8152	88.2848
	28 NTU	27.9475*	8.53649	.048	.2127	55.6823
	125 NTU	7.7950	8.53649	.937	-19.9398	35.5298
	623 NTU	-4.6375	8.53649	.993	-32.3723	23.0973
623 NTU	3.64 NTU	57.5675*	8.53649	.000	29.8327	85.3023
	27 NTU	65.1875*	8.53649	.000	37.4527	92.9223
	28 NTU	32.5850*	8.53649	.017	4.8502	60.3198
	125 NTU	12.4325	8.53649	.695	-15.3023	40.1673
	337 NTU	4.6375	8.53649	.993	-23.0973	32.3723
Se basa en las medias observadas.						
El término de error es la media cuadrática(Error) = 145.743.						
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.						

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS

Apéndice 3. Pruebas Post Hoc para dosis de tratamiento para remoción de color

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) Dosis de tratamiento	(J) Dosis de tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Sin tratamiento	30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	-5.0650	5.76648	.816	-21.6849	11.5549
	70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	6.5967	5.76648	.669	-10.0232	23.2165
	140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	8.3983	5.76648	.486	-8.2215	25.0182
30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	Sin tratamiento	5.0650	5.76648	.816	-11.5549	21.6849
	70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	11.6617	5.76648	.223	-4.9582	28.2815
	140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Persica</i> S "Salcajá"	13.4633	5.76648	.134	-3.1565	30.0832

Continuación apéndice 3.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) Dosis de tratamiento	(J) Dosis de tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica S</i> "Salcajá"	Sin tratamiento	-6.5967	5.76648	.669	-23.2165	10.0232
	30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica S</i> "Salcajá"	-11.6617	5.76648	.223	-28.2815	4.9582
	140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica S</i> "Salcajá"	1.8017	5.76648	.989	-14.8182	18.4215
140 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica S</i> "Salcajá"	Sin tratamiento	-8.3983	5.76648	.486	-25.0182	8.2215
	30 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica S</i> "Salcajá"	-13.4633	5.76648	.134	-30.0832	3.1565
	70 mg/L Coagulante natural a base de <i>Prunus Pérsica S</i> "Salcajá"	-1.8017	5.76648	.989	-18.4215	14.8182

Se basa en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática (Error) = 99.757.

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS



Apéndice 4. Pruebas Post Hoc para bloques de color

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) Rangos de color evaluados	(J) Rangos de color evaluados	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
40 UPt-Co	234 UPt-Co	-11.8150	7.06247	.568	-34.7607	11.1307
	236 UPt-Co	-37.2225*	7.06247	.001	-60.1682	-14.2768
	872 UPt-Co	-45.6075*	7.06247	.000	-68.5532	-22.6618
	1656 UPt-Co	-54.3225*	7.06247	.000	-77.2682	-31.3768
	2250 UPt-Co	-50.5675*	7.06247	.000	-73.5132	-27.6218
234 UPt-Co	40 UPt-Co	11.8150	7.06247	.568	-11.1307	34.7607
	236 UPt-Co	-25.4075*	7.06247	.026	-48.3532	-2.4618
	872 UPt-Co	-33.7925*	7.06247	.003	-56.7382	-10.8468
	1656 UPt-Co	-42.5075*	7.06247	.000	-65.4532	-19.5618
	2250 UPt-Co	-38.7525*	7.06247	.001	-61.6982	-15.8068
236 UPt-Co	40 UPt-Co	37.2225*	7.06247	.001	14.2768	60.1682
	234 UPt-Co	25.4075*	7.06247	.026	2.4618	48.3532
	872 UPt-Co	-8.3850	7.06247	.836	-31.3307	14.5607
	1656 UPt-Co	-17.1000	7.06247	.210	-40.0457	5.8457
	2250 UPt-Co	-13.3450	7.06247	.444	-36.2907	9.6007
872 UPt-Co	40 UPt-Co	45.6075*	7.06247	.000	22.6618	68.5532
	234 UPt-Co	33.7925*	7.06247	.003	10.8468	56.7382
	236 UPt-Co	8.3850	7.06247	.836	-14.5607	31.3307
	1656 UPt-Co	-8.7150	7.06247	.814	-31.6607	14.2307
	2250 UPt-Co	-4.9600	7.06247	.979	-27.9057	17.9857

Continuación apéndice 4.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Porcentaje de Remoción						
HSD Tukey						
(I) Rangos de color evaluados	(J) Rangos de color evaluados	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1656 UPt-Co	40 UPt-Co	54.3225*	7.06247	.000	31.3768	77.2682
	234 UPt-Co	42.5075*	7.06247	.000	19.5618	65.4532
	236 UPt-Co	17.1000	7.06247	.210	-5.8457	40.0457
	872 UPt-Co	8.7150	7.06247	.814	-14.2307	31.6607
	2250 UPt-Co	3.7550	7.06247	.994	-19.1907	26.7007
2250 UPt-Co	40 UPt-Co	50.5675*	7.06247	.000	27.6218	73.5132
	234 UPt-Co	38.7525*	7.06247	.001	15.8068	61.6982
	236 UPt-Co	13.3450	7.06247	.444	-9.6007	36.2907
	872 UPt-Co	4.9600	7.06247	.979	-17.9857	27.9057
	1656 UPt-Co	-3.7550	7.06247	.994	-26.7007	19.1907
Se basa en las medias observadas.						
El término de error es la media cuadrática (Error) = 99.757.						
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.						

Fuente: elaboración propia, empleando análisis en IBM -SPSS

# ANEXOS

## Anexo 1. Resultados de análisis de cianuro para el bloque 2



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt  
Página Web: ecoquimsa.com  
PBX: (502) 2322 3600

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Sr. Amilcar Racancoj

#### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Laboratorio de Química y Microbiología Dra. Alba Tabarini USAC  
Fecha de monitoreo: 30 de marzo de 2021  
Tipo de muestra: Agua  
Lote: 21-965

Muestra simple o compuesta: Simple  
Responsable del muestreo: CLIENTE  
Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Recipiente utilizado: Vidrio  
Método de preservación: INS04-MUE

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 15 de marzo de 2021  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 15:47  
Fecha de informe: 24 de marzo de 2021

Cianuro <sup>(4)</sup>							
Referencia cliente	Hora de monitoreo	Código de muestra	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Tratamiento de coagulante a base de pronus persica 30 mg /L	14:50	21-965-1	mg/L	0.019	< 0.019	0.070	Spectroquant® Merck 09701
Tratamiento de coagulante a base de pronus persica 140mg /L	14:50	21-965-2	mg/L	0.019	< 0.019	0.070	Spectroquant® Merck 09701
Tratamiento de coagulante a base de pronus persica 70 mg /L	14:50	21-965-3	mg/L	0.019	< 0.019	0.070	Spectroquant® Merck 09701

(1) mg/L = ppm

(2) LMP: Límite Máximo Permisible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/SO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. Edgar del Rozo  
Químico  
Colegiado No. 4943

1/1

Fuente: Laboratorio ECOQUIMSA. Informe resultado de análisis. p.1