

**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUA,
MEDIANTE EL USO DE UN COAGULANTE OBTENIDO A PARTIR DE
RESIDUOS DE CAFÉ**

**LAURA NATALIA NUVÁN VARGAS
MELISSA MARGARITA ROJAS NARIÑO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUA,
MEDIANTE EL USO DE UN COAGULANTE OBTENIDO A PARTIR DE
RESIDUOS DE CAFÉ**

**LAURA NATALIA NUVÁN VARGAS
MELISSA MARGARITA ROJAS NARIÑO**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
DIANA MARCELA CUESTA PARRA
Ingeniera Ambiental**

**Codirector
FELIPE CORREA MAHECHA
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

Nota de Aceptación(Subdirector Operativo de Investigación)

Firma Docente Investigador

Firma Docente Jurado 1

Firma Docente Jurado 2

Bogotá, D.C., Mayo 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA - PEÑA

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director General de Investigación y Proyección Social

Dr. MANUEL CANCELADO JIMÉNEZ

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, como los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios por darme la fortaleza para superar obstáculos a lo largo de mi vida, a las personas más importantes en mi vida mis padres Ana y Mauricio, por su amor incondicional y apoyo para lograr cada una de mis metas, a mi Mamá Casilda por ser esa segunda mamá y darme todos sus consejos que cada día me ayudan a forjarme como una mejor persona. Agradezco a mi prima cristina por su comprensión y por siempre estar dispuesta a escucharme. A mis amigos de toda la carrera quienes se convirtieron en mi segunda familia y me hicieron sentir en casa. Finalmente, a Melissa Rojas por su paciencia, apoyo y por convertirse en una amiga con la cual formamos un gran equipo y logramos culminar este proyecto.

Laura Natalia Nuván Vargas

Va especialmente para mis padres Margarita y Miguel, quien han sido un gran apoyo en este camino, que me permitieron alcanzar todas las metas que me he propuesto, por medio de todo su apoyo, agradezco a mi hermana Jennifer que me ha acompañado siempre y ante todo me ha brindado todo su amor y comprensión desde la distancia. Mi sobrino Samuel que ha sido un gran apoyo y me ha dado grandes felicidades durante estos años de formación. A mi familia que es el mayor ejemplo de unión y perseverancia que se requiere para salir adelante ante cualquier adversidad. A mi compañera Laura Nuvan que con su ayuda y gran apoyo durante este tiempo hizo que la realización de este proyecto fuera una época muy especial llena de risas y así lograr la culminación de este proyecto.

Melissa Margarita Rojas Nariño

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, Ana, Margarita, Mauricio y Miguel; por su apoyo incondicional y por ser la base de nuestra formación como personas y profesionales. A Diana Cuesta, porque sin ella nada hubiese sido posible, por brindarnos su ayuda, tiempo y paciencia para guiarnos en el desarrollo del proyecto. A Felipe Correa por ofrecernos su conocimiento científico y por siempre generar dudas, proponiendo desafíos y averiguar más allá de lo básico. A Blaz Rodríguez presidente del acueducto Acuasol por su amabilidad y generosidad en la toma de muestras de la quebrada Carbonera. A Diego Fajardo por su ayuda y asesoramiento en nuestro proyecto de investigación. A Tecnicafé por acceder evaluar su materia prima y confiar en el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	22
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2 JUSTIFICACIÓN	24
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 CLASIFICACIÓN DE AGUAS	25
2.1.1 Cruda	25
2.1.2 Aguas residuales	25
2.1.3 Aguas residuales municipales	25
2.1.4 Agua servida	25
2.2 COAGULANTES NATURALES Y CONVENCIONALES	25
2.2.1 Polifenoles	26
2.2.2 Café.	27
2.2.2.1 Grano Verde.	29
2.3 RESIDUOS DE CAFÉ.	31
2.4 POLIFENOLES	33
2.5 TRATAMIENTO DE AGUAS	38
2.5.1 Tratamiento Primario.	38
2.5.1.1 Coagulación.	38
2.5.1.2 Compresión de la doble capa eléctrica.	39
2.5.1.3 Adsorción y neutralización de carga.	39
2.5.1.4 Adsorción y puente interparticular.	39
2.5.2 Etapas de la coagulación.	40
2.6 NORMATIVIDAD	41
2.6.1 Resolución 0330 del 2017.	41
2.6.1.1 Título B de la RAS 2000.	42
2.6.2 Resolución 2115 del 2007.	43
2.7 MÉTODOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA	44
2.7.1 Muestreo. (TI0207 – ASTM 1060).	44
2.7.2 Método Nefelométrico. (NTC 4707 – ASTM 2130).	45
2.7.3 Demanda Química de Oxígeno. (NTC 3629- ASTM 5220).	46
2.7.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno. (NTC 3630, ASTM 5210).	47
2.7.5 pH. (ASTM 4500-H).	48
2.8 ANTECEDENTES DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GPS	48
2.8.1 Separación de polifenoles a partir de los residuos de café para evaluar su aplicabilidad como parte de un coagulante natural.	48
2.8.2 Evaluación de los polifenoles extraídos a partir de residuos de Coffea arabica, para la producción de un coagulante natural.	49

3.	CARACTERIZACIÓN DE LA FUENTE HÍDRICA	50
3.1	MUESTREO DE AGUAS	51
3.2	DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	53
3.3	DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	54
4.	ACTIVIDAD DEL COAGULANTE	55
4.1	EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES	55
4.1.1	Humedad de la Muestra.	56
4.1.2	Cuantificación de polifenoles.	58
4.2	PRE EXPERIMENTACIÓN TEST DE JARRAS	60
4.3	EXPERIMENTACIÓN TEST DE JARRAS	64
4.3.1	Dosificación del coagulante.	65
4.4	ÍNDICE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ	69
5.	RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN FINAL AGUA TRATADA	73
5.1	DETERMINACIÓN DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	73
5.2	DETERMINACIÓN DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	74
6.	COMPARACIÓN DEL COAGULANTE NATURAL CON COAGULANTE METÁLICO	75
7.	CONCLUSIONES	77
8.	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFIA	81
	ANEXOS	92

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Comparación de coagulantes naturales y convencionales	26
Tabla 2. Coagulantes naturales en base de polifenoles.	27
Tabla 3. Tipo de defectos del café verde	30
Tabla 4. Composición Química Grano verde	31
Tabla 5. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1.000 g de café cereza.	33
Tabla 6. Polifenoles extraíbles	34
Tabla 7. Nombres y formulas químicas de ácidos clorogénicos en el grano del café	37
Tabla 8. Calidad de la fuente	43
Tabla 9. Características Físicas	44
Tabla 10. Plan Muestreo Temporada de Lluvia.	51
Tabla 11. Plan de muestreo temporada de Sequía	52
Tabla 12. Demanda Química de Oxígeno Inicial	54
Tabla 13 Demanda bioquímica de oxígeno iniciales para temporada de sequía y lluvia .	54
Tabla 14. Porcentaje de Humedad	56
Tabla 15. Porcentaje de humedad presente en los experimentos	58
Tabla 16. Diluciones y absorbancia de curva patrón	58
Tabla 17. absorbancia de muestras obtenidas de polifenoles	59
Tabla 18. mg GAE/g de café en base seca de las muestras obtenidas	59
Tabla 19. Turbidez inicial y final del agua de sequía	62
Tabla 20. Diseño de experimentos pre experimentación	63
Tabla 21. ANOVA Pre experimentación reducción de turbidez.	64
Tabla 22. Referentes bibliográficos para la comparación en la dosificación del coagulante	66
Tabla 23. Diseño de experimentos para el Test de jarras	67
Tabla 24. Turbidez final	67
Tabla 25. ANOVA para los resultados de reducción de Turbidez.	68
Tabla 26. Porcentajes remoción de turbidez para cada experimento	70
Tabla 27. Actividad coagulante	70
Tabla 28. Demanda Química de oxígeno inicial y final, Eficiencia de remoción.	73
Tabla 29. Comparación de eficiencia de remoción DQO de diferentes coagulantes	73
Tabla 30. Demanda bioquímica de oxígeno iniciales y finales, eficiencia de remoción.	74
Tabla 31. Coagulantes y porcentajes de remoción de DBO	74
Tabla 32 Comparación coagulante sulfato de aluminio y coagulante natural.	75
Tabla 33 Comparación de remoción de turbiedad con diferentes coagulantes.	76

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Porcentaje de Humedad Vs. Tiempo Muestra 1	56
Gráfica 2. Porcentaje de Humedad Vs. Tiempo de Muestra 2.	57
Gráfica 3. Porcentaje de Humedad Vs. Tiempo de Muestra 3.	57
Gráfica 4. Curva Patrón de ácido gálico	59
Gráfica 5. pH vs Turbidez a los rangos de concentración elegidos.	62
Gráfica 6. Actividad coagulante	71
Gráfica 7. Porcentaje de Remoción	71

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Taxonomía del fruto del café.	28
Figura 2. Café proporcionado por Tecnicafé	29
Figura 3. Proceso del café por vía húmeda y seca	32
Figura 4. Etapas de la coagulación	41
Figura 5. Muestras de agua provenientes de la quebrada.	52
Figura 6. pH para muestra de Determinación química de oxígeno	53
Figura 7. Muestra de Café proporcionada por Tecnicafé	55
Figura 8. Test de jarras temporada de sequía.	61
Figura 9. Test de Jarras Experimentación.	65
Figura 10. Jarra con pH de 2,08; 1,99; 3,6 concentración del 34%	65
Figura 11. Distribución F de Fisher	68

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cálculo de DQO	47
Ecuación 2. Calculo DBO ₅ sin siembre de inculo.	47
Ecuación 3. mg GAE/g de café en base seca	60
Ecuación 4.Índice de remoción de turbidez.	69
Ecuación 5.Actividad coagulante	69

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Procedimiento de cadena de vigilancia	93
Anexo B. Diagrama de flujo demanda química de oxígeno	94
Anexo C. Diagrama de flujo demanda bioquímica de oxígeno	96
Anexo D. Proceso de extracción de polifenoles por ultrasonido	99
Anexo E. Diseño de experimentos, F Fisher	100

LISTA DE SIMBOLOS

CPF: compuestos fenólicos
CQA: ácidos caféoilquinicos o clorogénicos
DBO5: demanda biológica de Oxígeno
DiCQA: ácidos dicaféoilquinicos
DQO: demanda química de oxígeno
FLA: flavonoides
FQA: ácidos feruloilquinicos
GAE: equivalentes de ácido gálico
ICO: international coffee organization
NTU: unidades Nefelométricas de turbidez
OD: oxígeno Disuelto
TAN: taninos

GLOSARIO

COFFEA ARABICA: café originario de Etiopía, generalmente crece entre los 1,350 y los 2,000 m¹. *Coffea Arábica* es una de las especies que presenta mayor antigüedad en la agricultura y es la especie principal en el cultivo del café²

COLOIDES LIOFÓBICOS: son sustancias de alta insolubilidad en el medio dispersante, estos repelen el solvente que también son llamados soles³, estos son suspensiones de partículas sólidas en un medio líquido las cuales están separadas unas de otras y no sufren interacción con el disolvente ⁴

COLOR: es la tonalidad adquirida por la muestra, dada por las sustancias presentes disueltas en ella, estos están divididos en dos categorías, el color verdadero y el aparente, el verdadero es el que depende únicamente de sustancias disueltas y el aparente es la unión entre sustancias disueltas y suspensión⁵.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: es la medición del oxígeno molecular utilizado para la degradación bioquímica de la materia orgánica e inorgánica, durante un periodo de incubación especificado.⁶

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO: es la cantidad requerida por parte de un oxidante, el cual bajo condiciones controladas, oxidara la materia orgánica presente en una muestra de agua residual⁷.

¹ GÓMEZ, F. Cultivo del café y sus principales plagas que representan un gran impacto económico. En: Ciencias físicas y exactas .Microbiología Industrial. UDES. [En Línea Consultado el 7 Enero 2017]. Disponible en: <https://nanopdf.com/download/cultivo-del-cafe-y-sus-principales-plagas-que_pdf>

² La página de Bedri. Café arábica. [En Línea Consultado el 5 Enero 2017]. Disponible en: <http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Cafe/Especies_de_cafeto/Cafe_arabiga.htm>

³ CASTELLAN, Gilbert. Físicoquímica. Segunda Edición, México: Pearson Educación, 1987. 462-465 p

⁴ ADAMSON, Arthur W., GUZMAN, Martin y NAVARRO, Munne. Química Física., Barcelona: Reverté, 1979. 1166- 1168 p.

⁵ GOYENOLA, Guillermo. Transparencia, color y turbidez; [En línea Consultado el 4 marzo ,2018]. (1 de junio del 2007) Disponible en: <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/transparencia_color_%20turbidez.pdf>

⁶ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Demanda Bioquímica de Oxígeno. NTC-3630. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. 1 – 3p.

⁷ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Demanda Química de Oxígeno. NTC- 3629. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. 1 –3p.

POLIFENOLES: compuestos biosintetizados por medio de plantas, su característica estructural es la presencia de uno o más grupos hidroxilo, unidos a uno o más anillos bencénicos.⁸

TURBIDEZ: es una medida indirecta de la concentración de partículas presentes suspendidas en el agua, en este se mide la reducción en la claridad del agua causada por la dispersión de luz visible por las partículas⁹.

⁸ INSTITUTO DE NUTRICIÓN Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS (INTA), ¿Qué son los polifenoles? [En Línea Consultado el febrero 15 del 2018] (agosto 2012) Disponible en: <http://www.portalantioxidantes.com/?qa_faqs=%C2%BFque-son-los-polifenoles-y-como-se-clasifican>

⁹ CRITTENDER, John C., et al. Principios de tratamiento del agua. Tercera Edición. México: CENGAGE learning editores, S.A. (2012) 1920 p.

RESUMEN

En el cultivo de café se presentan residuos de frutos verdes, los cuales pueden ser aprovechados debido a su contenido de compuestos fenólicos.¹⁰ En esta investigación se efectuó la evaluación de un coagulante a partir de residuos de café *coffea arabica* en muestras de agua natural provenientes de la quebrada Carbonera, de la vereda Subía, en el municipio de Silvania – Cundinamarca. Teniendo en cuenta parámetros iniciales y finales de la Demanda Química de oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) y turbidez. Los datos de turbidez iniciales de la quebrada en temporadas de sequía y lluvia correspondieron a 3,86 y 367 NTU respectivamente. Posteriormente se realizó el proceso de extracción del coagulante mediante la técnica de extracción asistida con ultrasonido por un tiempo de 60 minutos y 40kHz; la concentración final de polifenoles se determinó por el método de cuantificación de Follin Ciocalteu, obteniéndose una concentración del extracto de 385,4 mg GAE /g de café en base seca. Se ejecutó un diseño de experimentos 3², siendo la dosificación y pH los factores, con 3 niveles “1,99; 2,08; 3,77” y “2 mL; 2,4 mL; 3,5 mL” para cada uno. En el método de test de jarras se utilizó una dosificación del 131,1 mg de GAE/ g de café en base seca y es aplicada en un rango de pH entre 1,99 – 3,77. Se encontró que a un pH de 2.08 se da un porcentaje de remoción del 99.47% y una actividad del coagulante de 99.42%. La eficiencia de remoción de DQO y DBO₅ corresponden a 89,28%; 99,04% respectivamente. De acuerdo con la resolución 2115 del 2007¹¹, la fuente cumple con el parámetro de pH, pero en el caso de la turbidez el límite permisible es 2 NTU, esto demuestra que la fuente requiere tratamiento para que el agua sea apta para su consumo.

PALABRAS CLAVE: Coagulante Natural, Calidad del agua, Extracción por ultrasonido, *Coffea arábica*.

ABSTRACT

In the cultivation of the coffee, green fruit residues are present, these residues can be exploited by their phenolic contents¹². In this research, a coagulant was evaluated from coffee bean of species *coffea arabica* coffee residues in natural water samples from the Carbonera creek, in the Subía village, in the municipality of Silvania - Cundinamarca. Taking into account initial and final parameters of the Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD) and

¹⁰ MESA, Shirley; ORTIZ, Aristofeles y ARISTISABAL, Luz. Determinación de antioxidante en subproductos de café producido y comercializado en Risaralda (Colombia), En: Universidad Tecnológica de Pereira virtual [Online], 2017 [Citado 3, mayo, 2018] Disponible en: <http://hdl.handle.net/11059/7597>

¹¹ COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA, Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución. No 2115, junio 22 del 2007, p. 23.

¹² MESA ; ORTIZ, y ARISTISABAL. Determinación de antioxidante en subproductos de café producido y comercializado en Risaralda (Colombia) Op. cit., p.1

turbidity. The initial turbidity data for the creek during the dry season and rain corresponded to 3.86 and 367 NTU. Subsequently, the coagulant extraction process was performed using the ultrasound-assisted extraction technique for a time of 60 minutes and 40kHz; The final concentration of polyphenols was determined by the Follin Ciocalteu quantification method, obtaining an extract concentration of 385.4 mg GAE / g of coffee on a dry basis. An experimental design 3^2 “1,99; 2,08;3,77” and “2 mL; 2,4 mL; 3,5 mL” for each one of them, was executed, the concentration and pH being the factors, with 3 levels. In the jars test method, a dosage of 131.1 mg of GAE / g of coffee on dry basis was used and is applied in a pH range between 1.99 - 3.77. It was found that at a pH of 2.08 a removal percentage of 99.47% and a coagulant activity of 99.42% were found. The removal efficiency of COD and BOD₅ correspond to 89.28%; 99.04% respectively. According to resolution 2115 of 2007¹³, the source complies with the pH parameter, but in the case of turbidity the permissible limit is 2 NTU, this shows that the source requires treatment so that the water is suitable for consumption.

KEYWORDS: Natural coagulant, Water quality, Ultrasound extraction, Coffea arabica.

¹³ COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA, Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op. cit., p 23.

INTRODUCCIÓN

La conservación de los cuerpos de agua es una preocupación mundial, por ser este recurso esencial para la cotidianidad de los seres humanos y el desarrollo del ambiente¹⁴, sin embargo, el hombre ha sido el principal causante de la contaminación que sufren los cuerpos de agua por diferentes actividades agrícolas e industriales¹⁵, estos contaminantes e impurezas gases, polvo y microorganismos producen graves enfermedades o incluso la muerte en poblaciones aledañas a estas fuentes¹⁶. Según la organización mundial de la salud 1100 millones de personas en el mundo no disponen de un tipo de agua con algún tratamiento para su consumo¹⁷, en países desarrollados 1.6 millones de personas mueren cada año a causa de enfermedades gastrointestinales e infecciosas atribuibles a la falta de una fuente segura de consumo y al saneamiento básico inadecuado¹⁸. En Colombia durante el 2015, 3,1 millones de personas no tenían acceso a una fuente de agua potable, situación que se presenta primordialmente en regiones como el Atlántico y el Pacífico¹⁹.

Por lo anterior, se debe realizar un tratamiento primario en los cuerpos de agua que incluye las fases de coagulación, floculación y sedimentación.²⁰ El proceso unitario de coagulación inicia en el momento en que se adicionan sustancias químicas o naturales al agua²¹, los coagulantes metálicos como sales de Hierro y sulfato de Aluminio, han sido los más usados en la clarificación de aguas²², los

¹⁴ SALA, Angels y SALA, Marta. Medio ambiente. En: Organización de estados Iberoamericanos para la educación, la ciencia y la cultura. [En línea Consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en: <<http://www.oei.es/historico/innovamedia/amb01.htm>>

¹⁵ VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano (2016). En revista: CEPIS; p. 105; 2004.

¹⁶ CASTAÑEDA, Recalde R. Acceso equitativo a servicios de agua potable y alcantarillado: una oportunidad para el activismo judicial y social a nivel local. En: REVISTA DE DERECHO. p. 257-291

¹⁷ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud. En: Agua Saneamiento y salud. ASS [En línea Consultado: 10 de febrero 2018] Disponible en:< http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/>

¹⁸ *Ibíd.*, p.20.

¹⁹ AVILA J., Cristian. ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? En: El tiempo (22 de marzo del 2015) [En Línea Consultado: 3 agosto del 2017] Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15445939>>

²⁰ CYCLUS. Tratamiento primario (2001) [En Línea Consultado: 15 marzo del 2018] Disponible en: < <http://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>>

²¹ PEREZ, José, Estado del arte Coagulación. En: Revista CEPIS 1973 [Citado 16, marzo 2018] Disponible en <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=153868&indexSearch=ID>>

²² CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de Agua, Coagulación y floculación. En: CEDAPAL. Abril del 200. [citado 6, marzo 2018] Disponible en <http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154>

cuales generan lodos de metales pesados que son difíciles de tratar.²³ Pese a lo anterior, investigadores realizan estudios como alternativa a los coagulantes naturales; con relación a este tipo de coagulantes, se presentan los conseguidos de residuos de café *Coffea arábica*. Los residuos del café contienen compuestos polifenólicos los cuales presentan comportamientos iónicos similares a los coagulantes convencionales, la incorrecta eliminación de estos residuos ha generado contaminación al ambiente y problemas de salud a los habitantes en poblaciones aledañas a estos cuerpos de agua²⁴. Para evitar lo anterior se pretende reutilizar estos subproductos como coagulantes naturales para tratamiento de agua.

Durante la cosecha del café se presentan pérdidas provenientes de los granos, al no cumplir con el grado de madurez requerido para la producción de la bebida²⁵. Según Tecnicafé, estos residuos de granos verdes representan el 3% de su producción total²⁶. Estos granos se pueden incluir en el proceso de beneficio del fruto pero generan una disminución en la calidad de la bebida.²⁷

Teniendo en cuenta lo anterior el Semillero de Investigación de Procesos de Separación No Convencionales (GPS) de la Fundación Universidad de América, busca extraer los polifenoles de los granos verdes de café para que sean ensayados como coagulantes naturales en el método de test de jarras, con muestras de agua provenientes de la quebrada carbonera, teniendo en cuenta parámetros iniciales y finales de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y turbidez.

²³ PARRA, Yoselin., et. al. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia Wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae). Redieluz, En : Serbiluz, Universidad de Zulia , Venezuela , Enero-junio 2011 [citado 20 ,marzo,2018] Disponible en :<<http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/redieluz/article/view/521/520>>

²⁴ RODRIGUEZ, Nelson. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. En: Cenicafe. citado 20, marzo ,2018] Disponible en <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxx.pdf>>

²⁵ PUERTA, Gloria. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. En:cenicafé [En Línea Consultado: 1 abril del 2018] Disponible en: <[https://www.cenicafe.org/es/publications/arc051\(02\)136-150.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(02)136-150.pdf)>

²⁶ ECHEVERRY, Cesar. Producción grano verde. Mensaje para: Diana Cuesta. Bogotá, En: TECNICAFÉ. (2017) [citado 5 de abril,2018]

²⁷ PUERTA. Gloria. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida, Op. cit. p.148

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar fisicoquímicamente el tratamiento primario efectuado en la muestra de agua cruda proveniente de la quebrada Carbonera del municipio de Silvania en Cundinamarca, por medio del uso de un coagulante natural obtenido a partir de residuos de café.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las condiciones fisicoquímicas iniciales de las muestras obtenidas de la quebrada Carbonera ubicada en el municipio de Silvania Cundinamarca.
- Determinar la acción del coagulante en la muestra de agua procedente de la quebrada Carbonera ubicada en el municipio de Silvania Cundinamarca.
- Comparar la eficiencia de remoción entre el coagulante natural proveniente del café y el coagulante convencional sulfato de aluminio

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La turbidez es tomada como uno de los indicadores más relevantes de la calidad del agua potable, es importante tener controlado este parámetro puesto que los sólidos suspendidos contribuyen a la adhesión de metales pesados y otros compuestos tóxicos²⁸, a su vez el consumo de aguas turbias genera enfermedades gastrointestinales como diarrea y vómito.²⁹

El agua potable es un recurso vital para la vida de los seres humanos, según las Naciones Unidas 159 millones de personas en el mundo requieren diariamente de las aguas superficiales,³⁰ lo cual hace indispensable la disminución de unidades nefelométricas de turbidez en aguas superficiales mediante el uso de un coagulante natural, este podría ser una solución a los problemas de contaminación y de enfermedades mencionadas anteriormente.

El grupo de investigación de procesos de separación no convencionales (GPS) de la Universidad de América busca aportar al desarrollo de la investigación realizando la evaluación de polifenoles provenientes de *coffea arabica* para el tratamiento de aguas naturales, esto parte de la realización de dos trabajos investigativos, el primero “SEPARACIÓN DE POLIFENOLES A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE CAFÉ PARA EVALUAR SU APLICABILIDAD COMO PARTE DE UN COAGULANTE NATURAL”³¹, en el cual se realizaron las pruebas correspondientes para la extracción de polifenoles, utilizando el método asistido por ultrasonido, el segundo trabajo investigativo “EVALUACIÓN DE LOS POLIFENOLES EXTRAÍDOS A PARTIR DE RESIDUOS DE *Coffea arabica*, PARA LA PRODUCCIÓN DE UN COAGULANTE NATURAL”³², donde se efectuaron pruebas en agua patrón utilizando el método de test de jarras con el fin de determinar la eficiencia de los polifenoles. De esta forma se dará una continuidad del proyecto siendo la Fase III la correspondiente a este trabajo investigativo,

²⁸ GONZÁLEZ, Carmen. La turbidez. En Monitoreo de la calidad de agua [Citado 15, marzo, 2018]. Octubre 2011 Disponible en: <<http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>>

²⁹ OTTO, Frank. Cloudy wáter linked to gastrointestinal illnesses. En: Universidad Drexel, agosto,2017 [citado 22 de marzo,2018] Disponible en: <<http://drexel.edu/now/archive/2017/August/Cloudy-water-linked-to-gastrointestinal-illnesses/>>

³⁰ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Agua. Julio de 2017 [En línea Consultado: 10 de marzo 2018] Disponible <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>>

³¹ APONTE, Camilo. y PALOMINO, Mónica., Separación de polifenoles a partir de residuos de café para evaluar su aplicabilidad como parte de un coagulante natural, Ingeniero Químico, Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América, 2016.

³² CHACUA M. Daniela y RODRÍGUEZ M. Mónica A. Evaluación de polifenoles extraídos a partir de residuos de *Coffea arabica*, para la producción de un coagulante natural; Ingeniero Químico, Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América, 2017.

donde se desarrolló una evaluación fisicoquímica del tratamiento primario de agua, mediante el uso de un coagulante obtenido a partir de residuos de café

1.2 JUSTIFICACIÓN

Por medio de este trabajo investigativo se busca disminuir la turbidez presente en aguas naturales realizando un tratamiento primario, implementando un coagulante natural extraído a partir de residuos de café.

Se estudia el comportamiento de los polifenoles como coagulante natural, siendo esta una alternativa para reemplazar los coagulantes convencionales, los cuales han generado efectos adversos en la salud de las personas produciendo enfermedades como Alzheimer³³, a su vez, se realiza el tratamiento de coagulación y sedimentación en la quebrada Carbonera, para la empresa de asociación de usuarios del acueducto la soledad en Sylvania Cundinamarca, las muestras se tomaran en diversas condiciones climáticas de la cuenca.

El desarrollo de este trabajo investigativo presenta relevancia en varios aspectos como sociales, académicos y ambientales, en cuanto a lo social se estima que por la implementación de coagulantes naturales las zonas rurales puedan acceder a aguas de calidad aceptable para su consumo, a su vez, la utilización de coagulantes naturales es una alternativa ecológica y una solución para la disminución de contaminación presente en aguas crudas los cuales están relacionados con la turbidez ya que esta se presenta por partículas no disueltas, o por vertidos que contienen gérmenes dañinos y sedimentos³⁴, con el fin de prevenir enfermedades de tipo diarreico o incluso muertes masivas de animales e incluso muerte de niños³⁵.

³³ LÓPEZ, R. y COTO, J. Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo en la coagulación-floculación de aguas residuales. Septiembre2017, .p. 19

³⁴ DEROOS, Anneclaire et. al. Review of Epidemiological Studies of Drinking-Water Turbidity in Relation to Acute Gastrointestinal Illness. [En línea] disponible en <<https://doi.org/10.1289/EHP1090>>

³⁵ MOLINARES, Viridiana y MOLINA Judith. El derecho humano al agua. En: revista colombiana de derecho internacional 2011

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen las generalidades para desarrollar el proyecto de investigación, en el cual es requerido tomar parámetros, variables y metodologías, las cuales se llevan a cabo para la obtención de polifenoles a partir de residuos de café.

2.1 CLASIFICACIÓN DE AGUAS

Es importante tener en cuenta la clasificación de las fuentes de agua para poder predecir qué tipo de agua contiene la fuente de captación seleccionada, a continuación, se presenta en forma general la clasificación del agua:

2.1.1 Cruda. Son aguas que presentan material disuelto y en suspensión, las cuales no han pasado por ningún tipo de tratamiento.³⁶

2.1.2 Aguas residuales. Aquellas aguas que resultan de ser utilizadas por una industria o población, contienen material disuelto y en suspensión.³⁷

2.1.3 Aguas residuales municipales. Agua residual que presenta desechos humanos y es de principio doméstico, comercial e institucional.³⁸

2.1.4 Agua servida. Son aguas que proceden de desechos de lavamanos, duchas, lavaplatos pero que no presentan materias fecales.³⁹

2.2 COAGULANTES NATURALES Y CONVENCIONALES

Diferentes autores en el mundo han investigado sobre los coagulantes naturales y convencionales, en la tabla 1 se muestra 9 coagulantes usados en tratamiento de aguas, se muestran los siguientes criterios como pH, porcentaje de turbidez, DQO y DBO.

³⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000; Bogotá Colombia, noviembre del 2000. Título E. 145p.

³⁷ *Ibíd.*, p.6.

³⁸ *Ibíd.*, p.6.

³⁹ *Ibíd.*, p.5.

Tabla 1. Comparación de coagulantes naturales y convencionales

Coagulante	Sitio activo	pH	Porcentaje remoción turbidez	concentración	Eficiencia a remoción DQO
Extracto <i>Opuntia Wentiana</i> .	ácido poligalacturónico	7,34	94,84% ⁴⁰	600 mg de extracto de <i>opuntia</i> /L	-
50% Sulfato-50% almidón de plátano. ³⁵	grupos hidroxilos	4,5	94% ⁴¹	75 mg de almidón de plátano /L	-
Extracto Acacia Australia. ⁴²	Grupos Hidroxilos	-	75% ³⁶	12,5 mg Acacia /L	-
Cloruro de hierro III ⁴³	hidrólisis ion metálico y grupos hidroxilo	6,8	97,90%	627 mg/L	62,2

Según Laines el sulfato de aluminio es uno de los coagulantes más utilizados en la clarificación de aguas, el cual alcanza un porcentaje de remoción de turbidez correspondiente a 99,80%⁴⁴ siendo este la mejor remoción de turbidez de los coagulantes reportados en la tabla 1, a su vez, la concentración de este resulta ser la menor dentro de los 9 coagulantes, pero se busca una alternativa ecológica para minimizar el uso, puesto que una concentración de aluminio superior de 0,1 ppm en agua puede ser factor de riesgo provocando enfermedades.⁴⁵

2.2.1 Polifenoles. Implementados como coagulante natural. Partiendo de diferentes referentes que investigan los polifenoles como coagulante natural y a

⁴⁰ PARRA. Op. Cit., p.31.

⁴¹ LAINES, José. et. al. Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. En scielo. Caracas, enero 2008. [Citado 23 marzo 2018] Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100006>

⁴² BELTRÁN, Heredia y SÁNCHEZ, Martín; DÁVILA-Acedo (2011). Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. J. Haz. Mat. 186:1704-1712

⁴³ GURDIÁN, Róger y COTO, Juana., (2010) Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindos indica*) [citado 23 de marzo, 2018] En: la coagulación floculación de aguas residuales, Tecnología en Marcha, Vol. 24, N° 2, p.23. Disponible en: <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/138>

⁴⁴ COGOLLO, J. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados. En: Universidad Nacional de Colombia.(2010) [citado 23 de marzo, 2018] Disponible en : <<http://www.redalyc.org/pdf/496/49622372002.pdf>>

⁴⁵ PARRA. Op. Cit., p.28

su vez , teniendo en cuenta el sitio activo de los taninos o polifenoles, los cuales son catiónicos⁴⁶, esto permite realizar el proceso de neutralización de cargas y así poder ser implementados como coagulantes⁴⁷, algunos de estos ejemplos son expuestos en la tabla 2.

Tabla 2. Coagulantes naturales en base de polifenoles.

Materia Prima	Agua a tratar	Dosificación
<i>Acacia mearnsii</i> ⁴⁸	Agua de rio con surfactante	150 mg/L
Cactus latifaria ⁴⁹	Agua con caolín	10 mg/L
Bellotas Turcas ⁵⁰	Agua residual domestica	0.03mg taninos/L
Extracto tanino ⁵¹	Aguas residual Municipal	100mg/L
ExtractoTanino Silvafloc ⁵²	Aguas superficiales rio	20 mg/L
Extracto Tanfloc ⁵³	Aguas residuales Municipales	150mg/L

2.2.2 Café. El café es uno de los productos básicos más importantes en la canasta familiar de las personas⁵⁴, su demanda ha logrado que alrededor de 50 países en zonas tropicales de Asia, África, y Latinoamérica produzcan este fruto.⁵⁵

⁴⁶ BOLTO, Brian y GREGORY, John. Organic polyelectrolytes in water treatment. En: water research (2007) vol. 41. 2301 – 2324

⁴⁷ Ibid., p.2302

⁴⁸ BELTRÁN, Heredia; SÁNCHEZ, Martin y GÓMEZ, Muñoz. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimization studies. En: Chemical Engineering Journal septiembre 2010. Vol. 162. 1019-1025

⁴⁹ YANG YIN, Chun. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. En: Process Biochemistry (2010). Vol 45. 1437–1444

⁵⁰ OZCAR, Mahmut y SENGIL, Ayhan (2002) The Use of Tannins from Turkish Acorns (Valonia) in Water Treatment as a Coagulant and Coagulant Aid. En: Turkish J. Eng. Env. Sci. 26: 255 -263.

⁵¹BELTRAN, Heredia; SÁNCHEZ, Martin; DÁVILA, Acero. Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. En: Science direct. 14 diciembre 2010. Vol 186. 1704-1712

⁵² SÁNCHEZ, Martín y GONZÁLEZ, Velasco. Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*). En: Elsevier. Chemical Engineering Journal vol 165 (2010) 851–858

⁵³ BELTRÁN, Heredia y SÁNCHEZ, Martín. (2009) Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. Vol 249 353–358

⁵⁴ PERGAMINO. Consumo de café, tendencia a pesar de la incertidumbre económica.(2011)][En Línea Consultado 11 de febrero del 2018]. Disponible en:

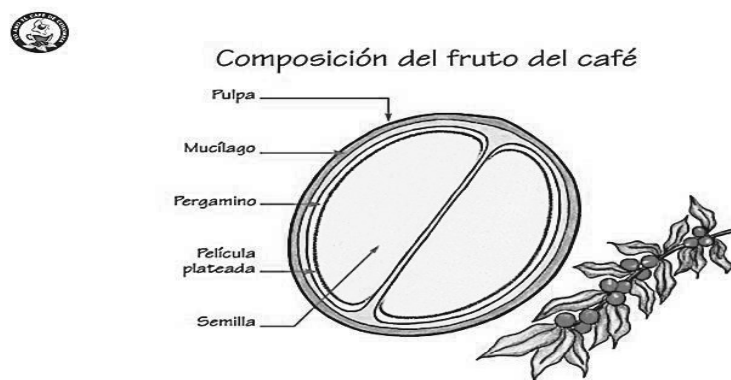
<https://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/el_consumo_de_cafe_gourmet_una_tendencia_que_se_mantiene_a_pesar_de_la_ince>

⁵⁵CAFÉ DE COLOMBIA. (Producto especial. En: Café de Colombia. (2010)[En Línea Consultado 10 de febrero del 2018]. Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/>

Se ha convertido en un producto de importancia en el comercio internacional⁵⁶, según García, Colombia se ha posicionado como el principal país productor de café arábica lavado y el tercer productor de café en el mundo.⁵⁷

El café es un arbusto que crece en la región tropical de la tierra.⁵⁸El género de café de este trabajo investigativo es *Coffea*; especie *Arábica* y familia de las rubiáceas.⁵⁹ Esta especie Constituye más del 60% en la comercialización mundial del café; se cultiva a una temperaturas entre 18 y 23 °C.⁶⁰En el fruto del arbusto se encuentran incluidos los granos de café los cuales pueden adquirir una tonalidad roja y verde, en estado maduro su tonalidad es roja y se le denomina cereza.⁶¹ Cada cereza contiene una cubierta exterior llamada pulpa, seguido de una sustancia mucilaginosa, pergamino, película plateada y finalmente el grano⁶²Taxonomía que se presenta en la figura 1.

Figura 1. Taxonomía del fruto del café.



Fuente. CULTURA CAFÉTERA. Composición del fruto de café. En: Yo amo el café de Colombia. Junio 5 del 2016 [En Línea. Consultado 3 de abril de 2018] Disponible en: < <http://www.yoamoelcafede Colombia.com/2016/06/05/composición-del-fruto-del-café/> >

⁵⁶ CENTRO DE COMERCIO INTERNACIONAL. Exportaciones mundiales de café. [En Línea Consultado 11 de febrero del 2018]. Disponible en: <<http://www.intracen.org/guia-del-cafe/el-comercio-mundial-del-cafe/Exportaciones-mundiales-de-cafe-datos-basicos/>>

⁵⁷ GARCÍA, Alfredo. (2014). Colombia, otra vez tercer productor mundial de café. En: El país. [En Línea Consultado 11 de febrero del 2018]. Disponible en: <<http://www.elpais.com.co/economia/colombia-otra-vez-tercer-productor-mundial-de-cafe.html>>

⁵⁸ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El árbol y el entorno. En: Café de Colombia. [En Línea Consultado 10 de febrero del 2018]. Disponible en: <http://www.cafédecolombia.com/particulares/es/sobre_el_café/el_café/el_arbol_y_el_entorno>

⁵⁹ *Ibíd.*, p.30.

⁶⁰ INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. Aspectos Botánicos. En: International coffee organization. [En línea Consultado 3 de abr. de 18] Disponible en : <http://www.ico.org/es/botanical_c.asp>

⁶¹ *Ibíd.*, p.30

⁶² *Ibíd.*, p.30

2.2.2.1 Grano Verde. El grano verde como se ve en la figura 2, también denominado café verde, no demuestra sabor o aroma propio.⁶³ Se determina como un grano inmaduro que al realizar procesos de secado y trillado resulta un grano vinagre y negro que perjudica la calidad física y organoléptica, manteniendo la pulpa de color verde.⁶⁴ Según Puerta a partir de un 2,5% de café cosechado verde, se rechazan desde el 30% de las tazas por defectos como suciedad, sabores desagradables.⁶⁵

La calidad de café es uno de los partes fundamentales en cuanto a la exportación del café, esta confianza se genera cuando el producto entregado satisface las expectativas de clientes y consumidores en cuanto a sus características físicas y sensoriales.⁶⁶

Figura 2. Café proporcionado por Tecnicafé



Los granos de café verde (inmaduros) no son utilizados en la producción de la bebida final por presentar diferentes tipos de defectos,⁶⁷ como se describen en la tabla 3:

⁶³ DÍAZ, Vanessa. y VÁSQUEZ, Eva. Determinación de la composición y la capacidad antioxidante de aceites obtenidos por extracción con CO₂ supercrítico de granos de café con diferente grado de tostión. Título de Química. Bucaramanga.- Santander: Universidad industrial de Santander, Facultad de ciencias, 2011 118 p.


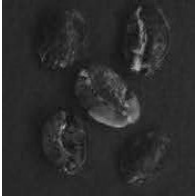


⁶⁴ PUERTA, Gloria. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. Op., cit. p .136.

⁶⁵ *Ibíd.* , p.136.

⁶⁶ CAFÉ DE COLOMBIA. Defectos del café verde. En: Federación nacional de cafeteros (2010) [En línea consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en: CAFÉ DE COLOMBIA. Defectos del café verde. En: Federación nacional de cafeteros (2010) [En línea consultado 10 de febrero del 2018]

⁶⁷ CAFÉ DE COLOMBIA. Defectos del café verde. En: Federación nacional de cafeteros (2010) [En línea consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en:

Tabla 3. Tipo de defectos del café verde

Tipo de defecto	Descripción	Imagen
Inmaduro	Grano de color verdoso o gris claro, presenta superficie marchita y tamaño menor que el normal, las causas son debido a la falta de abono o recolección de grano verde ⁶⁸ .	
Negro Total o parcial	Grano con coloración del pardo al negro, encogido, arrugado, las causas que se pudieron presentar: ausencia de agua durante el proceso del fruto, malos secados.	
Picado por Insectos	Grano con pequeños orificios que es producido por el ataque de insectos como el gorgojo y la broca.	
Cardenillo	Grano afectado por hongos.	

Fuente CAFÉ DE COLOMBIA. Defectos del café verde. En: Federación nacional de cafeteros (2010) [En línea consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en: http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/regulacion_nacional/exportadores/2831_calidades_de_exportacion/

Estos defectos del café inmaduro tienen relevancia en la calidad de la bebida, la presencia de café verde en esta genera un sabor amargo el cual es indeseable, este se da debido a la presencia ácidos clorogénicos,⁶⁹ para obtener bebidas de café con calidad es necesario realizar recolecciones selectivas frutos maduros.⁷⁰

http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/regulacion_nacional/exportadores/2831_calidades_de_exportacion/

⁶⁸ Ibid., p.30

⁶⁹ PUERTA Gloria. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. Op., cit. p.136.

⁷⁰ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. El cultivo. En: café de Colombia. (2010). [En línea consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cultivo/

En la tabla 4 se presentan diferentes componentes en el grano verde, siendo los polisacáridos totales los componentes con mayor composición en base de medida seca.⁷¹

Tabla 4. Composición Química Grano verde

COMPONENTE	COMPOSICIÓN % (base de medida seca)
Minerales	3.0-4.2
Cafeína	0.9-1.2
Trigonelina	1.0-1.2
Lípidos	12.0-18.0
Ácidos clorogénicos	5.5-8.0
Ácidos Alifáticos	1.5-2.0
Oligosacáridos	6.0-8.0
Polisacáridos Totales	50.0-55.0
Aminoácidos	2.0
Proteínas	11.0-13.0

Fuente CENICAFÉ composición de los granos verdes de café En: Federación Nacional de Cafeteros (mayo 1975) [citado 10, octubre, 2018]. Disponible en: <<http://biblioteca.cenicafé.org/bitstream/10778/740/2/1%20Composici%C3%B3n%20granos%20caf%C3%A9%20verde%20y%20tostado.pdf>>

2.3 RESIDUOS DE CAFÉ

El proceso del café se puede realizar por vía húmeda y seca.⁷² Como se puede observar en la figura 3 el método húmedo se recolecta los granos maduros de la planta, se realiza un lavado, despulpado posteriormente los granos de café tienen un mucilago que se fermenta⁷³, luego se seca y se realiza una separación de cascara y grano finalmente se somete al proceso de tueste, se muele y se envasa⁷⁴. El método seco, o método natural, es el más sencillo y requiere poca maquinaria, por lo que es relativamente barato, simplemente hay que limpiar, secar al sol y descascarillar el fruto.⁷⁵

⁷¹ CENICAFÉ composición de los granos verdes de café En: Federación Nacional de Cafeteros (mayo 1975) [citado 10, octubre, 2018]. Disponible en: <<http://biblioteca.cenicafé.org/bitstream/10778/740/2/1%20Composici%C3%B3n%20granos%20caf%C3%A9%20verde%20y%20tostado.pdf>>

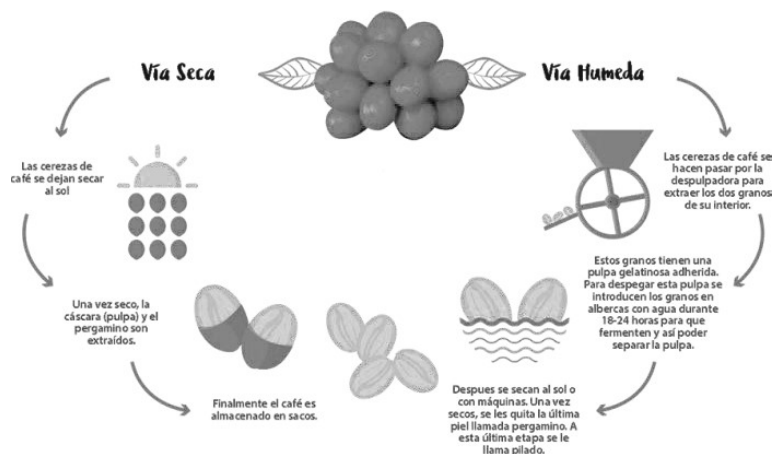
⁷² PARRA, Rober. La ciencia del café. En: Hablando de ciencia (Octubre 20,2014) [En línea consultado 12 de febrero del 2018] Disponible en: <<http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2014/10/20/la-ciencia-del-café-i-de-la-planta-a-la-taza/>>

⁷³ *Ibíd.*, p.34

⁷⁴ PARRA .Op. Cit., p.34.

⁷⁵ PARRA Op. Cit., p.34.

Figura 3. Proceso del café por vía húmeda y seca



Fuente COOPRO NARANJO. Cultivo. En: Coopronaranjo [En Línea consultado 3 de abril de 2018] Disponible en <https://www.coopronaranjo.rl.com/nuestro-cultivo/>

Como lo menciona Cenicafé, en el proceso de producción del café, únicamente se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco para la preparación final de la bebida y el 95% constituyen los residuos orgánicos que contienen diferentes composiciones químicas.⁷⁶ De estos residuos orgánicos hacen parte los frutos de tonalidad verde que se caen durante la recolección o que selectivamente se retiran del café recolectado; la pulpa y el mucílago producidos en el proceso del fruto.⁷⁷

En cada etapa del proceso de café se obtiene un subproducto, como se puede observar en la tabla 5 el proceso de despulpado es el que deja mayor pérdida de subproducto de pulpa fresca, esta pulpa es el primer subproducto que se obtiene del procesamiento del fruto de café y representa en base húmeda alrededor del 43,6% del peso del fruto fresco.⁷⁸

⁷⁶ CENICAFÉ. Cultivemos café, manejo de subproductos En: Centro nacional de investigaciones de café (31 de marzo de 2016) [En línea Consultado febrero 20 del 2018] Disponible en https://www.cenicafé.org/es/index.php/cultivemos_café/manejo_de_subproductos.

⁷⁷ *Ibíd.*, p.33

⁷⁸ RODRIGUEZ, Nelson y ZAMBRANO, Diego. Subproductos del café: Fuente de energía renovable. En: CENICAFÉ, Avances técnicos (marzo 2010) [En línea consultado 15 de febrero del 2018] Disponible en: <https://www.cenicafé.org/es/publications/avt0393.pdf>.

Tabla 5. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1.000 g de café cereza.

PROCESO	PÉRDIDA (%)	RESIDUO OBTENIDO
Despulpado	43.6	Pulpa fresca
Desmucilaginado	14.9	Mucilago
Secado	17.1	Agua
trilla	4.2	Agua
Torrefacción	2.2	Volátiles
Preparación bebida	10.4	Borra
Pérdida acumulada		92.4%

Fuente RODRIGUEZ, Nelson. y ZAMBRANO, Diego. Subproductos del café: Fuente de energía renovable. En: GENICAFÉ, Avances técnicos (marzo 2010) [En línea consultado 15 de febrero del 2018] Disponible en: <<https://www.cenicafé.org/es/publications/avt0393.pdf>>

2.4 POLIFENOLES

Los polifenoles son usados como coagulantes debido a que al adicionarlos al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, para formar un precipitado.⁷⁹ Los polifenoles al tener en su estructura grupos hidroxilos y carboxilos son capaces de donar un protón a una molécula de agua para la formación de especies hidrolizadas con carga positiva.⁸⁰

Los compuestos polifenólicos (CPF) son metabolitos secundarios de las plantas, caracterizados porque en su estructura contienen por lo menos un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo⁸¹. Los polifenoles como ácido gálico, caseico y ferúlico son sustancias capaces de donar un protón a una molécula de agua, para formar el ion hidronio.⁸² Esto se ve influenciado en el proceso de coagulación, ya que, al agregar el coagulante natural proveniente de residuos de café, solo se producen reacciones químicas en pH ácidos y posteriormente formación de precipitado.

⁷⁹ CARDENAS. Op.cit., p.5.

⁸⁰ BARRENECHEA, Ada. Coagulación. En: Manual tomo I Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú. Organización panamericana de la salud, 2004.p.179

⁸¹ MERCADO Gilberto, CARRILLO Laura, MEDRANO Abraham y ÁLVAREZ Emilio. Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. En: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez [online],4 de noviembre 2012. [citado 1 marzo,2018] Disponible en <<http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v28n1/05revision05.pdf>>

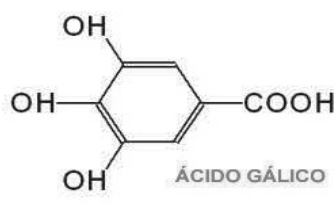

⁸² AYORA, María. Equilibrio Acido-Base. En : Universidad de Jaén (2005) [citado 8, marzo 2018] Disponible en: <http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/bases%20quimicas/TEMA%2011.pdf>

Estos compuestos polifenólicos son importantes en la dieta de alimentos de las personas por su actividad antioxidante, previniendo enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer.⁸³

Los compuestos polifenólicos se pueden clasificar en polifenoles extraíbles (PE) y no extraíbles, los extraíbles que son los que se solubilizan en los disolventes acuoso-orgánicos y los polifenoles no extraíbles (PNE), los que quedan retenidos en el residuo resultante después de la extracción acuoso-orgánica.⁸⁴

Este trabajo investigativo se realizó con polifenoles extraíbles, como se puede ver en la tabla 6 los diferentes polifenoles extraíbles:

Tabla 6. Polifenoles extraíbles

POLIFENOLES EXTRAIBLES	NOMBRES	ESTRUCTURA
ÁCIDOS BENZOICOS	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	 <p>ÁCIDO GÁLICO 85</p>
	Acido gálico	
	Ácido protocatéquico	
	Ácido Vanílico	
	Ácido elágico	
ÁCIDOS HIDROXICINÁMICOS	Ácido tánico	 <p>ácido cafeico 86</p>
	Ácido clorogénico	
	Ácido caféico	
	Ácido ferúlico	
	Ácido sináptico	

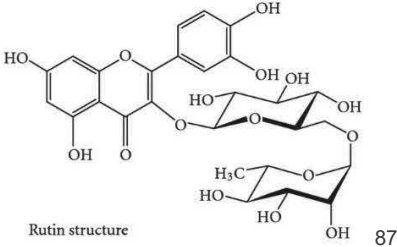
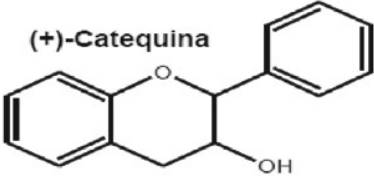
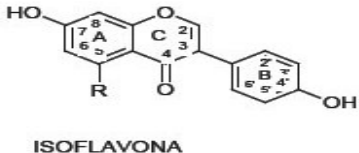
⁸³ BARBERÁN, Tomás. Los polifenoles de los alimentos y la salud. En Revista Alimentación[online] (2013), [citado 3 marzo,2018]. Disponible en <<http://digital.csic.es/bitstream/10261/18042/3/lectura.PDF.pdf>>

⁸⁴ MARTÍNEZ, Sara. Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: metodología para su determinación e identificación. Tesis doctoral. Madrid.: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia .2010.96p.

⁸⁵ Acido Gálico [Anónimo] [citado 22, marzo,2018]Disponible en <<http://www.fotoseimagenes.net/acido-galico>>

⁸⁶ Ácidos Fenólicos [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en: <http://www.plantasyhongos.es/glosario/acidos_fenolicos.htm>

Tabla 6. (Continuación)

POLIFENOLES EXTRAIBLES	NOMBRES	ESTRUCTURA
FLAVONOLES	Rutina Quercetina Miricetina Kaemferol	 <p>Rutin structure 87</p>
FLAVONOLES	Catequina Epicatequina Galocatequina Epicatequin galato	 <p>(+) -Catequina 88</p>
ISOFLAVONAS	Daicina Genistina Daiceina Genisteina	 <p>ISOFLAVONA 89</p>

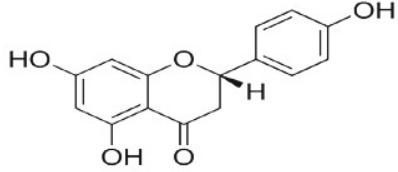

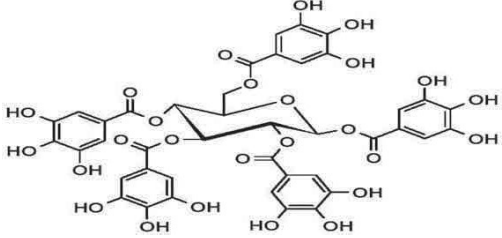
Fuente MARTÍNEZ, Sara. Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: metodología para su determinación e identificación. Tesis doctoral. Madrid.: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia .2010.96p.

⁸⁷ Chemical structure of rutin [citado 22, marzo,2018] Disponible en <<https://www.hindawi.com/journals/ecam/2012/980276/fig1/>>

⁸⁸ Catequina [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Estructura-quimica-de-la-catequina-un-flavonoide_fig6_317332901>

⁸⁹ Isoflavonas [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <<http://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Paginas/articulo03.aspx>>

Tabla 6. (Continuación)

POLIFENOLES EXTRAIBLES	NOMBRES	ESTRUCTURA
FLAVANONAS	Naringenina Naringina Hesperetina Hesperidina	
	Naringenina 90	
ANTOCIANIDIN AS	Malvidina Cianidina Delfinidina Petunidina Glicosidos de antocianidinas	
	91	
TANINOS HIDROLIZADOS	Oligómeros de ácidos benzoicos y ácidos hidroxycinamicos	
		92

Fuente MARTÍNEZ, Sara. Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: metodología para su determinación e identificación. Tesis doctoral. Madrid.: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia .2010.96p.

2.4.1 Polifenoles en el café. En Colombia el café de especie Arábica contiene un promedio de ácidos clorogénicos entre 5,24% a 7,61%.⁹³ Según FARAH los ácidos clorogénicos contenidos en el grano verde de café se encuentran alrededor de 5.76% caféoilquinico , 0,25 feruloíl-quínicos y 0,87 dicaféoilquinicos en base seca⁹⁴. Se puede observar en la tabla 6 los tipos de ácidos clorogénicos que se

⁹⁰Naringenina [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <<https://uniiquim.iquimica.unam.mx/compuesto-item/naringenina-1198/>>

⁹¹Antocianidinas [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Antocianidinas_fig1_316173675>

⁹² MERCADO Op. cit., p.2.

⁹³PUERTA, Gloria. Composición Química de una taza de café. Avances Técnicos En: CENICAFÉ. Diciembre del 2011 [citado 3, marzo,2018] Disponible en : <<https://www.cenicafé.org/es/publications/avt04142.pdf>>

⁹⁴FARAH Adriana y MARINO Carmen. Phenolic compounds in coffee En: Scielo Analytics. Laboratorio de Bioquímica Nutricional de Alimentos. Departamento de Bioquímica, Instituto de

encuentran en el grano de café, siendo el 5-CQA el ácido fenólico más abundante en el café, el di-CQA es el más abundante en los granos de café inmaduro(verde).⁹⁵

Tabla 7. Nombres y formulas químicas de ácidos clorogénicos en el grano del café

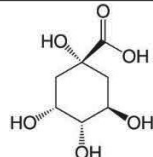

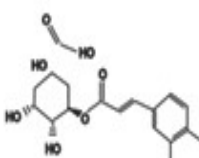
Nombre Común	Formula Molecular y nombres químicos	Formula estructural	Obtención
Quínico QA	C ₇ H ₁₂ O ₆ 1,3,4,5-Tetrahidroxi-(1 α ,3R,4 α ,5R)Ciclo hexano-Carboxílico	⁹⁶ 	Quina y café.
Caféico CA	C ₉ H ₈ O ₄ 3,4-Dihidroxi-cinámico3-(3,4-Dihidroxifenil)-2-propenoico.	 ácido cafeico	Arándano, manzana, cidra, orégano, verbena, Tomillo, café.
Clorogénico 5-caféoil-quinico 5-CQA	C ₁₆ H ₁₈ O ₉ 1,4,5-tridroxi ciclo hexano carboxílico3-(3,4-dihidroxicinamato)3-[[3-(3,4-Dihidroxifenil)-1-oxo-2-propenil]oxi]-1,4,5,-tri-hidroxiciclohexano-carboxilico		Café, arándanos, manzana Cidra. Es el ácido fenólico más abundante en el café.

Tabla 7. (Continuación)

Nombre	Formula Molecular	Formula estructural	Obtención
--------	-------------------	---------------------	-----------

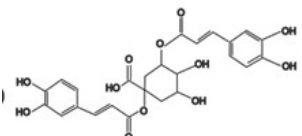
Química, Universidad Federal de Rio de Janeiro. Marzo del 2016 [Citado 4, marzo,2018]. Disponible en :< http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202006000100003>

⁹⁵ MARÍN Carolina y PUERTA, Gloria. Contenido de ácidos clorogénicos en granos de *Coffea arabica* y *C. canephora*, Según el desarrollo del fruto. En: *Cenicafé* 59(1):7-28.2008[citado 4 marzo,2018] Disponible en: <[https://www.cenicafé.org/es/publications/arc059\(01\)007-028.pdf](https://www.cenicafé.org/es/publications/arc059(01)007-028.pdf)>

⁹⁶ Quínico [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <<https://sew.blob.core.windows.net/upload/12374/web/product/thumb/-quinic-acid.jpg>>

⁹⁷ Caféico [Anónimo] [citado 23, marzo,2018] Disponible en <<http://www.plantasyhongos.es/swf/cafeico.jpg>>

⁹⁸ MARÍN Carolina y PUERTA, Gloria. Contenido de ácidos clorogénicos en granos de *Coffea arabica* y *C. canephora*, Según el desarrollo del fruto. En: *Cenicafé* 59(1):7-28.2008[citado 4 marzo,2018] Disponible en: <[https://www.cenicafé.org/es/publications/arc059\(01\)007-028.pdf](https://www.cenicafé.org/es/publications/arc059(01)007-028.pdf)>

Común	nombres químicos		
1,5-di- cafféoil- quínico 1,5 di- CQA	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₂ 3,4-Dihydroxi-ciclohexano carboxílico 1,5- dihidroxicinamato)	99	Granos de café verde, girasoles
			
<p>Fuente MARÍN Carolina y PUERTA, Gloria. Contenido de ácidos clorogénicos en granos de <i>Coffea arabica</i> y <i>C. canephora</i>, Según el desarrollo del fruto. En: <i>Cenicafé</i> 59(1):7-28.2008[citado 4 marzo,2018] Disponible en: <https://www.cenicafé.org/es/publications/arc059(01)007-028.pdf></p>			

2.5 TRATAMIENTO DE AGUAS

El procedimiento más antiguo que el ser humano ha utilizado para adquirir una mejor calidad de agua, logrando la eliminación de residuos y mejorando su calidad en cuanto a olor, color, sabor es el tratamiento de aguas.¹⁰⁰ Desde tiempos remotos el agua se trataba con métodos muy sencillos como llevándola al punto de ebullición, exponiéndola al sol, sedimentándola o filtrándola a través de arena o grava.¹⁰¹ Para el desarrollo del proyecto se realizará un tratamiento fisicoquímico donde intervienen proceso de coagulación y sedimentación.

2.5.1 Tratamiento Primario. En este tratamiento primario se retira una cantidad de los sólidos suspendidos y materia orgánica en las aguas residuales y superficiales, mediante el proceso físico de sedimentación.¹⁰² Este tratamiento incluye la fase de coagulación donde se puede agregar coagulantes para lograr un incremento en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica.¹⁰³ En este trabajo investigativo se realizó este tratamiento en las muestras de agua provenientes de la quebrada Carbonera en el municipio de Sylvania Cundinamarca.

2.5.1.1 Coagulación. Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas.¹⁰⁴ La coagulación implica la adición de un coagulante con el fin de acondicionar la materia suspendida, coloidal y disuelta para el procesamiento subsiguiente

⁹⁹ MARÍN. Op. Cit., p.34.

¹⁰⁰ SALAMANCA, Eduard (2016). Tratamiento De Aguas Para El Consumo Humano. En: revista modulo arquitectura CUC. Vol. 17, no. 2, p. 29-48.

¹⁰¹ *Ibíd.*, p.35

¹⁰² MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Op. Cit., p.54

¹⁰³ *Ibíd.*, p.35.

¹⁰⁴ RAMIREZ F. El agua potable. . [citado 5, marzo 2018] Disponible en <<http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>>

mediante floculación, donde posteriormente el floculo puede eliminarse por sedimentación.¹⁰⁵La coagulación se da por una serie de mecanismos de coagulación y floculación estos se presentan por la desestabilización entre partículas ¹⁰⁶y se clasifican de la siguiente forma:

2.5.1.2 Compresión de la doble capa eléctrica. El principio de este mecanismo es el fenómeno de la desestabilización de un coloide por un coagulante¹⁰⁷, la doble capa eléctrica comprende la capa difusa y la capa fija de Stern, cuando se aumenta la concentración del electrolito y se incorporan contra iones en la capa difusa se presenta el fenómeno de compresión de la doble capa eléctrica.¹⁰⁸

2.5.1.3 Adsorción y neutralización de carga. Las partículas generalmente se encuentran con carga negativa en su superficie, al agregar iones positivos contenidos en una solución de agua, forman una neutralización de carga y la primera capa adherida al coloide.¹⁰⁹

2.5.1.4 Adsorción y puente interparticular. En el proceso de coagulación se utilizan polímeros que presentan sitios ionizables a lo largo de la cadena y que pueden actuar como coagulantes. ¹¹⁰

Estos polímeros pueden ser agrupados en catiónicos, aniónicos y anfóteros, los primeros en su estructura presentan sitios ionizables positivos, los aniónicos tienen sitios ionizables negativos y los anfóteros o no iónicos; no presentan sitios ionizables.¹¹¹

Utilizando el polímero aniónicos se logra un tratamiento más económico porque los sitios ionizables negativos del polímero absorben las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por lo anterior las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales; a su vez, se puede dar una reestabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.¹¹²

¹⁰⁵ CRITTENDEN J., et al. Principios de tratamiento del agua. Tercera Edición. México: CENGAGE learning editores, S.A., (2012) 1920 p.

¹⁰⁶ *Ibíd.*, p.20

¹⁰⁷ BARRENECHEA. Op.Cit., p.168

¹⁰⁸ CRITTENDEN J. Op.Cit., p.145

¹⁰⁹ CARDENAS. Op. Cit., p.40

¹¹⁰ BARRENECHEA Op. Cit., p.192.

¹¹¹*Ibíd.*, p.193.

¹¹² CARDENAS. Op. Cit., p.13

2.5.2 Etapas de la coagulación. Se encuentran varias etapas en el proceso de coagulación las cuales se presentan a continuación, en la figura 4 se presenta las anteriores etapas en el proceso de coagulación:

1) Inicialmente al agregar el coagulante se produce una hidrólisis de los iones metálicos multivalentes, donde la partícula generalmente se encuentra negativa en la superficie y alrededor se encuentran los contra iones de carga positiva. ¹¹³

2) En los sitios libres de la molécula se presenta una adsorción de las especies hidrolíticas con el fin de que se presente el fenómeno de la desestabilización del coloide. ¹¹⁴

3) y 4) Posteriormente se presenta la aglomeración de las partículas desestabilizadas por medio de un puente entre las partículas y el polímero. ¹¹⁵

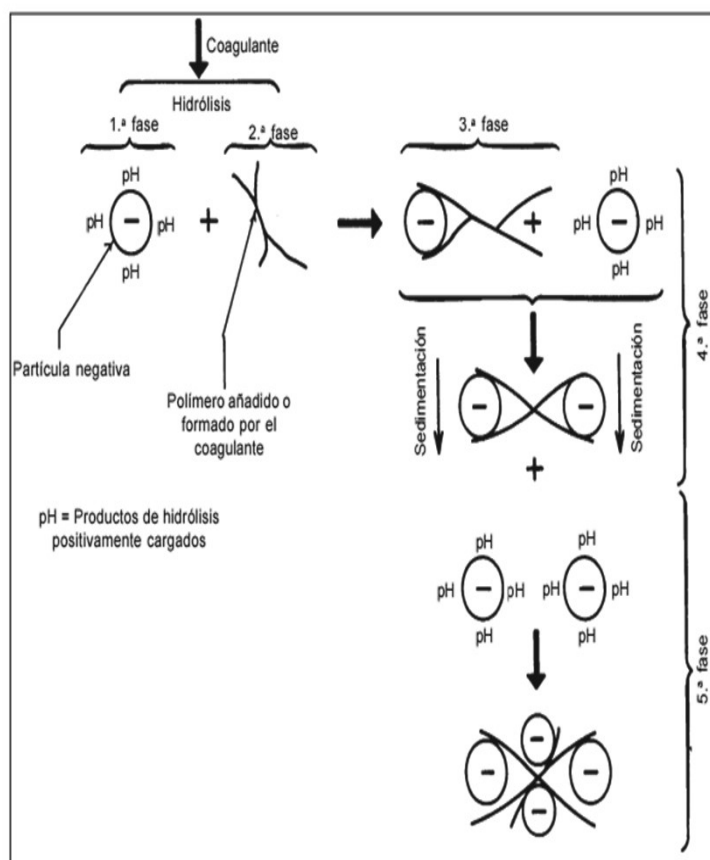
5) Finalmente se da el fenómeno de formación de los flóculos o flocs. ¹¹⁶

¹¹³ BARRENECHEA. Op. Cit., p.193.

¹¹⁴ *Ibíd.*, p.193.

¹¹⁵ *Ibíd.*, p.193.

Figura 4. Etapas de la coagulación



FUENTE BARRENECHEA, Ada. Coagulación. En: Manual tomo I Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú, Organización panamericana de la salud, 2004. p. 155-219

2.6 NORMATIVIDAD

Para realizar la comparación normativa se requiere tener en cuenta las siguientes resoluciones, ya que estas dan los parámetros y valores máximos permisibles para el consumo humano.

2.6.1 Resolución 0330 del 2017. Esta resolución expedida por el ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio; entro en vigencia el año 2017 reemplazando Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS¹¹⁷

¹¹⁷COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 del 2017. Junio 08 del 2017, p. 128

La resolución 0330 explica los pasos y requerimientos para el diseño, obra, puesta en marcha, operación y mantenimiento de servicios utilizados para la disposición del agua¹¹⁸.

En la resolución se encuentra con los requerimientos para la caracterización del agua residual lo cual se contempla en el artículo 169, donde se definen los parámetros que se deben medir para la caracterización los cuales son¹¹⁹:

- Temperatura ambiente
- Temperatura del agua
- pH
- DBO5
- DQO
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos sedimentables
- Grasas
- Aceites
- Oxígeno Disuelto

2.6.1.1 Título B de la RAS 2000. La calidad del agua de la fuente se determinará por medio del capítulo B.3, B.3.3.2.1, este determina la caracterización que se debe realizar y de esta forma determinar el tratamiento requerido para la potabilización de la fuente. En la tabla 8, se muestra las normas requeridas para los análisis y nivel de calidad de acuerdo al grado de polución.¹²⁰

¹¹⁸ Ibíd.,p. 47

¹¹⁹ Ibíd.,p. 47

¹²⁰ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico; Noviembre del 2000, RAS- 2000 45- 53p.

Tabla 8. Calidad de la fuente

Parámetros	Análisis según norma		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación				
	NTC	Norma técnica	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO ₅ (mg/L)	3630			1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4	> 4
Oxígeno disuelto (mg/L)	4705		D-888	>= 4	>=4	>=4	< 4
pH promedio	3651		D-1293	6.0 - 8.5	- 5.0- 9.0	3.8- 10.5	
Turbiedad-NTU	4707		D-1889	<10	10.0 - 20.0	- 20.0 - 40.0	- >= 40
GRADO DE TRATAMIENTO							
Proceso de tratamiento utilizado	(1) Desinfección + Estabilización	=	(2)= Filtración lenta directa + (1)	Filtración o (1)	(3)= Pretratamiento + (Coagulación + sedimentación + Filtración rápida) + (1)	(4) Tratamiento específico	=(3)+

FUENTE Ministerio de desarrollo económico dirección de agua potable y saneamiento básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000[B.3.1]; (noviembre) 2000. P. 48- 51

2.6.2 Resolución 2115 del 2007. La Resolución 2115 describe las características requeridas por los sistemas de control y vigilancia de agua para consumo humano.¹²¹

Para las características físicas se determinan los valores máximos permisibles los cuales se encuentran definidos en el artículo 2° y son mostrados a continuación en la tabla 9.

¹²¹ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA, Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 del 2007.Op.cit., p. 23.

Tabla 9. Características Físicas

Características Físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
Olor; Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbidez	Unidades Nefelométricas de turbiedad	2
Potencial de hidrógeno	pH	6,5 – 9,0

Fuente. Ministerio de la protección; Ministerio de ambiente, vivienda, y desarrollo territorial. Resolución. No 2115. Junio 22 del 2007

2.7 MÉTODOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA

Para realizar el análisis correspondiente del coagulante se deben tener en cuenta las metodologías estandarizadas existentes para los diferentes métodos de análisis.

2.7.1 Muestreo. (TI0207 – ASTM 1060). En el “Protocolo para toma de muestras de aguas superficiales” TI0207 expedido por el IDEAM se dan los requerimientos, instrucciones y cuidados que se deben realizar para tomar las muestras de campo en aguas superficiales¹²².

El muestreo estipulado para el proyecto es un muestreo compuesto, el cual consiste en tomar en un mismo punto varias muestras en temporalidades diferentes¹²³, para este procedimiento se requiere tomar datos de la información para el muestro, como lo es el nivel de corriente, observaciones del entorno, condiciones ambientales, los cuales se incluyen en el modelo del Anexo A¹²⁴.

El análisis de pH y temperatura se realizan “in sitio”, usando un potenciómetro y termómetro, los cuales deben estar calibrados para la toma de datos.¹²⁵ Se requiere determinar el tipo de muestreo seleccionado y así se tiene el número de

¹²² COLOMBIA, IDEAM y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Protocolo titulado: “Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM”, Código TI0207, 6 De abril del 2010, 6p.

¹²³ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICANWATERWORKS ASSOCIATION y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, Métodos normalizados para el muestreo de aguas, Edición 17. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A., 1992. p. 1-37.

¹²⁴ *Ibíd.*, p. 1- 38

¹²⁵ COLOMBIA, IDEAM Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Protocolo titulado: “Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM”, Código TI0207, Op cit. p. 4.

muestras a realizar, de acuerdo con el tipo de muestra elegido para los análisis¹²⁶, al tener establecido los puntos o punto de muestreo se debe sumergir el muestreador o recipiente para realizar una purga, procediendo así a tomar el número de muestras requeridas, al trasvasar cada muestra se debe dejar deslizar el agua por las paredes del recipiente y así evitar oxigenar la muestra y tomar las medidas de pH y temperatura¹²⁷.

Si es requerido se adiciona el conservante a la muestra, el cual se realiza de tres formas diferentes, en el recipiente; al tiempo que se adiciona la muestra o al final de adicionarla, tapar firmemente cada botella y acomodarla en la nevera con suficiente hielo para mantener una temperatura de 5°C.¹²⁸

2.7.2 Método Nefelométrico. (NTC 4707 – ASTM 2130). Para la turbidez se utilizan metodologías de tratamiento como lo son, la coagulación, floculación, sedimentación; filtración convencional; micro filtración; ultrafiltración; y filtración optimizada. Estas son escogidas de acuerdo a las necesidades que se tengan partiendo de la calidad inicial del agua¹²⁹

La turbiedad en el agua se aumenta por materias suspendidas y coloidales como lo son arcilla, materia orgánica e inorgánica, la turbiedad es una propiedad óptica la cual causa una dispersión y evita la absorción de la luz eliminando su transmisión¹³⁰. Cuando se tienen sustancias disueltas estas producen coloración y absorben la luz dando una interferencia negativa.¹³¹

Los métodos para determinar la turbiedad, incluyen el método Jackson y la técnica nefelométrica, el método Jackson (JTU) mide hasta 25 unidades de turbidez¹³². En Colombia la Resolución 2115 de 2007, específica que se debe utilizar el método nefelométrico.¹³³ Las aguas tratadas por procesos convencionales de separación de fluidos y partículas, las cuales se deben encontrar en un rango de 0 a 5 NTU¹³⁴.

¹²⁶Ibíd., p.3.

¹²⁷ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al Métodos normalizados para el muestreo de aguas, Op cit., p. 1-39

¹²⁸ IDEAM y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Protocolo titulado: "Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM", Código TI0207 Op cit., p.2

¹²⁹COLOMBIA, IDEAM Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Protocolo titulado: "Turbiedad por nefelometría Método B" Código: TP0443, Junio 15 del 2007 p. 2.

¹³⁰ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al Métodos normalizados para el muestreo de aguas, Op cit., p. 2-12

¹³¹ Ibíd., p. 2-12.

¹³²INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua Determinación de la turbiedad. Método Nefelométrico. NTC-4707. Bogotá D.C.: ICONTEC, 24 de noviembre de 1999. 1 – 3p.

¹³³ COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA, Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución. No 2115, p. 2.

¹³⁴ Ibíd., p.51

Este método se realiza por medio de un turbidímetro, el cual dispersa la luz en una dirección particular, estos se miden en ángulos rectos de luz incidente¹³⁵. Los nefelómetros tienen ubicado a 90° el detector de luz dispersa, este equipo reporta en unidades de turbiedad nefelométrica (NTU). Los cuales tiene un rango de 0 NTU a 10000 NTU, teniendo en cuenta esto varios equipos cuentan con un rango de trabajo desde 2,0 hasta 1750 NTU¹³⁶.

2.7.3 Demanda Química de Oxígeno. (NTC 3629- ASTM 5220). Medición por la cual es determinada la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua residual, bajo condiciones de temperatura y tiempo¹³⁷. Esta materia se calcula en término de oxígeno equivalente; la DQO está relacionada empíricamente con la DBO, la prueba se usa para controlar y monitorear el carbono orgánico o la materia orgánica¹³⁸. Para muestras obtenidas de aguas superficiales, las cuales se pueden usar en el método modificado para un intervalo de 5 a 50 mg O₂/L.¹³⁹

Se tienen dos métodos diferentes el de reflujo abierto y reflujo cerrado como se ve en el anexo B; el primer método es apropiado para muestras de gran tamaño; el método de reflujo cerrado es un método más económico ya que se emplean sales metálicas¹⁴⁰. Si se requiere un estudio más ágil se encuentran ampollas las cuales son tubos de cultivo con reactivos adicionados previamente.¹⁴¹ Las muestras deben mantenerse en frascos de cristal, se recomienda que las muestras sean utilizadas en el menor tiempo posible, si no es posible realizarlo en este tiempo la muestra se debe conservar a un pH < 2 el cual acidificara la muestra, si la muestra contiene sólidos precipitables por medio de un homogeneizador para tener una muestra óptima¹⁴².

Para el cálculo de la DQO por los dos métodos se realiza por medio de la ecuación 1¹⁴³

¹³⁵ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua Determinación de la turbiedad. Método Nefelométrico. NTC-4707. Op. Cit., p.5

¹³⁶ *Ibíd.*, p.5.

¹³⁷ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Demanda química de oxígeno. NTC-3629. Bogotá D.C.: ICONTEC, 29 de mayo de 2022. 13p

¹³⁸ DR. CALDERON LABORATORIOS, Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas. [En Línea 10 de febrero 2018] 12 de enero 2001, Disponible en: <http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DQO.htm>

¹³⁹ *Ibíd.*, p.51

¹⁴⁰ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Demanda química de oxígeno. NTC-3629.Op.cit., p.5

¹⁴¹ *Ibíd.*, p.6

¹⁴² AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al. Op. cit., p.5-14

¹⁴³ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Demanda química de oxígeno. NTC-3629.Op.cit., p.9

Ecuación 1. Cálculo de DQO

$$DQO \text{ en } \left(\frac{mgO_2}{l}\right) = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{ml \text{ de la muestra}}$$

Fuente INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Demanda química de oxígeno. NTC-3629. Bogotá D.C.: ICONTEC, 29 de mayo de 2022. 13p.

Donde A son los mL de Sulfato de amonio ferroso utilizados para el blanco.
B son los mL de sulfato de amonio ferroso gastados para la muestra.
M es la Molaridad de sulfato de amonio ferroso¹⁴⁴.

2.7.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno. (NTC 3630, ASTM 5210). La demanda bioquímica de oxígeno se utiliza para determinar el requerimiento de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica que se encuentra en la muestra, esta es una prueba experimental, de tipo bioensayo la cual mide el oxígeno que requieren los organismos para realizar su proceso metabólico, este ensayo se realiza bajo condiciones determinadas las cuales son una temperatura de 20°C, durante 5 días y en la oscuridad, como se describe en el anexo C¹⁴⁵.

Para el cálculo de la DBO se tiene la ecuación 2.

Ecuación 2. Calculo DBO₅ sin siembra de inculo.

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{OD_{CONSUMIDO} - OD_{CONSUMIDO \text{ CEPA}}}{Vm} * V$$

Fuente INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Demanda bioquímica de oxígeno – 5 días, incubación y electrometría TP0087. Colombia: IDEAM, 4 de junio del 2007. p. 9

Teniendo que OD_{consumido}, es el Oxígeno disuelto inicial justo seguido de la siembra menos el oxígeno residual de la muestra posteriormente de la incubación por 5 días; OD_{consumido cepa} es el Oxígeno disuelto inicial de la cepa menos el Oxígeno residual de la cepa posterior a la incubación por 5 días; V volumen de la botella Winkler; Vm es el Volumen de alícuota de la muestra afectado¹⁴⁶.

¹⁴⁴ *Ibíd.*, p.6.

¹⁴⁵ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Demanda Bioquímica de oxígeno NTC- 3630. Bogotá D.C.: ICONTEC, 28 de agosto de 2002. 16p.

¹⁴⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Demanda bioquímica de oxígeno – 5 días, incubación y electrometría TP0087. Colombia: IDEAM, 4 de junio del 2007. p. 9

2.7.5 pH. (ASTM 4500-H). La medida del pH es una de las pruebas requeridas para el análisis químico del agua, se implementa para la neutralización ácido – base, coagulación, desinfección, procesos que requieren un rango específico del mismo, este depende de la temperatura y de la intensidad del carácter ácido o básico proveniente de la actividad del ion hidrógeno.¹⁴⁷

Para realizar las mediciones se implementa un medidor de pH el cual contiene un electrodo de vidrio y uno de referencia¹⁴⁸. El circuito del equipo se complementa por medio de un circuito integrado por el potenciómetro cuando los electrodos son sumergidos en la solución que se desea medir, estos equipos pueden dar la medida en mili voltios o en pH¹⁴⁹.

2.8 ANTECEDENTES DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GPS

Para la realización de este proyecto investigativo es necesario tener en cuenta el desarrollo de dos fases anteriores, ya que sin estas fases no hubiese sido posible la realización de este proyecto. Como primera parte los granos de café verde fueron donados por la empresa Tecnicafé situada en el municipio de Popayán.

2.8.1 Separación de polifenoles a partir de los residuos de café para evaluar su aplicabilidad como parte de un coagulante natural. En esta fase se efectuó una detallada revisión bibliográfica, se concluyó que la extracción con equipo Soxhlet obtuvo el mayor puntaje dentro de la matriz de selección, pero a lo largo de la experimentación se observó que a altas temperaturas entre 50 y 60°C se generan hasta 1000 ppm de gas metano, lo cual genera condiciones de inseguridad dentro del laboratorio.¹⁵⁰ Por esto se descartó la posibilidad de realizar los experimentos que requirieran de altas temperaturas y se realizó la matriz de selección nuevamente modificando la condición de seguridad de aquellos métodos de extracción con altas temperaturas, los métodos seleccionados con la nueva matriz fueron el de extracción con agitación y el asistido por ultrasonido¹⁵¹. Esta fase solo se limitó a la extracción de polifenoles por método de ultrasonido y posteriormente caracterización por el método espectrofotométrico de Follin y Ciocalteu¹⁵².

Se realizó un diseño de experimentos en el cual se establecieron como factores el tiempo de agitación con 3 niveles que fueron 0, 12 y 24 horas; el tiempo de ultrasonido con niveles de 0, 30 y 60 minutos; y la frecuencia de ultrasonido con

¹⁴⁷ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al. Op. cit., p. 4-106

¹⁴⁸ INSTITUTO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Determinación del pH NTC- 3651. Bogotá D.C.: ICONTEC, 19 de octubre de 1994.p.6

¹⁴⁹ Ibid. p.7

¹⁵⁰ APONTE y PALOMINO Op. Cit. p. 20

¹⁵¹ Ibid p.20

¹⁵² Ibid., p.20

niveles de 0, 30 y 60 kHz, de esta manera se logró una extracción máxima de polifenoles de hasta 12,14 mg GAE/ g de café seco, esta fase fue realizada por estudiantes del grupo de investigación Camilo Aponte y Mónica Palomino.¹⁵³

2.8.2 Evaluación de los polifenoles extraídos a partir de residuos de *Coffea arabica*, para la producción de un coagulante natural. Esta fase fue desarrollada por las estudiantes pertenecientes al grupo de investigación Daniela Chacua y Mónica Rodríguez, en la cual se realizaron réplicas del trabajo previo de Aponte y Palomino, se realizó una selección del solvente para la extracción por ultrasonido, teniendo como resultado etanol agua en una proporción 50/ 50.¹⁵⁴ Al finalizar el proceso de extracción, filtración y recuperación del solvente, realizaron una pre experimentación donde se pudo observar la confiabilidad de los datos obtenidos en la fase anterior.

Por medio de la pre experimentación fue posible elegir el rango al cual el coagulante va a remover la materia orgánica , la cual correspondió a un pH ácido , donde se presentó una disminución de la turbidez hasta un 90.53%, por la metodología de jarras ,se determinó la actividad del coagulante a partir de los polifenoles extraídos del café, En una concentración del 75% en una muestra de agua con un pH de 2.5, se redujo la turbidez en un 99.94% con una actividad coagulante de 99.93%, siendo éste el mejor resultado obtenidos en muestras después del tratamiento, que cumplieran con la Resolución 2115 de 2007, la cual dictamina que el nivel de turbidez debe estar por debajo de 2 NTU.¹⁵⁵

¹⁵³Ibíd., p.20.

¹⁵⁴ CHACUA y RODRÍGUEZ Op. Cit. p. 18

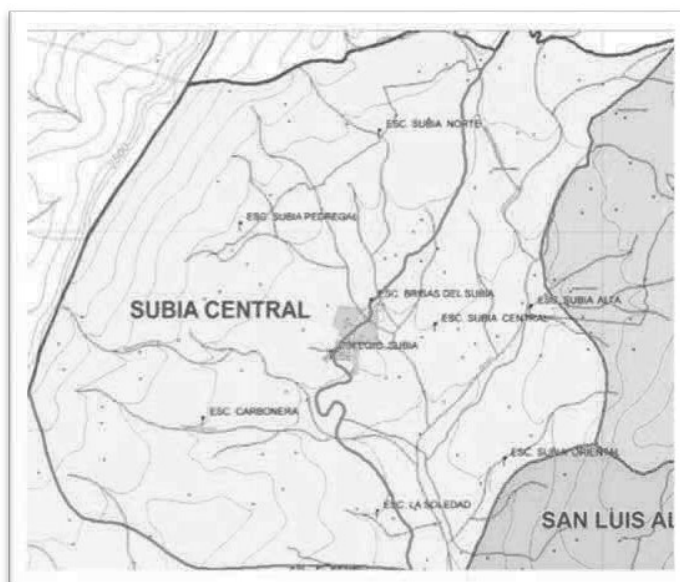
¹⁵⁵ CHACUA y RODRÍGUEZ Op. Cit. p. 18.

3. CARACTERIZACIÓN DE LA FUENTE HÍDRICA

La quebrada Carbonera se encuentra ubicada en el municipio de Silvania, está localizado en la parte suroeste del departamento de Cundinamarca y junto con otros nueve municipios conforman la denominada provincia de Sumapaz.¹⁵⁶ Limita al norte con el municipio de Granada, al oriente con Fusagasugá y Sibate, al sur con Tibacuy y Fusagasugá y al occidente con Viota y Mesitas del Colegio.¹⁵⁷ En la figura 5 se puede determinar el municipio de Silvania y sus respectivos límites.

Tiene una extensión de 162,9 Km, representada en trece veredas de 155,4 Km: Noruega, Subía, Jalisco, Agua Bonita, San Luis, Azafranal, Quebrada Honda, La Victoria, Santa Rita, Yayata, Loma Alta, San José y Panamá ,en la vereda Subía se encuentra ubicada la quebrada Carbonera correspondiente al agua procedente de este trabajo investigativo.¹⁵⁸

Figura 5. Mapa Base del Municipio de Silvania



Fuente Gobernación de Cundinamarca, Mapa Político del municipio, Silvania 2015 [En línea recuperado 24 de febrero del 2018] Disponible En: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/silvaniacundinamarcapts20122015.pdf>

En el municipio de Silvania se encuentra la cuenca del Rio Sumapaz y las subcuencas del Rio Subía y Barro Blanco, las subcuencas del rio Subía posee un

¹⁵⁶ ACUASOL. Haz más con menos agua. (2016). Silvania Cundinamarca

¹⁵⁷ *Ibíd.*, p.3.

¹⁵⁸ *Ibíd.*, p.3.

área de 120.87 km² que corresponden al 74.72% del área municipal y recoge el agua de las quebradas Chiquinquirá, La victoria, Puente de Piedra, Guachuni, Quebrada Honda Yayata y carbonera que es la quebrada de investigación de este trabajo investigativo.¹⁵⁹

3.1 MUESTREO DE AGUAS

Partiendo de métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales se diagnosticaron las condiciones fisicoquímicas iniciales de las muestras de agua obtenidas de la quebrada Carbonera, el muestreo se realizó según el anexo A.¹⁶⁰ Se tomaron ocho muestras en recipientes de vidrio con una capacidad de 4 litros que fueron debidamente esterilizadas antes de realizar el muestreo. Las muestras se realizaron en un mismo punto y diferentes tiempos (sequía, lluvia)¹⁶¹ en un rango de tiempo de 10 minutos respectivamente.

En las tablas 10 y 11 se aclara las coordenadas geográficas como latitud, longitud y elevación de los sectores donde se realizó la toma de muestras en la temporada de lluvia y de sequía. Así como las respectivas fotos de cada plan de muestreo. En el plan de muestreo temporada de lluvia la latitud presento una ubicación de un ángulo norte de 4 grados, 28 minutos y 9 segundos y la longitud un ángulo oeste de 74 grados, 23 minutos y 3 segundos.

Tabla 10. Plan Muestreo Temporada de Lluvia.

PLAN DE MUESTREO TEMPORADA DE LLUVIA



Municipio	Silvania
Vereda	Subía
Coordenadas Geográficas	
Latitud	4°27'45" N
Longitud	74°23'52" W
Elevación	2136.648m msnm

En el plan de muestreo temporada de sequía la latitud presento una ubicación de un ángulo norte de 4 grados, 27 minutos y 45 segundos y la longitud un ángulo oeste de 74 grados, 23 minutos y 52 segundos. Siendo estas coordenadas muy parecidas a las de temporada de lluvia.

¹⁵⁹ ACUASOL.Op.cit., p. 3.

¹⁶⁰ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICANWATERWORKS ASSOCIATION y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION Op. cit., p.33-38

¹⁶¹ *Ibíd.*, p. 33.

Tabla 11. Plan de muestreo temporada de Sequía
PLAN DE MUESTREO TEMPORADA DE SEQUÍA



Municipio	Silvania
Vereda	Subía
Coordenadas Geográficas	
Latitud	4°27'45" N
Longitud	74°23'52" W
Elevación	2136,978 msnm

Se realizaron mediciones “in situ de pH y temperatura, a continuación, se puede observar las muestras en la figura 5 y sus respectivos recipientes de vidrio que fueron debidamente auto clavadas y enumeradas.

Figura 5. Muestras de agua provenientes de la quebrada.



El promedio de pH se encontraba alrededor de 6 para las muestras de agua mediante el uso de papel indicador universal , posteriormente para la verificación se determinó el pH por el método de electrometría¹⁶² usando un electro de vidrio el cual correspondió a 6,66 , para la preservación de las muestras se siguió el documento TI0207¹⁶³ expedido por el IDEAM , donde se requiere para conservación y almacenamiento de muestras de agua bajar el pH a 2 para la muestra de Demanda Química de Oxígeno Como se puede observar en la figura 6, la temperatura inicial del agua se encontraba en 4°C, Una vez recolectadas las muestras, éstas fueron transportadas hasta el laboratorio en el menor tiempo posible. Se conservaron en un baño de hielo a 4°C, y en la oscuridad para evitar la

¹⁶² AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al. Op. cit., p.49

¹⁶³ IDEAM Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo titulado: Código TI0207 “Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM: Colombia: 2010.

descomposición orgánica de la muestra¹⁶⁴. El tiempo transcurrido desde la toma de la primera muestra hasta la entrega al laboratorio fue de 6 horas.

Figura 6. pH para muestra de Determinación química de oxígeno



3.2 DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Partiendo de la Norma Técnica Colombiana 3629, Calidad del Agua, Demanda Química de Oxígeno (DQO), se realizó el método de reflujo cerrado debido a que genera cantidades más pequeñas de residuos peligrosos y se usa para muestras medianas o pequeñas.¹⁶⁵

Se agregaron los reactivos y la cantidad de la muestra en sus respectivos recipientes para digestión, teniendo en cuenta la disposición de materiales en el laboratorio se realizó la determinación con recipientes de digestión de ampollas estándar de 10 mL.¹⁶⁶ La relación de DQO y DBO se encontraba en un rango de DQO de 400 y 800 ppm y su dilución requerida correspondía a un intervalo entre 1% y 0,50%.¹⁶⁷

Como se puede observar en la tabla 12 la carga contaminante de entrada resulta mayor para las temporadas de sequía y de lluvia a lo largo del muestreo partiendo de que las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm¹⁶⁸, se considera que inicialmente las aguas estaban contaminadas.

Se presentó un aumento de demanda química de oxígeno en la temporada de lluvia en comparación con la temporada de sequía, lo que significa que en la temporada de lluvia había una alta concentración de partículas en suspensión

¹⁶⁴ VILLA M; (2011) Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación contaminación. Universidad de Cádiz.

¹⁶⁵ ICONTEC. NTC 3629.Op.cit., p. 2

¹⁶⁶ *Ibíd.*, p. 8.

¹⁶⁷ GUERRA, Jayrth, (2013). Calidad del agua; Medio ambiente y recursos naturales, Universidad Distrital Francisco José Caldas. Disponible en:<<http://calidaddelagua.webs.com/>>

¹⁶⁸ PAYERAS, Antoni, Parámetros de calidad de las aguas de riego (2011). Bonsái Menorca. Disponible en:<<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>>

representando aproximadamente el doble de la cantidad de materia orgánica, lo cual requería el doble de consumo de oxígeno. ¹⁶⁹

Tabla 12. Demanda Química de Oxígeno Inicial

TEMPORADA	Demanda Química de Oxígeno Inicial. mgO ₂ /L
SEQUÍA	219,2
LLUVIA	497,8

3.3 DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Basandose en la NTC 3630 calidad del agua. Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO).¹⁷⁰La determinación de DBO₅ se realizó cuando el agua de dilución no está inoculada.¹⁷¹ Se tomaron dos muestras para cada temporada, como se puede observar en la tabla 13, el promedio de DBO₅ para temporada de sequía y lluvia correspondientes a 14,812 y 21,0227 mg O₂/L. Según RAS 2000 el nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación correspondió a Fuente muy deficiente ya que el parámetro de DBO₅ supera los 6 mg/L, lo que quiere decir que la fuente requiere tratamiento para que el agua sea apta para consumo.¹⁷²

Tabla 13. Demanda bioquímica de oxígeno iniciales para temporada de sequía y lluvia .

TEMPORADA	Demanda Bioquímica de Oxígeno		
	Muestra 1 (mg O ₂ /L)	Muestra (2 mg O ₂ /L)	Promedio (mg O ₂ /L)
SEQUÍA	13,9	15,7	14,81
LLUVIA	18,2	23,9	21,02

¹⁶⁹ PAYERAS. Op. cit., p.18

¹⁷⁰ ICONTEC. NTC 3630.Demanda bioquímica de Oxígeno. (2002).Op. cit. p. 10

¹⁷¹ *Ibíd.*, p.11

¹⁷² Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO C. Sistemas de Potabilización / Vargas Liévano, Armando (Ed.). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010.

4. ACTIVIDAD DEL COAGULANTE

Para el método de extracción por ultrasonido, la cual consiste en la implementación de ondas ultrasónicas las cuales deben ser utilizadas en frecuencias de 20 kHz a 10 MHz y son generadas por medio de transductores en contacto con el medio líquido¹⁷³, en esta investigación se replicara el proceso realizado por Chacua y Rodríguez para la extracción y cuantificación de polifenoles.¹⁷⁴

4.1 EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES

La muestra es recibida el día 17 de febrero, la cual fue proporcionada por Tecnicafé en la ciudad de Popayán, se recibieron 4 Kg de café verde de la especie *Coffea arabica*, los cuales está compuestos por granos verdes, estos han sido separados de los grano que ya se encuentran maduros para su posterior uso en la fabricación de café para bebidas.

En la figura 7 se observa la muestra proporcionada la cual tiene una coloración verde, estos granos al ser retirados de la planta de café ya no continúan su proceso de maduración, por lo tanto, se requiere mantener la muestra congelada para evitar la generación de la coloración marrón en el grano por su descomposición.

Figura 7. Muestra de Café proporcionada por Tecnicafé



Para realizar el proceso de extracción de los polifenoles se realiza el proceso descrito en el Anexo D siguiendo la metodología realizad por Chacua y Rodríguez¹⁷⁵

¹⁷³ CHACUA Y RODRIGUÉZ Op cit., p. 38

¹⁷⁴ Ibid., p.57

¹⁷⁵Ibid., p.58

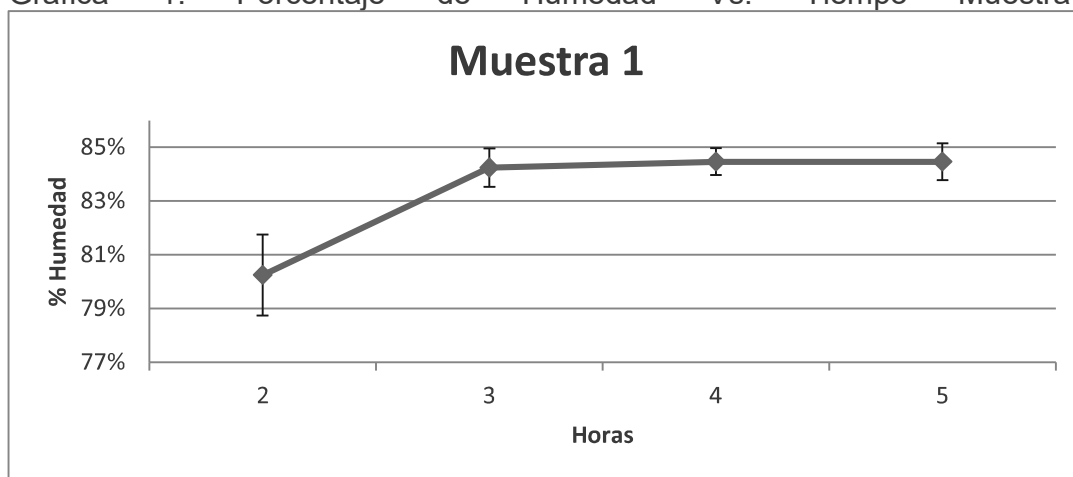
4.1.1 Humedad de la Muestra. Del proceso realizado en el anexo D se toman tres muestras para determinar la humedad presente, Se siguen el protocolo obtenido de la NTC 897¹⁷⁶, Inicialmente se someten los crisoles inicialmente durante una hora para eliminar la humedad presente en los crisoles, procediendo al desecador, para adicionar la muestra de café y secarla hasta conseguir un peso constante. ¹⁷⁷

Tabla 14. Porcentaje de Humedad Muestras

Hora	1	2	3	Promedio	Desviación Estándar	Error Absoluto
1	77,7825 %	67,9007 %	58,3751%	68,0194%	9,7043%	
2	84,1368 %	83,9057 %	81,7925%	83,2783%	1,2919%	0,5279
3	84,9601 %	84,1032 %	83,5207%	84,1947%	0,7240%	0,3885
4	84,2946 %	86,1000 %	81,2216%	83,8721%	2,4665%	0,0658
5	84,3159 %	86,1000 %	81,2236%	83,8798%	2,4673%	0,0736

Teniendo en cuenta los datos presentes en la tabla 14 se realizan las gráficas 1, 2 y 3 las cuales muestran la curva de secado para cada uno de las repeticiones.

Gráfica 1. Porcentaje de Humedad Vs. Tiempo Muestra 1

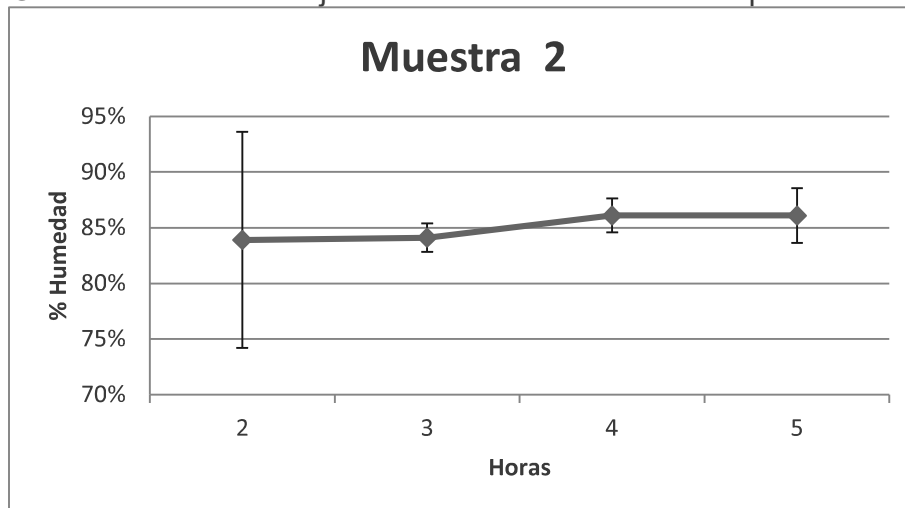


¹⁷⁶INSTITUTO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Determinación de contenido de sólidos. NTC-897. Bogotá D.C.: ICONTEC, 17 de agosto de 1994. p.21

¹⁷⁷ INSTITUTO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Op. Cit., 50p.

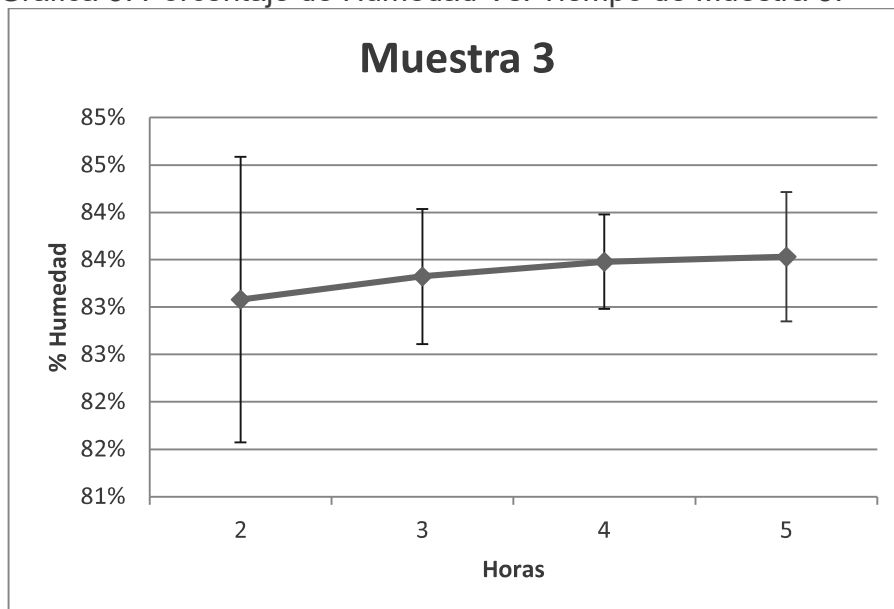
En la gráfica 1 se muestra el comportamiento de la curva de secado correspondiente a la muestra 1, en el cual se da una humedad del 83.35%.

Gráfica 2. Porcentaje de Humedad Vs. Tiempo de Muestra 2.



La gráfica 2 muestra el comportamiento presentado por la muestra 2, el cual muestra un porcentaje humedad final del 83.58%

Gráfica 3. Porcentaje de Humedad Vs. Tiempo de Muestra 3.



A partir de las gráficas 1,2 y 3 se generan los datos presentados de la tabla 15, la cual se obtienen la humedad correspondiente a cada Muestra.

Tabla 15. Porcentaje de humedad presente en los experimentos

Muestra	% Humedad
1	83,3529% \pm 2%
2	83,5852% \pm 0,21%
3	83,3523% \pm 0,248%

Tomando los datos de la tabla 15 se tiene como referencia el valor de Humedad de 83,5852% con una incertidumbre del 0,21% debido a que los datos de la muestra 2 fueron los datos que presentan menor desviación estándar y errores en cada una de sus repeticiones, este dato es requerido para dar las concentraciones de los polifenoles extraídos en base seca.

En el proceso de cuantificación de humedad realizado por Chacua y Rodríguez¹⁷⁸ se da un porcentaje de 71.9320%, realizando la comparación con el porcentaje obtenido por las autoras, se presenta un aumento es este porcentaje ya que las muestras tenían una mayor presencia de agua por su proceso de congelación.

4.1.2 Cuantificación de polifenoles. La caracterización de la muestra obtenida se emplea el método Follin Ciocalteu¹⁷⁹, el cual consiste en realizar una curva de calibración, por medio de diluciones, a partir de una disolución de ácido gálico madre¹⁸⁰.

Al realizar estas diluciones se toma la lectura de absorbancia por medio del espectrofotómetro JENWAY 6320D a 765nm, Dando valores iniciales de Absorbancia de la curva patrón como se observan en la tabla 16

Tabla 16. Diluciones y absorbancia de curva patrón

Concentración	34,3 μ M	103 μ M	310 μ M	0,93mM	2,81mM	8,43mM
Absorbancia	0.167	0.193	0.262	0.352	0.541	1,128

Se tomaron muestras de los polifenoles obtenidos después de la recuperación del solvente, el mismo procedimiento que se realizó con la curva patrón es replicado y presenta las absorbancias que se presentan en la tabla 17

¹⁷⁸ CHACUA, Daniela. y RODRÍGUEZ, Mónica, Op. Cit., p. 57

¹⁷⁹ GARCIA, Eva; FERNANDEZ, Isabel y FUENTES, Ana, Determinación de polifenoles totales por el método Folin-Ciocalteu. [En Línea 15 de marzo del 2018] ,22 de Junio del 2016 Disponible En:<<http://hdl.handle.net/10251/52056>>

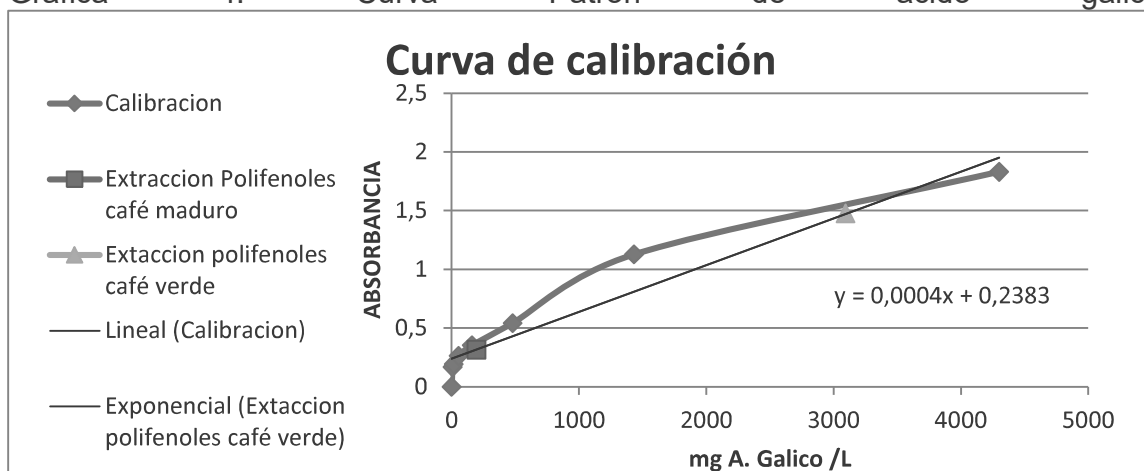
¹⁸⁰ *Ibíd.*, p.64

Tabla 17. Absorbancia de muestras obtenidas de polifenoles

	Polifenoles extraídos café marrón	Polifenoles extraídos café verde
Absorbancia	0,316	1,476

Teniendo las absorbancias se procede a realizar la curva de calibración la cual se ve en la Gráfica 4 y calcular la concentración de los polifenoles obtenidos

Gráfica 4. Curva Patrón de ácido gálico



Se toma como referencia la ecuación obtenida a partir de la recta $y=0,0004x+0,2383$, la cual permite realizar el cálculo de los polifenoles en equivalente de mg de Acido gálico.

En la tabla 18 se presenta las concentraciones calculadas por medio de esta recta.

Tabla 18. mg GAE/g de café en base seca de las muestras obtenidas

Muestra	Polifenoles extraídos de grano de café marrón	Polifenoles extraídos de grano de café verde
mg GAE/ g de café en base seca	24.3	385.4

Teniendo en cuenta la tabla 18 se presenta un aumento de la concentración obtenida en los frutos con coloración verde, esto se produce debido a la presencia de la enzima polifenol oxidasa en los frutos con coloración marrón debido a su proceso de descomposición¹⁸¹.

¹⁸¹ DURANGO, Karen et. al. Caracterización preliminar del enzima polifenol oxidasa en frutas tropicales: implicaciones en su proceso de industrialización En: scientia et technica .2007. Vol. 1. N° 33.

Los datos obtenidos están expresados en mg GAE/g de café en base seca; el cual se obtiene teniendo en cuenta la humedad de la muestra por medio de la ecuación 4.¹⁸²

Ecuación 3. mg GAE/g de café en base seca

$$\frac{mg\ GAE}{g\ Caf\acute{e}\ seco} = \frac{mg\ GAE}{l} * \frac{Volumen\ de\ la\ muestra\ inicial\ (l)}{Muestra\ de\ caf\acute{e}\ (g) * (1 - \%Humedad\ de\ la\ muestra)}$$

Fuente GARCIA, Eva; FERNANDEZ Isabel y FUENTES Ana, Determinación de polifenoles totales por el método Folin-Ciocalteu. [En Línea 15 de marzo del 2018] ,22 de junio del 2016 Disponible En: <http://hdl.handle.net/10251/52056>.

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 18 se presenta un aumento de la concentración de polifenoles, al momento de realizar la extracción con fruto con de coloración verde vs al utilizar café con presencia de coloración marrón. Se dio una mayor extracción que la presentada por Chacua y Rodríguez, en la cual se obtuvo 54.82 mg GAE/g de café en base seca¹⁸³.

Teniendo en cuenta la investigación realizada por Díaz et al¹⁸⁴ se toman los datos para realizar la comparación de la concentración de polifenoles obtenidos por el método de ultrasonido con una concentración de 50% de Etanol, experimento en el cual se genera una concentración de 575,7 mg GAE /g de muestra seca. Igualmente se toma la investigación realizada por Al-Dhabi et al, en la cual se realizó la extracción por medio de ultrasonido en la cual se dieron resultados de extracción de 33.84 mg GAE/ g de café.¹⁸⁵ Realizando una comparación a lo obtenido por Chacua y Rodríguez quienes consiguieron 54,82 mg GAE/g de café seco¹⁸⁶, las autoras se presenta un aumento por parte de la concentración extraída de polifenoles obtenidos de la extracción.

4.2 PRE EXPERIMENTACIÓN TEST DE JARRAS

En la pre experimentación se realizaron dos diseños, uno para las muestras en temporada de lluvia y el de temporada de sequía, tomando un rango de pH de 2 a 11 y diferentes concentraciones del coagulante lo que permite realizar un barrido de rangos del mismo donde el coagulante no presenta una respuesta eficiente,

¹⁸² CHACUA, Daniela. y RODRÍGUEZ, Mónica, Op. Cit., p.63

¹⁸³ *Ibíd.*, p. 64

¹⁸⁴ DIAZ Marcelo et. al. Fenólicos a partir de residuos de café: Optimización del proceso de extracción. Revista de Investigaciones, Alto andinas - Journal of High Andean Research, Vol.19 , N° 4 (2017)

¹⁸⁵ AL-DHABI, Naif. A.; PONMURUGAN, Karuppiah. y MARAN, Prakash., Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds. *Ultrasonics Sonochemistry*. enero del 2017, volumen 34, 206 – 213p.

¹⁸⁶ CHACUA, Daniela. y RODRÍGUEZ Op. Cit., p.63

partiendo de lo anterior se realizó un diseño de experimentos, en el cual se toman dos factores del diseño los cuales corresponden pH y concentración del coagulante de la muestra cada uno con 4 niveles correspondientes a 2,08; 3,77; 9,54 ;11 y para la concentración 96,4 mg GAE/g; 131,1 mg GAE/g; 192,7 mg GAE/g; 385,4 mg GAE/g .Se realizaron 16 pruebas en el test de jarras cada una con su debida replica variando la dosis de coagulante ,el pH del agua fue modificado para verificar los rangos de eficiencia del coagulante, delimitando el rango de operación, se tomaron valores de pH entre 2,5 y 11, en volúmenes de la muestra de 500 mL, en las que se cambió el pH con hidróxido de sodio para los valores básicos y ácido clorhídrico para pH ácido¹⁸⁷; se dosifico cantidad de coagulante de 5mL, utilizando un floculador digital F6-300T se empezó con una agitación rápida (100rpm por un 1 minuto)¹⁸⁸ generando una distribución de forma homogénea de los polifenoles. Al finalizar la etapa de mezcla rápida, se disminuyó la velocidad de agitación a 40rpm, durante 30 minutos para posteriormente dejar que las mezclas sedimenten. ¹⁸⁹

La primera pre experimentación se realizó para la temporada de sequía en la cual se tomaron rangos de pH del 2 a 11 como se ve en la figura 8.

Figura 8. Test de jarras temporada de sequía.



Al realizar la dosificación se observó que las muestras no presentaron una disminución de tu turbidez, como se observa en la tabla 19

¹⁸⁷CHACUA Y RODRIGUEZ Op. Cit.,p. 66

¹⁸⁸ Ibíd., p.63

¹⁸⁹ Ibíd., p. 63

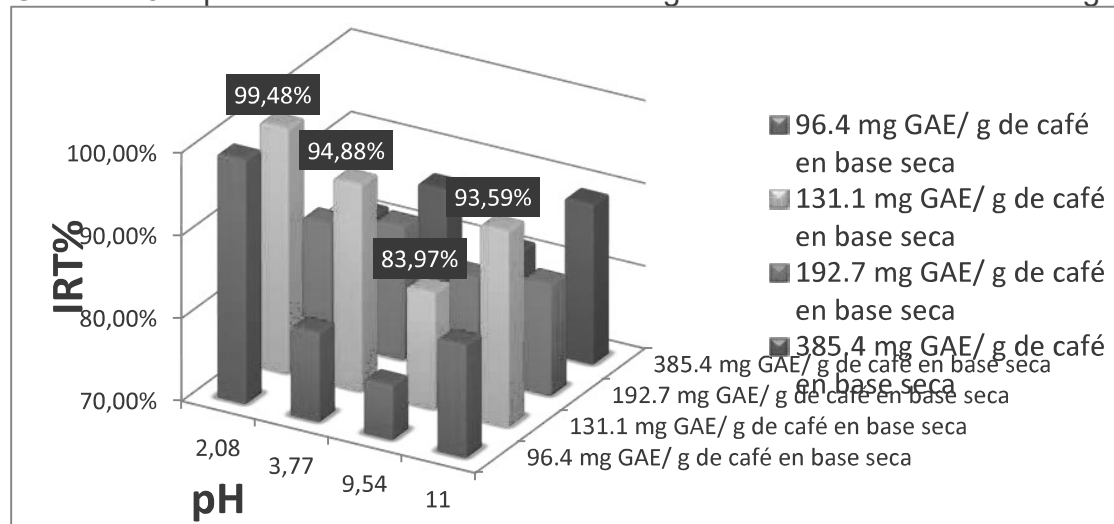
Tabla 19. Turbidez inicial y final del agua de sequía

pH	NTU inicial	NTU final	Aumento De turbidez
2,5	3,87	10,45	62,97%
3,61	3,77	11,87	68,24%
4,5	3,89	12,11	67,88%
6	3,9	13,23	70,52%
9,5	3,7	15,24	75,72%
9,81	3,98	15,67	74,60%

Teniendo en cuenta la tabla 19, se presenta un aumento promedio de la turbidez en un 69,99%, se presume que el coagulante no presenta una actividad en aguas que no tienen una turbidez alta, por lo tanto, se recomienda para las siguientes fases dar un rango de turbidez inicial en la cual se pueda implementar el coagulante.

En los resultados de la pre experimentación para la temporada de lluvia se pueden observar en la gráfica 5, dando que la mejor disminución de turbidez fue presentada a un pH de 2,08 para las concentraciones de 131,1 mg GAE/ g de café en base seca, los valores más altos de turbidez se presentaron a una concentración de 94,4 mg GAE/ g de café en base seca a un pH de 9,54.

Gráfica 5. pH vs Turbidez a los rangos de concentración elegidos.



En la Gráfica 5 se ven las cuatro diferentes concentraciones utilizadas para el análisis, de los cuales se toman la dosificación establecida por Chacua y

Rodríguez,¹⁹⁰ para la prueba inicial se realizaron 4 réplicas tomando rangos de pH ácidos y alcalinos para comprobar el rango que genera un mejor índice de remoción de turbidez. Se observó que la mejor remoción a la concentración de 96,4 mg GAE/ g de café en base seca, se tiene en el pH de 2,08 con un índice de remoción de turbidez de 99,42%. En la concentración de 131,1 mg GAE/g de café en base seca se presenta un valor de Remoción de turbidez de 99,48% a un pH de 2,08; a la concentración de 192.7 mg de GAE/g de café en base seca, se presenta una remoción del 86,97% al pH de 3,77. A la concentración de 385,4 mg de GAE/g de café en base seca, se tiene a un pH de 3,77 un Índice de remoción de turbidez correspondiente a 80,76%.El funcionamiento del coagulante a pH ácidos se debe a la presencia de grupos hidroxilos y carboxilos que al adicionarlos al agua actúan como ácidos donando un protón al agua y formando especies hidrolizadas con carga positiva.¹⁹¹

En la tabla 20 , se presentará el diseño de experimentos para la pre experimentación, en el cual se toma un diseño con 4 niveles y con dos factores correspondientes a concentración de polifenoles y pH, siendo: 4², el cual presenta 16 experimentos con su debida replica.

Tabla 20. Diseño de experimentos pre experimentación

		pH			
		2,08	3,77	9,54	11
de	96,4 mg GAE/g de	95,5900	212,2000	258,4000	143,9000
	café en base seca	94,5900	211,2000	257,4000	140,9000
	131,1 mg GAE/g	24,8000	40,4600	93,3800	131,3000
	de café en base	22,8000	39,4600	90,3800	130,3000
Concentración polifenoles	seca				
	192,7 mg GAE/g	55,9900	41,8200	94,8000	180,3000
	de café en base	53,9900	40,8200	92,8000	178,3000
	seca				
Concentración polifenoles	385, 4 mg GAE/g	205,5000	100,1200	102,3000	143,9000
	de café en base	203,5000	99,1200	101,3000	142,9000
	seca				

El análisis estadístico se realizó por el método ANOVA para la pre experimentación, donde F es mayor que F Crítico, lo que significa que hubo interacciones entre factores y niveles.¹⁹² Con las tablas de F Fisher se pudo rechazar la hipótesis nula donde la hipótesis nula correspondía a que el pH y la

¹⁹⁰ CHACUA, Daniela. y RODRÍGUEZ Op. Cit., p. 69

¹⁹¹ AYORA. Op.cit., p.2.

¹⁹²MURILLO F. Análisis de varianza. En: Universidad autónoma de Madrid. (2017) [En línea 1 de abril del 2018] Disponible en: <https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/Estadistica/4.%20Analisis%20de%20Varianza.pdf>

dosificación del coagulante no afectaban la variable respuesta.¹⁹³ Teniendo en cuenta lo anterior se puede concluir que hay efecto de la concentración del coagulante y el pH en la variable respuesta correspondiente a la turbidez. Los datos se pueden ver a continuación en la tabla 21

Tabla 21. ANOVA Pre experimentación reducción de turbidez.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>F fisher</i>
Dosificación	53027,88765	3	17675,96255	12034,69791	4,948E-27	3,238871517	3,86
Coagulante							
pH	17828,88095	3	5942,960317	4046,270854	3,0079E-23	3,238871517	3,86
Interacción	65475,64495	9	7275,071661	4953,24028	8,0026E-26	2,537666539	
Dentro del grupo	23,5	1	1,46875				
Total	136355,9136	36					

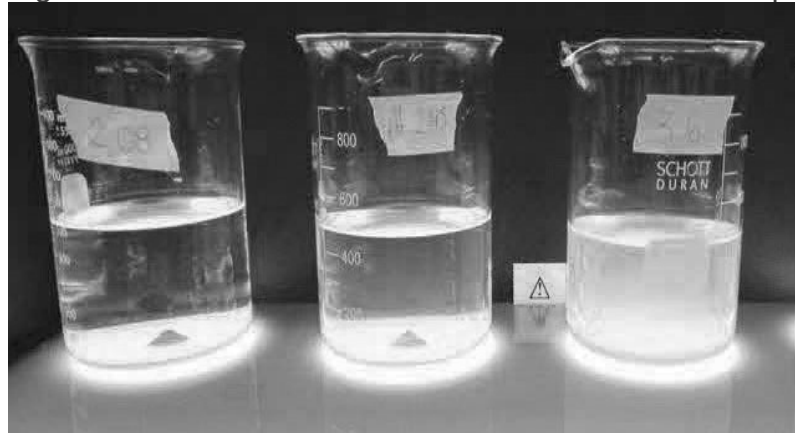
4.3 EXPERIMENTACIÓN TEST DE JARRAS

En la determinación de la actividad del coagulante se eligió el rango de pH y la concentración, en los cuales la turbidez cumpliera con la resolución 2115 del 2007¹⁹⁴, partiendo del diseño de experimentación realizado para la pre experimentación, por medio de 3 experimentos, cada uno con su réplica, donde se varió el pH del agua de la quebrada y la dosificación del coagulante a aplicarlo como se ve en la figura 9.

¹⁹³ PÉREZ, Jaume. La distribución F Fisher.(2013) [En línea 2 de abril del 2018] Disponible en :<<https://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2013/01/07/la-distribucion-f-de-fisher/>>

¹⁹⁴ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Procedimiento para el método de Jarras en la coagulación-floculación NTC- 3903. Bogotá D.C.: ICONTEC, 24 de julio de 1996.p. 5

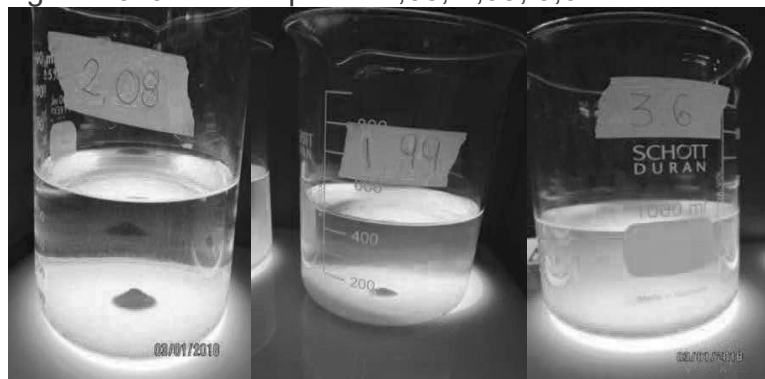
Figura 9. Test de Jarras Experimentación.



4.3.1 Dosificación del coagulante. La dosificación del coagulante se realizó partiendo del diseño de experimentos el pH de 2,08 con una concentración del 34% correspondiente a 131.4 mg de GAE/ g de café en base seca.

Como se puede ver en las figura 10 se observa la sedimentación generadas después de 45 min del proceso de coagulación, al pH de 3,6 no se presenta una sedimentación, continuando con una turbidez en la muestra.

Figura 10. Jarra con pH de 2,08; 1,99; 3,6 concentración del 34%



Para dar una comparación entre las dosificaciones óptimas encontradas en los referentes bibliográficos y la dosificación utilizada en la experimentación la cual fue de 131,1 mg GAE / g de muestra seca. Se tiene en cuenta la tabla 22

Tabla 22. Referentes bibliográficos para la comparación en la dosificación del coagulante

AUTORES	DOSIFICIACIÓN
LÉDO, Patricia.; LIMA, Raquel.; PAULO, João. Y DUARTE, Marco ¹⁹⁵	25 mg de <i>Moringa</i> /L
Sandoval A., María M.; Laínez C., José R ¹⁹⁶	15 mg de <i>Moringa</i> /L
Lo Mónaco P.; Teixeira de Matos A.; Andrade I.; Nascimento F. y Sarmiento A. ¹⁹⁷	400 mg de semilla de <i>Moringa</i> /L agua a tratar
OLIVERO ,Rafael ; MERCADO ,Iván y MONTES, Luz ¹⁹⁸	40 mg de <i>Opuntia</i> /L
CHACUA M. Daniela y RODRÍGUEZ M. Mónica A ¹⁹⁹	780, 73 mg GAE / L

Con los resultados obtenidos experimentales, se realiza un análisis estadístico, en el cual se realizó un análisis ANOVA multifactorial donde se puede determinar si entre una cierta variable numérica, llamada variable respuesta (Turbidez) y ciertas variables categóricas F1,F2,F3..., Fn, llamadas factores, (pH, Dosis coagulante) se encuentra relación o no²⁰⁰. Se realizó un diseño experimental 3² donde los factores fueron la dosificación de coagulante agregado y el pH, a su vez los niveles correspondieron a 2 ml; 2,4 ml; 3,5 ml y 1,99; 2,08; 3,77, como se muestra en la tabla 23

¹⁹⁵ LÉDO, Patricia et. al. Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleífera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. En: Información Tecnológica. 3 de diciembre del 2009; Vol. 20 p. 3-12.

¹⁹⁶ SANDOVAL, María y LAINES, José; Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. En: INGENIERÍA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. mayo-agosto del 2013, vol. 17, p. 93-101 [citado 23 marzo, 2018] Disponible en <<http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>>

¹⁹⁷ VIERIRA, Paola et. al. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010. [citado 23, marzo, 2018] Disponible en < http://ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/viewFile/285/pdf_380>

¹⁹⁸ OLIVERO, Rafael; MERCADO, Iván y MONTES, Luz; Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*; En: Producción + Limpia. Junio del 2013 Vol.8, No.1 - p. 19- 27

¹⁹⁹ CHACUA. y RODRÍGUEZ Op. Cit., p.54

²⁰⁰ ALCAZAR Juan, Estadística: Anova Multifactorial [citado 22 de marzo, 2018]. Disponible en :<http://www3.uah.es/juange_alcazar/Estadistica%20Alcala/ANOVA%20multifactorial.pdf>

Tabla 23. Diseño de experimentos para el Test de jarras
Turbidez final (NTU)

Dosificación de coagulante(mL)	pH		
	1.99	2.08	3.77
2	1	4	7
	1R	4R	7R
2,4	2	5	8
	2R	5R	8R
3,5	3	6	9
	3R	6R	9R

Se realizó un análisis de dos factores presentando para cada ensayo su réplica correspondiente los resultados del ANOVA multifactorial se pueden observar en la tabla 24.

Tabla 24. Turbidez final

DOSIFICACIÓN COAGULANTE		pH		
		1,99	2,08	3,77
2		3,3200	1,9900	40,4600
		2,9900	2,0000	39,4600
		3,4900	2,1000	42,3100
2,4		3,6600	2,9600	41,1200
		15,6700	10,6700	25,6700
3,5		14,1000	11,2300	26,7800

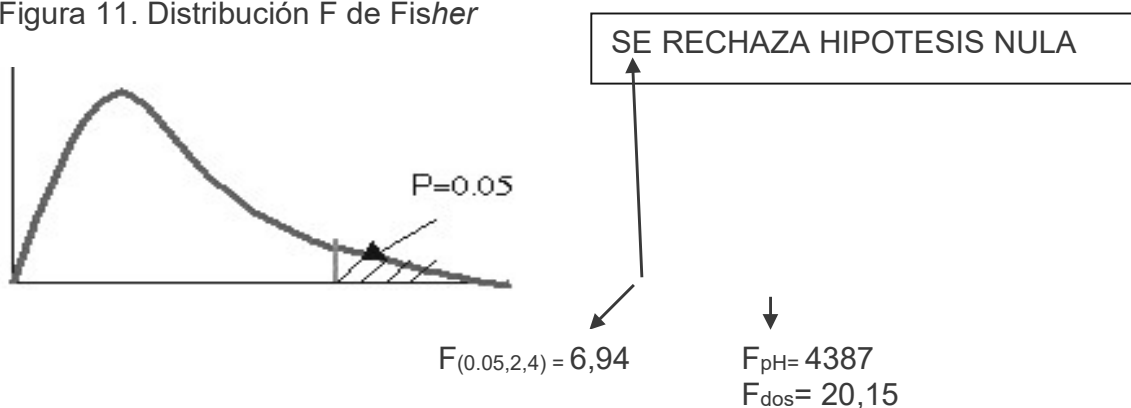
Cómo se ha mencionado anteriormente, los factores del diseño la dosificación de coagulante agregado y el pH de la muestra de agua de la quebrada; en cuanto a los niveles para cada factor son 3, siendo así un diseño experimental 3^2 . Manejando un nivel de significancia de 0,05, se realizó una suma de cuadrados para cada factor y para la interacción de los dos factores, así como los grados de libertad, cuadrados medios, la razón F y el valor P; como se puede observar en la siguiente tabla 25.

Tabla 25. ANOVA para los resultados de reducción de Turbidez.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	Probabilidad	Valor crítico para F	F fisher
Dosificación coagulante	16,3609	2	8,1805	20,159	4,7373E-4	4,2564	6,94
pH	3561,151	2	1780,5757	4387,936	3,526E-14	4,2564	6,94
Interacción	549,459	4	137,3648	338,513	8,4488E-10	3,6330	
Dentro del grupo	3,6521	9	0,4057				
Total	4130,6238	17					

Considerando los valores obtenidos de F, se puede observar en la tabla anterior que los datos de F son mayores que los datos de F crítico, lo que quiere decir que se presentó interacciones importantes entre los dos factores y los 3 niveles de cada factor. El cambio que se presente en cada factor estará relacionado al nivel en que se encuentre.²⁰¹ Se observó los datos en las tablas de Fisher (anexo E), con porcentaje de significancia del 5%, n1 correspondiente a 2 grados de libertad y n2 a 4 grados de libertad siguiendo la tabla de distribución de F de Fisher se encontró un dato correspondiente a 6,94. Lo que significa que hay efecto de la dosificación del coagulante y pH en la turbidez, lo cual rechaza la hipótesis Nula, como se puede ver en la figura 11.

Figura 11. Distribución F de Fisher



²⁰¹ ALCAZAR, Op .cit., p.79

4.4 ÍNDICE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ

En los análisis de resultados es importante tener en cuenta el índice de remoción de turbidez ya que éste determina la máxima eficiencia del coagulante y así seleccionar la mejor combinación de pH y de dosificación de coagulante a la cual funciona, para así obtener un valor de turbiedad aceptable. El índice de remoción de turbidez es el índice para comparar la turbidez inicial de la muestra de agua con la turbidez final una vez ha sido realizado el tratamiento, este es calculado por medio de la ecuación 4.

$$\text{Ecuación 4. Índice de remoción de turbidez}^{202}.$$
$$\text{IRT}\% = \frac{\text{Turbidez Inicial} - \text{Turbidez Final}}{\text{Turbidez Inicial}} * 100$$

FUENTE ZAMUDIO, Julián; IBARRA, Darwin; SOLAQUE, Oscar; REINEL, Jhon; CAFIERO, Ana; GARZON, Eduardo; Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. Tecnología Y Productividad, (2015) 71-83.

La actividad del coagulante determina la efectividad del mismo, hay que tener en cuenta valores como turbidez del blanco que correspondió a 393,35 NTU y turbidez final que depende de la dosificación y pH para cada experimento; con el fin de determinar el cálculo que se muestra en la ecuación 5.

$$\text{Ecuación 5. Actividad coagulante}$$
$$\text{Actividad coagulante} = \frac{(\text{Turbidez Blanco} - \text{Turbidez Final})}{\text{Turbidez Blanco}} * 100$$

FUENTE ZAMUDIO, Julián; IBARRA, Darwin; SOLAQUE, Oscar; REINEL, Jhon; CAFIERO, Ana; GARZON, Eduardo; Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. Tecnología Y Productividad, (2015) 71-83.

Para cada nivel y factor del diseño de experimentos se desarrolló la ecuación 5. Índice de remoción y turbidez, donde los respectivos resultados en el laboratorio fueron los indicados en la tabla 26.

²⁰² ZAMUDIO, J et. al. (2015). Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. Tecnología Y Productividad, 71-83. Disponible en: <<http://revistas.sena.edu.co/index.php/rtyp/article/view/248>>

Se puede observar la actividad del coagulante partiendo de un cambio de dosificación del coagulante y del pH, la dosificación de 2 mL y pH de 2,08 indica el mayor porcentaje de remoción de turbidez de 99,47%.

Tabla 26. Porcentajes remoción de turbidez para cada experimento

		pH		
		1,99	2,08	3,77
Dosificación del coagulante (mL)	2	99,10%	99,47%	94,95%
	2,4	99,03%	98,63%	92,65%
	3,5	92,62%	94,95%	87,85%

Para cada nivel y factor del diseño de experimentos se desarrolló la ecuación 5, la cual describe el comportamiento de la actividad del coagulante, donde los respectivos resultados en el laboratorio fueron los indicados en la tabla 27 La actividad del coagulante a pH de 2,08 y dosificación de 2mL presenta la mayor actividad de coagulante correspondiente a 99,42%.

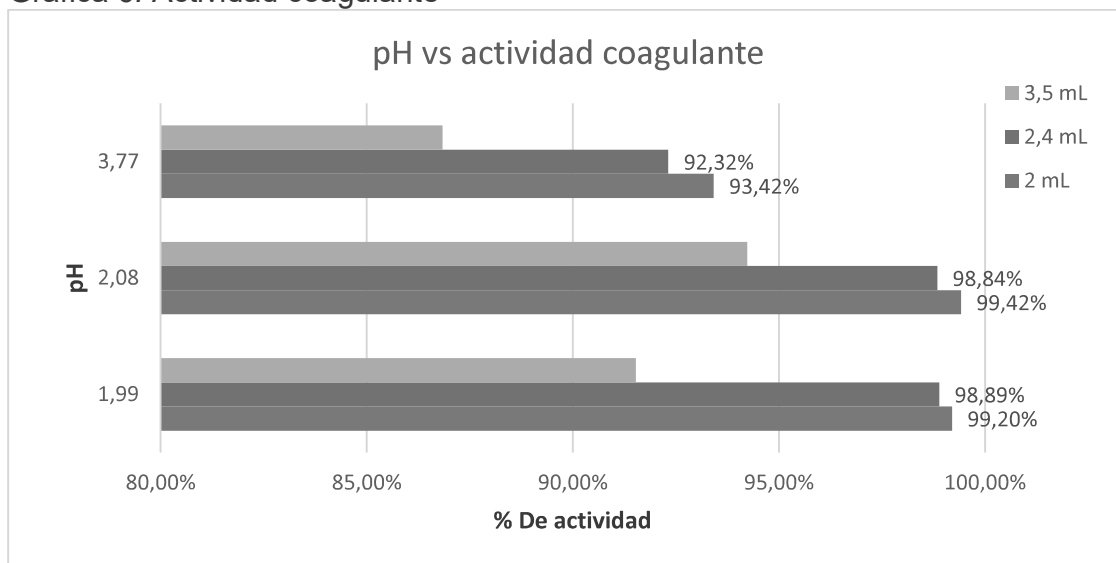
Tabla 27. Actividad coagulante

		pH		
		1,99	2,08	3,77
Dosificación del coagulante (mL)	2	99,20%	99,42%	93,42%
	2,4	98,89%	98,84%	92,32%
	3,5	91,53%	94,23%	86,84%

En la gráfica 6 se indica la dosificación y el rango de pH que varía la actividad del coagulante, se da que para la actividad del coagulante el dato más favorable se presenta en el pH de 2,08 con una dosificación de 2 mL, en el cual se tiene un valor correspondiente a 99,42% actividad del coagulante, el dato menos favorable se presentó a una dosificación de 3,5 mL y un pH de 3,77. Según Bravo Mónica extractos de semillas de castaño y de roble presentan una actividad de coagulante del 80% al 70%, respectivamente, con una dosis de coagulante de 0,5 mg /L.²⁰³ La actividad de coagulante de este trabajo investigativo alcanzo valores más altos correspondientes a 99,42% lo que nos afirma que el coagulante es efectivo para el tratamiento primario de agua.

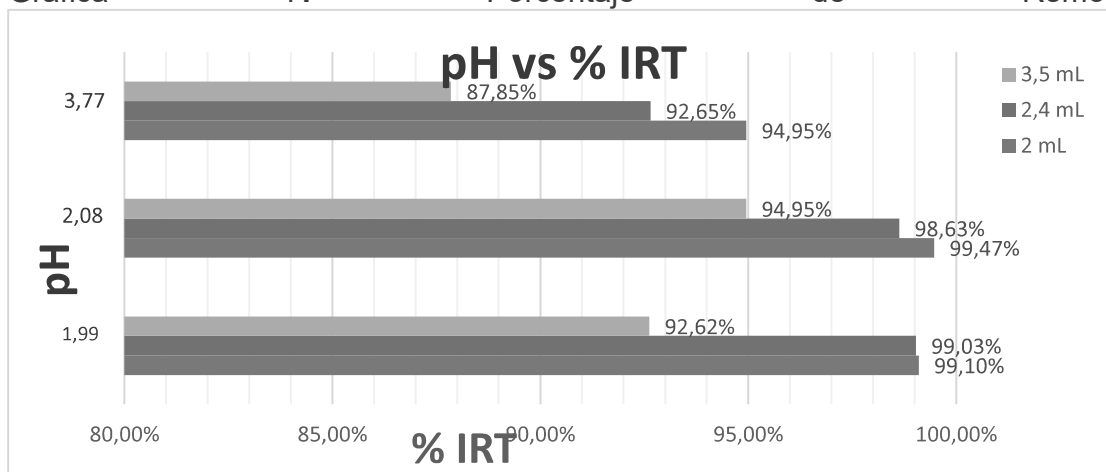
²⁰³ BRAVO, Mónica. Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. En: Proyecto Licenciatura en Química Universidad distrital francisco José de caldas. Facultad de ciencias y educación. Bogotá D.C (2017) p. 117

Gráfica 6. Actividad coagulante



En la gráfica 7 se indica la dosificación del coagulante, el rango de pH que varía entre 1,99 y 3,77, se tiene que para el porcentaje de remoción el dato más favorable se presenta en el pH de 2,08 con una dosificación de 2 mL, en el cual se tiene un valor correspondiente a 99,47% porcentaje de remoción, el dato menos favorable se presentó a una dosificación de 3,5 mL y un pH de 3,77. Según Parra el coagulante a base de tuna *Opuntia Wentiana* tiene un rango de porcentaje de remoción de 85,25% y 94,84%²⁰⁴, el porcentaje de remoción del coagulante natural de este trabajo investigativo se acerca con el de Parra lo que genera confiabilidad en los datos.

Gráfica 7. Porcentaje de Remoción



²⁰⁴ PARRA, Yoselin Op. Cit., p.31.

En la experimentación realizada se presentó que 2 de los 18 experimentos cumplen con la resolución 2115 del 22 de junio,²⁰⁵ estos resultados arrojados a un pH de 2,08 y una dosificación de 2ml, dando el menor resultado y siendo este un rango cercano al valor máximo aceptable, el cual corresponde a 2 NTU.

²⁰⁵ COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA, Y DESARROLLO TERRITORIAL, Resolución 2115 del 2007 Op cit. 47p.

5. RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN FINAL AGUA TRATADA

Las muestras tomadas en temporada de sequía se descartaron desde la pre experimentación debido a que el coagulante proporcionaba una mayor turbidez a la muestra

5.1 DETERMINACIÓN DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Por lo anterior en la tabla 28 se pueden observar los resultados de la demanda química de entrada y de salida para la temporada de lluvia y su correspondiente eficiencia de remoción correspondiente a 89.28%.

El valor de la demanda química de oxígeno final correspondiente al agua tratada con el coagulante natural, disminuyó un 89,28% en comparación con el valor de la demanda química de oxígeno inicial, esto se debe a la remoción que se realizó de materia orgánica que se tenía presente en la muestra después del tratamiento.

Tabla 28. Demanda Química de oxígeno inicial y final, Eficiencia de remoción.

Fecha	Demanda Química de Oxígeno mg O ₂ /L		Eficiencia de Remoción
	Inicial	Tratada	
5 marzo del 2018	497.8	53.3	89.29%

Como se puede observar en la tabla 29 se presentan diferentes coagulantes con los porcentajes de remoción de DQO, el porcentaje de remoción del coagulante natural proveniente de residuos de café demostró tener mayor porcentaje de remoción de DQO que los referenciados presentados en la tabla 28 lo que significa que podría ser utilizado para tratamientos primarios de agua.

Tabla 29. Comparación de eficiencia de remoción DQO de diferentes coagulante

Coagulante	% Remoción DQO
Cloruro de Hierro III	46,7% ²⁰⁶
Semilla de Tamarindo	29,2% ²⁰⁷

²⁰⁶ GURDIÁN Róger. Op. cit., p.23

²⁰⁷ Ibíd., p.23

5.2 DETERMINACIÓN DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

La demanda bioquímica después del tratamiento con el coagulante natural correspondió a 0,20 mg/L, logrando así una eficiencia de remoción de 99,0457%, en base a la norma RAS 2000. Tabla B 2.1,²⁰⁸ la demanda bioquímica de oxígeno estaría menor a 1,5 mg/l lo que significa que la fuente es aceptable, valores que se expresan en la tabla 30.

Tabla 30. Demanda bioquímica de oxígeno inicial y final, eficiencia de remoción.

Fecha	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg O ₂ /L		%Eficiencia de Remoción
	Inicial	Tratada	
5 marzo del 2018	21,02	0,20	99,05%

Según Alcarraz, el porcentaje de remoción de DBO de sulfato de aluminio y Polycat-5460 después de realizar un tratamiento primario, coagulación y floculación correspondió a 93,87% y 96,58%²⁰⁹, el coagulante natural proveniente de residuos de café presento una mayor eficiencia de remoción realizando el mismo tratamiento primario como se puede observar en la tabla 31.

Tabla 31. Coagulantes y porcentajes de remoción de DBO

Coagulante	%Porcentaje de Remoción de DBO
Sulfato de Aluminio	93,87%
Polycat-5460	96,58%

FUENTE: ALCARRAZ, Mario, GAMARRA, Gerardo, CASTRO Américo y GODOY Juan. Eficacia de coagulantes en el tratamiento primario de efluentes de procesadora de frutas. Ciencia e Investigación 2010; 13(2): 60-66

²⁰⁸ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico; Noviembre del 2000, RAS- 2000 . Op. Cit., p.53

²⁰⁹ ALCARRAZ Mario et. al. Eficacia de coagulantes en el tratamiento primario de efluentes de procesadora de frutas. Ciencia e Investigación 2010; 13(2): 60-66.

[citado 23 marzo,2018] Disponible en <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/ciencia/v13_n2/pdf/a02v13n2.pdf>

6. COMPARACIÓN DEL COAGULANTE NATURAL CON COAGULANTE METÁLICO

Se determinó la turbidez inicial (temporada sequía y lluvia) , posteriormente con la metodología de test de jarras se determinó la actividad del coagulante , el índice de remoción de turbidez para el coagulante natural y el coagulante de sulfato de aluminio , se puede observar en la tabla 32 que el sulfato de aluminio tiene una actividad de coagulante y índice de remoción de la turbidez mayor comparando con el coagulante natural, a su vez este coagulante de sulfato de aluminio produce un lodo difícil de tratar por la precipitación del hidróxido de aluminio por lo cual se quiere minimizar su uso.²¹⁰

No se cambió el pH del agua ya que el sulfato de aluminio funciona en los rangos de 5,5 y 8.²¹¹ Se preparó una solución de sulfato de aluminio con una concentración de 60 g/L, de la cual fueron añadidos 3,5 mL partiendo del artículo de BARAJAS, Claudia²¹²; se operó un pH de 6,66 y una agitación de 40rpm por 30 minutos tras haber hecho una agitación inicial de 100rpm durante un minuto.²¹³

Tabla 32 Comparación coagulante sulfato de aluminio y coagulante natural.

Coagulante		Sulfato de Aluminio	Coagulante Natural
Turbidez	Sequía	2,45 NTU	9,50 NTU
	Lluvia	1,55 NTU	1,99 NTU
Actividad del coagulante temporada de Lluvia		99,67%	99,42%
% IRT temporada de lluvia		99,69%	99,47%
Mililitros Utilizados		3,5	2

Para verificar la fiabilidad de los datos determinados, se comparó los datos obtenidos de remoción de turbiedad con otras fuentes que utilizan diferentes coagulantes como se puede observar en la tabla 33

²¹⁰ ÖZACAR, M y ŞENGİL, I. (2000). Effectiveness of tannins obtained from valonia as a coagulant aid for dewatering of sludge. *Water Res.* 34(4):1407-1412.

²¹¹ BARAJAS, Claudia, y LEÓN, Andrea. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (al₂(so₄)₃ 18h₂o) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial, Universidad Santo Tomas, Bogotá, [citado 1 abril,2018] Disponible en <<http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

²¹² *Ibíd.*, p.82

²¹³ CHACUA Y RODRIGUEZ Op. Cit.,p. 66

Tabla 33 Comparación de remoción de turbiedad con diferentes coagulantes.

COAGULANTE	IRT%
Extracto Acacia Australiana	75% ²¹⁴
LASA55(50 %Almidón de plátano- 50% Sulfato de aluminio)	90%-94% ²¹⁵
Tuna <i>Opuntia wentiana</i>	85,25 y 94,84% ²¹⁶
Tanfloc(Extracto mimosa)	60% ²¹⁷

La remoción de turbidez de los coagulantes aplicados en aguas naturales de la tabla 33 da un punto de comparación para demostrar que el índice de remoción de turbidez del coagulante a partir de residuos de café es mayor que la presente por estos coagulantes, excluyendo al coagulante de sulfato de aluminio. Con los datos anteriores se puede emplear como coagulante primario ya que los valores de remoción superan al 70%²¹⁸, pero sugiriendo un largo tiempo de sedimentación.

²¹⁴ BELTRÁN, Heredia. Op. cit., p.20.

²¹⁵ LAINES, Jose. Op. cit., p 2.

²¹⁶ PARRA, Yoselin. Op. cit., p.31.

²¹⁷ SÁNCHEZ, Martín. Op. cit., p.2.

²¹⁸ *Ibíd.*, p.31

7. CONCLUSIONES

- Fueron diagnosticadas las condiciones fisicoquímicas para los parámetros turbidez, DQO, DBO₅, pH y temperatura iniciales de las muestras de agua obtenidas de la quebrada Carbonera, las cuales se tomaron en temporadas de sequía y de lluvias, en caso de la turbidez el resultado fue de 3,86 y 367 NTU respectivamente, la DQO fue de 219,2 y 497,8 mg O₂/L, la DBO₅ fue 14,81 y 21,02 mg O₂/L, el pH Inicial fue de 6,66 y la temperatura de 4°C. De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, la fuente cumple con el parámetro de pH, pero en el caso de la turbidez el límite permisible es de 2 NTU, esto demuestra que la fuente requiere tratamiento para que el agua sea apta para consumo, para el resultado de la DBO₅ se hizo la comparación con la tabla B1 del título B del RAS 2000 donde se muestra que la fuente es deficiente.
- Para determinar la acción del coagulante, fue necesario hacer la extracción de los polifenoles presentes en los granos verdes mediante la técnica asistida con ultrasonido anexo C, la concentración de los polifenoles fue obtenida por el método Follin Ciocallteu la cual arrojó una concentración de 385,4 mg GAE/ g de café en base seca, dando una extracción favorable de polifenoles frente a trabajos realizados por Chacua y Rodríguez las cuales obtuvieron un 14% de la concentración extraída, igualmente Aponte y Palomino los cuales generaron una extracción del 3% frente a la dada por las autoras, dicho aumento se presentó por la preservación de la materia prima.
- Por medio de la Norma Técnica Colombiana 3903, método de jarras en la coagulación del agua,²¹⁹ se recolectó las muestras en la quebrada Carbonera-Silvania –Cundinamarca. Para la temporada de sequía, se obtuvo un aumento de turbidez de 367 NTU en rangos de pH ácidos y básicos, esto es generado por la baja concentración de partículas suspendidas en la muestra de temporada de sequía, ocasionando una sobresaturación por parte del coagulante y así aumentando las partículas presentes en la muestra, teniendo en comparación las muestras de la temporada de lluvia las cuales a un pH de 2,08 y una concentración de 131,1mg GAE/g su turbidez correspondió a 1,99NTU.

²¹⁹ INSTITUTO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN UN RECIPIENTE CON AGUA O MÉTODO DE JARRAS NTC-3903. Bogotá D.C.: ICONTEC, 21 de abril de 2010. 9p.

- Para la evaluación del coagulante natural se realizó un diseño de experimentos 3^2 , en el cual los factores correspondieron a pH y dosis del coagulante con tres niveles en cada uno de estos, los cuales para el pH fueron 1,99; 2,08; 3,77 y para la dosis 2 mL; 2,4 mL; 3,5 mL, el resultado de la actividad coagulante correspondió a 99,42% en pH 2,08 y en un volumen de dosificación de 2 mL con una concentración de 131,1 mg GAE/g en base seca. En comparación con Antov *et al.* quienes estudiaron la actividad coagulante de extractos de semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris*), reportan haber obtenido valores de actividad del coagulante 45%²²⁰, la actividad del coagulante proveniente de residuos de café duplica el valor del coagulante de extractos de semillas de frijol, demostrando que presenta características similares a los coagulantes convencionales y que puede ser utilizado para tratamiento primario del agua.
- Se analizó la concentración de DQO por el método de reflujo cerrado y DBO₅ por el método de incubación a los 5 días en muestras de agua provenientes de la quebrada Carbonera, en el municipio de Sylvania Los resultados finales del tratamiento fueron 53,3 mg O₂/L para el DQO y 0,20 mg de O₂/L para el DBO₅, mostrando que según la RAS 2000 en la tabla B1 del título B el tratamiento con el coagulante natural es efectivo para el tratamiento de agua de consumo humano, presentando una remoción de DQO del 86,29% y DBO₅ del 99,05%.
- Se realizó una comparación entre el índice de remoción del coagulante natural y el coagulante sulfato de aluminio, por medio del test de jarras, en el cual se implementó una dosificación de 2 mL de los polifenoles a una concentración de 131,1 mg de GAE/g de café en base seca y 3,5 mL de sulfato de aluminio a una concentración de 60g/L, del tratamiento se obtiene un resultado de %IRT de 99,69% del sulfato de aluminio y un 99,47% del coagulante natural. Dando un aumento de remoción del 0,22% del sulfato, al no presentar una diferencia de porcentajes muy altos, el coagulante natural es una opción apropiada para dar una alternativa a los coagulantes sintéticos. En comparación con otros autores, quienes, a partir de taninos de especies vegetales como extracto de mimosa²²¹ y extracto de Acacia

²²⁰ ANTOV *et. al.* Investigation of isolation conditions and ion-exchange purification of protein coagulation components from common bean seed. (2007) En: BIBLID, Disponible en: <<http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1450-7188/2007/1450-71880738003A.pdf>>

²²¹ SÁNCHEZ y BELTRÁN Op. Cit., p. 2051-2058

Australiana²²², determinaron el porcentaje de disminución del índice de turbidez correspondiente a 60% y 75%. Teniendo en cuenta lo anterior el valor de la actividad del coagulante proveniente de residuo de café representa 1,66 % y 1,32% de los valores de índice de turbidez de los autores anteriormente mencionados, a su vez, el coagulante de sulfato presenta valores de porcentaje de remoción de turbidez mayores a los mencionados, pero se desea disminuir su uso por los impactos ambientales y de salud que ocasionan estos coagulantes convencionales.

- Por el método de reflujo cerrado e incubación de 5 días en la temporada de lluvia, se obtuvo un valor inicial de turbidez de 367 NTU con una DQO de 497,8 mg O₂/L y una DBO₅ de 21,02 mg O₂/L; después del tratamiento del agua mediante el uso del coagulante natural se determinó que para valores de turbidez de 1,99 NTU se presentó DQO de 53,3 mg O₂/L y una DBO₅ de 0,20 mg O₂/L, lo que demuestra que existe una correlación entre la turbidez y parámetros como demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno.

²²² BELTRÁN y SÁNCHEZ Op. Cit., p. 1704-1712

8. RECOMENDACIONES

- Mediante la metodología de test de jarras y utilizando los polifenoles buscar el rango de turbidez en el cual la turbidez final del tratamiento sea menor a la presentada en el agua inicialmente, con el fin de tener valores mayores a cero para %IRT
- Es recomendable utilizar el coagulante en futuras investigaciones, con aguas residuales como de industrias de tintas flexográficas, de beneficio animal, entre otras las cuales presentan una mayor turbidez inicial y rangos de pH ácido, ya que es el pH óptimo de implementación.
- Se recomiendan revisar una metodología para la preservación de los polifenoles durante un tiempo más prolongado para así ser implementados en el tratamiento primario de aguas.

BIBLIOGRAFIA

Acido Gálico [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <<http://www.fotoseimagenes.net/acido-galico>>

Ácidos Fenólicos [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en: <http://www.plantasyhongos.es/glosario/acidos_fenolicos.htm>

ACUASOL. Haz más con menos agua. (2016). Silvania Cundinamarca

ADAMSON, Arthur W., GUZMAN, Martin y NAVARRO, Munne. Química Física., Barcelona: Reverté, 1979. 1166- 1168 p.

ALCARRAZ, Mario, et. al. Eficacia de coagulantes en el tratamiento primario de efluentes de procesadora de frutas. En: Ciencia e Investigación (2010) [citado 23 de marzo, 2018] Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/ciencia/v13_n2/pdf/a02v13n2.pdf>

ALCAZAR Juan, Estadística: Anova Multifactorial [citado 22 de marzo, 2018]. Disponible en :<http://www3.uah.es/juange_alcazar/Estadistica%20Alcala/ANOVA%20multifactorial.pdf>

AL-DHABI, Naif. A.; PONMURUGAN, Karuppiah. y MARAN, Prakash., Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds. Ultrasonics Sonochemistry. enero del 2017, volumen 34, 206 – 213p

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICANWATERWORKS ASSOCIATION y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, Métodos normalizados para el muestreo de aguas, Edición 17. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A., 1992. 1830p

Antocianidinas [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Antocianidinas_fig1_316173675>

ANTOV et. al. Investigation of isolation conditions and ion-exchange purification of protein coagulation components from common bean seed. (2007) En: BIBLID, Disponible en: <<http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1450-7188/2007/1450-71880738003A.pdf>>

APONTE, Camilo. y PALOMINO, Mónica., Separación de polifenoles a partir de residuos de café para evaluar su aplicabilidad como parte de un coagulante natural, Ingeniero Químico, Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América ,2016.

AVILA J., Cristian. ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? En: El tiempo (22 de marzo del 2015) [En Línea Consultado: Agosto del 2017] Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15445939>>

AYORA, María. Equilibrio Acido-Base. En: Universidad de Jaén (2005) [citado 8, marzo 2018] Disponible en: <http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/bases%20quimicas/TEMA%2011.pdf>

BARAJAS, Claudia, y LEÓN, Andrea. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial, Universidad Santo Tomas, Bogotá, [citado 1 abril,2018] Disponible en <<http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

BARBERÁN, Tomás. Los polifenoles de los alimentos y la salud. En Revista Alimentación[online] (2013), [citado 3 marzo,2018]. Disponible en <<http://digital.csic.es/bitstream/10261/18042/3/lectura.PDF.pdf>>

BARRENECHEA, Ada. Coagulación. En: Manual tomo I Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú. Organización panamericana de la salud, 2004.p.179

BELTRÁN, Heredia y SÁNCHEZ, Martín. (2009) Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. Vol 249 353–358

BELTRÁN, Heredia y SÁNCHEZ, Martín; DÁVILA-Acedo (2011). Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. J. Haz. Mat. 186:1704-1712

BELTRAN, Heredia; SÁNCHEZ, Martin y DÁVILA, Acero. Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. En: Science direct. 14 diciembre 2010. Vol 186. 1704-1712

BELTRÁN, Heredia; SÁNCHEZ, Martin y GÓMEZ, Muñoz. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. En: Chemical Engineering Journal septiembre 2010. Vol. 162. 1019-1025

BOLTO, Brian y GREGORY, John. Organic polyelectrolytes in water treatment. En: water research (2007) vol. 41. 2301 – 2324

BRAVO, Mónica. Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.

En: Proyecto Licenciatura en Química Universidad distrital francisco José de caldas. Facultad de ciencias y educación. Bogotá D.C (2017) p. 117

CAFÉ DE COLOMBIA. (2010) Producto especial. En: Café de Colombia. [En Línea Consultado 10 de febrero del 2018]. Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/>

CAFÉ DE COLOMBIA. Defectos del café verde. En: Federación nacional de cafeteros (2010) [En línea consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/regulacion_nacional/exportadores/2831_calidades_de_exportacion/>

Caféico [Anónimo] [citado 23, marzo,2018] Disponible en <<http://www.plantasyhongos.es/swf/cafeico.jpg>>

CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de Agua, Coagulación y floculación. En: CEDAPAL. Abril del 200. [citado 6, marzo 2018] Disponible en <http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154>

CASTAÑEDA, Recalde R. Acceso equitativo a servicios de agua potable y alcantarillado: una oportunidad para el activismo judicial y social a nivel local. En: revista de derecho. p. 257-291

CASTELLAN, Gilbert. Físicoquímica. Segunda Edición, México: Pearson Educación, 1987. 462-465 p

Catequina [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Estructura-quimica-de-la-catequina-un-flavonoide_fig6_317332901>

CENICAFÉ composición de los granos verdes de café En: Federación Nacional de Cafeteros (mayo 1975) [citado 10, octubre, 2018]. Disponible en: <<http://biblioteca.cenicafé.org/bitstream/10778/740/2/1%20Composici%C3%B3n%20granos%20caf%C3%A9%20verde%20y%20tostado.pdf>>

CENICAFÉ. Cultivemos café, manejo de subproductos En: Centro nacional de investigaciones de café (31 de marzo de 2016) [En línea Consultado febrero 20 del 2018] Disponible en <https://www.cenicafé.org/es/index.php/cultivemos_café/manejo_de_subproductos>

CENTRO DE COMERCIO INTERNACIONAL. Exportaciones mundiales de café. [En Línea Consultado 11 de febrero del 2018]. Disponible en: <<http://www.intracen.org/guia-del-cafe/el-comercio-mundial-del-cafe/Exportaciones-mundiales-de-cafe-datos-basicos/>>

CHACUA M. Daniela y RODRÍGUEZ M. Mónica A. Evaluación de polifenoles extraídos a partir de residuos de Coffea arabica, para la producción de un coagulante natural; Ingeniero Químico, Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América, 2017.

Chemical structure of rutin [citado 22, marzo, 2018] Disponible en <<https://www.hindawi.com/journals/ecam/2012/980276/fig1/>>

COLOMBIA, IDEAM y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Protocolo titulado: "Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM", Código TI0207, 6 De abril del 2010, 6p.

COGOLLO, J. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados. En: Universidad Nacional de Colombia. (2010) [citado 23 de marzo, 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/pdf/496/49622372002.pdf>>

COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico; Noviembre del 2000, RAS- 2000 45- 53p.

COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA, Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución. No 2115, junio 22 del 2007, 23 p.

COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 del 2017. Junio 08 del 2017, 182 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000; Bogotá Colombia, noviembre del 2000. Título E. 145p.

CYCLUS. Tratamiento primario (2001) [En Línea Consultado: 15 marzo del 2018] Disponible en: < <http://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>>

CRITTENDER, John C., et al. Principios de tratamiento del agua. Tercera Edición. México: CENGAGE learning editores, S.A. (2012) 1920 p.

DEROOS, Anneclaire et. al. Review of Epidemiological Studies of Drinking-Water Turbidity in Relation to Acute Gastrointestinal Illness. [En línea] disponible en <<https://doi.org/10.1289/EHP1090>>

DIAZ Marcelo et. al. Fenólicos a partir de residuos de café: Optimización del proceso de extracción. Revista de Investigaciones, Alto andinas - Journal of High Andean Research, Vol.19, N° 4 (2017)

DÍAZ, Vanessa. y VÁSQUEZ, Eva. Determinación de la composición y la capacidad antioxidante de aceites obtenidos por extracción con CO₂ supercrítico de granos de café con diferente grado de tosti3n. T3tulo de Qu3mica. Bucaramanga. - Santander: Universidad industrial de Santander, Facultad de ciencias, 2011 118 p.

DR. CALDERON LABORATORIOS, Determinaci3n de la demanda qu3mica de ox3geno en aguas. [En L3nea 10 de febrero 2018] 12 de enero 2001, Disponible en:
<http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DQO.htm>

DURANGO, Karen et. al. Caracterizaci3n preliminar del enzima polifenol oxidasa en frutas tropicales: implicaciones en su proceso de industrializaci3n En: SCIENTIA ET TECHNICA .2007. Vol. 1. N3 33.

FARAH Adriana y MARINO Carmen. Phenolic compounds in coffee En: Scielo Analytics. Laboratorio de Bioqu3mica Nutricional de Alimentos. Departamento de Bioqu3mica, Instituto de Qu3mica, Universidad Federal de Rio de Janeiro. Marzo del 2016 [Citado 4, marzo,2018]. Disponible en:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202006000100003>

FEDERACI3N NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El 3rbol y el entorno. En: Caf3 de Colombia. [En L3nea Consultado 10 de febrero del 2018]. Disponible en:
<http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_caf3/el_caf3/el_arbol_y_el_entorno>

FEDERACI3N NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA El cultivo. En: caf3 de Colombia. (2010). [En l3nea consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en:
<http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cultivo/>

GARC3A, Alfredo. (2014). Colombia, otra vez tercer productor mundial de caf3. En: El pa3s. [En L3nea Consultado 11 de febrero del 2018]. Disponible en:
<<http://www.elpais.com.co/economia/colombia-otra-vez-tercer-productor-mundial-de-cafe.html>>

GARCIA, Eva; FERNANDEZ, Isabel y FUENTES, Ana, Determinaci3n de polifenoles totales por el m3todo Folin-Ciocalteu .[En L3nea 15 de marzo del 2018] ,22 de Junio del 2016 Disponible En:<<http://hdl.handle.net/10251/52056>>.

G3MEZ, F. Cultivo del caf3 y sus principales plagas que representan un gran impacto econ3mico. En: Ciencias f3sicas y exactas .Microbiolog3a Industrial. UDES.

[En Línea Consultado el 7 Enero 2017]. Disponible en:
<https://nanopdf.com/download/cultivo-del-cafe-y-sus-principales-plagas-que_pdf>

GONZÁLEZ, Carmen. La turbidez. En Monitoreo de la calidad de agua [Citado 15, marzo, 2018]. Octubre 2011 Disponible en:
<<http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>>

GOYENOLA, Guillermo. Transparencia, color y turbidez; [En línea Consultado el 4 marzo ,2018]. (1 de junio del 2007) Disponible en:
<http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/transparencia_color_%20turbidez.pdf>

GUERRA, Jayerth, (2013). Calidad del agua; Medio ambiente y recursos naturales, Universidad Distrital Francisco José Caldas. Disponible en:
<<http://calidaddelagua.webs.com/>>

GURDIÁN Róger y COTO Juana., (2010) Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (Tamarindos indica) [citado 23 de marzo, 2018] En: la coagulación floculación de aguas residuales, Tecnología en Marcha, Vol. 24, N° 2, p.23. Disponible en: <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/138>

IDEAM Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo titulado: Código TI0207 “Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM: Colombia: 2010.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Demanda bioquímica de oxígeno – 5 días, incubación y electrometría TP0087. Colombia: IDEAM, 4 de junio del 2007. p. 9

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Determinación de contenido de sólidos. NTC-897. Bogotá D.C.: ICONTEC, 17 de agosto de 1994. 21.p

_____. Calidad del agua Determinación de la turbiedad. Método Nefelométrico. NTC-4707. Bogotá D.C.: ICONTEC, 24 de noviembre de 1999. 1 – 3p.

_____. Calidad del agua. Demanda química de oxígeno. NTC-3629. Bogotá D.C.: ICONTEC, 29 de mayo de 2002. 13p.

_____. Calidad del agua. Demanda Bioquímica de oxígeno NTC- 3630. Bogotá D.C.: ICONTEC, 28 de agosto de 2002. 16p

_____. Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras NTC-3903. Bogotá D.C.: ICONTEC, 21 de abril de 2010. 9p.

_____. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá:El Instituto,1998.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: El Instituto, 1998.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1998.

INSTITUTO DE NUTRICIÓN Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS (INTA), ¿Qué son los polifenoles? [En Línea Consultado el febrero 15 del 2018] (agosto 2012) Disponible en: <http://www.portalantioxidantes.com/?qa_faqs=%C2%BFque-son-los-polifenoles-y-como-se-clasifican>

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. Aspectos Botánicos. En: International coffee organization. [En línea Consultado 3 de abr. de 18] Disponible en: <http://www.ico.org/es/botanical_c.asp>

Isoflavonas [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en http://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Paginas/articulo_03.aspx

La página de Bedri. Café arábico [En Línea Consultado el enero 2017]. Disponible en:

<http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Café/Especies_de_cafeto/Café_arabiga.htm>

LAINES, José. et. al. Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. En scielo. Caracas, enero 2008. [Citado 23 marzo 2018] Disponible en:

<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100006>

LÉDO, Patricia et. al. Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleífera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. En: Información Tecnológica. 3 de diciembre del 2009; Vol. 20 p. 3-12.

LÓPEZ, R. y COTO, J. Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo en la coagulación-floculación de aguas residuales. Septiembre2017, .p. 19

MARÍN Carolina y PUERTA, Gloria. Contenido de ácidos clorogénicos en granos de Coffea arabica y C. canephora, Según el desarrollo del fruto. En: Cenicafé 59(1):7-28.2008[citado 4 marzo,2018] Disponible en: <[https://www.cenicafé.org/es/publications/arc059\(01\)007-028.pdf](https://www.cenicafé.org/es/publications/arc059(01)007-028.pdf)>

MARTÍNEZ, Sara. Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: metodología para su determinación e identificación. Tesis doctoral. Madrid.: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia .2010.96p.

MERCADO Gilberto, CARRILLO Laura, MEDRANO Abraham y ÁLVAREZ Emilio. Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. En: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez [online],4 de noviembre 2012. [Citado 1 marzo, 2018] Disponible en <<http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v28n1/05revision05.pdf>>

MESA, Shirley; ORTIZ, Aristofeles y ARISTISABAL, Luz. Determinación de antioxidante en subproductos de café producido y comercializado en Risaralda (Colombia), En: Universidad Tecnológica de Pereira virtual [Online],2017[Citado 3, mayo, 2018] Disponible en: <http://hdl.handle.net/11059/7597>

MOLINARES, Viridiana y MOLINA Judith. El derecho humano al agua. En: revista colombiana de derecho internacional 2011
Naringenina [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <<https://uniquim.iquimica.unam.mx/compuesto-item/naringenina-1198/>>

MURILLO F. Análisis de varianza. En: Universidad autónoma de Madrid. (2017) [En línea 1 de abril del 2018] disponible en: <https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/Estadistica/4.%20Análisis%20de%20Varianza.pdf>

OLIVERO, Rafael; MERCADO, Iván y MONTES, Luz; Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*; En: Producción + Limpia. Junio del 2013 Vol.8, No.1 - p. 19- 27

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud. En: Agua Saneamiento y salud. ASS [En línea Consultado: 10 de febrero 2018] Disponible en:<http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Agua. Julio de 2017 [En línea Consultado: 10 de marzo 2018] Disponible <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>>

OTTO, Frank. Cloudy wáter linked to gastrointestinal illnesses. En: Universidad Drexel, agosto,2017[citado 22 de marzo,2018] Disponible en: <<http://drexel.edu/now/archive/2017/August/Cloudy-water-linked-to-gastrointestinal-illnesses/>>

ÖZACAR, M y ŞENGİL, I. (2000). Effectiveness of tannins obtained from valonia as a coagulant aid for dewatering of sludge. *Water Res.* 34(4):1407-1412.

OZCAR, Mahmut y SENGİL, Ayhan (2002) The Use of Tannins from Turkish Acorns (Valonia) in Water Treatment as a Coagulant and Coagulant Aid. En: *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 26: 255 -263.

PARRA, Rober. La ciencia del café. En: *Hablando de ciencia* (octubre 20,2014) [En línea consultado 12 de febrero del 2018] Disponible en: <http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2014/10/20/la-ciencia-del-café-i-de-la-planta-a-la-taza/>

PARRA, Yoselin., et. al. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia Wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae). *Redieluz*, En : *Serbiluz*, Universidad de Zulia , Venezuela , Enero-junio 2011 [citado 20 ,marzo,2018] Disponible en :<<http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/redieluz/article/view/521/520>>

PAYERAS, Antoni, Parámetros de calidad de las aguas de riego (2011). *Bonsái Menorca*. Disponible en: <<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>>

PÉREZ, Jaume. La distribución F Fisher. (2013) [En línea 2 de abril del 2018] Disponible en :<<https://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2013/01/07/la-distribucion-f-de-fisher/>>

PÉREZ, José, Estado del arte Coagulación. En: *Revista CEPIS* 1973 [Citado 16, marzo 2018] Disponible en <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=153868&indexSearch=ID> >

PUERTA, Gloria. Composición Química de una taza de café. *Avances Técnicos* En: *CENICAFÉ*. Diciembre del 2011 [citado 3, marzo,2018] Disponible en: <<https://www.cenicafé.org/es/publications/avt04142.pdf>>

Quinico [Anónimo] [citado 22, marzo,2018] Disponible en <<https://sew.blob.core.windows.net/upload/12374/web/product/thumb/-quinic-acid.jpg>>

PUERTA, Gloria. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. En: *cenicafé* [En Línea Consultado: 1 abril del

2018] Disponible en: <[https://www.cenicafe.org/es/publications/arc051\(02\)136-150.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(02)136-150.pdf) >

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO C. Sistemas de Potabilización / Vargas Liévano, Armando (Ed.). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

RAMIREZ F. El agua potable. . [citado 5, marzo 2018] Disponible en <<http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm> >

RODRIGUEZ, Nelson y ZAMBRANO, Diego. Subproductos del café: Fuente de energía renovable. En: CENICAFÉ, Avances técnicos (marzo 2010) [En línea consultado 15 de febrero del 2018] Disponible en: <<https://www.cenicafé.org/es/publications/avt0393.pdf>>

RODRIGUEZ, Nelson. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. En: Cenicafe. citado 20, marzo ,2018] Disponible en <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxx.pdf>>

SALA, Angels y SALA, Marta. Medio ambiente. En: Organización de estados Iberoamericanos para la educación, la ciencia y la cultura. [En línea Consultado 10 de febrero del 2018] Disponible en: <<http://www.oei.es/historico/innovamedia/amb01.htm>>

SALAMANCA, Eduard (2016). Tratamiento De Aguas Para El Consumo Humano. En: revista modulo arquitectura CUC. Vol. 17, no. 2, p. 29-48

SÁNCHEZ, Martín y BELTRÁN, Heredia, (2009). Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot Plant Trials. En: pubmed. J. Environ. Managem. 91:2051-2058

SÁNCHEZ, Martín y GONZÁLEZ, Velasco. Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*). En: Elsevier .Chemical Engineering Journal vol 165 (2010) 851–858

SANDOVAL, María y LAINES, José; Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. En: INGENIERÍA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. mayo-agosto del 2013, vol. 17, p. 93-101 [citado 23 marzo, 2018] Disponible en <<http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>>

SURAJUDEEN, Abdulsalam y IDRIS, Misau. Water clarification using Moringa oleífera seed coagulant: Maiduguri raw water as a case study. En: Journal of Food Agriculture and Environment enero 2007 302-306

VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano (2016). En revista: CEPIS; p. 105; 2004.

VIERIRA, Paola et. al. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010. [citado 23, marzo, 2018] Disponible en < http://ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/viewFile/285/pdf_380>

VILLA, M. Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación contaminación. (2011) Universidad de Cádiz.

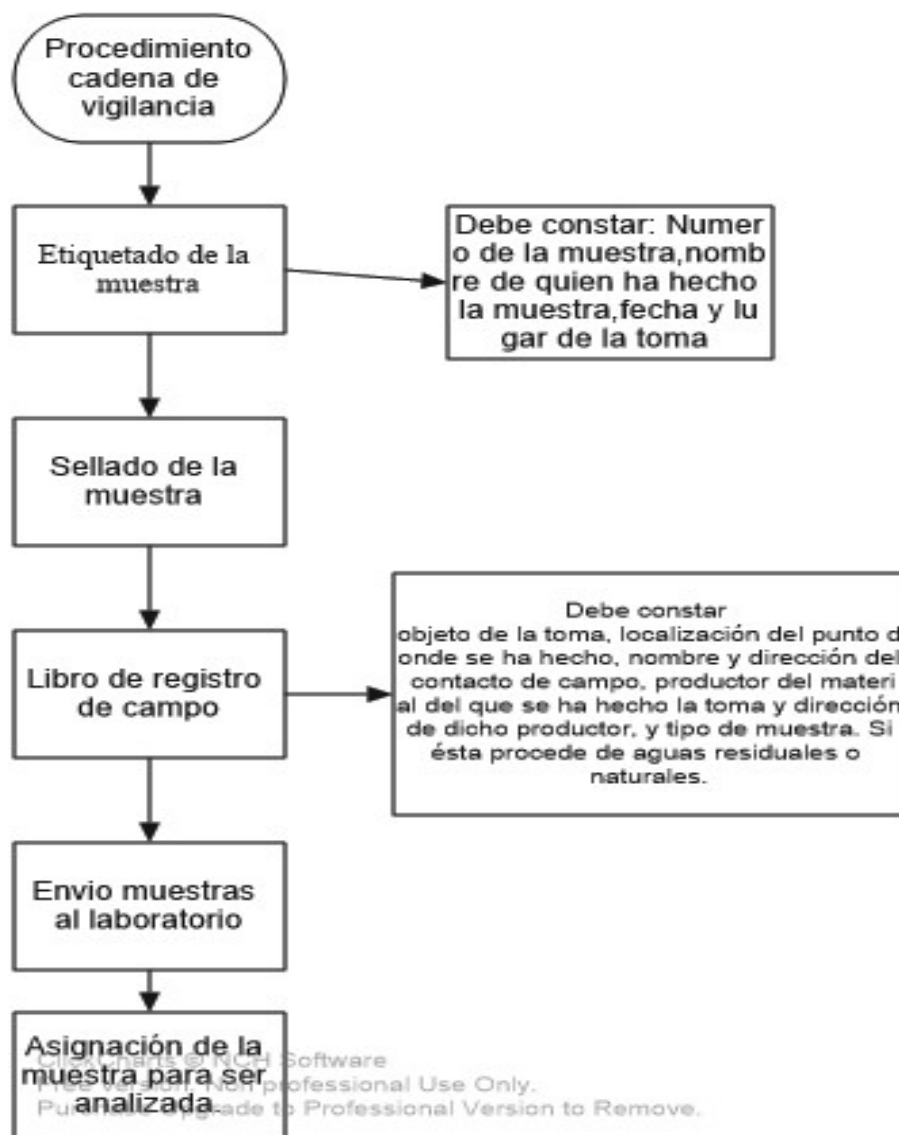
YANG YIN, Chun. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. En: *Process Biochemistry* (2010). Vol 45. 1437–1444

ZAMUDIO, J et. al. (2015). Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. *Tecnología Y Productividad*, 71-83. Disponible en: <<http://revistas.sena.edu.co/index.php/rtyp/article/view/248>>

ANEXOS

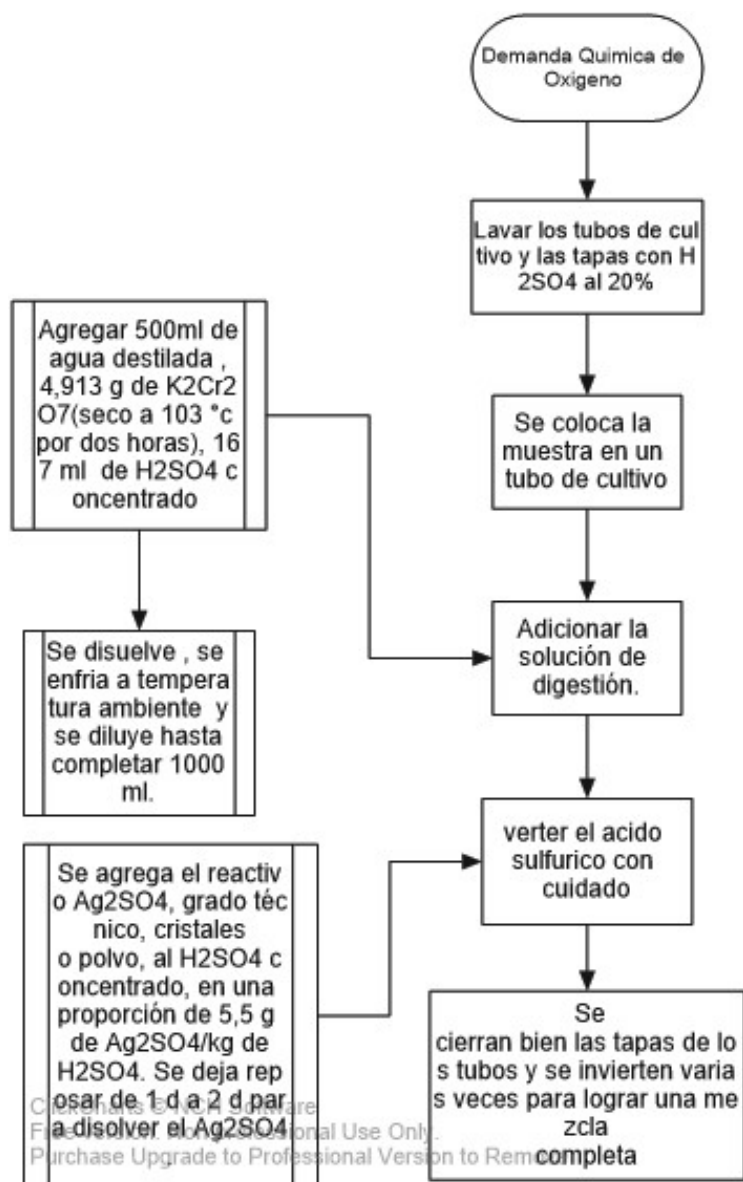
ANEXO A.

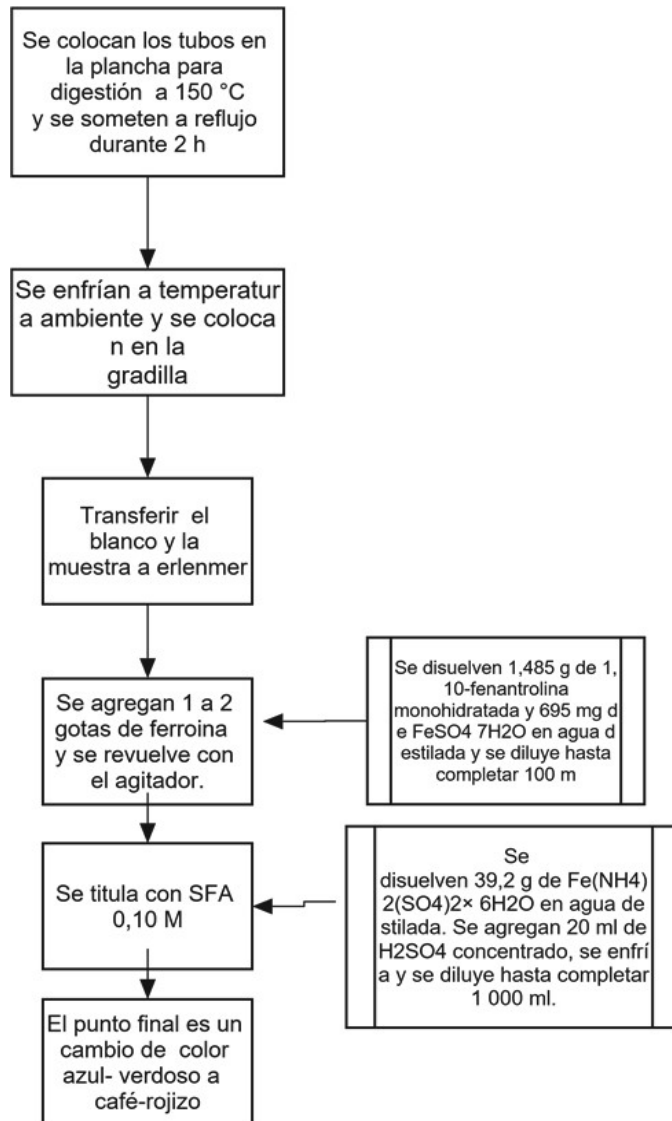
PROCEDIMIENTO DE CADENA DE VIGILANCIA



ANEXO B

DIAGRAMA DE FLUJO DEMANDA QUIMICA DE OXÍGENO

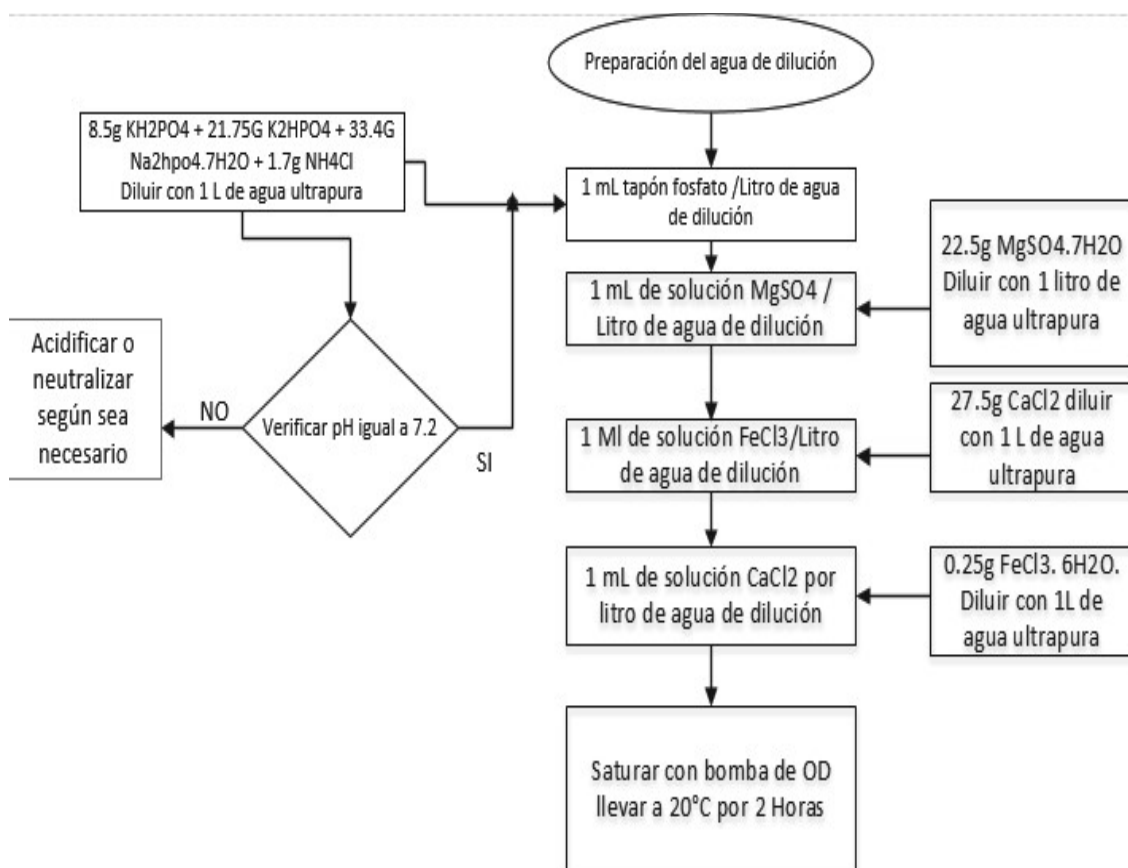




ANEXO C.

DIAGRAMA DE FLUJO DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

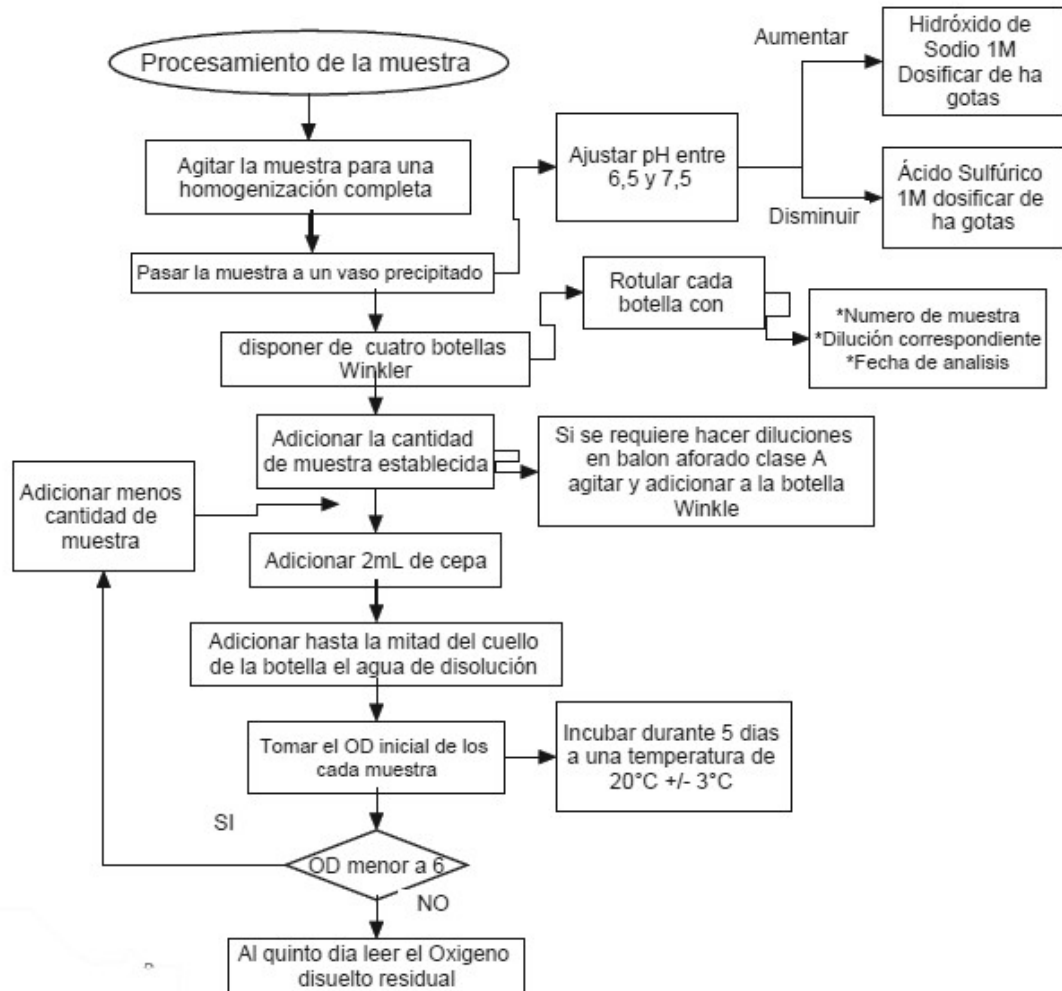
a. Preparación Agua de dilución



b. Lectura del Blanco

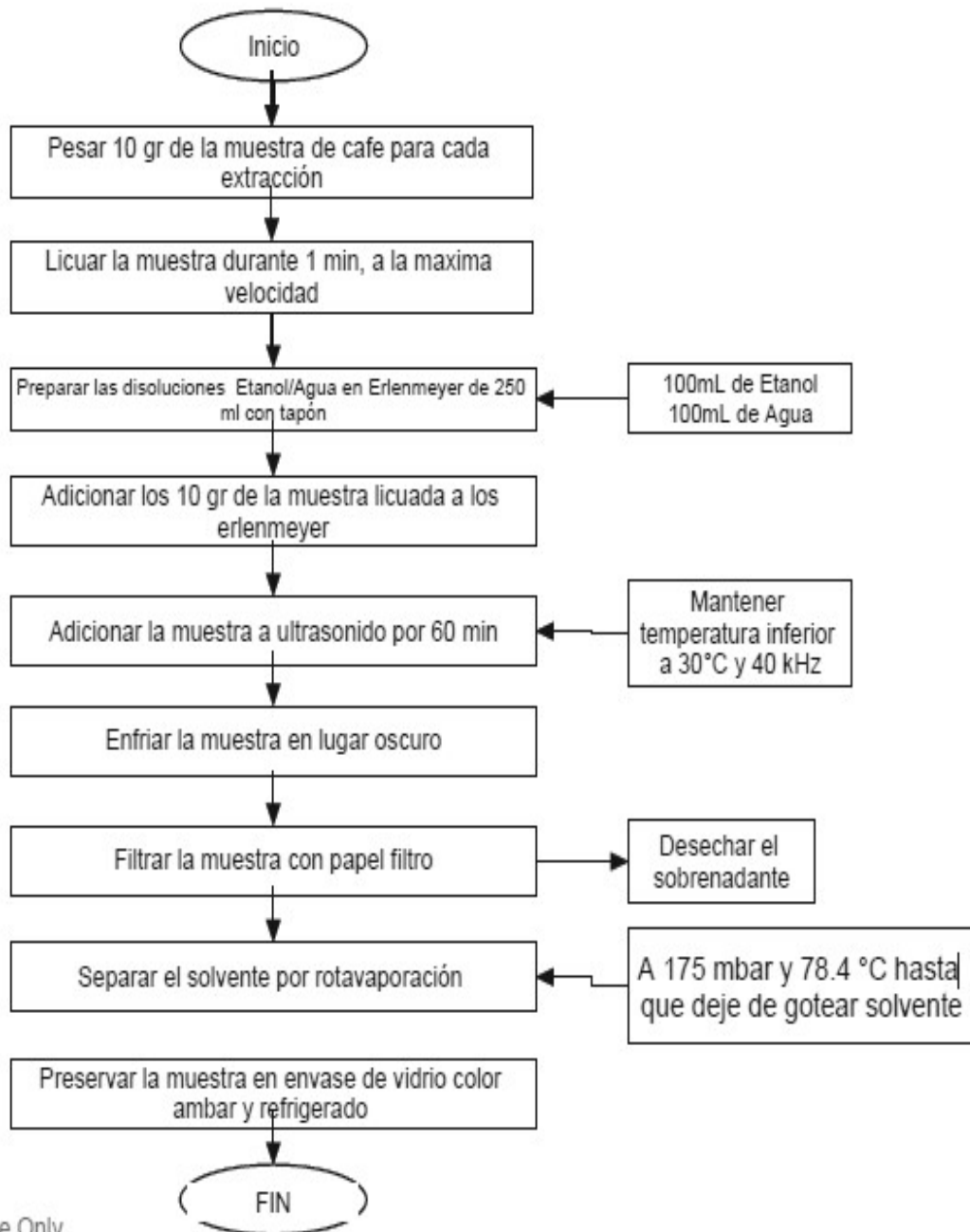


c. Procesamiento de la muestra



ANEXO D.

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES POR ULTRASONIDO



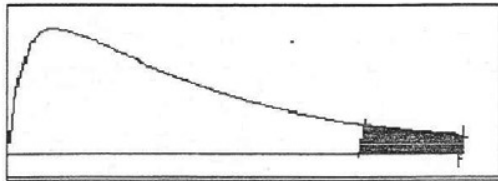
e Only.

ANEXO E.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS, F FISHER

DISTRIBUCIÓN F.

U_1 : Grados de libertad del numerador. U_2 : Grados de libertad del denominador. Probabilidad (α) en el extremo superior de la distribución.



O. MOSCOTE F.

U_2	α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∞
1	0.1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	63.33
	0.05	161.45	199.5	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	254.31
	0.025	647.79	799.50	864.16	899.58	921.85	937.11	948.22	956.66	963.28	968.63	1018.23
	0.01	4052.2	4999.5	5403.4	5624.60	5763.6	5859.0	5928.4	5981.1	6022.5	6055.8	6365.8
2	0.1	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.49
	0.05	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.50
	0.025	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.50
	0.01	98.5	99.0	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.50
3	0.1	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.13
	0.05	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.53
	0.025	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	13.90
	0.01	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	26.13
4	0.1	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.76
	0.05	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.63
	0.025	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.26
	0.01	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	13.46
5	0.1	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.11
	0.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.37
	0.025	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.02
	0.01	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.02
6	0.1	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.72
	0.05	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.67
	0.025	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	4.85
	0.01	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	6.88
7	0.1	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.47
	0.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.23
	0.025	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.14
	0.01	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	5.65
8	0.1	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.29
	0.05	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	2.93
	0.025	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	3.67
	0.01	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	4.86
9	0.1	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.16
	0.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	2.71
	0.025	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.33
	0.01	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	4.31
10	0.1	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.06
	0.05	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.54
	0.025	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.08
	0.01	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	3.91
11	0.1	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	1.97
	0.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.40
	0.025	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	2.88
	0.01	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	3.60